VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS
UNIVERSITETAS

Ana Usovaitė

# Kietosios kosminės spinduliuotės eksperimentiniai tyrimai ir praktinis taikymas

Daktaro disertacija
Technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka (04T)

Vilnius, 2005

Darbas atliktas Vilniaus Gedimino technikos universitete 2001–2005 metais.

Mokslinis vadovas:

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

**TURINYS**

**DISERTACIJOJE NAUDOJIMŲ SANTRUMPŲ SĄRAŠAS**.....5
**ĮVADAS**.....6
**1. KIETOSIOS KOSMINĖS SPINDULIOTĖS IR GEOMAGNETINIO LAUKO POKYČIAI BEI JŲ ĮTAKA APLINKAI**.....12
1.1. Kosminiai spinduliai ir jų sklidimas atmosferoje.....12
1.1.1. Kosminių spindulių fizinė prigimtis.....12
1.1.2. Kosminių spindulių srauto vertikalusis intensyvumo pasiskirstymas atmosferoje.....19
1.1.3. Miuonų srautas apatiniuose atmosferos sluoksniuose.....22
1.2. Saulės aktyvumo, geomagnetinio lauko pokyčiai ir jų įtaka aplinkai.....24
1.3. Saulės aktyvumo ir geomagnetinio lauko kaitos įtaka žmogui.....28
1.4. Kosminių spindulių stebėjimo įranga.....35
1.5. Išvados.....39
**2. KIETOSIOS KOSMINĖS SPINDULIUOTĖS SRAUTO MATAVIMŲ METODIKA**.....40
2.1. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto matavimo metodas.....40
2.2. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto matavimo įranga.....40
2.3. Matavimo technologija ir įrangos kalibravimas.....43
2.4. Matavimo įrangos pritaikymo KKSS tyrimams konstrukciniai ir technologiniai sprendimai.....45
2.4.1. Jutiklio švino ekrano konstrukcija.....45
2.4.2. Optimalaus švino ekrano sluoksnio parinkimas.....47
2.5. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto reikšmių ir širdies ir kraujagyslių ligų kiekių duomenų bazių sudarymo matematiniai modeliai.....52
2.5.1. Eksperimentinių 2001–2004 metų kietosios kosminės spinduliuotės srauto reikšmių duomenų bazių sudarymo matematinis modelis.....52
2.5.2. Širdies bei kraujagyslių ligų kiekių duomenų bazių sudarymas.....56
2.6 Išvados.....59

**3. KIETOSIOS KOSMINĖS SPINDULIUOTĖS SPEKTRO TYRIMO REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ**.....61
3.1. Kietosios kosminės spinduliuotės spektro analizė.....61
3.2. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijų analizė energetinio spektro diapazonuose.....69
3.3. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto metinė kaita energinio spektro diapazonuose.....79
3.4. Išvados.....86
**4. KIETOSIOS KOSMINĖS SPINDULIUOTĖS SRAUTO VARIACIJŲ TAIKYMAS ŽMONIŲ SVEIKATOS SUTRIKIMAMS PROGNOZUOTI**.....87
4.1. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir širdies ir kraujagyslių ligų kiekio duomenų statistinė analizė.....87
4.2. Prognostinio sąryšio tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijų ir širdies ir kraujagyslių ligų paūmėjimų 1997–1999 m. ir 2001–2004 m. matematinis pagrindimas ir modeliavimas.....93
4.3. Trumpalaikė širdies ir kraujagyslių ligų prognozė pagal siūlomus kriterijus.....103
4.4. Išvados.....113
**BENDROSIOS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS**.....115
**LITERATŪRA**.....117
**PUBLIKACIJOS DISERTACIJOS TEMA**.....123
**SKAITYTI PRANEŠIMAI**.....125

## DISERTACIJOJE NAUDOJIMŲ SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

**GMPS** – Greitosios medicinos pagalbos stotis

**KKSS** – kietosios kosminės spinduliuotės srautas

**KS** – kosminiai spinduliai

**KSS** – kosminės spinduliuotės srautas

**SKM** – staigios kardiologinės mirtys

**ŠKL** – širdies ir kraujagyslių ligos

# ĮVADAS

## Darbo problema

Prie Žemės paviršiaus nuolat egzistuoja aplinkoje esančių radionuklidų spinduliuotė. Greta jos būna kosminės kilmės elementariųjų dalelių spinduliuotė. Šių kosminių dalelių kiekis ir pobūdis nuolat kinta laike, nes jas veikia heliomagnetiniai, geomagnetiniai, Žemės atmosferos būklės ir kiti veiksniai.

Kaip žinoma, Žemės link nuolat juda izotropinis kosminių dalelių srautas. Dauguma šių dalelių atskrieja iš Galaktikos. Dėl neišvengiamos sąveikos su atmosferos dujų atomais pirminės kosminės dalelės negali prasiskverbti pro visą Žemės atmosferą. Dėl to artėjant prie Žemės paviršiaus aptinkamos jau tiktai antrinės dalelės, kurių daugumą sudaro miuonai ir gama kvantai.

Akivaizdu, kad kosminės spinduliuotės srauto (KSS) variacijos prie Žemės paviršiaus priklauso nuo pirminių kosminių dalelių srauto parametrų ir jų pokyčių, įvykusių dalelių kelyje kertant geomagnetinio lauko jėgos linijas. Todėl KSS variacijos pažemyje gali netiesiogiai apibūdinti pirminių kosminių spindulių ir geomagnetinio lauko nestabilumus. Be to, pažemio atmosferos sluoksnyje vyrauja žemų energijų radioaktyviųjų dalelių spinduliuotė, kuri nuolat būna ore. Ją lemia emanuojantys iš dirvožemio radono atomai bei vėliau susidarantys jų skilimo produktai. Be to, atmosferą nuolat teršia technogeninės kilmės spinduliuotė. Tai gerokai apsunkina KSS tyrimus ir jų rezultatų naudojimą. KSS sudaro aukštųjų energijų dalelės – taip vadinamoji kietoji kosminės spinduliuotės komponentė, kuri yra beveik nejautri silpniems išoriniams veiksniams prie Žemės paviršiaus. Todėl geomagnetinio lauko svyravimų prognostinei indikacijai panaudoti kietosios kosminės spinduliuotės srauto (KKSS) variacijos.

Visų išorinių poveikių visuma atsiliepia biosferai. Kadangi žmogus yra neatsiejama visatos dalis, jis taip pat neišvengiamai patiria išorinių veiksnių poveikį. Žmogaus organizmas nuolat susiduria su neigiamais savo technologinės veiklos padariniais. Be antropogeninių, žmogų neigiamai veikia ir natūralūs gamtiniai

reiškiniai – geomagnetiniai ir meteorologiniai veiksniai, Saulės aktyvumo kaita, Žemės drebėjimai, ugnikalnių išsiveržimai, uraganai ir t. t. Kintantis geomagnetinis laukas savo ruožtu veikia kosmines daleles ir iškreipia jų judėjimo trajektorijas, greičius ir kryptis.

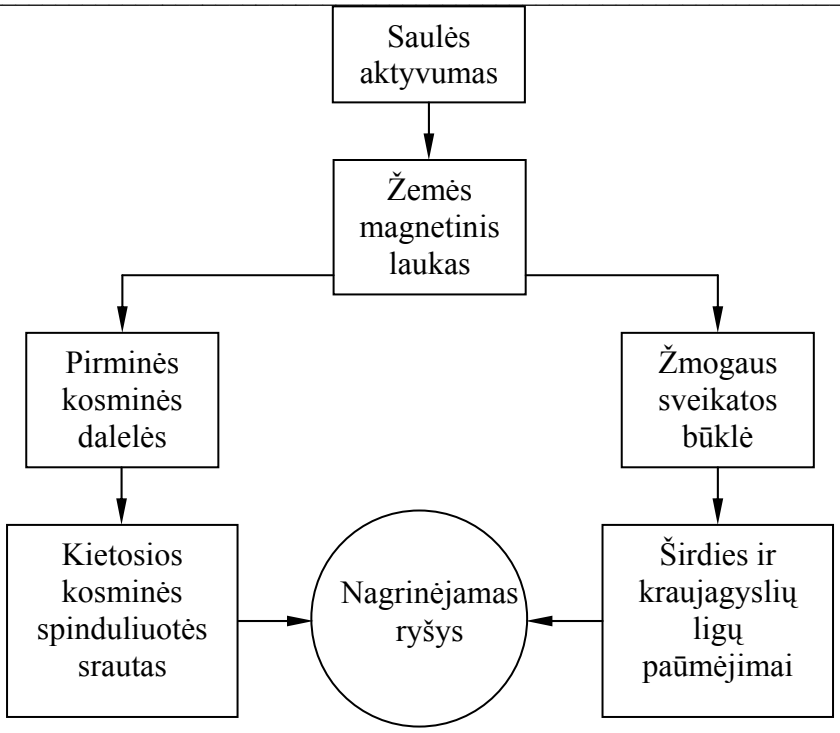
Meteorologinių, geofizinių ir kosminės kilmės veiksnių poveikis žmogaus sveikatai pastaruoju metu vis išsamiau tiriamas visame pasaulyje. Geofiziniai ir meteorologiniai veiksniai bei Saulės aktyvumo pokyčiai neigiamai veikia žmonių, organizmą, ypač ligonių. Nuolat besikeičiantis Saulės aktyvumas veikia žmogų per daugelį fizinių procesų, ir vienas iš jų yra geomagnetinio lauko pokyčiai. Šio poveikio pasekmės paprastai pasireiškia po kelių parų, nes žmogaus organizmo reakcijai būdingas „inertiškumas“.

Geomagnetinio lauko stebėjimus neišvengimai apsunkina žmonių sukurti elektromagnetiniai laukai, susidarę dėl pramonės, elektrifikuoto transporto, radijo ryšio, bei daug kitų priežasčių. Be to, šie stebėjimai reikalauja sudėtingos ir brangios aparatūros.

Taigi kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas galima naudoti kaip netiesioginį žmonių sveikatos būklės pablogėjimo indikatorių, t. y. naudoti jį žmogaus sveikatos būklės patologijos perspėjamajai prognozei. XX a. pradžioje rusų mokslininkas A. L. Čiževskij pradėjo plėtoti naują mokslo šaką – kosmomediciną. Jis tyrė kosminių veiksnių įtaką žmogui. Vienais iš svarbiausių veiksnių A. L. Čiževskij vadina Saulės aktyvumo bei geomagnetinio lauko pokyčius. Šis mokslininkas tyrė įvairių ligų (infekcinių, psichinių) protrūkių atsiradimus veikiant Saulės aktyvumui ir kitiems kosminiams veiksniams.

Žmonės, turintys kokių nors širdies ir kraujagyslių patologijų, yra itin jautrūs aplinkai ir ypač ryškiems jos pokyčiams.

Nagrinėjamo išorinio poveikio širdies ir kraujagyslių ligų (ŠKL) paūmėjimų kiekio prognozei schema pavaizduota 1 pav.




**1 pav.** Kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir širdies kraujagyslių ligų paūmėjimų sąryšio tyrimo schema

Gamtinių išorinių veiksnių poveikio į žmogaus organizmą netiesioginis įvertinimas atliktas pagal pateiktą schemą. Siūlomos prognozės rezultatai leidžia įspėti ir apsaugoti žmogų nuo gresiančio išorinių veiksnių pavojaus.

**Darbo aktualumas**

Darbe siūlomas netiesioginis geomagnetinio laiko variacijų indikatorius – kietosios kosminės spinduliuotės srautas. Tiriant KKSS variacijas, paruošta širdies ir kraujagyslių ligų paūmėjimų prognostinė schema. Šio metodo taikymas, matyt, leis įspėti žmones apie geomagnetinį poveikį ir tapti papildomu priedu prie kitų esamų metodų širdies ir kraujagyslių ligų paūmėjimams sumažinti.

**Darbo tikslai**

1. Tobulinti gama spektrometrinės aparatūros jutiklio apsaugos konstrukciją pritaikant ją kietosios kosminės spinduliuotės tyrimams.
2. Ištirti kietosios kosminės spinduliuotės pobūdį prie Žemės paviršiaus bei nustatyti jos ypatumus ir variacijų dėsningumus.
3. Išanalizuoti širdies ir kraujagyslių ligų (ŠKL) dinamiką, panaudojant Vilniaus m. Greitosios medicinos pagalbos stoties statistinius duomenis.
4. Gautus KKSS tyrimų rezultatus pritaikyti ŠKL paūmėjimų prognozei, nustatyti jos kriterijus bei apibrėžti šios prognozės efektyvumą.

**Siekiant užsibrėžtų tikslų, buvo sprendžiami šie uždaviniai**

1. Įvertinti kosminių spindulių tyrimus bei geomagnetinių, meteorologinių veiksnių ir Saulės aktyvumo pokyčių poveikių žmogaus organizmui analizę pasaulyje ir Lietuvoje.
2. Tobulinti gama spektrometrinės aparatūros jutiklio apsaugos konstrukciją, orientuojant ją kietosios kosminės spinduliuotės srauto matavimų tikslumui ir patikimumui gerinti.
3. Nuo 2001 iki 2005 metų vykdyti KKSS stebėjimus ir apdoroti KKSS matavimų rezultatus integriniame bei nurodytuose darbe energiniuose diapazonuose. Be to, apdoroti 1997–1999 metų stebėjimų duomenis.
4. Išnagrinėti kietosios kosminės spinduliuotės srautą ir jo pokyčius.
5. Surinkti duomenis apie ŠKL kiekį šiuo laikotarpiu Vilniaus mieste ir atlikti jų statistinę analizę.
6. Pasiūlyti empirinius KKSS kitimo kriterijus, padedančius prognozuoti ŠKL paūmėjimus ir pritaikyti matematinio modeliavimo statistinius metodus nustatant šios prognozės efektyvumą.
7. Nustatyti sąryšį tarp širdies ir kraujagyslių ligų eigos ir KKSS variacijų integriniame diapazone.

**Darbo rezultatų naujumas**

1. Atliktas ilgalaikis kietosios kosminės spinduliuotės srauto monitoringas energiniuose diapazonuose ir apdoroti jo duomenys.
2. Ištirta KKSS kitimo laike eiga prie Žemės paviršiaus. *Pirmą kartą* atlikti tyrimai ieškant sąryšio tarp antrinės kosminės spinduliuotės srauto bei širdies ir kraujagyslių ligų paūmėjimų.
3. ŠKL paūmėjimams prognozuoti *pirmąkart* parinktas ir pritaikytas netiesioginis indikatorius – KKSS, kurio variacijos apibūdina geomagnetinio lauko pokyčius ir jų poveikį žmogui.
4. Nustatytas ryšys tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijų integriniame diapazone ir ŠKL paūmėjimų kiekio bei įvertintas šio sąryšio patikimumas.

**Darbo rezultatų praktinis pritaikymas**

1. Patobulinta gama spektrometrinė įranga naudota kietosios kosminės spinduliuotės matavimams.
2. Šiame darbe geomagnetinio lauko kaita vertinama pagal netiesioginį indikatorių – kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas. Jų stebėjimo rezultatai suteikia papildomą įspėjimą dėl geomagnetinio lauko pokyčių poveikio žmogaus organizmui.
3. Atlikti tyrimai leidžia prognozuoti širdies ir kraujagyslių ligų paūmėjimų pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas.
4. Šios prognozės rezultatus bus galima naudoti klinikinėje praktikoje.

**Darbo aprobavimas**

Disertacijos tema yra paskelbta aštuonios mokslinės publikacijos, iš jų viena leidinyje, įrašytame į MII sąrašą, keturi recenzuojamuose žurnaluose, viena tarptautinės mokslinių konferencijos pranešimų recenzuojamoje medžiagoje, dvi respublikinių mokslinių konferencijų pranešimų medžiagoje. Mokslinių tyrimų rezultatai buvo pateikti ir svarstomi keturiose tarptautinėse ir penkiose respublikinėse konferencijose.

**Darbo apimtis ir struktūra**

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai, bendrosios išvados, literatūros, publikacijų ir skaitytų pranešimų darbo tematika sąrašai. Darbo apimtis 126 puslapiai teksto, 59 paveikslai ir 25 lentelės.

# 1. KIETOSIOS KOSMINĖS SPINDULIUOTĖS IR GEOMAGNETINIO LAUKO POKYČIAI BEI JŲ ĮTAKA APLINKAI

## 1.1. Kosminiai spinduliai ir jų sklidimas atmosferoje

### 1.1.1. Kosminių spindulių fizinė prigimtis

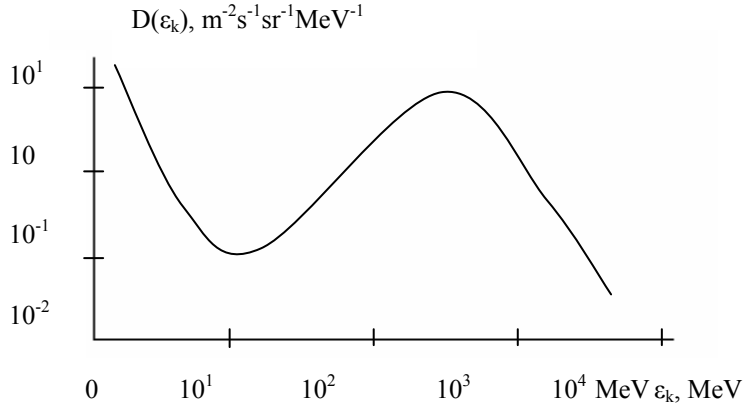
Kosminius spindulius 1912 m. atrado austrų mokslininkas V. Hessas pakilęs oro balionu į 5 km aukštį ir stebėdamas oro molekulių jonizaciją. Kosminiai spinduliai – tai judantis Žemės link dalelių, susidariusių už Saulės sistemos ribų, srautas. Jų energiją gali siekti net $10^{20}$ eV. Daugiau nei 90 % pirminių kosminių dalelių sudaro protonai ir apie 7 % – helio branduoliai (α dalelės). Visų kitų elementų (Be, C, N, Li ir kt. ) indėlis yra mažesnis nei 1 % [1, 2, 3].

Kosminiai spinduliai, susidarę už Saulės sistemos ribų ir atsklidę prie Žemės atmosferos, vadinami galaktiniais kosminiais spinduliais. Šių pirminių kosminių spindulių intensyvumas skirtingose platumose ties viršutine Žemės atmosferos riba svyruoja nuo 100 dal/$m^2$·s·sr ties pusiauju iki 3000 dal/$m^2$·s·sr virš polių. Šie dydžiai priklausomai nuo Saulės aktyvumo gali kisti iki kelėtos kartų [4, 5]. Saulės kosminė spinduliuotė silpna ir negali suformuoti KKSS.

Pirminių kosminių spindulių energinis spektras už Žemės atmosferos ribų turi didžiausią reikšmę 300–500 MeV/dal ruože. Minimumas yra 20–30 MeV/dal energijų srityje. Kosminių spindulių intensyvumo sumažėjimą esant dalelių energijai $\varepsilon_k$>400 MeV/dal galima paaiškinti tarpplanetinio magnetinio lauko moduliacija, atsirandančia dėl Saulės vėjo. Minimumas 10–40 MeV energijų intervale atsiranda dėl kosminių dalelių išbarstymo tarpplanetinio magnetinio lauko netolygumuose [1, 6]. Šiuose šaltiniuose pirminių kosminių dalelių srauto ($D(\varepsilon_k)$) energinis spektras, atspindintis tam tikros energijos dalelių kiekį visame sraute, pateiktas 1.1 pav.

Viršutiniuose Žemės atmosferos sluoksniuose pirminės kosminės dalelės savo energiją išeikvoja netampriems smūgiams su azoto ir deguonies atomų branduoliais. Kaip šių susidūrimų rezultatas atsiranda antriniai kosminiai spinduliai,

jau galintys pasiekti Žemės paviršių. Tiriant pirminių kosminių protonų ir sunkesnių dalelių laisvojo lėkio ilgius, buvo nustatyta, kad žemiau 20 km visi kosminiai spinduliai yra antriniai [1, 4–6].




**1.1 pav.** Kosminių spindulių dalelių diferencinis spektras už Žemės atmosferos ribų [1]

Po pirminių kosminių spindulių sąveikos su atmosferos branduoliais susidaro daug antrinių dalelių: pionų, protonų, neutronų, miuonų, elektronų, fotonų ir kt. Aktyviosios šių kosminių spindulių dalelės ir pagrindinės jų charakteristikos pateiktos 1.1 lentelėje.

**1.1 lentelė.** Antrinių kosminių spindulių aktyviosios dalelės [5]

| Dalelės | Sąveikos tipas | | | Energija, (MeV) | Gyvavimo trukmė |
|---|---|---|---|---|---|
| | Elektro-magnetinė | Stiprioji | Silpnoji | | |
| Pionai | X | X | | ≈134 | ≈26 ns |
| Miuonai | X | | X | ≈106 | ≈2 μs |
| Neutronai | | X | | 940 | 12min |
| Protonai | X | X | | 938 | Stabilūs |
| Elektronai | X | | | 0,5 | Stabilūs |
| Fotonai | X | | | | Stabilūs |

Kiekviena pirminė aukštos energijos dalelė generuoja antrinių dalelių kaskadą. Vietoje vienos pirminės dalelės atsiranda daug antrinių dalelių. Jos skirstomos į hadroninę, miuoninę ir elektroninę-fotoninę dedamąsias. Toks kaskadas vadinamas atmosferine liūtimi ir dengia nuo kelių iki kelių šimtų kvadratinių metrų plotą. Joje dalelių tankis didėja iki pat jūros lygio. Vadinamoji hadroninė komponentė (pionai, miuonai, neutronai, protonai) auga lėtai. Pasiekusi didžiausią reikšmę 15 km aukštyje ji toliau mažėja.

Per vieną sąveikos aktą protonas gali prarasti iki 50 % savo energijos ir sudaryti naujas daleles – pionus. Kiekvienas kitas susidūrimas papildo kaskadą naujais hadronais, kurie toliau sklinda iš esmės pirminių dalelių kryptimi.

Susidarę pionai sąveikauja su atmosferos dujų branduoliais arba suskildami, formuoja miuoninę ir elektroninę-fotoninę komponentes. Hadroninė komponentė Žemės paviršiaus nepasiekia, o virsta miuonais, neutrinais ir gama kvantais. Pionų skilimo reakcija vyksta taip:

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma \quad ,$$
$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \ ,$$
$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \overline{\nu}_\mu \ ;$$

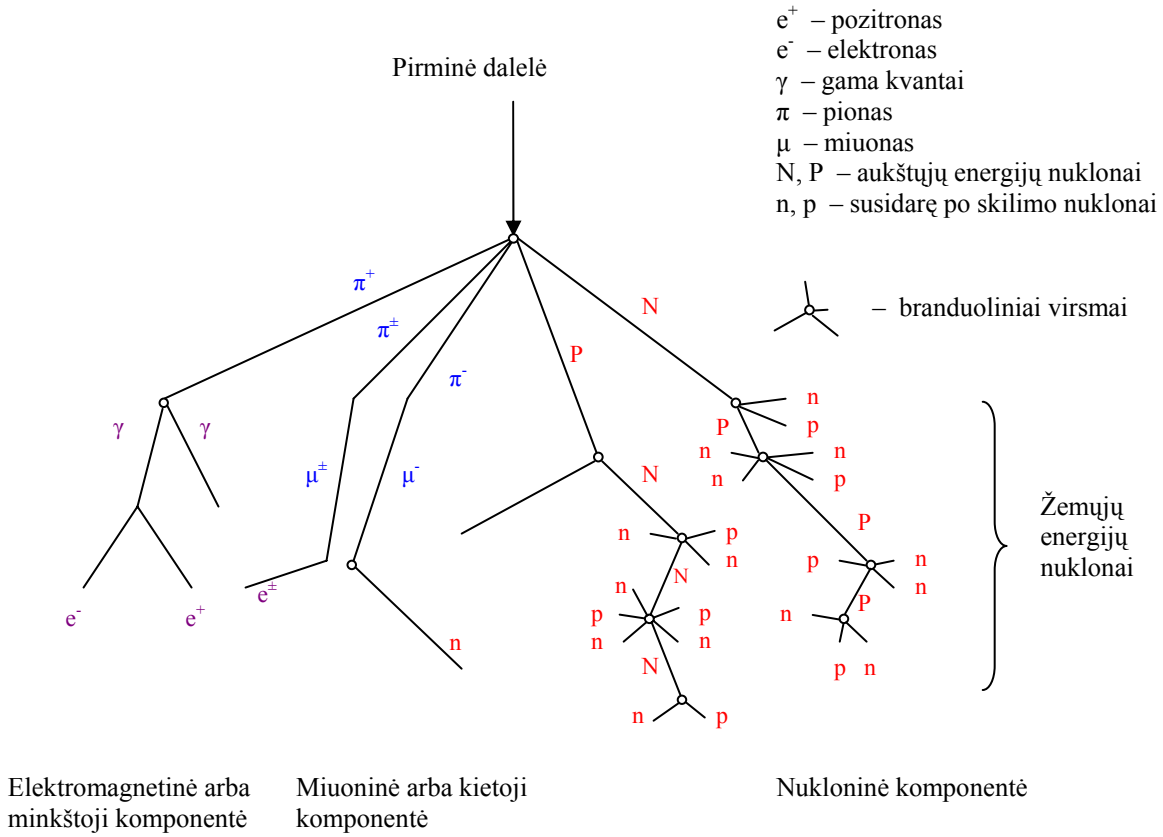
čia $\pi^0$ – neutralusis pionas; $\pi^+$ – teigiamasis pionas; $\pi^-$ – neigiamasis pionas; $\gamma$ – gama kvantas; $\mu^+$ – teigiamais miuonas; $\mu^-$ – neigiamasis miuonas; $\nu_\mu$ – miuoninis neutrinas; $\overline{\nu}_\mu$ – miuoninis antineutrinas.

Miuonai skyla taip:

$$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \overline{\nu}_e \quad ,$$
$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \overline{\nu}_\mu + \nu_e \quad ;$$

čia $e^-$ – elektronas; $e^+$ – pozitronas; $\mu^+$ – teigiamasis miuonas; $\mu^-$ – neigiamasis miuonas; $\nu_\mu$ – miuoninis neutrinas; $\overline{\nu}_\mu$ – miuoninis antineutrinas; $\nu_e$ – elektroninis neutrinas; $\overline{\nu}_e$ – elektroninis antineutrinas.

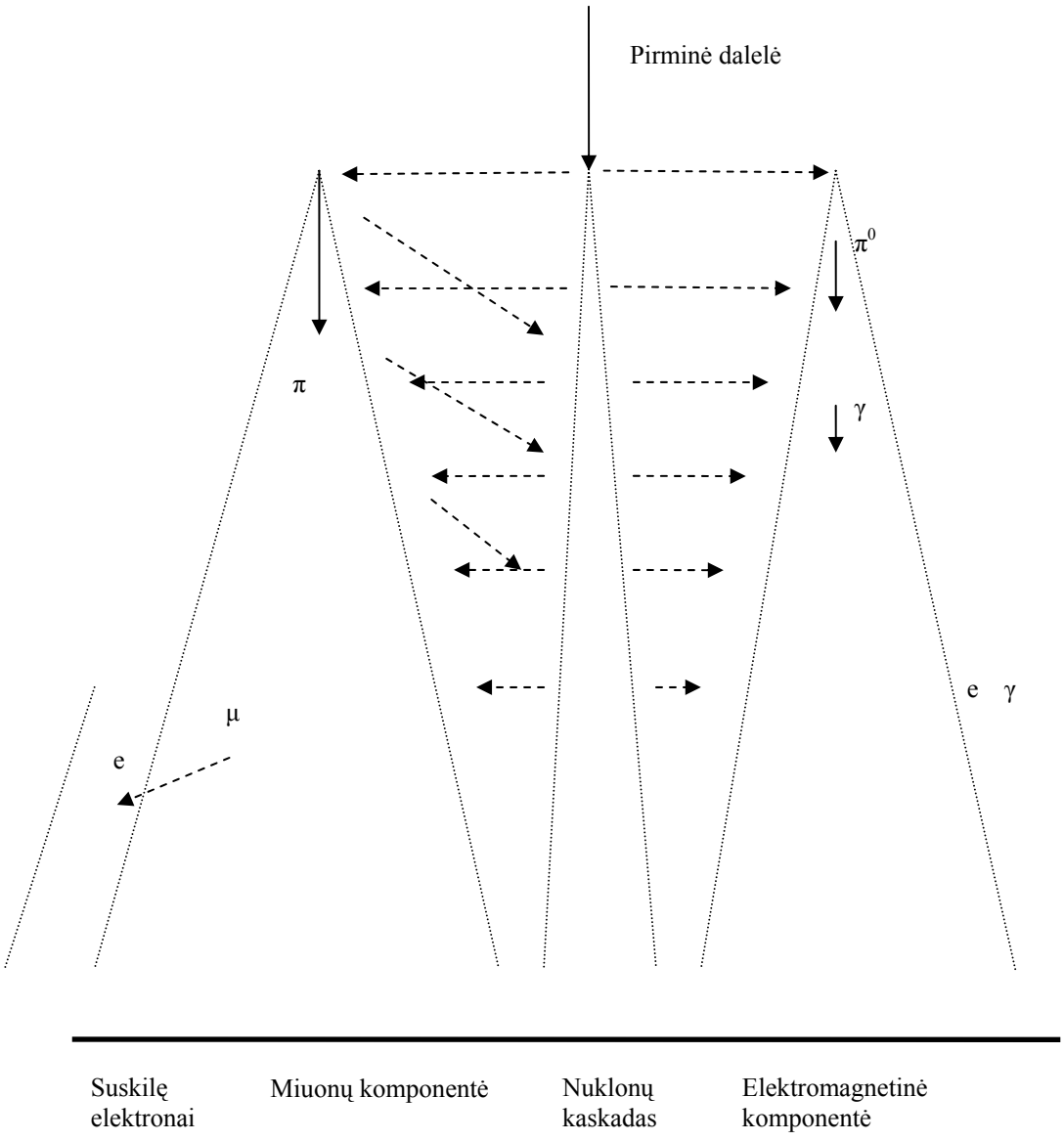
Skylant neutraliems pionams, susidarantys gama kvantai sudaro elektronų ir gama kvantų kaskadus, kuriuose susidaro elektronų ir pozitronų poros. Elektronai, pozitronai, teigiamieji ir neigiamieji miuonai praranda energiją dėl jonizacijos ir stabdomosios spinduliuotės. Žemės paviršių iš esmės pasiekia tik miuonai. Elektroninė ir fotoninė komponentės geriau sugeriamos. Kelios galimų kosminių spindulių kaskadų šakos pavaizduotos 1.2 pav.




**1.2 pav.** Atmosferinių liūčių schema

Kairėje pusėje pavaizduotas antrinių $\pi^+$ dalelių skilimas per $10^{-9}$ s į elektromagnetines arba kitas nedalyvaujančias branduolinėse sąveikose (nehadronines) daleles. Dešinėje pusėje parodyta $\pi^-$ dalelių sąveika su atmosferos atomų branduoliais, kurioje sukuriami nukleoniniai kaskadai. Juose antriniai neutronai toliau sąveikauja su hadronais [4].

Vienas aukštesnės nei $10^{14}$ eV energijos protonas, prieš pasiekdamas Žemės paviršių, gali sudaryti $10^6$–$10^9$ antrinių dalelių. Hadroninė liūties komponentė užima kelių kvadratinių metrų eilės plotą, elektroninė-fotoninė – apie 100 $m^2$, miuoninė – kelių šimtų kvadratinių metrų plotą. Jų santykinis plotis parodytas 1.3 pav.



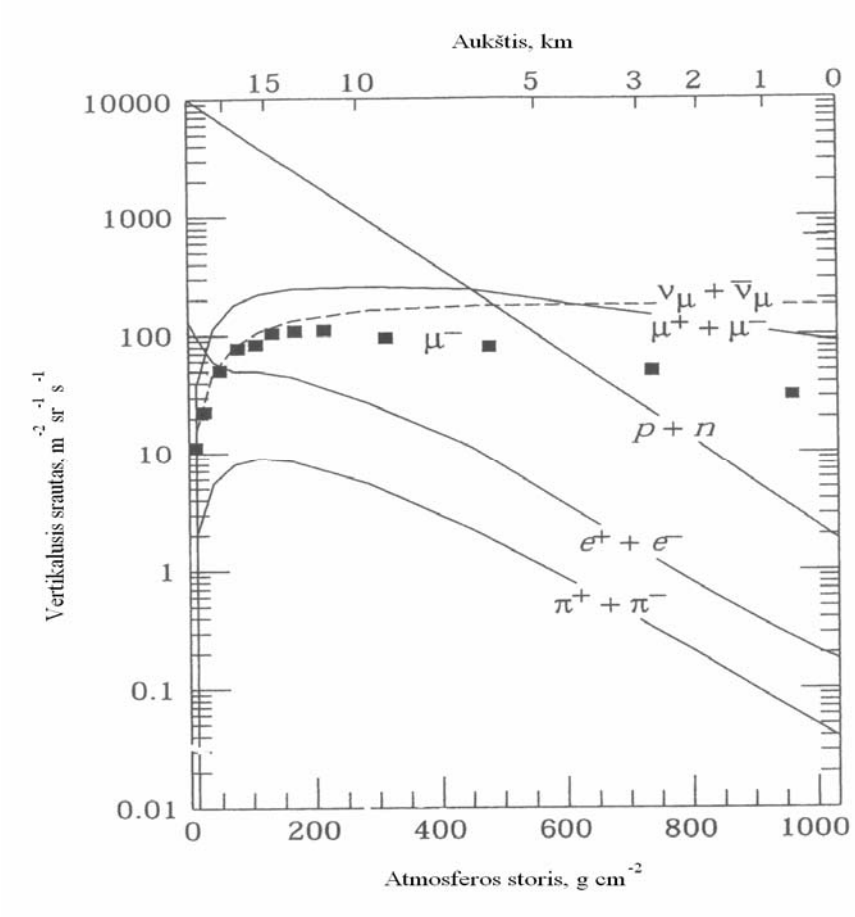

**1.3 pav.** Antrinių kosminių dalelių komponenčių horizontalus pasiskirstymas prie Žemės paviršiaus [4]

Absoliutūs liūčių plotai priklauso nuo atskriejančių dalelių energijos: kuo didesnė energija – tuo platesnis kaskadas. Literatūros šaltiniuose [1,6] minimos net kelių šimtų kilometrų pločio miuonų liūtys, kai pirminių dalelių energija siekė $10^{22}$ eV.

Antrinius kosminius spindulius jūros lygyje sudaro apie 0,01 dalelių/cm$^2$s srautas ir yra apie 100 kartų silpnesnis už pirminių kosminių dalelių srautą.

Ankščiau minėtos branduolinės reakcijos vyksta kaskaduose, dalyvaujant dalelėms, kurių energija yra aukštesnė nei 0,1 GeV. Žemesnių energijų dalelės absorbuojamos artimiausiuose susidūrimuose.

Teorinių darbų rezultatai leidžia suskirstyti dalelės į keturias pagrindines grupes: pionai, elektronai-pozitronai, protonai-neutronai ir miuonai. Nustatyti šių srautų santykiniai kiekiai (1.4 pav.) [4].




**1.4 pav.** Vertikalusis kosminių spindulių srautas [4]

Miuonų, lyginant su kitų dalelių kiekiais, yra daugiausiai aukštųjų ir vidutinių energijų spektro srityse. Miuonų yra keliomis eilėmis daugiau nei kitų aukštųjų energijų dalelių. Dėl to miuonai nedalyvauja vadinamojoje stiprioje sąveikoje su atmosferos dujų branduoliais, savo energija atmosferoje jie praranda laipsniškai.

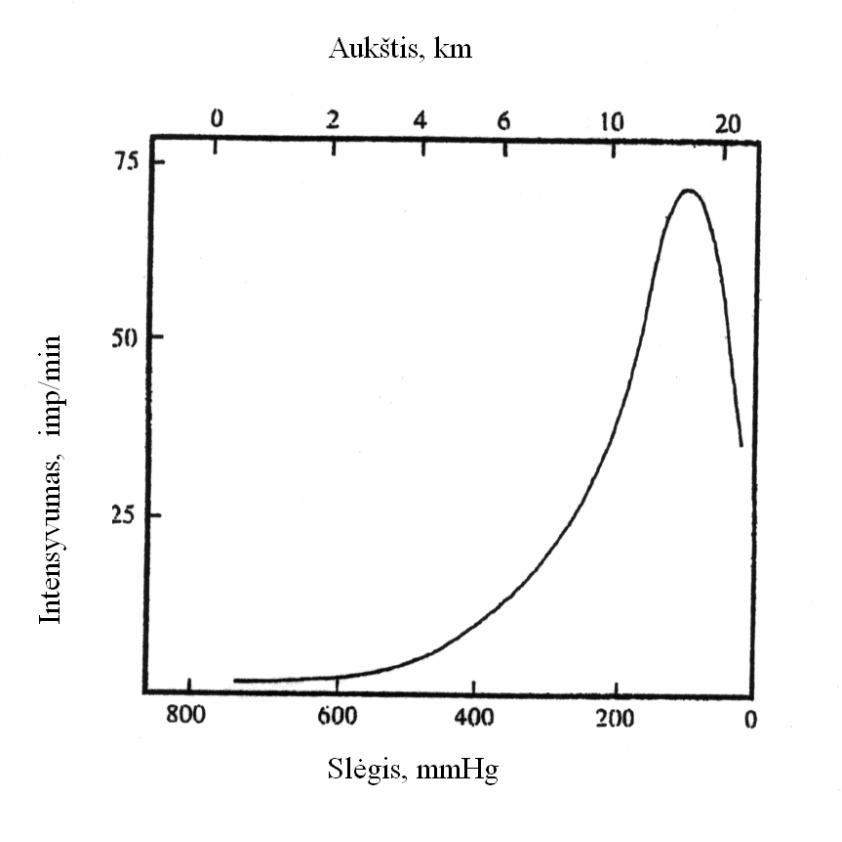
Aukštųjų energijų protonų ir neutrinų kiekiai yra maždaug vienodi. Žemesnės nei 1000 MeV energijos protonų srautas yra mažesnis už neutronų srautą, nes protonai intensyviau sąveikauja su atmosferos elektronais. Pionų srautas kitų dalelių atžvilgiu yra mažesnis, nes jų gyvavimo laikas yra kelios nanosekundės ir jie suskyla dar nepasiekę Žemės paviršiaus.

1.4 paveksle pavaizduoti kosminių spindulių pagrindinių komponenčių vertikalieji srautai atmosferoje, priklausantys energiniam diapazonui, kuriame yra didžiausias dalelių kiekis. Išimtį sudaro elektronai, kurių kritinė energija ore yra apie 81 MeV. Viršutinės atmosferos sluoksniuose, be elektronų ir protonų, visos kitos dalelės atsiranda pirminių kosminių spindulių virsmuose. Miuonai ir neutrinai yra elektringų miuonų skilimo produktai. Antriniai elektronai ir protonai atsiranda skylant neutraliems mezonams.

Tarp pirminių kosminių dalelių ir atmosferos medžiagų atomų vyksta stiprioji sąveika $1{,}2 \cdot 10^{-13}$ cm spindulio plotelyje. Vieno paprasto kaskado modelį galima įsivaizduoti 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 branduolinio skysčio“ sluoksniai. Tai reiškia, kad vidutiniškai kiekviena dalelė generuoja penkias liūtis. Hadronų kiekis auga ne taip sparčiai. Kaskaduose dauguma dalelių sudaro elektromagnetinės ir silpnos sąveikos dalelės. Pavyzdžiui, jūros lygyje nehadroninių dalelių, ypač miuonų, yra 200 kartu daugiau negu hadronų. Jei hadronų energija sumažėja iki 100 MeV, jie dėl sugerties kaskaduose išnyksta [5,6].

### 1.1.2. Kosminių spindulių srauto vertikalusis intensyvumo pasiskirstymas atmosferoje

Dėl sugerties atmosferoje, artėjant prie Žemės paviršiaus, antrinių dalelių kiekis laipsniškai nustoja didėti. Dauguma dalelių skyla spontaniškai (pionų gyvavimo laikas yra nanosekundės eilės, miuonų – apie porą mikrosekundžių), arba dalelės praranda savo energiją dar nepasiekę Žemės paviršiaus, t. y. išnyksta kaskaduose. Maksimalus dalelių tankis kaskaduose yra 15 km aukštyje. Dalelių kiekio pasiskirstymas pagal aukštį pavaizduotas 1.5 pav.




**1.5 pav.** Kosminių spindulių intensyvumo pasiskirstymas pagal aukštį ir jį atitinkantį slėgį atmosferoje [6]

Ši kreivė vadinama Pfotzer'io kreive. Matome, kad žemiau 15 km aukščio dalelių kiekis sparčiai mažėja.

Apskaičiuota [6], kad apatiniuose atmosferos sluoksniuose liūčių susidarymas vyksta pagal tiesinį dėsnį. Tai reiškia, kad naujų dalelių atsiradimą ir išnykimą galima aprašyti paprastomis diferencialinėmis lygtimis. Dalelių kiekio kitimą sraute galima apskaičiuoti pagal 1.1 formulę [6].

$$J_1 = J_2 \exp(\frac{A_2 - A_1}{L}) \quad ; \tag{1.1}$$

čia $J_1$ – liūčių srautas atmosferos aukštyje $A_1$; $J_2$ – srautas aukštyje $A_2$; $L$ – dalelės absorbcijos ilgis.

Atmosferos aukščiai $A_1$ ir $A_2$ bei absorbcijos ilgis L turi būti aprašomi g/cm$^2$ arba kg/m$^2$ vienetais. Norint nuo aukščio, išreikšto *metrais*, pereiti prie aukščio, išreikšto *kg/m*$^2$, reikia nauduoti formulę [6]:

$$A=(1033–(0{,}03648\ H) + (4{,}26\cdot10^{-7}\ H^{\,2}))\ 10 \ ; \tag{1.2}$$

čia $A$ – atmosferos aukštis; išreikštas kg/m$^2$ vienetais; $H$ – atmosferos aukštis, išreikštas metrais.

1.2 formulė taikoma vidutiniam atmosferos slėgiui pažemio sluoksnyje esant 0 $^0$C temperatūrai.

Teoriškai apskaičiuoti skirtingų tipų dalelių absorbcijos ilgiai pateikti 1.2 lentelėje.

**1.2 lentelė.** Kosminių dalelių absorbcijos ilgiai nuo Žemės paviršiaus [6]

| **Dalelės** | **Absorbcijos ilgiai, g/cm$^2$** | **Absorbcijos ilgiai, m** |
|---|---|---|
| Elektronai | 100 | 27,7 |
| Protonai | 110 | 30,5 |
| Pionai | 113 | 31,3 |
| Neutronai | 136 | 37,7 |
| Miuonai | 261 | 72,4 |

Dalelių absorbcijos ilgiai skiriasi dėl to, kad yra skirtingos dalelių sąveikos su atmosferos dujų atomais. Didesnis absorbcijos ilgis lemia lėtesnį 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 srauto, o jūros lygyje – mažiau nei 5 % [1,4,6].

Protonai pirmą kartą dalyvauja sąveikoje apie 20 km aukštyje. Visas atmosferos storis sudaro 1030 g/cm$^2$, t. y., apie 15 vidutinių protono arba 41 vidutinių helio branduolio laisvojo lėkio ilgių. Todėl tikimybė, kad pirminės dalelės pasieks Žemės paviršių be susidūrimų, yra labai maža [3].

Didelis miuonų skvarbumas susijęs su tuo, kad jų stabdymas medžiagoje vyksta tik dėl elektromagnetinės sąveikos su elektronais ir atomų branduoliais. Miuonai, kurių energija yra $10^{11}$ – $10^{12}$ eV, daugiausia jos praranda jonizuodami atomus. Aukštesnių energijų miuonai dėl stabdomosios spinduliuotės formuoja $e^+$ ir $e^-$ poras bei gama kvantus ir skaldo branduolius. Kadangi miuono masė yra daug didesnė už elektrono masę ($m_\mu = 207m_e$), jų nuostoliai stabdomajai spinduliuotei ir elektrono-pozitrono poroms suformuoti yra mažesni už greitųjų elektronų nuostolius ir dėl to, miuonų skvarba yra daug didesnė, lyginant su elektronais, hadronais ir gama kvantais. Jūros lygyje miuonų srautas sudaro apie 70 % viso dalelių kiekio.

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

1) kietoji, arba skvarbioji kosminės spinduliuotės komponentė, kuriai priklauso apie 2/3 viso dalelių kiekio. Jos intensyvumas siekia apie $I_k = 1$ dal cm $^{-2}$s$^{-1}$;

2) minkštoji dedamoji, kuriai priklauso kitas trečdalis visų dalelių kiekio. Vidutinis intensyvumas $I_m = 0{,}42$ dal·cm $^{-2}$s$^{-1}$.

Minkštąją komponentę sudaro elektronai, pozitronai ir gama kvantai. Atmosferoje jie dėl stabdomosios spinduliuotės greitai praranda savo energiją. Kietąją komponentę sudaro miuonai ir aukštų energijų gama kvantai.

### 1.1.3. Miuonų srautas žemutiniuose atmosferos sluoksniuose

Dauguma miuonų susidaro apie 10–15 km aukštyje. Kol pasiekia Žemės paviršių, miuonai dėl jonizacijos procesų netenka apie 2 GeV turėtos energijos. Miuonų energija ir kampinė sklaida atspindi pirminių dalelių pirminio spektro pokyčius, energijos nuostolius atmosferoje ir jų skilimą. Pavyzdžiui, 2,4 GeV energijos miuonas turėtų nulėkti atmosferoje apie 15 km. Tačiau dėl energijos nuostolių jie tenuskrieja apie 8,7 km. Dauguma miuonų prie Žemės paviršiaus turi apie 4 GeV energiją.

Literatūros šaltinyje [2] nurodoma, kad vertikaliai krentančių miuonų, kurių energija, tenkanti 1 dalelei, yra mažesnė nei 1 GeV integrinis intensyvumas jūros lygyje, siekia apie 70 dal·m$^{-2}$s$^{-1}$sr$^{-1}$.

Miuonai, prasiskverbdami per medžiagą, praranda savo energiją dėl jonizacijos ir radioaktyviųjų procesų. Miuonų energijos nuostolius medžiagoje (pvz., akmenys, gruntas, vanduo, ledas), galima aprašyti lygtimi [5]:

$$-\frac{dE_\mu}{dx} = a + bE_\mu \quad ; \tag{1.3}$$

čia $a$ – nuostoliai dėl jonizacijos ($MeV\ g^{-1}\ cm^2$); $b$ – nuostoliai dėl radioaktyviųjų procesų ($g^{-1}cm^2$).

Abu šie dydžiai priklauso nuo miuonų energijos. Nuostoliai dėl radioaktyviųjų procesų susideda iš trijų dalių:

– nuostolių $b_{spind}$ atsirandančių dėl stabdomosios spinduliuotės,

– nuostolių $b_{porų}$ atsirandančių dėl elektrono – pozitrono porų susidarymo,

– nuostolių $b_{brand}$ atsirandančių dėl branduolinių sąveikų su atomų branduoliais.

1.5 lentelėje pateikti dydžių $a$, $b$ ir miuonų laisvojo lėkio ilgių $R$ reikšmės prasiskverbiant per grunto akmenis ($A = 22,\ Z = 11,\ \rho = 2{,}65\ g\ cm^{-3}$).

**1.5 lentelė.** Miuonų laisvasis lėkis bei energijos nuostoliai [5]

| $E_\mu$ | $R$, km vandens ekvivalentų* | $a$, $MeV\,g^{-1}\,cm^2$ | $b_{spind}$ | $b_{porų}$ | $b_{brand}$ | $\sum b$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $10^{-5}\,g^{-1}cm^2$ | | | |
| 10 | 0,05 | 2,15 | 0,73 | 0,74 | 0,45 | 1,91 |
| 100 | 0,41 | 2,40 | 1,15 | 1,56 | 0,41 | 3,12 |
| 1000 | 2,42 | 2,58 | 1,47 | 2,10 | 0,44 | 4,01 |
| 10000 | 6,30 | 2,76 | 1,64 | 2,27 | 0,5 | 4,40 |

*1 km vandens ekvivalentų yra lygus $10^5\ g\ cm^{-2}$

Miuonų intensyvumą požemyje galima nustatyti įvertinus miuonų intensyvumą atmosferoje ir jų energinius nuostolius. Integruojant 1.3 formulę ir žinant miuonų energiją ties Žemės paviršiumi, galima apskaičiuoti miuonų, prasiskverbusių per akmenis, kurių storis $x$, energiją $E_\mu$.

$$E_\mu = (E_{\mu,0} + \varepsilon)\mathrm{e}^{-bx} - \varepsilon; \qquad (1.4)$$

čia dydis $\varepsilon$ yra dydžių $a$ ir $b$ santykis. Grunto akmenims šis santykis yra lygus 500 $GeV$.

Atmosferos miuonų energinis spektras požemio gylyje $x$ gali būti nustatytas pagal formulę:

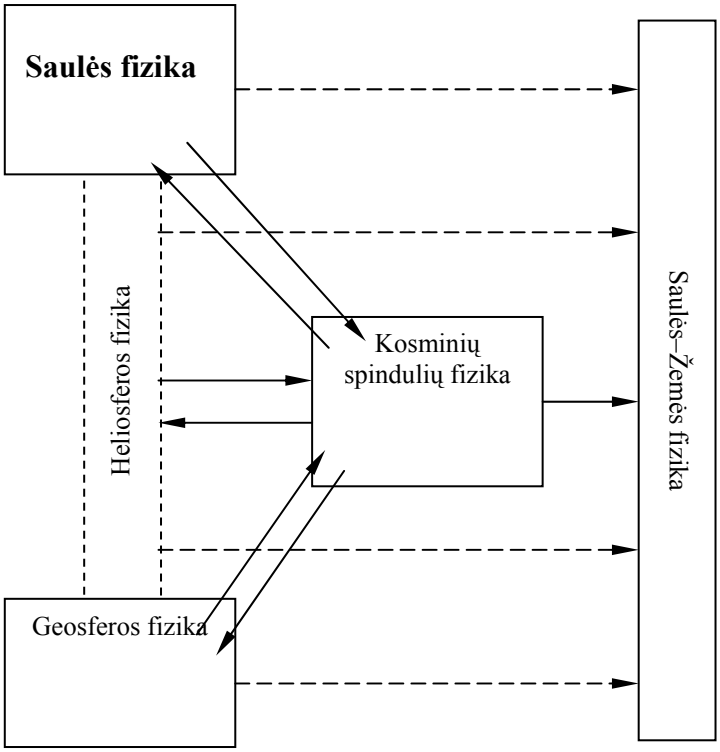
$$\frac{dN_\mu(x)}{dE_\mu} = \frac{dN_\mu}{dE_{\mu,0}} e^{bx} \quad ; \qquad (1.5)$$

čia $E_{\mu,0}$ – miuonų pradinė energija (lygties 1.3 sprendinys).

Kai miuonai prasiskverbia į gylį $x << b^{-1} \approx 2{,}5$ km vandens ekvivalentų, tai $E_{\mu,0} \approx E_\mu(x)+ax$ . Taip, esant nedideliems gyliams, diferencinis miuonų energinis spektras beveik pastovus, kai $E_\mu < ax$, ir labai priklauso nuo pirminio miuonų spektro, kai $E_\mu > ax$. Bet kai gylis $x >> b^{-1}$ , žemųjų energijų miuonų energinis spektras požemyje yra pastovus. Aukštesnių energijų miuonų ($E_\mu > \varepsilon \approx 0{,}5$ TeV) energinis spektras požemyje labai priklauso nuo jų energinio spektro ties Žemės paviršiumi.

## 1.2. Saulės aktyvumo, geomagnetinio lauko pokyčiai ir jų įtaka aplinkai

Saulės aktyvumo pokyčių ir Žemės magnetinio lauko parametrų pokyčių ryšys yra gerai žinomas [9,11]. Saulės aktyvumo pokyčiai bei geomagnetiniai parametrai taip pat iškraipo KKSS visame jo kelyje per tarpplanetinę erdvę ir Žemės atmosferą. Saulės aktyvumo, geomagnetinio lauko bei kosminių spindulių sąveikos reiškinys yra labai sudėtingas. Jį nagrinėja įvairios mokslo sritys. Atskirų mokslų šakų sąsaja tiriant šį reiškinį schemiškai pavaizduota 1.6 pav.:




**1.6 pav.** Kosminių spindulių fizikos sąsaja su kitomis fizikos mokslo sritimis [1]

Pasiekę Saulės sistemą, pirminiai kosminiai spinduliai sąveikauja su nuolat kintančiu heliosferos magnetiniu lauku, kurį formuoja Saulės spinduliuotė. Šis kitimas pasižymi ciklišku mu. Labiausiai žinomas yra 11 metų Saulės aktyvumo ciklas. Ši Saulės aktyvumo kaita lemia kosminių spindulių moduliaciją, kuri dar yra vadinama

11 metų spinduliuotės variacija. Kosminių spindulių intensyvumo variacijos fazės yra priešingos Saulės aktyvumo ciklo fazėms. Vienuolikos metų kosminių spindulių variacija gali vieneriais arba dvejais metais atsiliki nuo Saulės aktyvumo ciklo. Šios kosminių spindulių variacijos gali siekti 40 % savo vidutinio lygio [7,8].

Taip pat yra žinomos 27 dienų kosminių spindulių variacijos. 27 dienų kosminių spindulių variacijų amplitudė gali siekti 10 % ir atsiranda dėl Saulės sukimosi bei veikiama Saulės vėjo magnetinių netolygumų srauto asimetrija [1, 9–11].

Kosminių spindulių intensyvumo Žemės paros variacijos, kurių nuokrypiai nuo vidurkio gali būti iki 2 %, atsiranda dėl Žemės sukimosi. Jas lėmė skirtingi Saulės vėjo parametrai naktį ir dieną [9, 10].

Ne mažiau svarbūs yra trumpalaikiai kosminių spindulių intensyvumo sumažėjimai (apie 50 % tarpplanetinėje erdvėje ir 25–30 % ties Žemės paviršiumi). Jie siejami su geomagnetinėmis audromis ir vadinami Forbush'o efektu. Jis atsiranda dėl kosminių spindulių išsklaidymo magnetiniuose laukuose, kuriuos sukuria Saulės korpuskulinės spinduliuotės srautai, atsirandantys po Saulės žybsnio. Kai šis magnetinis laukas priartėja prie Žemės paviršiaus, jis ekranuoja Žemę nuo kosminių spindulių [10,11].

Kosminių spindulių variacijų viršutiniuose atmosferos sluoksniuose ir prie Žemės paviršiaus analizės duomenis galima naudoti tiriant įvairius šiuolaikiniam mokslui aktualius reiškinius. Vienais atvejais nagrinėjamas tiesioginis kosminių dalelių poveikis kai kuriems reiškiniams, pvz. radijo bangų sklidimui, spinduliuotės žalai žmogui atviroje kosminėje erdvėje ir t. t. Kitais atvejais, tiriamas netiesioginis KSS poveikis, pvz., klinikinės patologijos ir biosfera, orai ir klimatologija. Tiriant kosminių dalelių srauto variacijas, vertinami geomagnetinio aktyvumo lygis, meteorologinės sąlygos ir kt. Autoriai [1] išskiria pagrindines kosminių spindulių intensyvumo pokyčių tyrimo taikymo sritis, kurios išvardytos 1.7 pav.

Saulės aktyvumo pokyčiai daro įtaką įvairiem procesam, vykstantiem Žemėje, veikia ir gyvąją gamtą per geomagnetinio lauko svyravimus. Taigi šios disertacijos tema tiesiogiai susijusi su viena iš aktualiausių netiesioginio kosminių

spindulių intensyvumo pokyčių tyrimų duomenų panaudojimo sritimi – tiriant netiesioginį KSS poveikį biosferai, taip pat ir žmogui per geomagnetinio lauko kaitą.

**Kosminių spindulių intensyvumo pokyčių tyrimo duomenų taikymo pavyzdžiai**

***Tiesioginis panaudojimas, nagrinėjant reiškinius:***

- Navigacija ir radiokomunikacija
- Pavojus skraidymo elektroniniams prietaisams
- Radiobiologinė žala
- Atmosferos ozono nutekėjimas

***Netiesioginis panaudojimas, nagrinėjant reiškinius:***

- *Klinikinės patologijos ir biosfera*
- Elektros tinklų ir naftotiekių gedimas
- Orai ir klimatologija
- Geomagnetinio aktyvumo lygis
- Pašvaistės
- Atmosferos ozono dinamika

**1.7 pav.** Kosminės spinduliuotės variacijų tyrimų rezultatų pritaikymas [1]

XX a. ketvirtojo dešimtmečio antrojoje pusėje Kazimieras Baršauskas pirmasis Lietuvoje pradėjo tirti kosminius spindulius, pasigamino pirmuosius mūsų šalyje Geigerio skaitiklius, kūrė kitus fizikinius prietaisus [12,13].

Beje, K. Baršauskas aptiko įdomų reiškinį. Eksperimento metu jis pastebėjo, kad patalpoje kosminių spindulių esama daugiau, negu ant pastato stogo. Pasirodo, kad didelės energijos dalelės, sąveikaudamos su lubų medžiaga, gali sukelti kitų dalelių liūtį. Šį lietuvio pastebėtą reiškinį – spindulius iš lubų – labai įvertino jo vadovas Berlyno Šarlotenburgo aukštosios technikos mokyklos prof. H. Geigeris. Buvo mąstoma šį atradimą netgi sieti su K. Baršausko vardu.

K. Baršauskas tyrimuose naudoja antisutapimo (*koincidencijų*) principą. Matavimams imami keletas Geigerio skaitiklių ir fiksuojami tik tie impulsai, kurie gaunami, kai spinduliai vienu momentu praeina per visus skaitiklius. Atskirų skaitiklių impulsai neregistruojami. Impulsų sutapimas gali vykti tik tada, kai dalelė praeina per visus skaitiklius.

VGTU fizikos katedroje profesorius D. Styra tyrė kietosios kosminės spinduliuotės srautą. 1985–1994 m. stebėjimo Vilniaus mieste duomenų analizės rezultatus pateikė [14–16] darbuose. Nustatė, kad KKSS intensyvumo reikšmėms 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 reikšmių metinės kaitos tendencija leidžia prognozuoti meteorologinių procesų eigą. Naudojant šį metodą, galima prognozuoti anomalius meteorologinius procesus, pavyzdžiui sausą vasarą arba šaltą žiemą. Taip pat naudojant KKSS duomenis bandyta prognozuoti katastrofinius Žemės drebėjimus [17 – 20].

Periodišką Saulės poveikį Žemės biosferai tyrė rusų mokslininkas A. L. Čiževskij (1897–1964 m.) [21]. Šio mokslininko darbuose glaudžiai siejamos biologija, fiziologija ir medicina, geofizika, meteorologija ir astronomija.

A. L. Čiževskij moksliškai įrodė, kad egzistuoja biosferos sąsaja su kosminiais veiksniais ir todėl gyvųjų organizmų negalima atsieti nuo Visatos.

Sugretindamas Saulės aktyvumo ciklų eigą ir duomenis apie pasaulyje užregistruotus įvairių ligų, tokių kaip choleros, maro, šiltinės, difterijos, dizenterijos, karštligės, gripo ir kt. protrūkius, epidemijas ir pandemijas, A. Čiževskij pastebėjo šių reiškinių ryšį. Jis pirmas panaudojo statistinį duomenų apdorojimo metodą, kuris vėliau buvo pavadintas „epochų superpozicijos metodu“.

A. Čiževskij kėlė tris konceptualius klausimus: ar tam tikromis epochomis suaktyvėja kai kurių mikroorganizmų veikla? Ar tomis pačiomis epochomis sumažėja žmonių atsparumas ligoms? Ar gali abu šie reiškiniai vykti vienu metu? Deja, ieškoti atsakymų į šios klausimus stalinistinėje epochoje buvo neįmanoma.

Pastaraisiais dešimtmečiais visame pasaulyje plačiai vykdomi Saulės aktyvumo ir geomagnetinio lauko įtakos žmogaus organizmui tyrimai. Ypač tuo domimasi Europoje [22, 23], Japonijoje [24], JAV [25], Rusijoje [26, 27] ir kt. Įrodyta, kad geomagnetinio lauko svyravimai priklauso nuo Saulėje vykstančių reiškinių. J. Ormeny, J. P. Roelot bei kiti Prancūzijos mokslininkai nagrinėjo, kaip Saulės aktyvumas veikia žemutinius atmosferos sluoksnius, kurie lemia orus ir klimatą, taip pat ir biologinius reiškinius [22, 23].

## 1.3. Saulės aktyvumo ir geomagnetinio lauko kaitos įtaka žmogui

Rusijos mokslininkas, medicinos mokslų daktaras profesorius J. Mizunas ir kiti teigia, kad Saulės energija yra pagrindinis fizinių ir cheminių reiškinių, vykstančių atmosferoje, hidrosferoje ir litosferoje, šaltinis. Atsižvelgiant į gaunamą Saulės energijos kiekį, skirtingai vyksta fiziologiniai procesai. Keičiasi cheminių reakcijų greitis, o tai reiškia ir fiziologinių reakcijų spartos pasikeitimą. Nuo fiziologinių reakcijų greičio priklauso medžiagų asimiliacija augaluose, gyvūnų organizmuose ir tuo labiau – žmogaus organizme [28].

Magnetiniai ir elektriniai laukai veikia kraują, nes į jo sudėtį įeina dalelės, turinčios elektros krūvį. Pagrindinis elektrocheminis kraujo parametras (pH) nustatomas pagal tai, kiek teigiamų elektros krūvių (juos perneša teigiami vandenilio $H^+$ jonai) tenka neigiamiems elektros krūviams (juos perneša neigiami hidroksilo $HO^-$ jonai).

Magnetinių audrų metu kraujo krešamumas padidėja. Suaktyvėja trombocitų susidarymo procesas. Dėl to padaugėja ligonių, sergančių širdies ir kraujagyslių ligomis. Infarktai, įvykstantys magnetinių audrų ir padidėjusio Saulės aktyvumo metu, pasižymi sunkesne eiga, komplikacijomis ir dažnesne letaline baigtimi. Dauguma miokardo infarktų išsivysto per pirmą ar antrą parą nuo magnetinės audros pradžios. Tada sumažėja tromboplastinis aktyvumas, padidėja antitrombocitų koncentracija. Nustatyta, kad didžiausias kraujo klampumas būna vykstant magnetinėms audroms. Kraujas atsistato per tris paras [28].

J. Mizuno atlikti daugkartiniai stebėjimai parodė, kad padidėjusio Saulės aktyvumo dienomis blogėja pacientų, sergančių hipertenzine liga, būklė (didėja sistolinis ir distolinis kraujo spaudimas).

Geomagnetinio lauko kaitos metu sergantiesiems ligoniams I ir II laipsnio hipertonija, kyla arterinis spaudimas, blogėja savijauta. Kai kurie ligoniai į tai reaguoja prieš parą iki prasidedant magnetiniai audrai, kiti ligoniai jaučia būklės pablogėjimą magnetinės audros pradžioje, viduryje ar net baigiantis magnetinei audrai. Magnetinės audros pradžioje apie 10 – 25 % didėjo sistolinis arterinis

spaudimas. Jis atsistatydavo tik po dviejų parų po magnetinės audros. Yra nuomonių, kad žmogaus organizmui pavojingiausias momentas yra magnetinės audros pradžia. Ligoniams, sergantiems hipertonija, magnetinės audros metu dažnėja hipertenzinės krizės, o sergantiems širdies ir kraujagyslių ligomis – didėja paūmėjimų (miokardo infarktų, insultų, hipertenzinės krizės) tikimybė, sunkėja ligos eiga [29].

Teigiama, kad magnetinių audrų metu ligoniams, sergantiems širdies ir kraujagyslių ligomis, taip pat padažnėja arterinio spaudimo padidėjimo atvejų, blogėja koronarinė kraujotaka [29]. Ypač jautrūs yra ligoniai, sergantys cerebrine ateroskleroze.

J. Mizunas pastebėjo, kad magnetinės audros metų sergančių stenokardija ligonių širdies ritmo sutrikimų būna 1,5 – 2,5 kartų dažniau.

Išanalizuoti ūmios koronarinės patologijos atvejai ir mirtingumas Maskvos (Rusija) centrinėje geležinkeliečių ligoninėje geomagnetinių audrų metu. Nustatyta, kad per geomagnetines audras miokardo infarktų padaugėjo 2,5 karto, ūmių cerebrinio insultų – 2 kartus, krūtinės anginos ir kardioaritmijos – 1,5 karto. Mirtingumas nuo šių ligų išaugo 1,2 karto [29].

Širdies ir kraujagyslių sistemos ligos tėra daugiausiai paplitusios (sudaro apie 30–50 % visų ligų) ir dažniausiai tampa mirties priežastimi. Saulės aktyvumo ir geomagnetinių veiksnių įtaka širdies ir kraujagyslių ligoms plačiai tiriama visame pasaulyje.

Ukrainos mokslininkė M. A. Nuzhdina ištyrė Saulės aktyvumo, geomagmetinio lauko ir meteorologinių veiksnių (oro temperatūros, drėgmės, slėgio) įtaką širdies ir kraujagyslių ligų plitimui Kijevo mieste (Ukraina). Ji pastebėjo, kad 1980–1990 m. ŠKL kiekio didėjimas sutapo su Saulės 11 metų aktyvumo mažėjimo faze [30].

Italijos ir Rusijos mokslininkų grupė (G. Villoresi ir kiti) taip pat tyrė geomagnetinio aktyvumo ir miokardo infarktų ryšį keturiolikoje didžiausių Sankt Peterburgo (Rusija) ligoninių 1989–1990 m. Duomenis jie paskelbė [31] darbe. Statistiniai miokardo infarktų ir mirčių nuo miokardo infarkto skaičių duomenys sugretinti su geomagnetinio aktyvumo stebėjimų duomenimis. Atliktos statistinės analizės rezultatai parodė, kad geomagnetinių audrų metu miokardo infarktų skaičius

padidėjo apie 10,5 %. Tačiau aiškaus koreliacinio mirtingumo nuo miokardo infarktų kiekio ir geomagnetinių parametrų ryšio nerasta. Be to, pastebėta, kad darbo dienomis miokardo infarktų kiekis beveik nekinta. Tačiau staiga mažėja išeiginėmis (šeštadienį, sekmadienį) ir švenčių dienomis. Iškelta hipotezė, kad tomis dienomis sumažėja antropogeninės kilmės magnetiniai laukai. Darbo dienomis, autorių nuomone, dėl intensyvesnio elektrifikuoto transporto atsiranda papildomi magnetiniai laukai. Analizuojant mirtingumą nuo miokardo infarkto, savaitės dienų įtakos veiksnio nepastebėta.

Švedijos mokslininkai, tirdami šiaurės pašvaistes šalies poliarinėje zonoje, ieškojo koreliacinio ryšio tarp poliarinių pašvaisčių intensyvumo (padidėjusio geomagnetinio aktyvumo) ir ūmių miokardo infarktų kiekio. Tyrimuose panaudoti 1985–1998 metų duomenys. Palyginant geomagnetinio aktyvumo duomenis ir miokardo infarktų kiekį, statistinio ryšio tarp šių parametrų jie nenustatė [32].

V. P. Kuleshova ir grupė kitų Rusijos mokslininkų [33] tyrė magnetinių audrų ryšį su ligonių kiekiu kaita visumoje. Jie nustatė, kad 1983–1984 metais magnetinių audrų metu, lyginant su ramiu geomagnetiniu periodu, dvigubai padaugėjo ligonių, hospitalizuotų dėl psichinių ir širdies kraujagyslių ligų. Be to, pastebėta, kad 1992–1996 metais per magnetines audras padaugėjo miokardų infarktų 2,1 kartų, krūtinės anginos – 1,6 kartų, širdies ritmo sutrinkimų – 1,6 kartų, smegenų kraujotakos sutrikimų – 1,5 kartų.

Autoavarijų kiekio Lenkijoje 1990–1999 metais ir geomagnetinio lauko, Saulės aktyvumo, tarpplanetinio magnetinio lauko sektorinės struktūros pokyčių, bei kosminių spindulių intensyvumo ryšį tyrė Lenkijos mokslininkai M. V. Alania, A. Gilas, R. Wieliczukas. [34]. Šie mokslininkai aptikto minėtų reiškinių koreliacinius ryšius. Jie panaudojo įvairius statistinio duomenų apdorojimo metodus. Tačiau šiuos sąryšius negalima apibūdinti vienareikšmiškai. Per tiriamąjį 1990–1999 metų laikotarpį jie kito. Pastebėta, kad autoįvykių visada padaugėdavo penktadieniais. Nuo Saulės aktyvumo ir geofizinių reiškinių autoavarijų kiekis beveik nepriklauso.

Itin daug dėmesio skiriama tyrimams, norint apibrėžti meteorologinių veiksnių įtaką žmonėms, sergantiems širdies ir kraujagyslių ligomis [35-41]. Daugiau

kaip 50 % pacientų, sergančių širdies ir kraujagyslių sistemos ligomis, reaguoja į orų kaitą. Kiti ligoniai, pavyzdžiui, sergantys plaučių tuberkulioze ir kai kuriomis vėžio formomis, orų pokyčiams nėra jautrūs. Orai turi įtakos ne tik ligai bei jos eigai, bet ir gydymo sėkmei. Pastebimas skirtingas fizioterapinis ir balneologinių gydymų efektas, keičiantis orams. D. Assamanas pabrėžia, kad meteorologiniai veiksniai daro įtaką biocheminių ir klinikinių tyrimų rezultatų svyravimam [38]. Gydomojoje praktikoje būtina atsižvelgti į minėtus veiksnius. Tai padeda nustatyti daugelį iš pirmo žvilgsnio nepaaiškinamų dalykų nagrinėjant ligų eigą, teisingai įvertinant gautus rezultatus, išvengti klaidingų interpretacijų ir diagnozių [26].

Nustatyta, kad meteorologinių veiksnių atžvilgiu žmonėms, sergantiems širdies ir kraujagyslių ligomis, yra palankios anticiklono meteosąlygos. Artėjant ciklonui, miokardo infarkto skaičius didėja 1/3. Dar blogesnės sąlygos susidaro, kai anticikloną pakeičia ciklonas. Šio reiškinio metu galvos smegenis ir organizmo koloidines sistemas veikia nereguliarūs elektromagnetiniai impulsai – atmosferikai. Jie labiausiai pasireiškia ciklono pradžioje arba prieš parą iki ciklono, dažnai sutampa su geomagnetinio lauko svyravimais. Staigūs oro sąlygų pokyčiai, vykstantys trečią-ketvirtą dieną nuo ciklono pradžios, neigiamai veikia vegetatyvinę nervų sistemą. Dėl to didėja kraujo krešamumas. Tas lemia miokardo infarktų skaičiaus padidėjimą [22, 28, 29].

Nors šiais „Saulė – oras“ ir „Saulė – biosfera“ tyrimais būdavo nustatomi geri koreliaciniai ryšiai tarp Žemėje ir Saulėje vykstančių reiškinių, tačiau tokias koreliacijas kartais būdavo sunku paaiškinti. Šie ryšiai netgi buvo laikomi atsitiktiniais. Dėl to atsirasdavo teorinių aiškinimų, apskritai neigiančių šiuos ryšius [42 – 44].

Gera koreliacija nustatyta tiriant Saulės aktyvumo ir kraujo savybes. Širdies ir kraujagyslių sistemos ligų priklausomybės nuo Saulės aktyvumo vien tik pagal kraujo savybių kitimą, visiškai paaiškinti negalima [42].

Padidėjąs Saulės aktyvumas sustiprina ciklonų bei anticiklonų judėjimą, todėl taip pat kinta orų bazinis režimas [45, 46]. Tiriant atmosferos dinamines charakteristikas, nustatyta, kad kitą dieną po stiprių geomagnetinių sužadinimų kinta

atmosferos slėgis. Kadangi orai priklauso nuo Saulės aktyvumo, tai meteorologinės sąlygos gali būti kaip Saulės ir biosferos tarpininkas [47 – 50]. Pirmoji problema yra ištirta geriau, o tai antrajai „egzistavimo teorijai“ įrodymas tebėra aktualus. Norint nustatyti, kaip labai žemų elektromagnetinių dažnių laukai veikia žmogaus organizmą, reikia atlikti specialius eksperimentinius tyrimus. Šiame diapazone yra daugelis svarbių žmogaus bioritmų: smegenų biopotencialo ~10 Hz alfa ritmas, 4–7 Hz teta ritmas, ~1 Hz pulsas, kraujospūdžio svyravimai (~0,1 Hz) ir t. t. Gali būti, kad elektromagnetinių laukų poveikis į organizmą atsiranda sutrikus „biologiniam laikrodžiui“. Žinoma, kad elektromagnetiniai laukai visais organizmo lygiais atlieka pagrindinės reguliacijos funkcijas. Jeigu ši koncepcija teisinga, tai netgi silpnų elektromagnetinių laukų poveikis į organizmą neišvengimai turi pasireikšti. Yra prielaidų manyti, kad elektromagnetiniai laukai daro įtaką žmogaus meteotropinių reakcijų pasireiškimui [29, 51, 52].

Izraelio mokslininko E. Stoupelo vadovaujama grupė tyrė geomagnetinio lauko pokyčių bei pirminių kosminių protonų fluktuacijas poveikį. [53–59] darbuose geomagnetinio lauko poveikis vertinamas pagal pirminių kosminių protonų srautą. Šie mokslininkai naudojo Nacionalinio geofizinių duomenų centro (JAV) ir Rusijos mokslo akademijos instituto IZMIRAN pirminių protonų stebėjimų duomenis. Protonų srautas pagal energijas skirstomas į tris dalis: protonai, kurių energija yra daugiau nei 60 MeV, nuo 60 MeV iki 90 MeV bei daugiau nei 90 MeV. Minėtuose darbuose bandoma mirčių, kurių priežastis buvo širdies ir kraujagyslių ligos, kiekio padidėjimo indikatoriumi naudoti didesnės nei 60 MeV energijos kosminių protonų variacijas. Tyrimams naudoti dviejų šalių Lietuvos ir Izraelio medicininės statistikos duomenys: širdies ir kraujagyslių ligų kiekis bei mirtingumas nuo šių ligų. Tyrimams buvo parinktas 1986–1988 metų laikotarpis. Kosminių protonų kiekio variacijos koreliuoja su geomagnetiniais parametrais (Ap, Am, Dst), bet nepavyko rasti koreliacinio sąryšio tarp didesnės nei 60 MeV energijos protonų kiekio pokyčiais ir Saulės aktyvumo parametrais bei dėmių kiekiu. Nepastebėta aiškaus koreliacinio mirčių kiekio nuo širdies bei kraujagyslių ligų ir didesnės nei 60 MeV energijos protonų fluktuacijos ryšio. Nepavyko nustatyti koreliacinio ryšio tarp mirčių kiekio nuo širdies bei kraujagyslių ligų ir protonų, kurių energija 60–90 MeV. Tačiau

aptiktas geras koreliacinis sąryšis tarp mirčių kiekio nuo širdies bei kraujagyslių ligų ir protonų, kurių energija didesnę nei 90 MeV fluktuacijų. Taigi mirčių kiekiui nuo ŠKL prognozuoti geriausiai tinka šio pirminio, tokio energinio diapazono, protonų srauto fluktuacijos. Protonai, kurių energija nuo 60 MeV iki 90 MeV, ieškant minėto koreliacinio sąryšio daugiau klaidina.

E. Stoupelo [60] darbe buvo nagrinėjamas pirminių kosminių spindulių intensyvumo, Saulės ir geomagnetinio aktyvumo ir mirčių kiekio vien tiktai didžiosiose Lietuvos ir Izraelio klinikose ryšys. Izraelyje išnagrinėti 30 526 mirčių atvejai, dvi grupės įvykdytų savižudybių (2 359 ir 2 763 atvejai) ir 15 435 atvejai pasikėsinimu nusižudyti per du periodus: 108 ir 236 mėnesius. Lietuvoje išanalizuoti 424 925 mirčių atvejai per 120 mėnesių. Buvo mėginta gretinti duomenis apie pirminių protonų trijuose diapazonuose (daugiau nei 60 MeV, tarp 60 ir 90 MeV, daugiau nei 90 MeV) fluktuacijas, Saulės aktyvumą, geomagnetinio lauko pokyčius, jonosferos jonizacijos bei radiobangų sklidimą bei kosminių spindulių intensyvumą. Panaudoti *Apatity neutron monitor* (Rusija) duomenys. Apskaičiuoti Pirsono koreliacijos koeficientai ir jų statistiniai patikimumai. Sugretinti pirminių kosminių spindulių intensyvumo duomenys ir atskirai vyrų ir moterų mirčių kiekiai per mėnesį. Pastebėta reikšminga neigiama koreliacija tarp kosminių spindulių intensyvumo ir Saulės aktyvumo bei geomagnetinio lauko stiprio kitimų [60].

[61] darbe atlikta staigių kardiologinių mirčių (SKM), kurios įvyko per skirtingo geomagnetinio aktyvumo lygio paras, lyginamoji analizė. Panaudoti Kauno medicinos archyvo duomenys apie 1 327 staigių kardiologinių mirčių atvejus per 1994–1998 metus. Nagrinėti SKM kiekiai skirtingose ligonių grupėse: vyrų ir moterų, pacientų, jaunesnių nei 65 metai, ir 65–84 metų amžiaus ligonių. Be to, atskirai buvo tirtos dvi ligonių grupės, išskirtos pagal agonijos laiko trukmę. Pirmąją sudarė ligoniai, kurių agonijos laikas truko iki 1 val., antrąją – nuo 1 val. iki 24 val. Pastebėti dideli skirtumai tarp mirčių skirtinguose ligonių grupėse kiekio ir paros geomagnetinio aktyvumo lygio. Jaunesnių nei 65 vyrų ir 65–84 metų amžiaus moterų, mirusių per 1 val. žemo geomagnetinio aktyvumo paromis grupėse, užregistruota daugiau. Taip pat žemo geomagnetinio aktyvumo paromis įvyksta daugiau 65–84 metų amžiaus moterų mirčių. Jų agonijos laikas nuo 1 iki 24 val. Visose kitose

žmonių grupėse daugiau mirčių įvyksta padidėjusio geomagnetinio aktyvumo paromis. Šie rezultatai atspindi skirtingus geomagnetinio aktyvumo ir pagrindinio patogeninio veiksnio, skatinančio staigią kardiologinį mirtį, ryšius. Šis fenomenas iki galo dar neišaiškintas. Be to, E. Stoupelas nagrinėja ir mokslininkų grupė pradėjo nagrinėti geomagnetinių veiksnių poveikį ir kitom ligom [62].

E. Stoupelas [63] darbe siūlo skirstyti geomagnetinio lauko aktyvumą į 1.4 lentelėje nurodytas kategorijas.

**1.4 lentelė.** Geomagnetinio lauko aktyvumo kategorijos [63]

| Kategorija | Indekso A lygis* | Indekso K reikšmės** | Amplitudė, nT |
|---|---|---|---|
| Ramus | 0<A<8 | Dažniausiai > 2 | 0–20 |
| Nenusistovėjęs | 8<A<16 | Dažniausiai > 3 | 21–40 |
| Aktyvus | 16<A<30 | Apie > 4 | 41–70 |
| Silpnas štormas | 30<A<50 | Dažniausiai 4 ir 5 | 71–120 |
| Stiprus štormas | 50<A<100 | Daugiau 6 | 121–200 |
| Labai stiprus štormas | 100<A | Daugiau 7 | 201–550 |

*Indeksas A nusako radijo bangų sugertį jonosferoje ir išreiškiamas balais.

**Indeksas K nusako geomagnetinio lauko parametrus ir apibūdina jo variacijas, išreikštas balais.

E. Stoupelas ir kiti mokslininkai aptiko neigiamą koreliaciją tarp geomagnetinio aktyvumo ir mirčių kiekio nuo neinfarktinių širdies bei kraujagyslių grupės ligų. Be to, jie nustatė, kad yra patikima koreliacija tarp staigių mirčių kiekio ir geomagnetinio aktyvumo lygio. Žemo geomagnetinio aktyvumo paromis dažnai pastebimi širdies ritmo sutrikimai [64].

Teigiama, kad 60–90 MeV protonų šaltinis nėra susietas su kosmofiziniais procesais. Žemos energijos protonai generuojami per silpnus „protoninius įvykius“, o jų ryšys su kosminiais spinduliais ir Saulės aktyvumu yra silpnas. Aukštųjų energijų

protonų srautas stipriai susietas su Saulės aktyvumu ir fiziniais jonosferos parametrais, kurie veikia biologinius procesus Žemėje [64].

### 1.4. Kosminių spindulių stebėjimo įranga

Gama spinduliuotės matavimams naudojami trijų tipų jutikliai – dujiniai, scintiliaciniai ir puslaidininkiniai. *Dujiniai* jutikliai dėl mažo registracijos efektyvumo ir nedidelės skiriamosios gebos šiandien naudojami retai. *Scintiliacinių jutiklių* naudojimą gama spektrometrijai nulemia jų aukštesnė skiriamoji geba, kuri tėra nuo kelių iki keliolikos procentų, ir scintiliatoriaus tūris. Būtent scintiliaciniai jutikliai naudojami mažo gama aktyvumo šaltiniams tirti [65, 66].

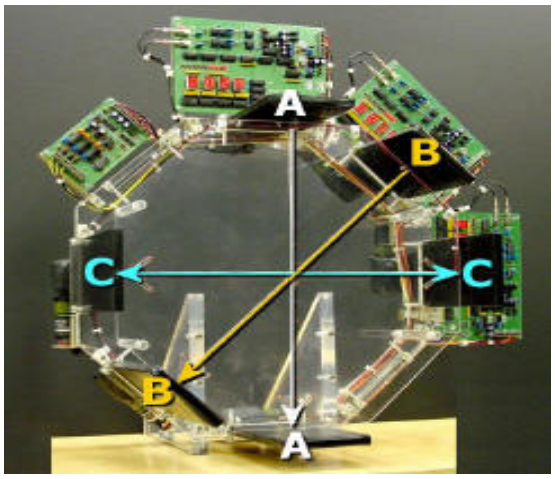
Scintiliaciniame jutiklyje išnaudojama tam tikrų medžiagų savybė formuoti trumpą šviesos blyksnį, kai gama kvantas arba kita aukštos energijos dalelė pataiko į kristalo gardelės mazgą. Tokius šviesos blyksnius galima pastebėti net plika akimi. Į tą švytėjimą atitinkamai reaguoja fotoelektrinis daugintuvas. Blyksnių kiekis ir jų intensyvumas, transformuoti į elektrinius impulsus, pasirinktais laiko intervalais išskirstomi pagal energijas į *atskirus kanalus* ir suskaičiuojami. [15, 67]. Elektriniai impulsai, susumuoti pasirinktais laiko intervalais kiekviename kanale ir sugrupuoti į energinio spektro *diapazonus*, kompiuterinėje įrangoje automatiškai pateikiami skaitmeniniu ir pageidaujamu grafiniu pavidalu.

Didžiausia skiriamąja geba pasižymi puslaidininkiniai jutikliai. Puslaidininkinį gama spindulių jutiklį sudaro puslaidininkinis *p-i-n* diodas su didelio tūrio nuskurdinta krūvininkais sritimi. Veikimo principas pagrįstas svarbia puslaidininkinių medžiagų savybe – blokuojančių kontaktinių kliuvinių atsiradimu, kai dėl tokio sąlyčio laisvi krūvininkai negali patekti į jautriąją jutiklio sritį, teigiamas elektrodas negali injektuoti į puslaidininkius skylių, o neigiamas – elektronų. Difuzijos arba jonų implantacijos būdu įterptos legiruojančios priemaišos sukurta *n* ir *p* laidumo sritis. Prie jutiklio *p* sritis prijungus įtampos šaltinio neigiamą gnybtą, o prie *n* srities per varžą – teigiamą, dėl srovės šuolio varžoje registruojamas įtampos šuolis, kai, gama kvantui sustojus *p-n* sandūroje, susidariusios elektrono-skylės

krūvininkų poros akimirkai trumpina jutiklį. Įtampos šuolio dydis yra proporcingas gama kvanto energijai. Pagrindiniai puslaidininkinių jutiklių trūkumai – ilgas matavimo laikas, maža gaunamo signalo srovė, palyginti trumpas tarnavimo laikas, Be to, jie negali dirbti aukštos temperatūros sąlygomis. Dėl to KKSS matavimams naudoti puslaidininkinius jutiklius yra sudėtinga.

Kietosios kosminės spinduliuotės srauto spektro tyrimams naudojamas γ-spektrometrinis įrenginys su scintiliaciniu NaI(Tl) jutikliu. Tai yra įrenginys, paverčiantis sugertą gama kvantą į *elektros srovės impulsą*. Jo stipris yra priklauso nuo gama kvanto energijos.

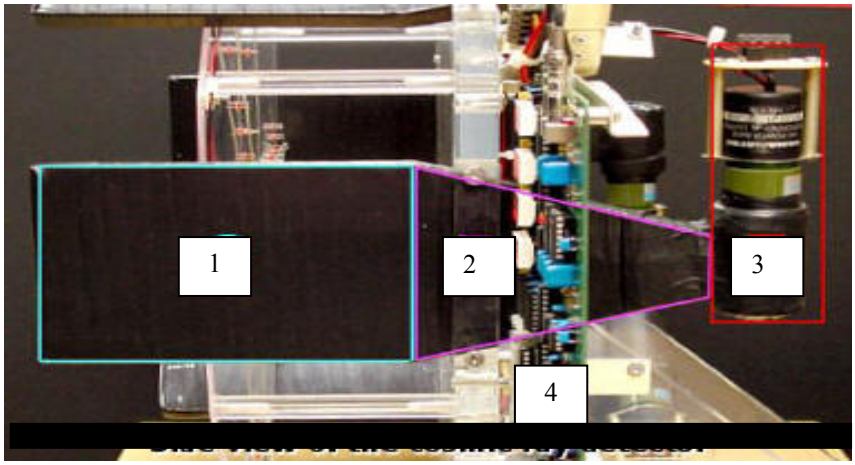
Stamfordo universiteto mokslininkai (JAV) kosminių miuonų srauto stebėjimams ties Žemės paviršiumi naudoja matavimo įrangą su scintiliaciniu jutikliu [65]. Šį jutiklį (1.8 pav.) sudaro trys scintiliacinių panelių poros, kurių plokštumos atitinkamai orientuotos horizontaliai, $45^0$ kampu ir vertikaliai.




**1.8 pav.** Scintiliacinis jutiklis, čia A, B ir C pažymėtos scintiliacinių panelių poros [65]

Paneliai yra 12,4 cm pločio ir 20,3 cm ilgio. Atstumas tarp panelių kiekvienoje paroje 47 cm. Kiekvienas panelis apgaubtas aliuminio folija ir juodos spalvos plastine medžiaga.

Miuonų srauto matuoklis pavaizduotas 1.9 pav.




**1.9 pav.** Miuonų srauto stebėjimų įranga [65]:

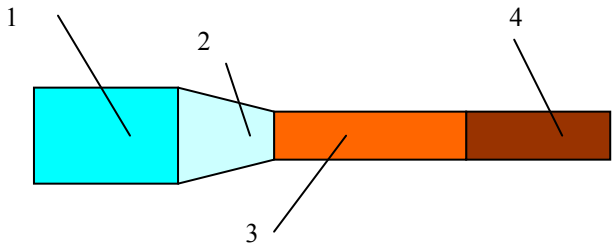
1 – scintiliacinių panelių pora; 2 – šviesolaidis; 3 – fotodaugintuvas, 4 – skaitmeninis signalų apdorojimo įrenginys

Miuonai sklisdami per scintiliacines paneles (1), sukuria šviesos blyksnius. Toliau šviesos signalas sklinda per šviesolaidį (2) ir fotodaugintuvą (3).

Fotodaugintuvas (3) sustiprina signalą ir siunčia jį į skaitmeninį signalų apdorojimo įrenginį (4). Jame registruojamas vienas impulsas, kai tuo pačiu metu gaunamas signalas iš abiejų scintiliacinių panelių. Be to, šis blokas išveda informaciją apie miuonų kiekį.

Šioje įrangoje naudojamas signalų antisutapimo principas. Dėl to eliminuojamas jonizuojančiosios spinduliuotės ties Žemės paviršimi triukšmas. Ši įranga fiksuoja kampinį miuonų pasiskirstymą prie Žemės paviršiaus. Bet ji nėra pritaikyta kosminių miuonų energinio spektro matavimams.

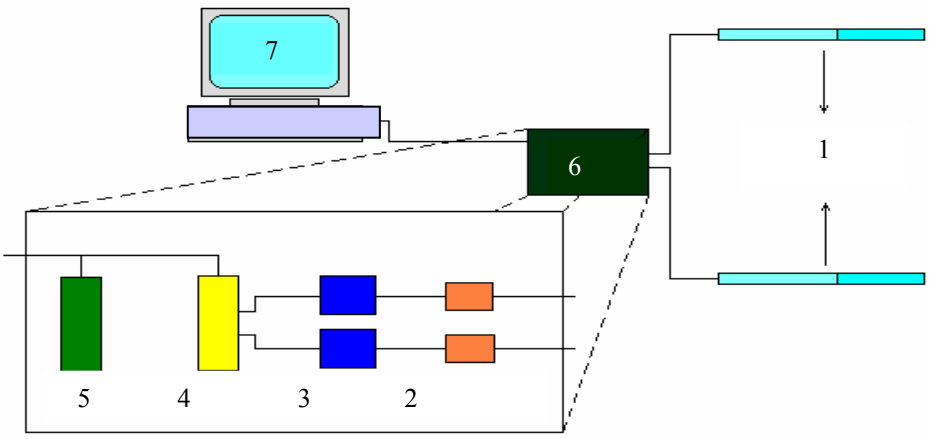
Floridos universiteto mokslininkai (JAV) miuonų stebėjimus vykdo taip pat naudodami scintiliacinius jutiklius [66]. Tokio jutiklio blokinė schema pavaizduota 1.10 pav.




**1.10 pav.** Scintiliacinio jutiklio schema [66]:

1 – scintiliuojanti medžiaga; 2 – šviesolaidis, 3 – fotodaugintuvas, 4 – maitinimo įrenginys

Miuonų srauto stebėjimų įrangos blokinė schema pateikta 1.11 pav.




**1.11 pav.** Blokinė miuonų srauto matuoklio schema:

1 – scintiliacinis jutiklis; 2 – impulsų stiprintuvas; 3 – impulsų diskriminatorius; 4 – antisutapimų įrenginys; 5 – skaitliukas, 6 – skaitmeninis impulsų skaičiavimo blokas; 7 – kompiuteris

Miuonas sukelia šviesos blyksnius scintiliaciniose panelėse ir verčiamas elektriniu signalu scintiliaciniame jutiklyje. Šis signalas patenka į impulsų stiprintuvą

(2) ir apdorojamas impulsų diskriminatoriuje (3). Antisutapimų įrenginys (4) fiksuoja, ar tuo pačiu metu signalas atėjo iš abejų scintiliacinių panelių. Jei laiko skirtumas tarp signalų iš abejų panelių mažesnis nei 160 ns, impulsų skaitiklis (5) suskaičiuoja vieną impulsą. Duomenys įrašomi į kompiuterio (7) atmintį ir toliau apdorojami. Impulsų stiprintuvas (2), impulsas 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. Kai duomenys įrašomi į kompiuterio atmintį lengviau apdoroti monitoringo rezultatus. Šiuo įrenginiu negalima stebėti miuonų srauto energinio spektro.

### 1.5. IŠVADOS

1. Geomagnetiniai lauko pokyčiai veikia pirminių kosminių protonų srautą.

2. E. Stoupelas aptiko pirminių kosminių protonų, kurių energija viršija 90 MeV, spindulių intensyvumo ir žmogaus organizmo būklės ryšį. Nustatyta, kad pagal šių protonų srauto variacijas galima vertinti geomagnetinių veiksnių poveikį žmogaus organizmui.

3. Pirminių kosminių protonų stebėjimai yra labai sudėtingas ir brangus dalykas. Pasaulyje šie stebėjimai vykdomi tik keliolikos stebėjimų stotyse. Be to, šių kosminių dalelių kiekio variacijos negali apibūdinti geomagnetinio lauko pokyčių viename konkrečiame taške. Tai labai sunkina poveikio į žmogaus organizmą prognozę. Dėl šių priežasčių KKSS stebėjimai prie Žemės paviršiaus yra tinkamesnis būdas prognozuoti kai kurias ligas, tarp jų – ir širdies bei kraujagyslių ligas.

4. Miuonams stebėti dėl savo techninių parametrų ir paprastų eksploatacijos sąlygų naudojami scintiliaciniai jutikliai.

# 2. KIETOSIOS KOSMINĖS SPINDULIUOTĖS SRAUTO SPEKTRO TYRIMO METODIKA

## 2.1. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto matavimo metodas

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

Siekiant atskirti kietąją kosminę komponentę, tirta gama kvantų sugertis švine. Tam tikslui buvo atliekami bandymai su radioaktyviu torio $^{232}$Th izotopu, kuris skleidžia gama spindulius. Analizuojant torio $^{232}$Th išspinduliuotų gama kvantų sugerties švine savybes, pavyko nuslopinti žemųjų energijų gama kvantus bei atskirti miuoninę komponentę.

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

Pagal spinduliuotės registravimo būdą aktyvumo matavimo metodai skirstomi į jonizacinius, impulsinius ir radiografinius. Jonizaciniais metodais matuojamas bendras spinduliuotės aktyvumas. Impulsiniais metodais gali būti skaičiuojamos alfa ir beta dalelės bei gama kvantai. Radiografiniai metodai taikomi alfa dalelių veikmei fotografuoti.

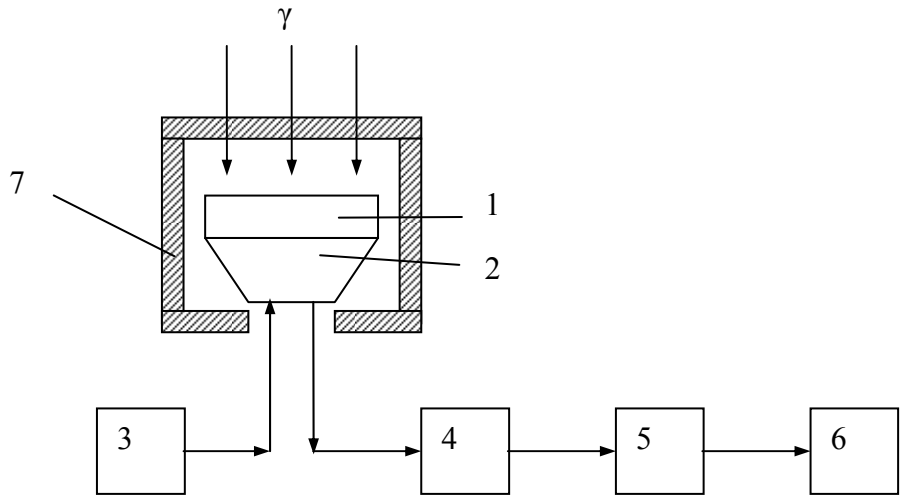
## 2.2. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto matavimo įranga

KKSS intensyvumo matavimams naudotas gama spektrometras veikia scintiliacinio-fotoelektrinio dozimetrinio skaitiklio principu. Pagrindiniai gama spektrometro elementai yra jutiklis ir fotoelektrinis daugintuvas, kurie sumontuoti specialiame plieniniame su keliais švino sluoksniais, korpuse, vadinamajame

„namelyje“. Jautrų matavimo įrangos elementą sudaro scintiliacinis 70 mm skersmens ir aukščio NaI(Tl) kristalo jutiklis bei fotoelektrinis daugintuvas.

Fotoelektrinis daugintuvas (taip pat 70 mm skersmens) sumontuotas tiesiogiai prie jutiklio taip, kad jo „matymo“ kampas apimtų visą jutiklio galinio paviršiaus plotą, t. y. fiksuotų maksimalų impulsų kiekį [1 A, 3A, 6 A].

Blokinė matavimo įrangos schema parodyta 2.1 pav.



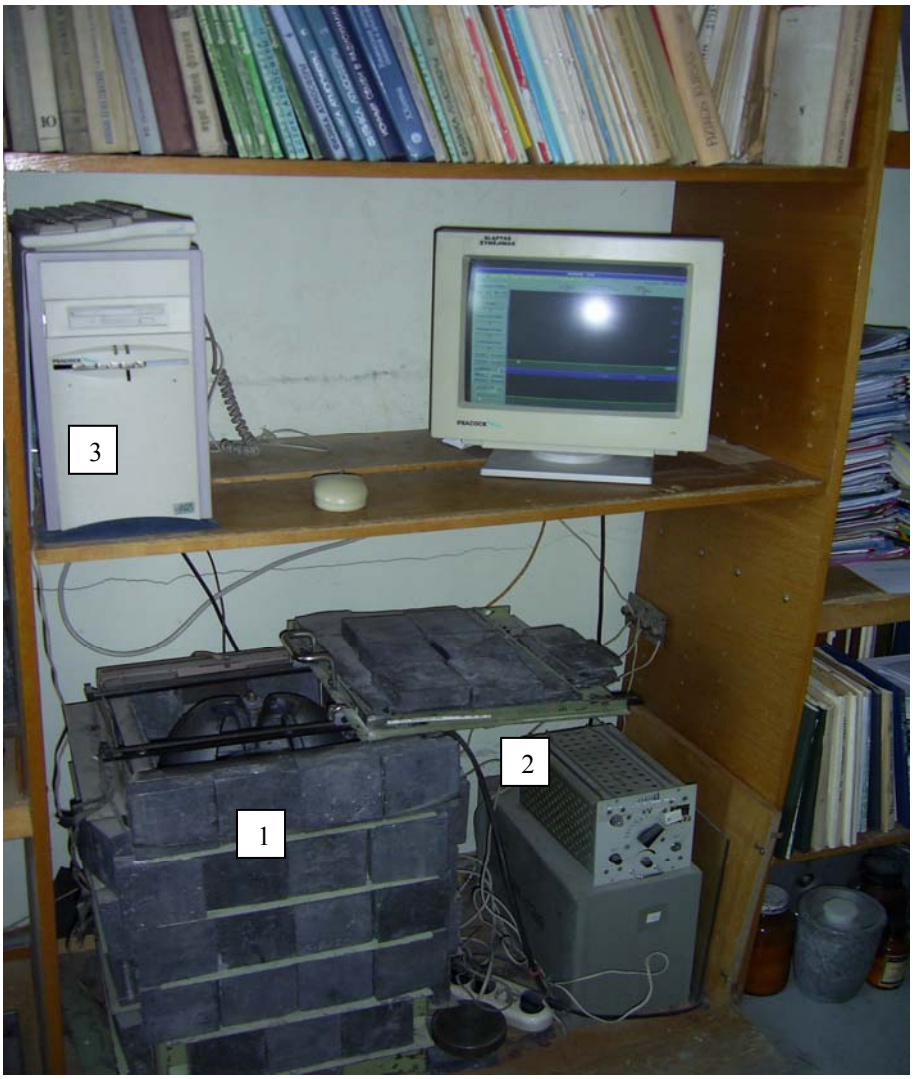

**2.1 pav.** Blokinė KKSS matuoklio schema:
1 – NaI(Tl) scintiliacinis jutiklis; 2 – fotoelektrinis daugintuvas; 3 – aukštos įtampos šaltinis; 4 – linijinis stiprintuvas; 5 – impulsų analizatorius; 6 – kompiuteris; 7 – apsauginiai švino sluoksniai

Kosminės dalelės, prasiskverbusios per apsauginį švino sluoksnį, patenka į scintiliacinį NaI(Tl) kristalą (1). Kristale jos sukelia trumpus šviesos mikroblyksnius, 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, kurių intensyvumas taip pat priklauso nuo krintančių dalelių energijos.

NaI(Tl) kristalas (1) ir fotoelektrinis daugintuvas (2) sudaro vientisą įrenginį – scintiliacinį bloką. Į fotoelektrinį daugintuvą iš aukštos įtampos šaltinio bloko (3) tiekiama 1,2 kV maitinimo įtampa.

Toliau signalas patenka į linijinį stiprintuvą (4), iš kurio, sustiprintas iki reikiamo lygio, signalas patenka į impulsų analizatorių (5). Jame išskiriami impulsai, turintys informaciją apie visų matuotų tam tikros energijos dalelių kiekį, per nustatytą matavimo laiką. Impulsų keitiklis – stiprintuvas (4) ir impulsų analizatorius (5) sumontuoti vienoje integrinėje plokštėje kompiuteryje (6).

KKSS stebėjimo įranga parodyta 2.2 pav.



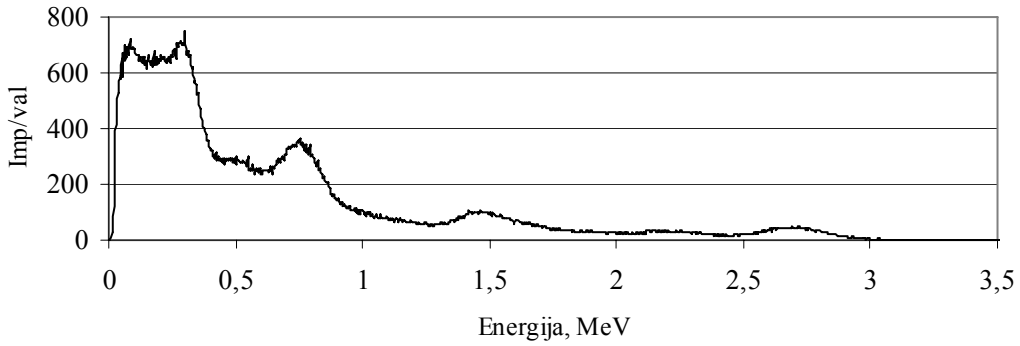

**2.2 pav.** KKSS matuoklis: 1 – apsauginis švino sluoksnis; 2 – aukštos įtampos šaltinis; 3 – kompiuteris

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

Atliekant KKSS matavimus pasirinkti 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 1 % [15, 67]. Vienu metu buvo dirbama su dviem prietaisais. Vienas matavo nuolat, kitas veikė nustatytais laiko intervalais. Buvo pasirinktos paros be atmosferos slėgio pokyčių.

### 2.3. Matavimo įrangos kalibravimas

Prieš pradedant matuoti gama spektrometru, būtina jį kalibruoti. Kalibruojant prietaiso kanalams priskiriama konkreti energijos reikšmė. Matavimo įrangai kalibruoti naudotas torio $^{232}$Th etaloninis gama spinduliuotės šaltinis. Radioaktyvaus torio spektras kompiuterio ekrane pavaizduotas 2.3 pav.




**2.3 pav.** Radioaktyvaus torio $^{232}$Th spektrograma

Šiame spektre matyti 0,73, 2,62 MeV smailės, kurios būdingos toriui $^{232}$Th. Dėl Komptono sklaidos scintiliaciniame jutiklyje gama-kvantai įgyja skirtingas energijas ir įvairias judėjimo kryptis. Scintiliatoriuje gama kvantai sklinda $90^0$–$180^0$ kampais. Smailė ties 0,2 MeV energijos susidaro dėl $180^0$ sklaidos kampo. 1,6 MeV ir 2,11 MeV energijos smailės susidaro dėl vieno ar dviejų anihiliacinių kvantų

nuotėkio, atsirandant 2,62 MeV energijos gama kvantų porai. Vieno iš anihiliuotų gama kvantų sugertis sukelia smailę, kurio energija $E_{\gamma 1} = E_{2,61} - 0,51$ MeV = 2,11 MeV. Kita smailė yra sudaryta iš dviejų anihiliacinių gama kvantų. Jų energijos vienodos ir lygios $E_{\gamma 2} = E_{2,61} - 1,02$ MeV = 1,6 MeV.

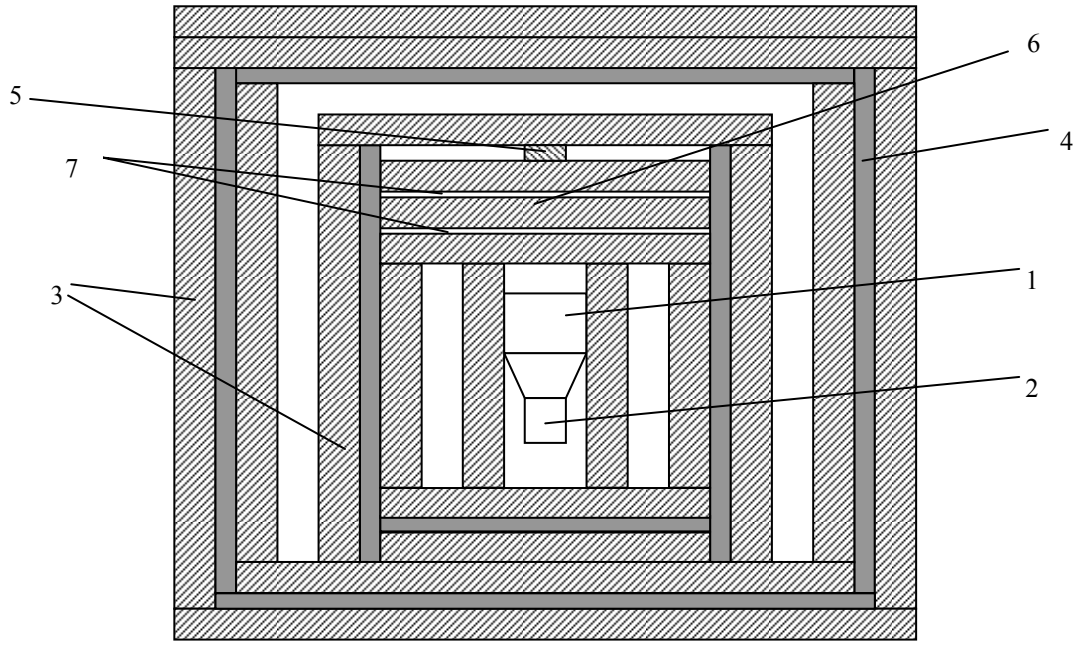
Gama spektrometrai kalibruojami pagal energiją ir efektyvumą 2 kartus per metus naudojant žinomų aktyvumų torio $^{232}$Th ir skystus cezio $^{137}$Cs etalonus.

## 2.4. Matavimo įrangos pritaikymo kietosios kosminės spinduliuotės srauto tyrimams konstrukciniai ir technologiniai sprendimai

### 2.4.1. Jutiklio apsaugos švino ekrano konstrukcija

KKSS matavimus sunkina aplinkoje esančių radionuklidų spinduliuotė. Be to, yra žinoma, kad gama kvantai ir miuonai, praeidami per šviną, gali veikti branduolinių liūčių efektą. Dėl šio reiškinio į prietaiso jutiklį pateks ne tiek kosminės kilmės dalelės, kiek pasireiškia branduolinių liūčių efektas [68]. Todėl siūloma patobulinta KKSS matavimo įrangos švino ekranų konstrukcija.

Scintiliacinis blokas (NaI(Tl) kristalas (1) ir fotoelektrinis keitiklis (2) apgaubti daugiasluoksne švino apsauga (7), t. y. sudėti į švininį „namelį“. Jo konstrukcija pavaizduota 2.4 pav.

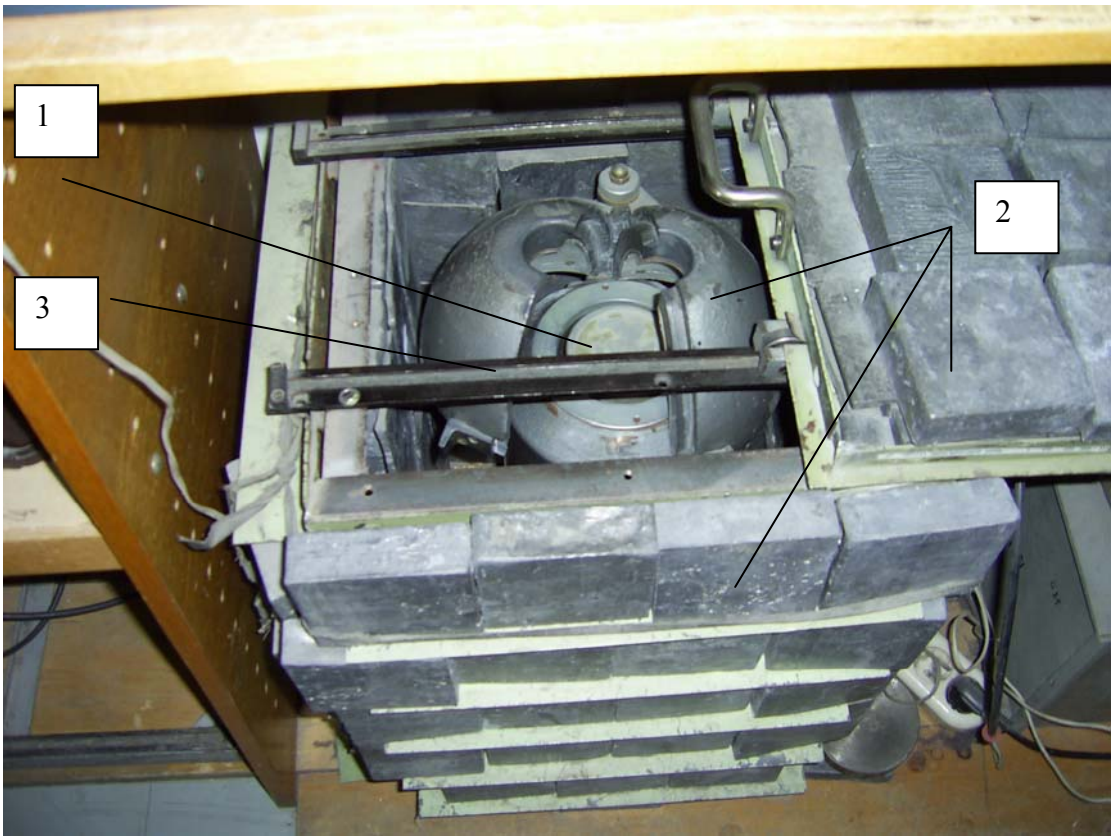



**2.4 pav.** „Namelio“ konstrukcija:

1 – scintiliacinis NaI(Tl) kristalas; 2 – fotoelektrinis daugintuvas; 3 – švino ekranai; 4 – laikančiosios konstrukcijos; 5 – radioaktyvusis etalonas; 6 – keičiamieji švino apsaugos sluoksniai; 7 – oro tarpai

„Namelio“ viduje ir išorėje sumontuotų daugiasluoksnių švino ekranų (6) bendrą storis keičiamas išimant arba įdedant papildomas švino plokštes. Be to, atskirus švino sluoksnius skiria plieniniai lakštai ir oro tarpai (2.4 pav.). Ant šių plokščių buvo dedamas torio $^{232}$Th etalonas (5). Taip pat matuota gamtinė jonizuojančioji spinduliuotė nenaudojant radioaktyvaus etalono. Prietaisas fiksuoja gama kvantų ir miuonų kiekį po Komptono sklaidos švino sluoksnyje ir prietaiso jutiklyje [1 A, 3 A, 6 A].

KKSS stebėjimo įrangos scintiliacinis jutiklis su švino apsaugos sluoksniais parodytas 2.5 pav.




**2.5 pav.** Scintiliacinis jutiklis su švino apsaugos sluoksniais: 1 – scintiliacinis jutiklis; 2 – švino sluoksniai; 3 – laikančiosios konstrukcijos

Įvertinant tai, kad švino sluoksnyje gama kvantai gali sukelti „branduolinių liūčių“ efektą, visas ekranas suskirstomas į sluoksnius, tarp kurių palikti oro tarpai (7).

Tokia daugiasluoksnė švino ekranų konstrukcija slopina branduolinių liūčių susidarymą, bei apsaugo jautrius elementus nuo nepageidaujamų minkštos spinduliuotės komponenčių. Tačiau svarbiausias tokios konstrukcijos privalumas yra tas, kad iki minimumo sumažinama ekranų medžiagoje sukeliamos vidinės gama spinduliuotės įtaka. 0,5–1 mm pločio oro tarpų pakanka tam, kad švine nebūtų antrinių branduolinių reakcijų. Kitas šios konstrukcijos privalumas yra tas, kad dėl švino sluoksnių išdėstymo iš scintiliacinio bloko apatinės dalies ir viso „namelio“ konstrukcijos sandarumo į prietaiso jutiklį gali mažiau patekti ore esančio radono ir jo skilimo produktų [68].

### 2.4.2. Optimalaus švino ekrano sluoksnio parinkimas

Norint atskirti KKSS nuo kitų bendrojo radioaktyvaus fono komponenčių, pasirinktas minimalus švino ekrano storis, kuris nepraleistų žemųjų energijų gama kvantų. Buvo tirtas įvairių energijų gama kvantų praeinamumas per skirtingų storių švino ekraną.

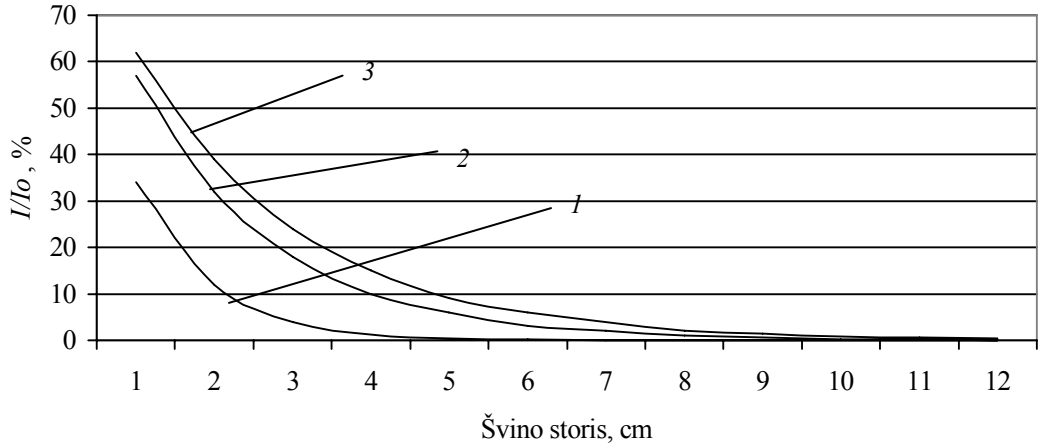
Remiantis eksponentiniu spinduliuotės skvarbos dėsniu $J=J_0e^{-\mu x}$ [11], galima iš anksto apskaičiuoti reikiamą ekrano medžiagos sluoksnio storį, kuris užtikrins pageidaujamą gama kvantų nepraeinamumą.

Išreikšdami šį dėsnį bendrojo ekrano storio atžvilgiu, gauname formulę, tinkamą ekrano storiui skaičiuoti.

$$x = -\frac{\ln \frac{J}{J_0}}{\mu}; \qquad (2.1)$$

čia $J/J_0$ – pageidaujamas santykinis gama kvantų nepraeinamumas (1–2 %); $\mu$ – linijinis slopinimo koeficientas, kuris 2,62 MeV energijų gama kvantams lygus 0,476 $cm^{-1}$; $x$ – švino sluoksnio storis, cm.

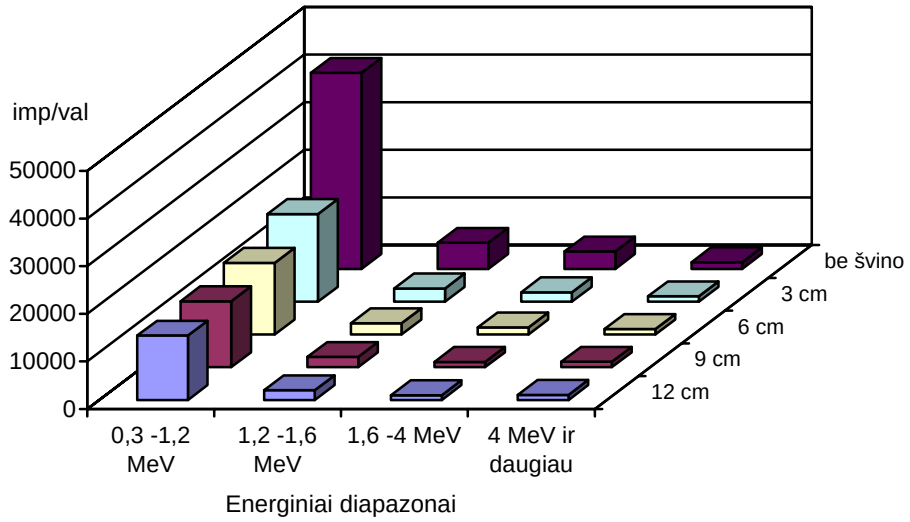
Atlikę skaičiavimus su įvairiais pradiniais duomenimis, gauname asimptotiškai žemėjančius grafikus.




**2.6 pav.** Santykinis gama kvantų nepraeinamumas per įvairaus storio švino ekranus: *1* – gama kvantų energija 0,72 MeV; *2* – 1,62 MeV; *3* – 2,62 MeV

Matome, kad kuo mažesnė gama kvantų energija, tuo mažiau jų praeina per švino ekraną. Taip beveik visas 0,72 MeV energijos gama kvantus sugeria 5 cm storio švino sluoksnis (*1* kreivė). Gama kvantai, kurių energija 1,6 MeV, pilnai visiškai 8–9 cm švino sluoksnis (*2* kreivė). Be to, 2,62 MeV energijos gama kvantų, didinant švino storį daugiau nei 9 cm, lieka mažiau 1 % (*3* kreivė).

Apskaičiuotas optimalus ekrano storis (9 cm) buvo patikrintas eksperimentiškai. Tam tikslui buvo matuota jonizuojančioji spinduliuotė uždengiant prietaiso jutiklį įvairaus storio švino ekranais su įvairiais oro tarpais. Gama kvantų ir miuonų kiekio po Komptono sklaidos švino ekrane ir prietaiso jutiklyje matavimo rezultatai pavaizduoti 2.7 pav.



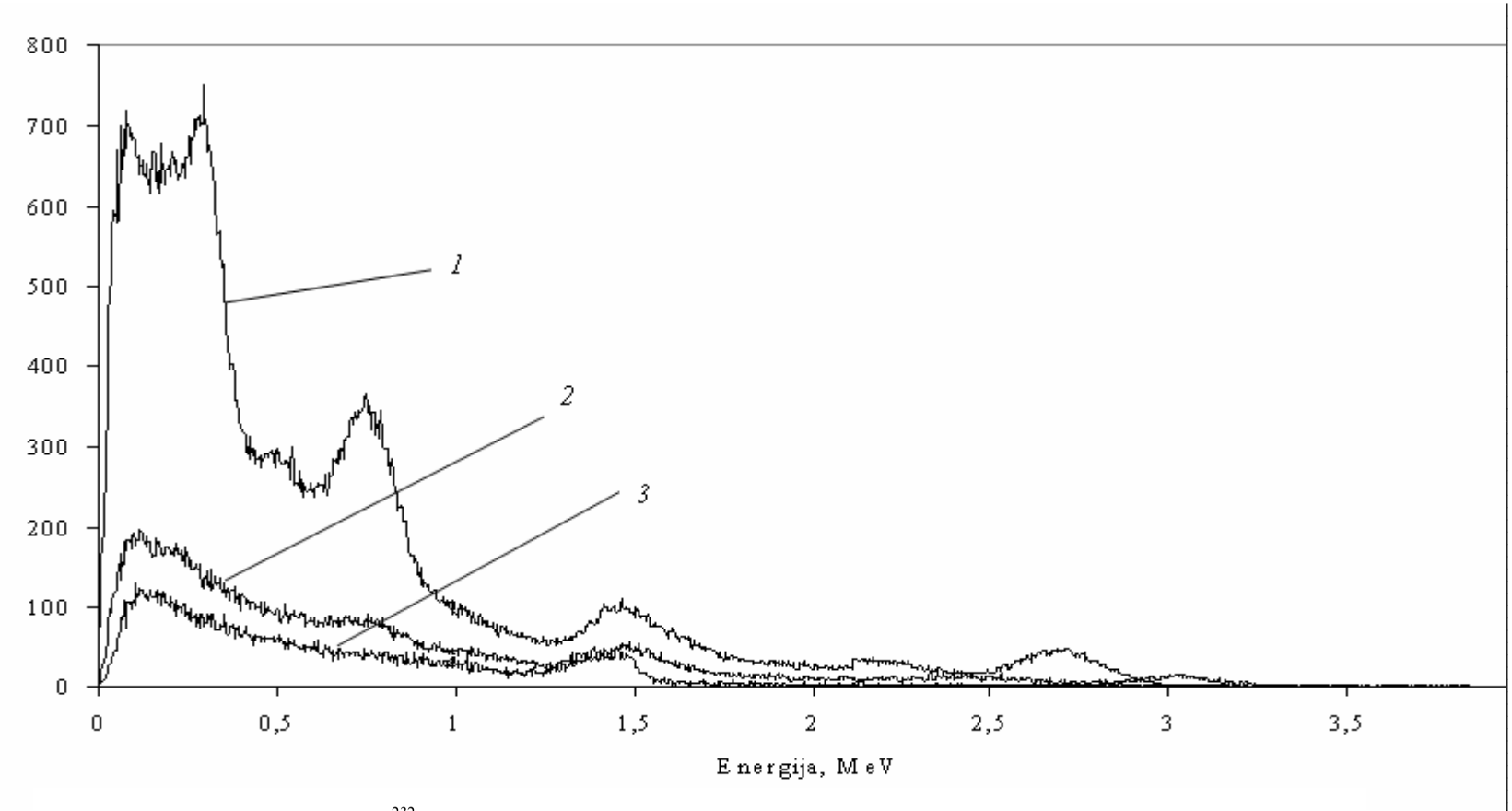

**2.7 pav.** Gama kvantų ir miuonų praeinamumas per įvairaus storio švino ekranus įvairiuose energiniuose diapazonuose

Matome, kad skirtingų energijų gama kvantų ir miuonų praeinamumas per švino ekranus yra nevienodas. Švino sluoksnis labiausiai sulaiko mažų pirmojo diapazono energijų (0,3–1,2 MeV) daleles. Jų kiekis eksponentiškai mažėja didinant švino ekrano storį. Ketvirtojo diapazono (daugiau nei 4 MeV energijos) dalelių kiekis didėjant švino sluoksnio storiui beveik nekinta [6 A] .

Didinant švino ekrano storį nuo 9 cm iki 12 cm, visų energijų dalelių, praėjusiųjų per švino ekraną, kiekis beveik nepakinta. Taigi didinti ekrano storį daugiau nei 9 cm nėra prasmės. Tokį ekraną galima laikyti optimaliu.

Norint nustatyti mažiausią pereinančių per ekraną gama kvantų energiją, buvo atliekamas eksperimentas su radioaktyviojo torio $^{232}$Th izotopo etalonu, nes pagal jo energiniame spektre 2.8 pav. kreivėje *4* smailes (0,73, 0,92, 1,6, 2,62 MeV) galima tiksliau apibrėžti švino ekrano storio įtaką skirtingų energijų gama kvantų skvarbai.

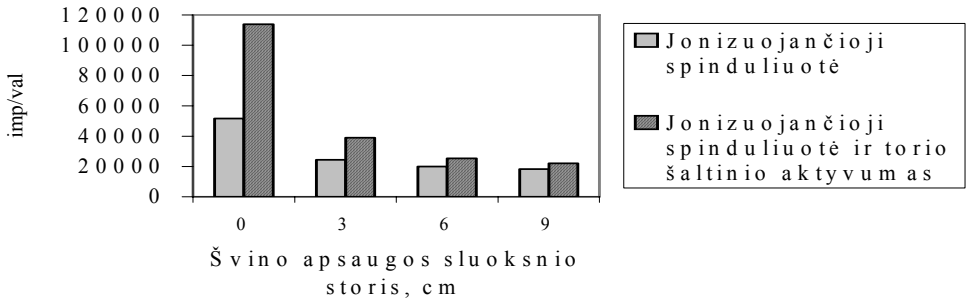
Torio $^{232}$Th gama spinduliuotės intensyvumas buvo matuojamas per įvairių storių švino ekranus ir oro tarpus (2.8 pav.).




**2.8 pav.** Gama radioaktyvaus torio $^{232}$Th spektrogramos esant skirtingo storio švino sluoksniams: *1* – be švino; *2* – 3 cm; *3* – 9 cm

Gama kvantai, kurių energija neviršija 1,6 MeV, visiškai absorbuojami 9 cm švino sluoksnyje. Gama kvantų, perėjusių per 9 cm švino ekraną, energija yra didesnė nei 2,62 MeV, nes gama spektrą po 9 cm švino sluoksniu formuoja gama kvantai, kurių pradinė energija viršija 2,62 MeV.

Jonizuojančiosios spinduliuotės ir gama radioaktyvaus torio $^{232}$Th išspinduliuotų gama kvantų kiekis per valandą po skirtingų storių švino sluoksniais pavaizduotas 2.9 pav.




**2.9 pav.** Bendrieji jonizuojančiosios spinduliuotės ir torio $^{232}$Th etalono impulsų, praėjusių per įvairius švino ekranus per valandą, kiekiai

Radioaktyviojo torio $^{232}$Th kartu su jonizuojančiąja spinduliuote ir jonizuojančiosios spinduliuotės atskirai gama kvantų kiekis sumažėja didėjant švino sluoksnio storiui. Etalono išspinduliuotų gama kvantų kiekis artėja prie jonizuojančios spinduliuotės reikšmių, didėjant švino storiui, t. y. $^{232}$Th išspinduliuojami gama kvantai negali prasiskverbti pro 9 cm storio švino sluoksnį. Yra žinoma, kad aplinkoje esančių radono ir jo skilimo produktų bei pastato sienų, lubų, grindų medžiagų išspinduliuojami gama kvantai turi mažas energijas. Todėl jie irgi negali prasiskverbti per 9 cm storio švino sluoksnį. Todėl šiuo atveju fono spektrą formuoja tik miuoninė komponentė. Papildomai prie jos prisideda kalio $^{40}$K spinduliuotė, įeinančio į prietaiso konstrukcijas bei švino sluoksnį (smailė ties 1,46 MeV energija).

Taigi teoriškai parinktą 9 cm švino ekrano storį patvirtino eksperimentiniai fono tyrimai bei radioaktyvaus torio $^{232}$Th etalono išspinduliuotų gama kvantų kiekio įvertinimas.

## 2.5. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto reikšmių ir širdies ir kraujagyslių ligų kiekių duomenų bazių sudarymas

### 2.5.1. Eksperimentinių 2001–2004 metų kietosios kosminės spinduliuotės srauto reikšmių duomenų bazių sudarymas

KKSS matavimai vyko 15 minučių laiko intervalais. Darbe yra išanalizuoti 2001–2004 metų KKSS stebėjimo duomenys keturiuose energiniuose diapazonuose. Kartu paėmus pirminiai duomenys sudarė daugiau nei 700 000 skaičių. Tai yra dideli duomenų kiekiai, kurie parengti tolimesniam apdorojimui ir naudojimui. Tai įmanoma padaryti tik suformavus labai didelę, specialiai pritaikytą šiame darbe atliekamiems tyrimams, duomenų bazę. Pagrindinis kuriamos duomenų apdorojimo sistemos ypatumas yra tas, kad reikia dirbti su labai dideliais duomenų kiekiais, nors matematiniai skaičiavimai palyginti nėra sudėtingi.

Pirminiai KKSS stebėjimų duomenys turi būti sutvarkyti taip, kad, toliau dirbant su jais, būtų įmanoma:

1) naudoti konkrečios datos KKSS reikšmių matavimų duomenis;
2) matyti, kaip kito KKSS skirtingais laiko intervalais: per valandą, parą, mėnesį, metus;
3) parengti duomenis tolesniam darbui.

Tam tikslui sukurta *originali duomenų bazė*, leidžiančią dirbti su 2001–2004 m. duomenimis.

Duomenų bazę sudaro trys duomenų masyvai:

1) kiekvienos valandos KKSS reikšmės;
2) kiekvienos paros KKSS valandos vidurkiai;
3) kiekvieno mėnesio KKSS valandos vidurkiai.

Darbui su milijoniniais duomenų skaičių kiekiais reikėjo parinkti pagrindinę programinę įrangą. Pasirinkta plačiai naudojimą standartinė *Excel 2003* skaičiuoklė. Pagrindiniai kriterijai, dėl kurių duomenų bazės kūrimui buvo pasirinkta ši programa, yra:

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.

KKSS matavimo duomenys buvo nuskaitomi kas mėnesį. Šiuos duomenis sudarė KKSS reikšmės, visą mėnesį kompiuterizuotu gama spektrometru, nepertraukiamai matuotos 15 minučių intervalais. KKSS matavimams panaudota specialiai pritaikyta programa. Spektrometro darbą valdo speciali programinė įranga *AnGamma 3.24*, naudojama nepertraukiamiems aplinkos stebėjimams prie branduolinių jėgainių.

Sukauptus per daugelį metų šios programos pateiktų duomenis reikėjo performuoti į programos Excel 2000 naudojamo *.XLS* formatą.

Pirmiausia buvo sukurtas algoritmas, atliekantis tarpinius skaičiavimus kiekvienos valandos KKSS reikšmių ir kiekvienos paros KKSS valandos vidurkių duomenų masyvų formavimą (2.10 pav.).

Šio skaičiavimo darbų etapo rezultatas – gaunami du duomenų masyvai:

1) kiekvienos valandos KKSS reikšmių duomenų masyvas;

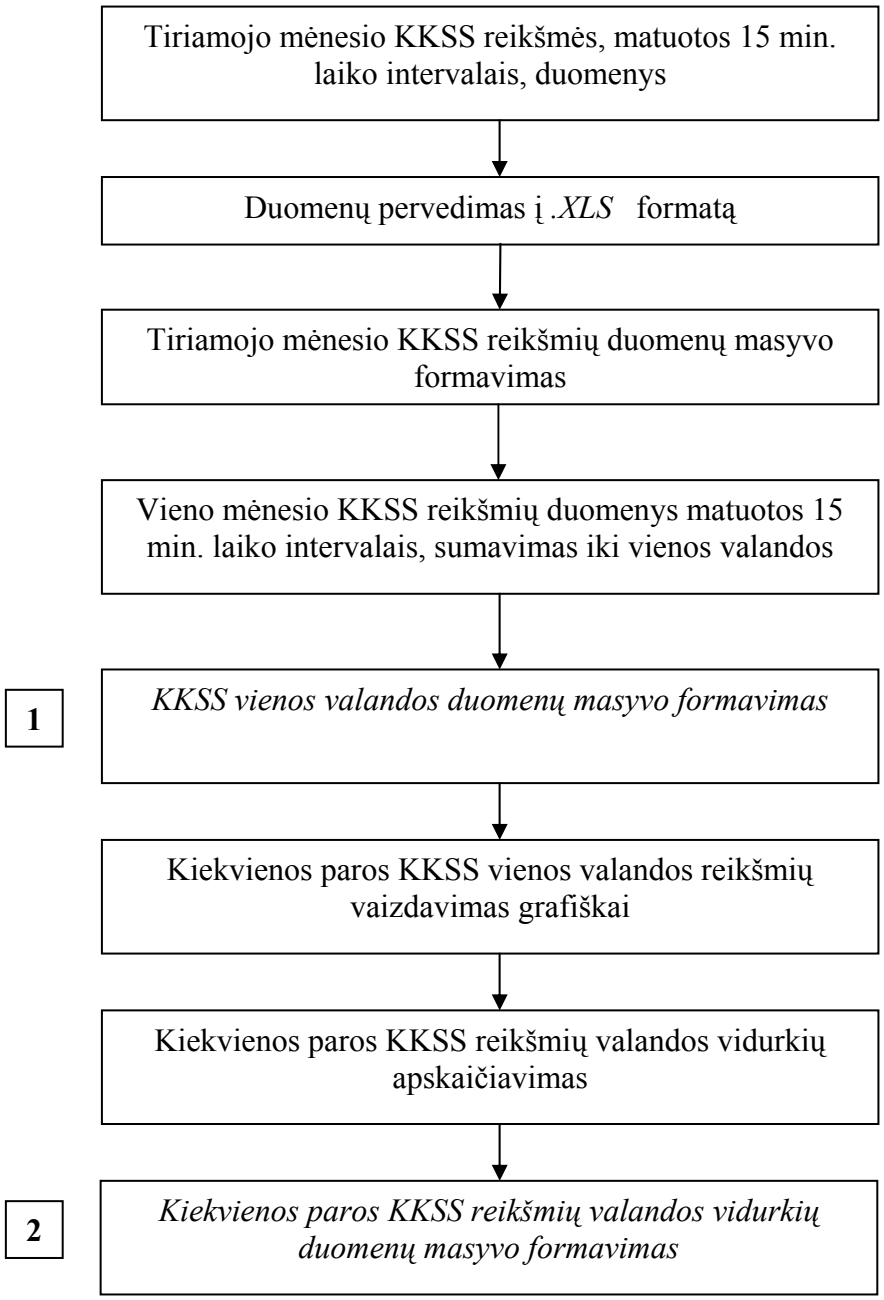
2) kiekvienos paros KKSS valandos vidurkių masyvas, apskaičiuotas panaudojant 3.7 formulę.

Abu sukurti duomenų masyvai saugomi *.XLS* formato failuose. Šis formatas pasirinktas dėl suderinamumo su kitais kompiuterinių programų formatais.

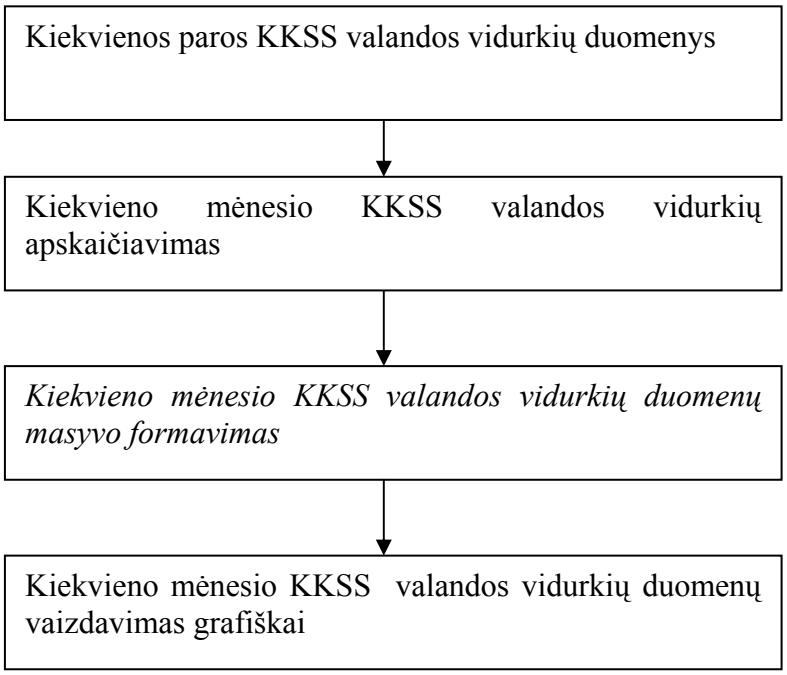
Turėdami pakankamai ilgo laikotarpio parų KKSS valandų vidurkius, galime suformuoti trečiąjį – kiekvieno mėnesio KKSS valandos vidurkių masyvą. Šio masyvo sudarymo algoritmas pavaizduotas 2.11 pav.

Kiekvieno mėnesio KKSS valandos vidurkiai apskaičiuoti pagal 5.8 formulę.

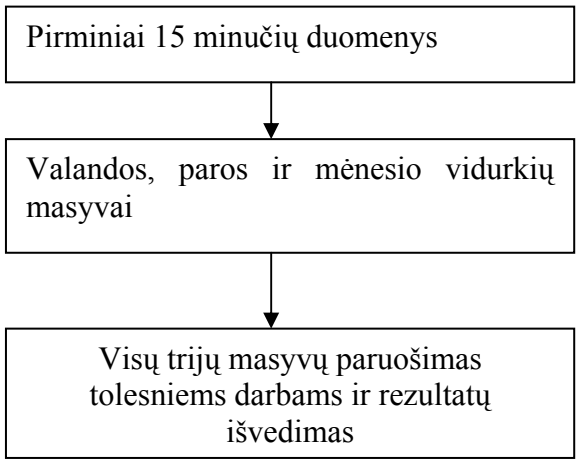
Taigi būdu jau yra sukurta visa trijų pagrindinių *.XLS* formato masyvų duomenų bazė. Bendras duomenų bazės sudarymo algoritmas parodytas 2.12 pav.




**2.10 pav.** Kiekvienos valandos intervalo KKSS reikšmių ir kiekvienos paros KKSS valandos vidurkių duomenų masyvų kūrimo algoritmas




**2.11 pav.** Kiekvieno mėnesio KKSS valandos vidurkių duomenų masyvo sudarymas




**2.12 pav.** Galutinio KKSS reikšmių stebėjimų duomenų bazės kūrimo etapo algoritmas

Be to, darbe apdoroti KKSS reikšmių stebėjimų 1997–1999 metais duomenys. KKSS matavimo įranga tais metais dar nebuvo kompiuterizuota. Duomenis reikėjo kaupti darbo žurnale. Šie duomenys įrašyti į *.XSL* formato failą. Be to, skirtingai nuo 2001–2004 metų stebėjimų, minėtame periode KKSS matuojamas 20 minučių laikotarpiais ir tik integriniame diapazone. Atlikus nedidelį koregavimą, pagal 2.10, 2.11 ir 2.12 pav. pateikus algoritmus buvo suformuota 1997–1999 metų KKSS reikšmių duomenų bazė.

### 2.5.2. Širdies ir kraujagyslių ligų kiekių duomenų bazių sudarymas

Darbe naudojami 1997 m. sausio – 1999 m. rugsėjo ir 2001 m. sausio – 2004 gruodžio širdies ir kraujagyslių ligų kiekio duomenys pagal Vilniaus miesto Greitosios medicinos pagalbos stoties (GMPS) iškvietimų statistiką.

Duomenys apie 1997 m. sausį – 1999 m. rugsėjį širdies ir kraujagyslių ligas buvo surinkti iš specialių kardiologinių brigadų iškvietimų registracijos žurnalų.

Vėliau medicinos įstaigos naudojo tarptautinę ligų klasifikacijos sistemą. Todėl nuo 2001 m. sausio GMPS ligų diagnozės jau registruojami pagal *Tarptautinę statistinę ligų ir sveikatos problemų klasifikaciją* [69]. Kodai I20–I22, I45, I47–I50 reiškia širdies ligas, o kraujagyslių ligos registruojamos I10, I11, I25, I26, I61–I64, I67, I69–I71, I73, I74, I80 kodais (2.1 lentelė). Per šį laikotarpį Vilniuje buvo apie 104 650 iškvietimų, susijusių su širdies ir kraujagyslių ligomis [1 A, 5 A].

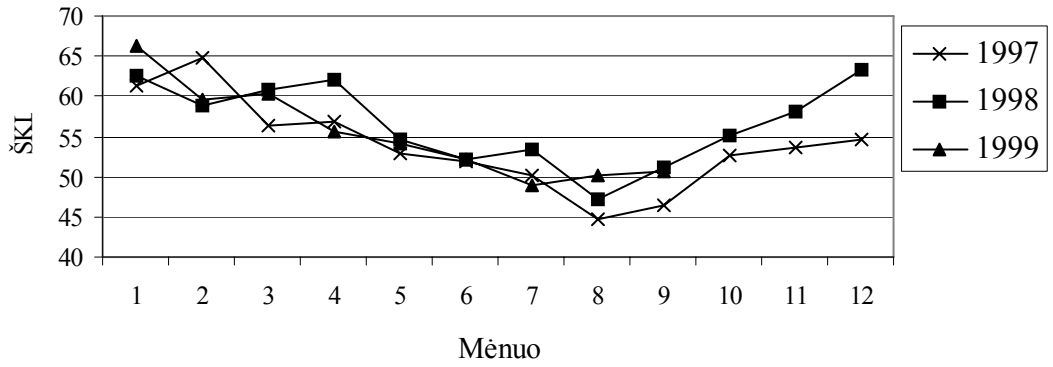
**2.1 lentelė.** Nagrinėjamų širdies bei kraujagyslių ligų pavadinimai ir kodai pagal *Tarptautinę statistinę ligų ir sveikatos problemų klasifikaciją*

| Ligos kodas pagal *Tarptautinę statistinę ligų ir sveikatos problemų klasifikaciją* | Ligos pavadinimas |
|---|---|
| I10 | Pirminė arterinė hipertonija |
| I11 | Hipertonija |
| I20 | Nestabili krūtinės angina |
| I21 | Ūmus miokardo infarktas |
| I22 | Pakartotinis miokardo infarktas |

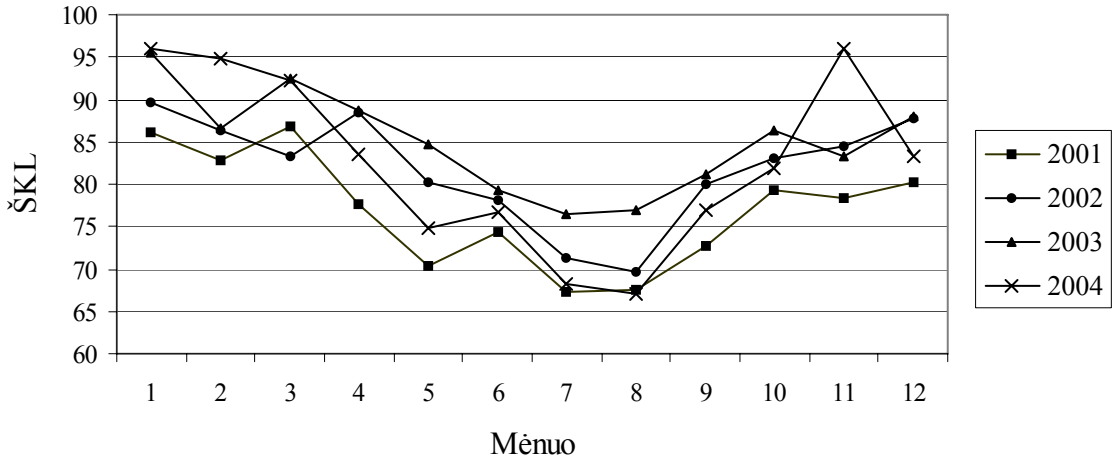
2.1 lentelės tęsinys

| Ligos kodas pagal *Tarptautinę statistinę ligų ir sveikatos problemų klasifikaciją* | Ligos kodas pagal *Tarptautinę statistinę ligų ir sveikatos problemų klasifikaciją* |
|---|---|
| I25 | Lėtinė išeminė širdies liga |
| I26 | Plaučių embolija |
| I45 | Širdies laidumo sutrikimas |
| I47 | Paroksizminė tachikardija |
| I48 | Prieširdžių virpėjimas ir plazdėjimas |
| I49 | Kitos širdies aritmijos |
| I50 | Širdies veiklos nepakankamumas |
| I61 | Intracerebrinė kraujosruva |
| I62 | Kitos intracerebrinės kraujosruvos |
| I63 | Smegenų infarktas |
| I64 | Insultas |
| I67 | Kitos smegenų kraujagyslių ligos |
| I69 | Cerebrovaskulinių ligų padariniai |
| I70 | Aterosklerozė |
| I71 | Aortos aneurizma ir atsisluoksniavimas |
| I73 | Kitos periferinių arterijų ligos |
| I74 | Arterijų embolija ir trombozė |
| I80 | Flebitai ir tromboflebitai |

Tolesnei analizei yra svarbūs ŠKL kiekio statistiniai tyrimai. Šių ligų diagnozavimo statistika atspindi pacientų skaičiaus kitimus per analizuojamus metus (2.13 pav.).




***a)***




***b)***

**2.13 pav.** Širdies ir kraujagyslių lygų kiekio mėnesio vidurkių eiga 1997 m. sausį–1999 m. rugsėjį (*a*) ir 2001 m. sausį – 2004 m. gruodį. (*b*) Vilniaus m.

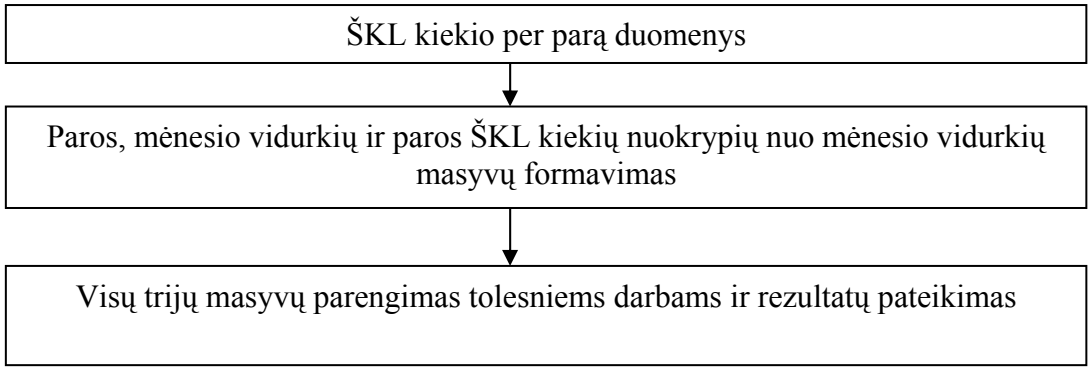
Matome, kad per visą nagrinėjamą periodą ŠKL kiekio didžiausios reikšmės yra žiemos mėnesiais. Mažiausios reikšmės stebimos liepą ir rugpjūtį.

ŠKL paros paūmėjimų kiekio santykinis nuokrypis nuo mėnesio vidurkio apskaičiuojamas pagal 2.2 formulę:

$$\delta A = \frac{A - \overline{A}}{\overline{A}} \cdot 100 \ \%, \tag{2.2}$$

čia $\delta A$ – ŠKL paros paūmėjimų kiekio santykinis nuokrypis nuo parų iškvietimų kiekio mėnesio vidurkio; $A$ – iškvietimų kiekis per parą; $\overline{A}$ – parų iškvietimų kiekių mėnesio vidurkis.

ŠKL duomenų bazė sukurta pagal pateikta 2.14 pav. algoritmą:




**2.14 pav.** ŠKL kiekių duomenų bazės kūrimo algoritmas

ŠKL kiekių duomenys saugomi taip pat *.XLS* formato failuose.

Sudarius KKSS reikšmių ir ŠKL kiekio duomenų bazes, buvo atliktos jų duomenų statistinės analizės, sugretintos ir palygintos variacijos.

## 2.6. IŠVADOS

1. Patobulinta gama spektrometrinės įrangos jutiklio apsaugos konstrukcija. Scintiliacinis blokas apgaubtas daugiasluoksne švino apsauga. Ši konstrukcija pritaikyta kietosios kosminės spinduliuotės matavimams.

2. Teoriškai nustatytas ir eksperimentiškai patvirtintas minimalus 9 cm švino ekrano storis, kuris nepraleistų žemųjų energijų gama kvantų. Didinant švino ekrano storį nuo 9 cm iki 12 cm, praėjusių per ekraną gama kvantų ir miuonų kiekis beveik nepakinta. Taigi didinti ekrano storį daugiau nei 9 cm nėra prasmės.

3. Aplinkoje esančių radono ir jo skilimo produktų bei pastato sienų, lubų, grindų medžiagų išspinduliuojami gama kvantai turi mažas energijas. Todėl jie irgi negali prasiskverbti per 9 cm storio švino sluoksnį. Todėl šiuo atveju energinį spektrą formuoja tik kietoji kosminė spinduliuotė – aukštųjų energijų gama kvantai ir miuonai.

4. Pirminius KKSS 1997–1999 m. ir 2001–2004 m. matavimo duomenis sudarė didelį skaičių kiekiai, kuriuos reikėjo parengti tolesniam apdorojimui ir naudojimui. Tam tikslui buvo suformuota didelė, specialiai pritaikyta šiame darbe atliekamiems tyrimams, duomenų bazė.

5. Sukurti kiekvienos valandos KKSS reikšmių ir kiekvienos paros KKSS valandinių vidurkių masyvai.

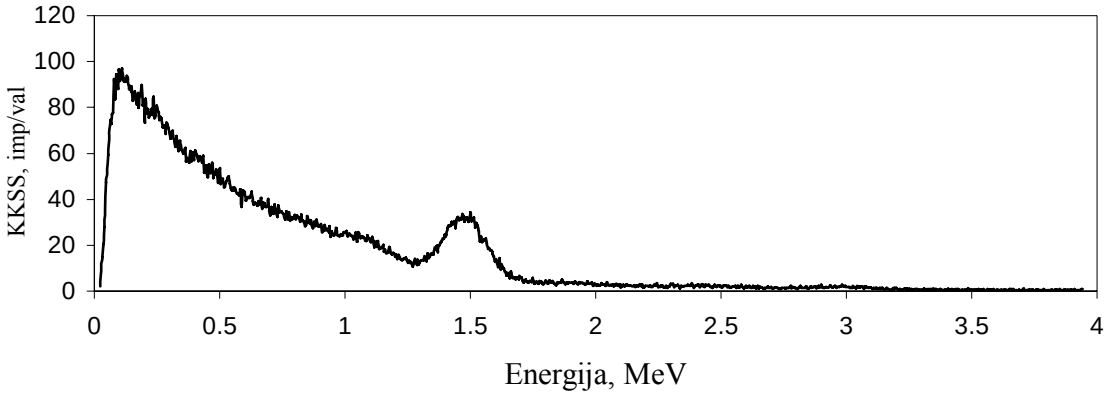
6. Turint pakankamai ilgo laikotarpio parų KKSS valandinių vidurkių duomenis, suformuotas trečiasis – kiekvieno mėnesio KKSS valandinių vidurkių masyvas.

7. Suformuoti KKSS reikšmių paros, mėnesio vidurkių ir paros ŠKL kiekių nuokrypų nuo mėnesio vidurkių masyvai.

# 3. KIETOSIOS KOSMINĖS SPINDULIUOTĖS PRIE ŽEMĖS PAVIRŠIAUS TYRIMAI IR JŲ REZULTATŲ ANALIZĖ

## 3.1. Kietosios kosminės spinduliuotės spektro analizė

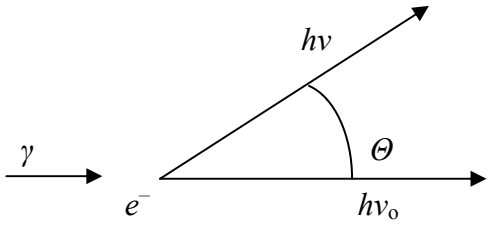
KKSS nepertraukiami stebėjimai buvo atlikti 2001–2004 metais Vilniaus m. KKSS spektras matuotas integriniame (0,3 MeV ir daugiau) energiniame diapazone. Šio spektro matavimai buvo atlikti gama spektrometru. Matavimo rezultatai pateikiami skaitmenine ir grafine forma. Grafinio KKSS energinio spektro pavyzdys pateiktas 3.1 pav.




**3.1 pav.** KKSS energinis spektras prie Žemės paviršiaus

Šis spektras užregistruotas naudojant 9 cm bendro storio apsauginį švino ekraną. Minkštąją kosminės spinduliuotės komponentę sulaiko šis ekranas. Smailė ties 1,46 MeV energija atsiranda dėl kalio $^{40}K$ gama spinduliuotės (neišvengiamos priemaišos NaI(Tl) kristale bei švino sluoksnyje). Dešiniąją spektro dalį formuoja aukštos energijos miuonai. Jie praeina per švino ekraną ir jų kiekis beveik nekinta didinant ekrano storį.

Kairioji pavaizduoto KKSS spektro dalis suformuota po antrinių dalelių (miuonų ir gama kvantų) sąveikos su NaI(Tl) kristalo gardele, kai dalis šių dalelių patiria Komptono sklaidą. Pagal kvantinę teoriją sąveiką tarp gama kvanto ir elektrono galima įsivaizduoti kaip netamprųjį dviejų rutulių dūžį. Po susidūrimo su elektronu gama kvantai praranda dalį savo energijos ir keičia judėjimo kryptį (3.2 pav.).




**3.2 pav.** Komptono sklaida

Jei prieš susidūrimą pradinė gama kvanto energija buvo $h\nu_0$, tai kaip sąveikos rezultatas jo energija tampa $h\nu$ ir jis sklinda kampu $\Theta$ pradinės krypties atžvilgiu.

Išsklaidyto gama kvanto NaI(Tl) kristalo gardelėje likusią energiją galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$h\nu = \frac{h\nu_0}{1+\frac{h\nu_0}{m_0 c^2}(1-cos\Theta)}; \tag{3.1}$$

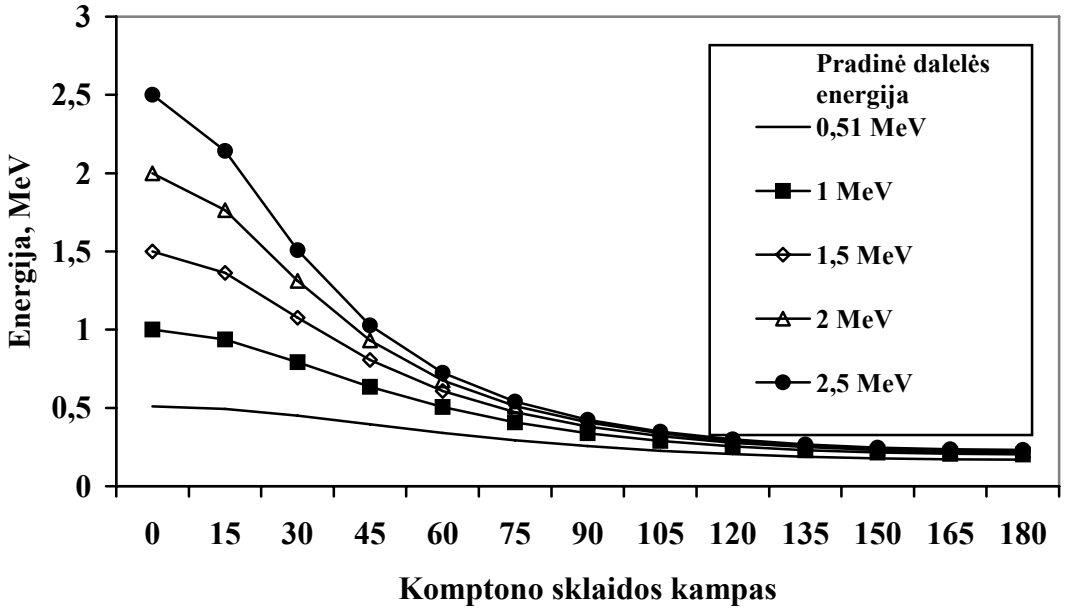
čia $\nu_0$ – pradinis gama kvanto dažnis, $\nu$ – gama kvanto dažnis po susidūrimo, $h$ – Planko konstanta, $m_0$ – elektrono rimties masė, $c$ – šviesos greitis.

Šią formulę galima pertvarkyti dalijant vardiklį ir skaitiklį iš $m_0c^2/h\nu_0$. Įvertinus tai, kad sandauga $m_0c^2 = 0{,}51$ MeV, 3.1 formulė yra tokia:

$$h\nu = \frac{0{,}51}{1+\frac{0{,}51}{h\nu_0}-cos\Theta}. \tag{3.2}$$

Pagal šią formulę apskaičiuojama po Komptono sklaidos kristale likusi gama kvantų energija. Akivaizdu, kad, didėjant pradinei energijai $h\nu_0$, sklaidos kampas $\Theta$, mažėja, ir, atvirkščiai, mažėjant pradinei energijai, sklaidos kampas didėja. Žemų pradinių energijų fotonų, esant tiek sklaidos kampui $0^0$, tiek $180^0$, energijos po Komptono sklaidos mažai pakinta ir yra beveik lygios, t. y. $h\nu \approx h\nu_0$. Esant aukštai pradinei γ-kvantų energijai ($h\nu_0 >> 0{,}51$ MeV), po Komptono sklaidos atgal ($\Theta=180^0$)

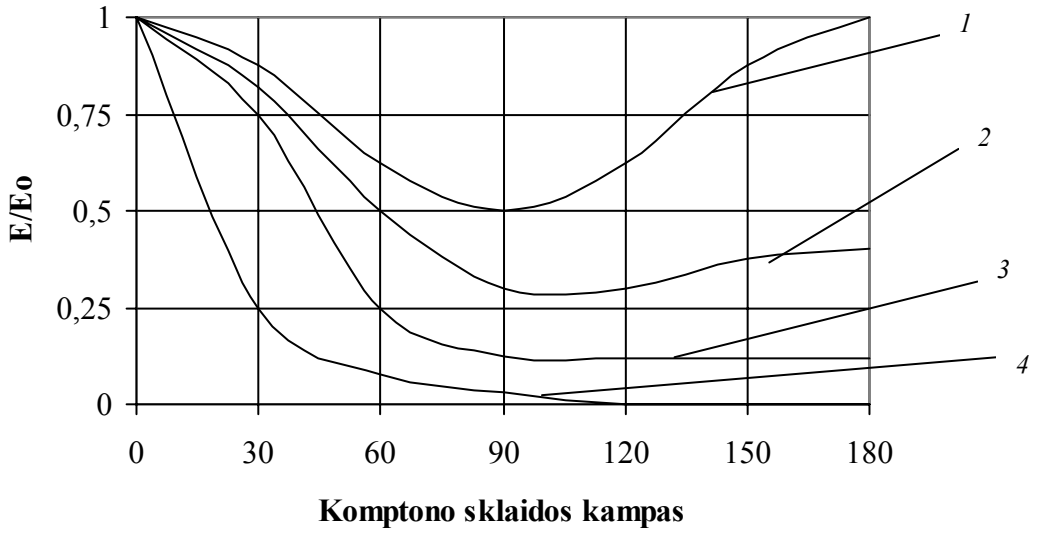
gama spinduliutės energija artėja prie 0,25 MeV. Esant mažesnėms pirminių γ-kvantų energijoms, išsklaidytų atgal γ-kvantų energija būna dar mažesnė. T. y. γ-kvantų, išsklaidytų $180^0$ kampu, energija negali viršyti 0,25 MeV. Kai Komptono sklaida vyksta $90^0$ kampu, išsklaidytų kvantų energija neviršija 0,51 MeV. Atliktų skaičiavimų rezultatai pavaizduoti 3.3 pav.




**3.3 pav.** Gama kvantų energijos priklausomybė nuo Komptono sklaidos kampo

**3**.3 pav. pavaizduota, kaip kinta įvairių pirminių energijų dalelių likutinė energija priklausomai nuo Komptono sklaidos kampo. Didėjant Komptono skaidos kampui, dalelių energija mažėja. Kuo didesnė pradinė dalelės energija, tuo greičiau ji netenka energijos. Vykstant Komptono sklaidai didesniu nei $90^0$ kampu, skirtingų energijų pirminių kvantų energijos susilygina ir priartėja prie kritinės 0,25 MeV ribos.

Apskaičiuojant gama kvantų energiją po Komptono sklaidos, reikia įvertinti Komptono sklaidos įvairiais kampais priklausomybę nuo dalelių energijos. Gama kvantų energijas galima išreikšti santykiniais vienetais, kaip pirminių gama kvantų (Eo) ir išsklaidytų gama kvantų energijų (E) santykį. 3.4 pav. pateiktas gama kvantų energijų santykio sąryšis su pradine energija priklausomai nuo jų pirminės energijos [68].




**3.4 pav.** Gama kvantų energijų *E/Eo* santykio priklausomybė nuo sklaidos kampo [68]

Kreivės reiškia skirtingą pirminę dalelių energiją: *1* – $E<<0{,}51$ MeV; *2* – $E=0{,}1$ MeV; *3* – $E=0{,}51$ MeV; *4* – $E=2{,}5$ MeV.

Gama kvantų energija po Komptono sklaidos priklauso nuo jų pradinės energijos. Didėjant pradinei kvantų energijai, Komptono sklaida vyksta mažesniu kampu. Kai pirminė kvantų energija yra labai maža (*1* kreivė), vyksta klasikinė sklaida. Šiuo atveju sklaidos į priekį ir atgal intensyvumai yra vienodi. Didėjant pirminei kvantų energijai (*2*, *3* kreivės), sklaida į priekį suintensyvėja. 2,5 MeV pirminės energijos kvantų sklaida vyksta tik į priekį (*4* kreivė) [68].

Įvertinus kampinį Komptono sklaidos pasiskirstymą, pagal 3.2 formulę apskaičiuota gama kvantų energija po Komptono sklaidos jutiklyje ir rezultatai pateikti 3.1 lentelėje.

**3.1 lentelė.** Gama kvantų energijos sklaida dėl Komptono efekto jutiklyje

| Pradinė gama kvantų energija, MeV | 0,5 – 1 | 1 – 1,5 | 1,5 – 2 | 2 – 2,5 | Daugiau nei 2,5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Gama kvantų energija po Komptono sklaidos, MeV | 0,46 – 0,86 | 0,86 – 1,3 | 1,3 – 1,7 | 1,7 – 2,2 | 2,2 ir daugiau |

Sulyginus 3.1 lentelės 1 ir 2 eilučių duomenis, matyti, kad dėl Komptono efekto NaI(Tl) kristale kosminės dalelės išbarstomos ir praranda dalį savo energijos.

Tiriant gama spinduliuotės ir miuonų sugertį švine, matuojamas gama spektrometro fonas, kai jutiklis buvo be švino apsaugos ir su 3 cm, 6 cm, 9 cm bei 12 cm storio apsaugos sluoksniais. Matavimo būdas aprašytas 2.1 skyriuje. Jonizuojančiosios spinduliuotės matavimo rezultatai, kai jutiklis neuždengtas švino ekranu ir su 3 cm ir 12 cm švino apsauga, pavaizduoti 3.5 pav.

Jonizuojančiosios spinduliuotės energiniuose spektruose su 3 cm ir 12 cm švino apsaugos storio sluoksniais ir visai be apsaugos ryškiai matyti smailė ties 1,46 MeV energijos (3.5 pav.). Ši smailė atsiranda dėl neišvengiamų kalio $^{40}$K priemaišų kristale, fotodaugintuve, „namelio“ bei esančių šalia konstrukcijų (platforma, perdangos, sienos ir t. t) medžiagose.

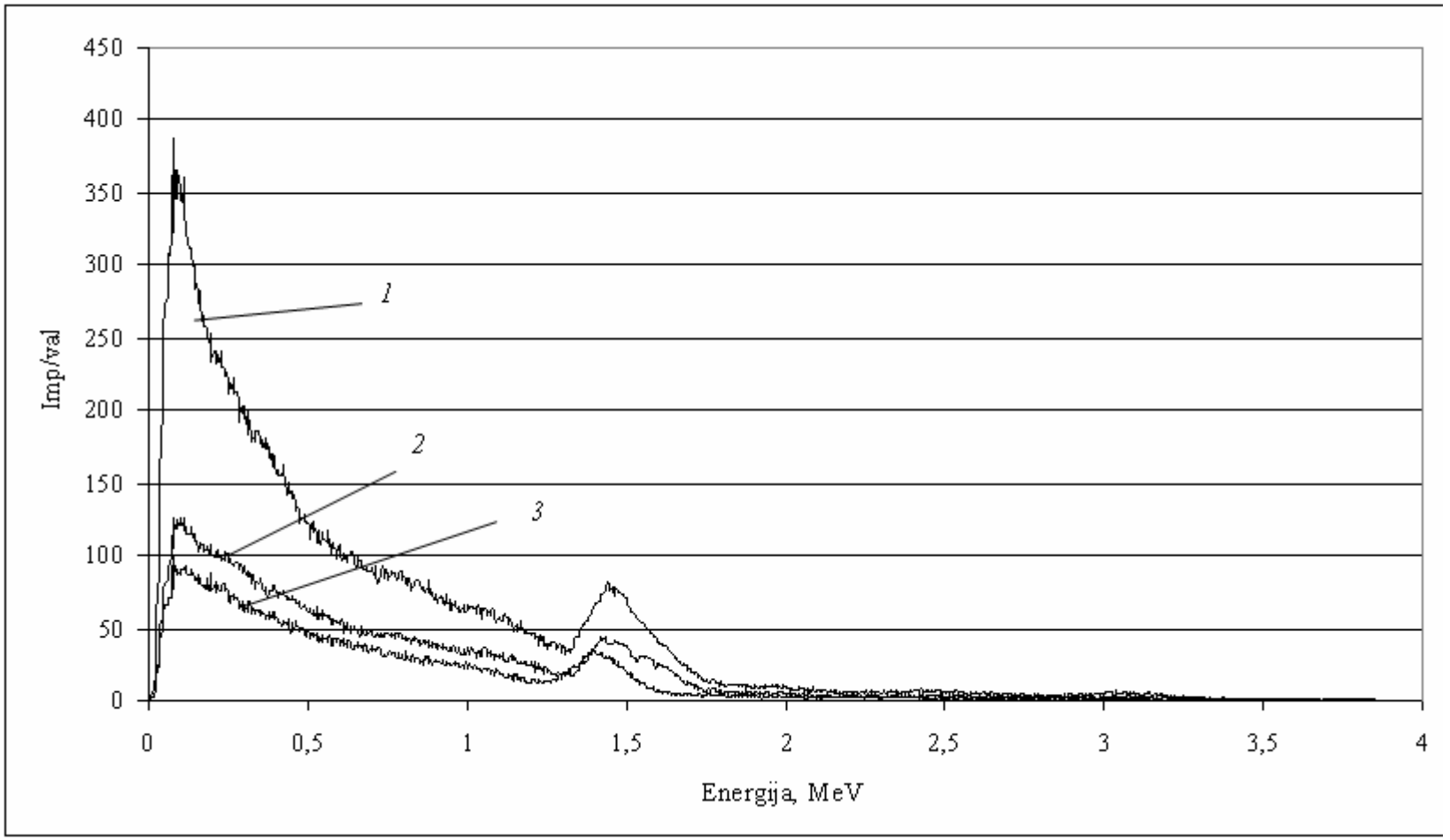
Jonizuojančioji spinduliuotė sumažėjo didinant švino ekrano sluoksnio storį. Kai nėra švino apsaugos sluoksnio, prie kietosios kosminės spinduliuotės prisideda žemųjų energijų gama spinduliai (minkštoji kosminių spindulių komponentė), radioaktyvioji supančių konstrukcijų (perdangų, sienų ir t. t) bei aplinkos gama spinduliuotės. Šių gama spindulių intensyvumas sparčiai mažėja didinant švino ekrano storį iki 9 cm. Toliau didinant ekrano storį, išlieka tiktai kietoji kosminių spindulių komponentė (didžiuma dalį sudaro miuonai). Šios komponentės intensyvumas beveik nepriklauso nuo švino ekrano storio.

Keičiant švino ekrano storius, galima nustatyti skirtingų komponenčių, aplinkinių medžiagų spinduliuotės, KKSS ir kalio $^{40}$K spinduliuotės indėlius fono spektre.

Jonizuojančiajai spinduliuotei įvertinti sumuojami miuonų ir gama kvantų kiekiai visuose kanaluose:

$$N_{jon\ spind} = \sum_{i=1}^{n} N_i; \tag{3.3}$$

čia $N_{jon\ spind}$ – bendrasis miuonų ir gama kvantų kiekis, kai jutiklis nebuvo uždengtas švinu; $N_i$ – dalelių kiekis *i*-iame gama spektrometro kanale neuždengiant jutiklio švinu; *n* – gama spektrometro kanalų kiekis (n=1000).




**3.5 pav.** Jonizuojančioji spinduliuotė ir KKSS prie Žemės paviršiaus spektrogramos, esant skirtingų storių švino sluoksniams: *1* – be švino; *2* – 3 cm; *3* – 12 cm

Kietosios kosminės spinduliuotės srauto dalelių kiekį galima apskaičiuoti pagal tokią pat formulę:

$$N_{KKSS} = \sum_{i=1}^{n} N_i; \tag{3.4}$$

čia $N_{KKSS}$ – bendras gama kvantų ir miuonų kiekis, kai jutiklis buvo uždengtas 9 cm storio švino sluoksniu; $N_i$ – dalelių kiekis $i$-iame gama spektrometro kanale (su 9 cm švino ekrano); $n$ – gama spektrometro kanalų kiekis (n=1000).

Kalio $^{40}$K spinduliuotės intensyvumą galima taip pat apskaičiuoti pagal analogišką formulę:

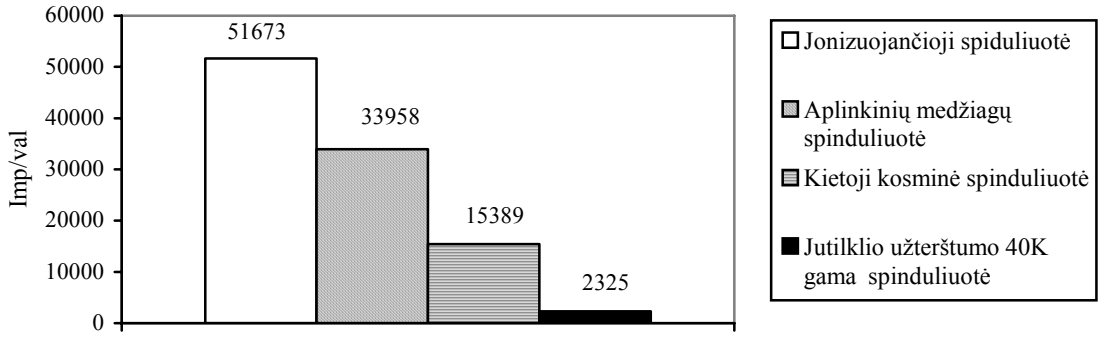
$$N_{kalio} = \sum_{i=350}^{420} N_i; \tag{3.5}$$

čia $N_{kalio}$ – kalio $^{40}$K aktyvumas; $N_i$ – dalelių kiekis $i$-iame gama spektrometro kanale, kai jutiklis nebuvo uždengtas švinu. Kalio $^{40}$K smailė yra nuo 350 iki 420 kanaluose. Be to, dalis kalio $^{40}$K išspinduliuotų gama kvantų patiria Komptono sklaidą prietaiso jutiklyje bei švino ekrane.

Aplinkinių medžiagų spinduliuotė gaunama iš jonizuojančiosios spinduliuotės išskiriant KKSS ir kalio spinduliuočių intensyvumą.

$$N_{apl\ medžiagų} = N_{jon\ spind} - N_{KKSS} - N_{kalio.} \tag{3.6}$$

Pagrindinių radioaktyviojo fono komponenčių absoliučios reikšmės valandiniais laiko intervalais, kai įrangos jutiklis nebuvo uždengtas švinu, pateiktos 3.6 pav.




**3.6 pav.** Jonizuojančiosios spinduliuotės sudedamosios dalys

Diagramoje pavaizduota, kad aplinkinių medžiagų spinduliuotės srautas, kai įrangos jutiklis nebuvo uždengtas švinu, sudarė didžiumą lyginant su kitomis komponentėmis. Kalio $^{40}K$ spinduliuotė sudaro nedidelę dalį. Apie 30 % viso fono sudaro kietoji kosminė spinduliuotė (KKS dalelių kiekis, išmatuotas su 9 cm storio ekranu), 65 % aplinkinė (atmosferos, jutiklio apsaugos ir pastato medžiagų) gama spinduliuotė. Radioaktyvaus kalio $^{40}K$ gama spinduliuotė pačiame jutiklyje sudaro 4 – 5 %.

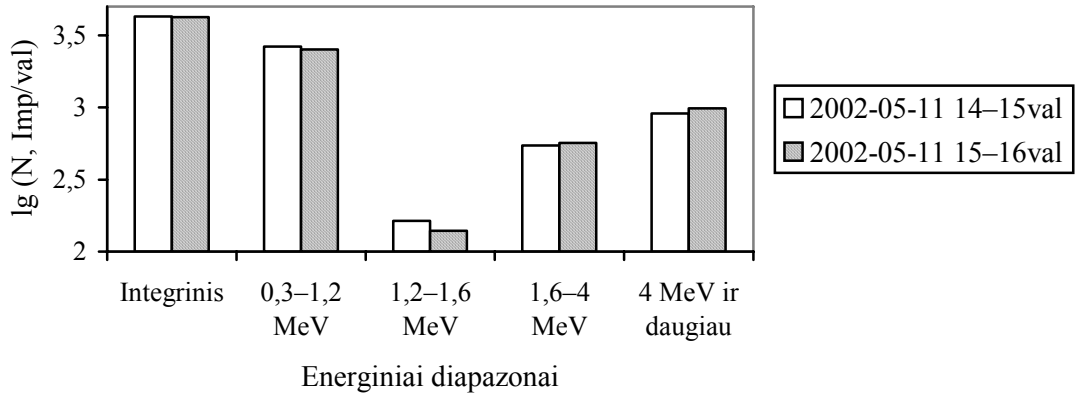
## 3.2. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijų analizė energinio spektro diapazonuose

KKSS buvo tiriamas tam tikruose energinio spektro ruožuose. Tam tikslui KKSS energinis spektras buvo padalintas į diapazonus, kurie pateikti 3.2 lentelėje.

**3.2 lentelė.** KKSS energinio spektro diapazonai

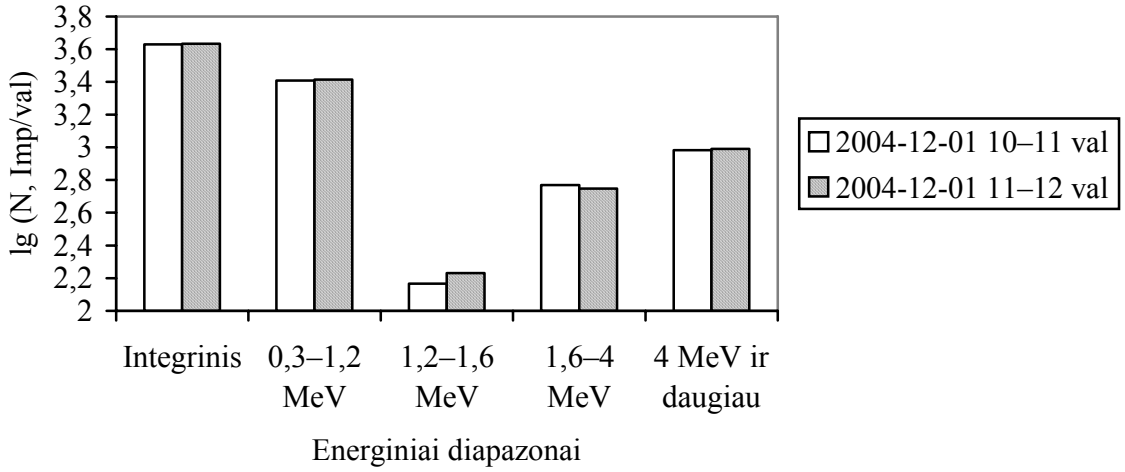
| Diapazono Nr. | Gama spektrometro kanalų numeriai | Energija, MeV |
|---|---|---|
| **1** | 0 – 310 | 0,3 – 1,2 |
| **2** | 311 – 415 | 1,2 – 1,6 |
| **3** | 415 – 1030 | 1,6 – 4 |
| **4** | 1030 ir daugiau | 4 ir daugiau |

Dalelių kiekis matuojamas 15 minučių laiko intervalais. Šių matavimų rezultatai panaudoti ŠKL kiekio paūmėjimams prognozuoti. Tačiau darbuose [19, 20] nustatyta, kad ŠKL 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. KKSS reikšmių valandiniais laiko intervalais integriniame ir atskiruose spektro diapazonuose pavyzdys pateiktas 3.7 pav.




**3.7 pav.** KKSS reikšmės 2002-05-11 14– 15 val. ir 15–16 val. integriniame ir atskiruose energiniuose diapazonuose

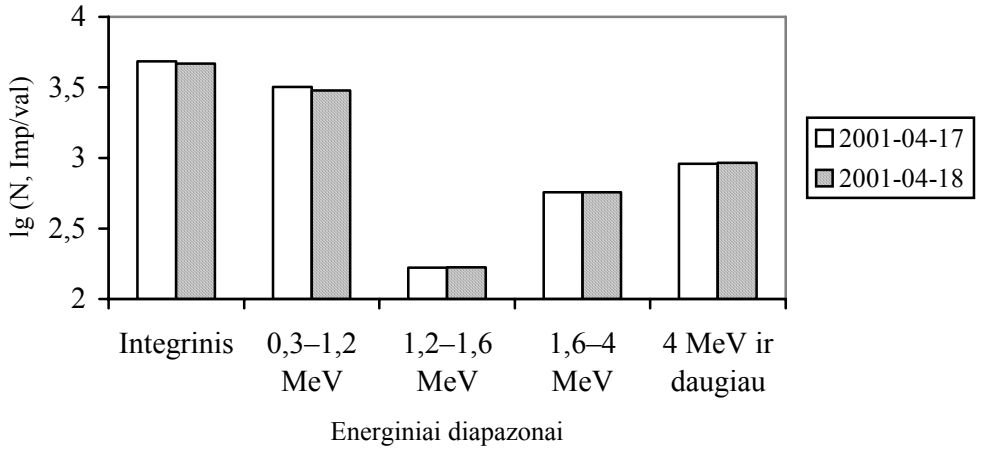
Matome, kad dvejų gretimų valandų laikotarpiu KKSS reikšmės kinta. Integriniame diapazone jie mažėjo 0,5 % (3.7 pav.). Įvairiuose energiniuose diapazonuose KKSS intensyvumas kito skirtingai: pirmajame ir antrajame sumažėjo (atitinkamai 0,6 ir 3 %), o trečiajame ir ketvirtajame padidėjo (atitinkamai 0,7 ir 1,2 %). Kitomis valandomis KKSS intensyvumo pokyčių tendencija buvo įvairi. KKSS gali didėti arba mažėti (3.8 pav.).



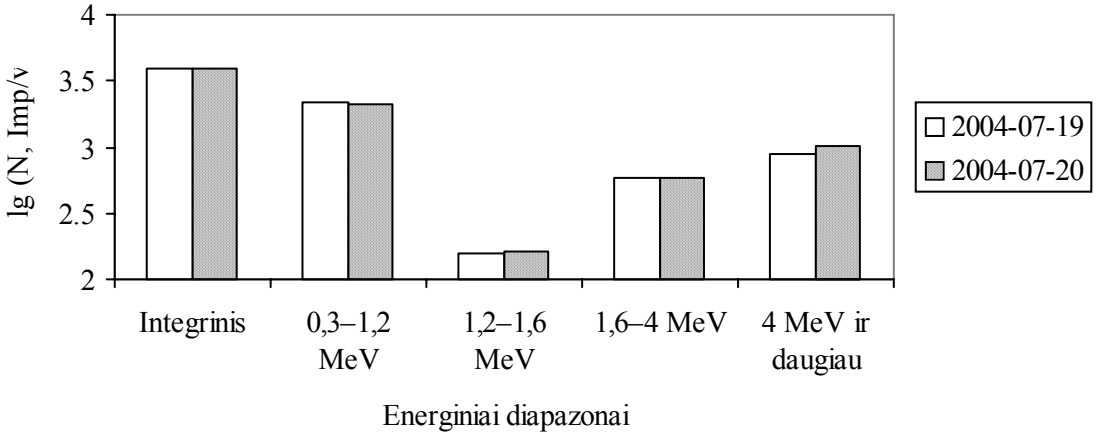

**3.8 pav.** KKSS valandinių laiko intervalų reikšmės 2004-12-01 10–11 val. ir 2004-12-01 11–12 val. integriniame ir atskiruose energiniuose diapazonuose

Šiame paveiksle pateiktos KKSS valandinių laiko intervalų reikšmės pakito integriniame ir pirmajame diapazonuose. Matome, kad skyrėsi tiek KKSS absoliučios reikšmės, tiek jų pokyčių tendencija.

KKSS pokyčiai buvo tiriami atskirų parų valandiniais laiko intervalais (3.9, 3.10 pav.).




**3.9 pav.** Išmatuotų KKSS reikšmių valandiniais laiko intervalais vidurkiai integriniame ir atskiruose diapazonuose 2001-04-17 ir 2001-04-18.

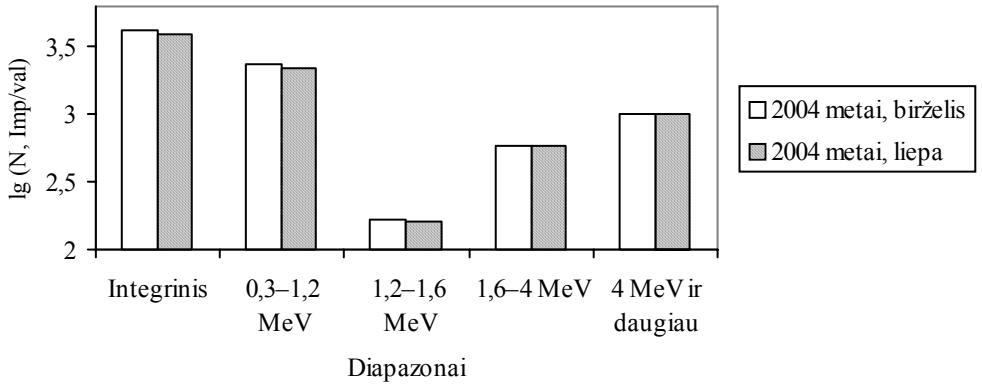



**3.10 pav.** Išmatuotų KKSS reikšmių valandiniais laiko intervalais vidurkiai integriniame ir atskiruose diapazonuose 2004-07-19 ir 2004-07-20

2004-07-19–20 d. KKSS beveik nepakito integriniame, antrajame, trečiajame diapazonuose. Bet pirmajame ir ketvirtajame diapazonuose šis pokytis buvo didelis – atitinkamai 0,5 ir 1,8 % (3.10 pav.).

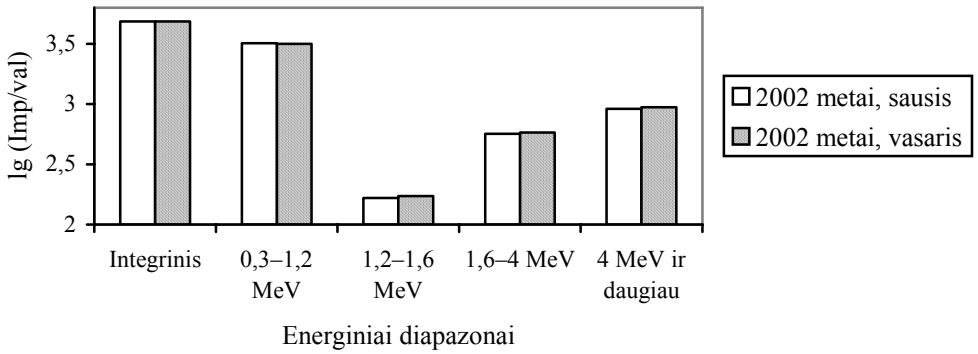
KKSS pokyčiai taip pat buvo tiriami mėnesių vidutiniais valandiniais laiko intervalais.

Skaičiavimo rezultatai pateikti 3.11 ir 3.12 pav.




**3.11 pav.** KKSS valandinių laiko intervalo vidutinės reikšmės integriniame ir atskiruose diapazonuose 2004 metų birželio ir liepos mėnesiais

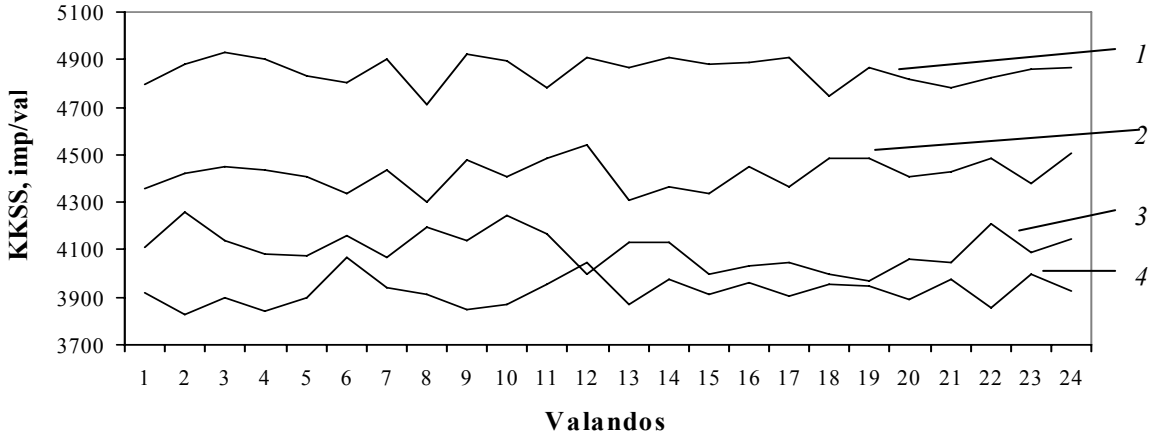
3.11 pav. parodyta, kad integriniame, pirmajame, antrajame diapazonuose KKSS liepos mėnesį sumažėjo lyginant su birželiu (atitinkamai 0,5, 1, 0,5 %). Ketvirtajame diapazone jis padidėjo 0,3 %, o trečiajame beveik nepakito. Kitas analogiškas pavyzdys pateiktas 3.12 pav.




**3.12 pav.** KKSS valandinio laiko intervalo reikšmės integriniame ir atskiruose diapazonuose 2002 metų sausio ir vasario mėnesiais

Akivaizdu, kad 2002 m. sausio–vasario mėnesiais KKSS integriniame, pirmajame, trečiajame diapazonuose beveik nesikeičia (3.12 pav.), o antrajame ir ketvirtajame – padidėjo 0,5 %. Galima pateikti dar daug tokių pavyzdžių, kuriuose vėl matytume skirtingą KKSS eigą skirtinguose energiniuose diapazonuose. Taigi galime teigti, kad prie Žemės paviršiaus KKSS energinis spektras yra nestabilus laike.

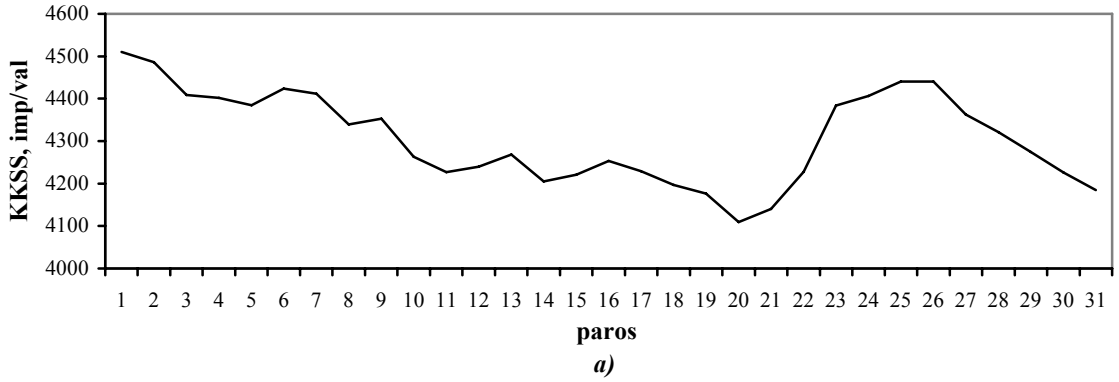
Tiriant KKSS variacijų dėsningumą prie Žemės paviršiaus, buvo atlikta išsami KKSS eigos analizė per tam tikras paras. Nustatyta, kad dauguma atvejų KKSS per valandą vidutiniškai gali skirtis 5 – 10 % nuo paros vidurkio. Tačiau kartais pasitaiko pokyčių, viršijančių paros vidurkį net iki 20 %. KKSS pokyčių valandiniais laiko intervalais pavyzdys integriniame diapazone pateiktas 3.13 pav.



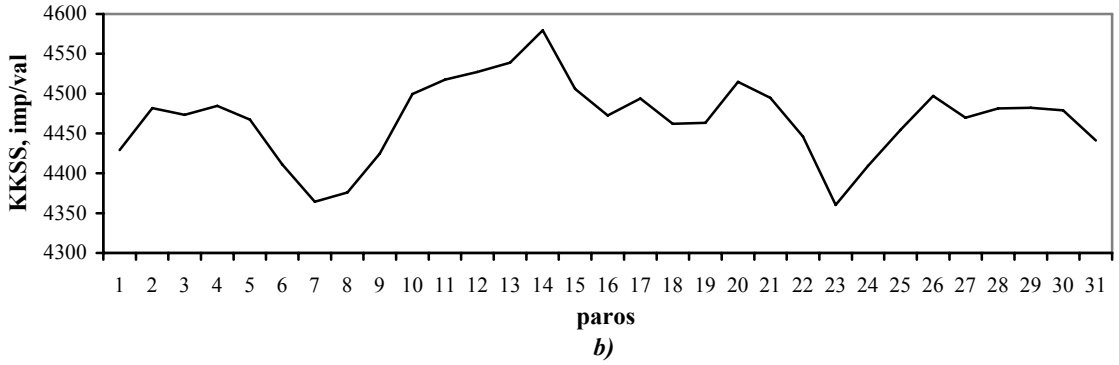

**3.13 pav.** KKSS reikšmės valandiniuose laiko intervaluose integriniame diapazone: *1* – 2002-03-01; *2* – 2004-12-24; *3* – 2003-09-23; *4* – 2003-06-11

Pastebėta, kad įvairioms paroms KKSS absoliučios reikšmės buvo skirtingos. Didžiausios absoliučios reikšmės buvo užregistruotos 2002-03-01 (3.13 pav., *1* kreivė), o mažiausios 2003-06-11 (3.13 pav., *4* kreivė). Be to, įvairioms paroms KKSS pokyčių tendencija buvo skirtinga. Kartais fiksuojami staigūs KKSS pokyčiai, o kartais pasitaiko „ramūs“ laikotarpių. Pvz., staigūs KKSS pokyčiai buvo 2004-12-24 nuo 12 val. iki 13 val. ir 2003-09-23 nuo 10 val. iki 12 val. (*2* ir *3* kreivės). Tačiau 2002-03-01 d. nuo 12 val. iki 17 val. pasitaikė „ramus“ periodas (*1* kreivė).

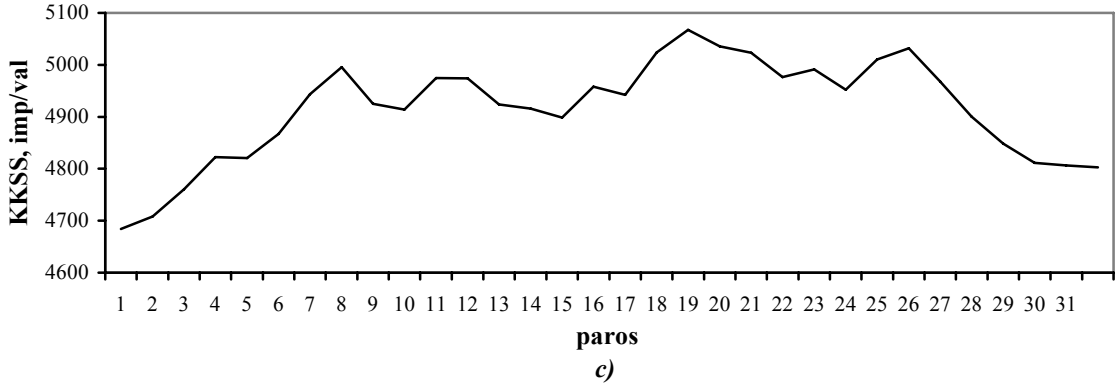
Tolesniame darbo etape buvo atlikta KKSS paros vidutinių reikšmių analizė mėnesiais. Dažniausiai KKSS paros vidurkio nuokrypiai nuo mėnesio vidurkio svyruoja 3–5 %. KKSS eigos pavyzdžiai mėnesių metu pateikti 3.14 pav.



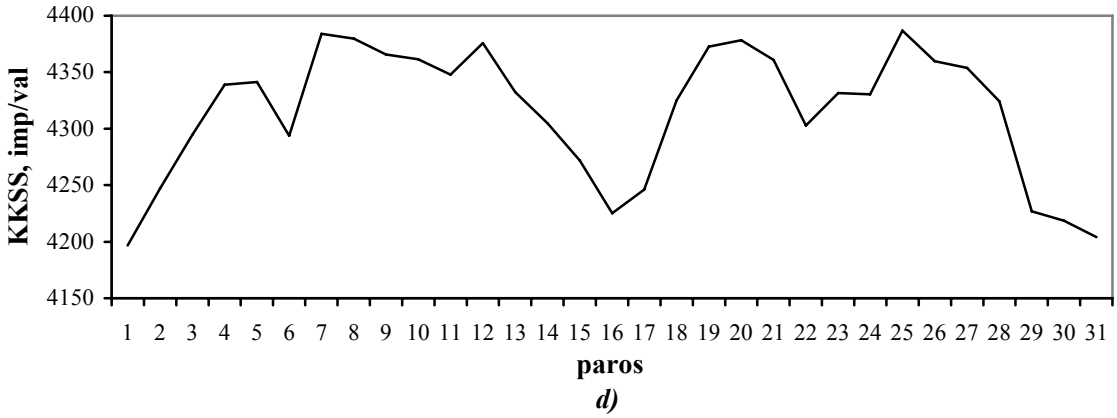

*a)*




*b)*




*c)*



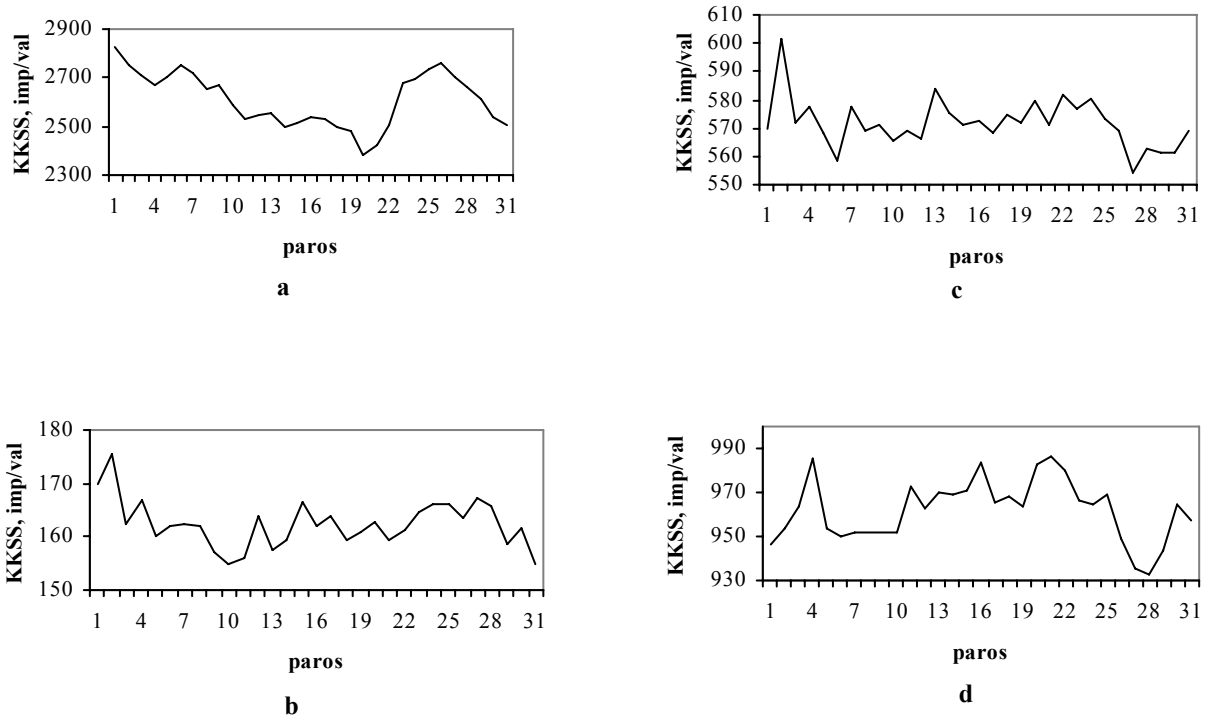

*d)*

**3.14 pav.** KKSS mėnesio parų vidurkiai integriniame energiniame diapazone: *a* –2002 m. liepos mėn.; *b* – 2003 m. spalio mėn.; *c* – 2004 m. sausio mėn.; *d* – 2001 m. kovo mėn.

Mėnesiais KKSS pokyčių eiga yra skirtinga. Skiriasi tiek absoliučios reikšmės, tiek jų pokyčių tendencija. Integriniame diapazone liepos 1–20 d. KKSS paros vidurkių reikšmės laipsniškai mažėja (3.14 pav., *a*). Tokia ilga KKSS reikšmių mažėjimo ar didėjimo eiga kitais mėnesiais nebuvo pastebėta.

Kitame darbo etape KKSS eiga buvo analizuojama atskiruose energiniuose diapazonuose. Pastebėta, kad KKSS paros vidurkiai ir jų kaitos tendencijos atskiruose energiniuose diapazonuose dažnai nesutampa. Kaip pavyzdys KKSS kitimai 2002 m. liepos mėnesį pateikti 3.15 pav.

Visuose spektro intervaluose KKSS kinta skirtingai. Minimalios ir maksimalios reikšmės atskiruose spektro diapazonuose nesutampa. Tačiau KKSS eigos integriniame spektre ir pirmajame diapazonuose yra panašios (3.14 ir 3.15 *a* pav.). Tai galima paaiškinti kaip daugumos aukštų energijų dalelių Komptono sklaidos rezultate energijos sumažėjimu, ir jų didžiausia dalis patenka į pirmąjį (0,3–1,2 MeV) diapazoną. KKSS reikšmių kaitos tendencijų nesutapimų atskiruose diapazonuose pasitaiko visais metų sezonais. Kaitos tendencijų nesutapimai galimi dėl poveikio į KKSS srautą, pavyzdžiui, pakitęs geomagnetinis laukas, miuonų pasiskirstymo kaita aukštuosiuose atmosferos sluoksniuose, atmosferos tankio pokyčiai, kurie veikia judantį Žemės link miuonų srautą.




**3.15 pav.** KKSS parų vidurkių eiga atskiruose energiniuose diapazonuose 2002 m. liepos mėn.: *a* – 1 - ame, *b* – 2 - ame, *c* – 3 - ame, *d* – 4 – ame

Analizuojant KKSS eigos tendenciją skirtinguose energiniuose diapazonuose 2001–2004 m. Vilniaus m. pastebėta, tarp dvejų gretimų parų vidurkių pokyčiai atskiruose diapazonuose dažnai skiriasi pagal impulsų kiekį ir eigą. Kiekybinė šios tendencijos analizė pateikta 3.3 lentelėje.

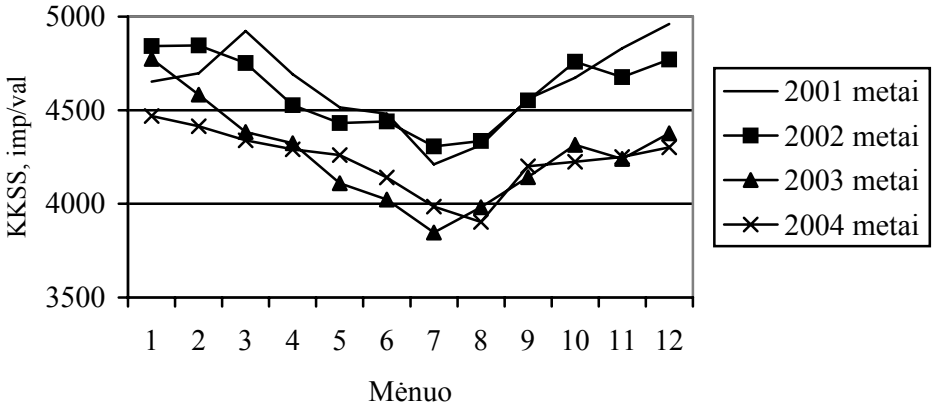
**3.3 lentelė.** KKSS reikšmių paros vidurkių kaitos tendencija atskiruose energiniuose diapazonuose 2001–2004 m.

| KKSS reikšmių kaita | 2001 | | 2002 | | 2003 | | 2004 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Įvykių kiekis | Įvykių kiekis procentais | Įvykių kiekis | Įvykių kiekis procentais | Įvykių kiekis | Įvykių kiekis procentais | Įvykių kiekis | Įvykių kiekis procentais |
| Sumažėjimas visuose energiniuose diapazonuose | 24 | 6,5 | 31 | 8,5 | 33 | 9 | 28 | 9,1 |
| Padidėjimas visuose energiniuose diapazonuose | 24 | 6,5 | 35 | 9,6 | 82 | 22,4 | 82 | 26,5 |
| Padidėjimas viename ir sumažėjimas trijuose energiniuose diapazonuose | 87 | 24,0 | 95 | 26,0 | 129 | 35,3 | 96 | 31,1 |
| Padidėjimas dvejuose ir sumažėjimas dvejuose energiniuose diapazonuose | 136 | 37,2 | 110 | 30,1 | 91 | 24,5 | 69 | 22,3 |
| Sumažėjimas viename ir padidėjimas trijuose energiniuose diapazonuose | 94 | 25,8 | 94 | 25,8 | 30 | 8,2 | 34 | 11,4 |

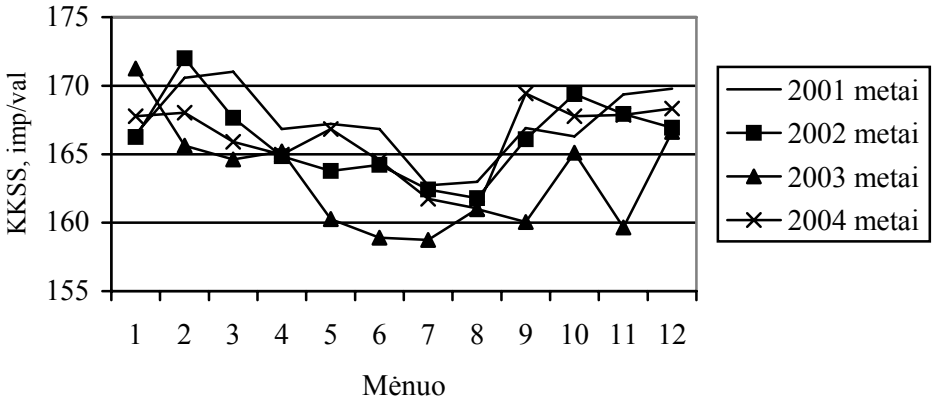
Analizuojant 3.3 lentelės duomenis, pastebėta, kad KKSS reikšmės labai retai mažėja ar didėja visuose energiniuose diapazonuose tuo pačiu metu 2001–2004 metais. Šie rezultatai svyravo nuo 6 iki 10 % visų matavimo duomenų. Buvo atvejų, kai srauto intensyvumas didėjo dvejuose diapazonuose ir mažėjo kituose dvejuose diapazonuose. Tokių atvejų buvo 22–37 %. Pastebėta, kad dauguma rezultatų (32,2 – 61,1 %) buvo tais atvejais, kai dalelių kiekis viename energiniame diapazone didėjo, o kituose trijuose tendencija buvo priešinga. Tai reiškia, kad tikimiausia KKSS būklė yra tais atvejais, kai trijuose energiniuose diapazonuose dalelių kiekių pokyčiai turi vienodą tendenciją [6 A].

### 3.3. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto metinė kaita energinio spektro diapazonuose

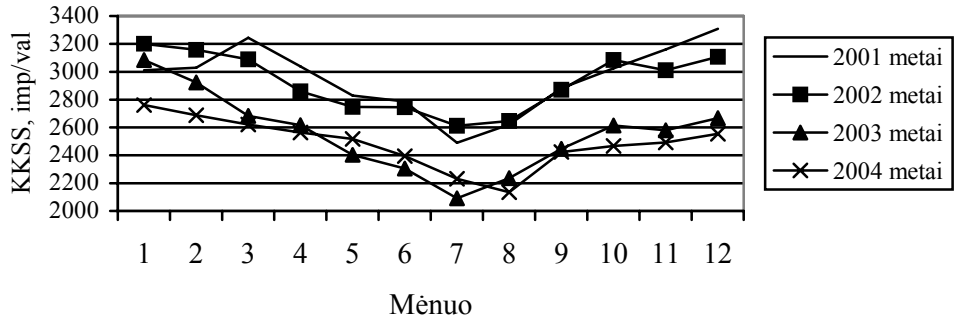
KKSS metinei eigai atskiruose energiniuose diapazonuose įvertinti iš eksperimento duomenų atlikti mėnesių vidurkių skaičiavimai. Nustatyta, kad KKSS mėnesių vidurkiai nėra stabilūs. Jų pokyčių eigos įvairiuose energiniuose diapazonuose pavyzdys pateiktas 3.16 pav.



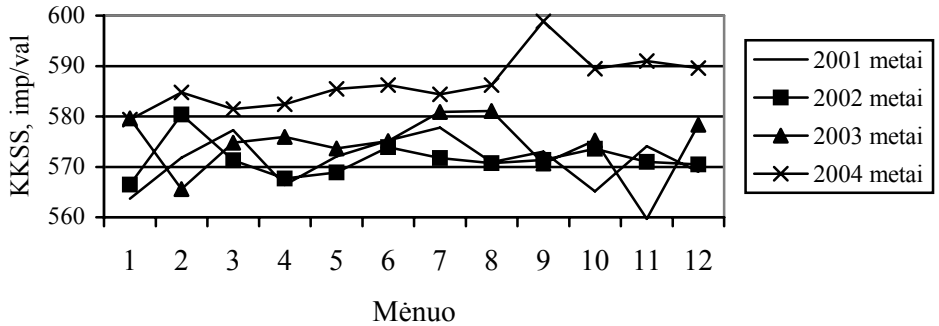

*a)*



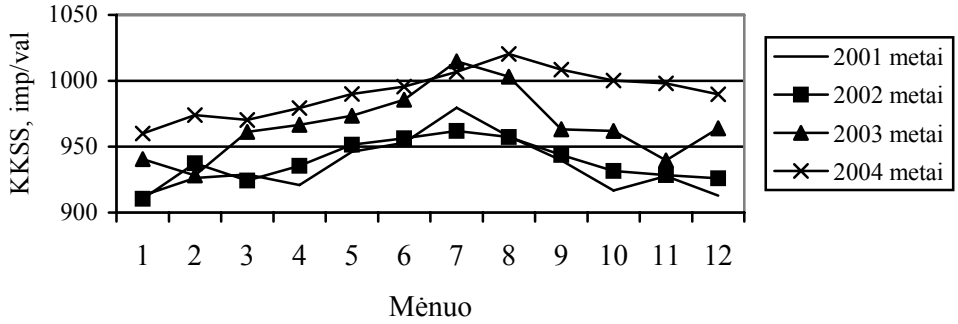

*b)*




*c)*




*d)*




*e)*

**3.16 pav.** KKSS mėnesių vidurkiai 2001–2004 metais atskiruose energiniuose diapazonuose (*a* – integriniame; *b* – 1 - ame (0,3–1,2 MeV); *c* – 2 - ame (1,2–1,6 MeV); *d* – 3 - iame (1,6–4 MeV); *e* – 4 - ame (4 MeV ir daugiau))

Skirtingais metų sezonais kinta Saulės aktyvumo poveikis atmosferai. Šis reiškinys turi įtakos kosminių dalelių srautui atmosferoje ir fiksuojamam prie Žemės paviršiaus antrinių dalelių srautui. KKSS mėnesių vidurkių reikšmės taip pat kinta sezoniškai: 2001–2004 metais jos didėjo integriniame ir 1 – ame diapazonuose rudinį ir žiemą (3.16 pav. *a* ir *b*), o mažėjo pavasarį ir vasarą. 4 – ame diapazone yra ryški atvirkštinė tendencija – KKSS mėnesių vidurkių reikšmės sumažėjo rudenį ir žiemą, o padidėjo pavasarį ir vasarą (3.16 pav. *e*). Užfiksuotą elementarių dalelių kiekį pirmajame diapazone lemia aukštųjų energijų dalelės, perėjusios per švino ekraną ir patyrusios Komptono sklaidą jutiklyje. Be to, fiksuojami natūralios kilmės radioaktyvūs atomai, pasiekę jutiklį su oro srautais. Dirbtinės kilmės radioaktyvūs atomai sudaro labai mažą dalį, palyginti su natūralios kilmės radionuklidų kiekiu.

Antrajame ir trečiajame diapazonuose nepastebėta, kad kiekvienais metais KKSS mažiausios ar didžiausios reikšmės buvo tais pačiais mėnesiais (3.16 pav. *c* ir *d*).

Įvertinant KKSS reiškinių kitimo tendenciją skaičiais, buvo apskaičiuotas koreliacijos koeficientas $r(x,y)$ tarp KKSS mėnesių vidurkių atskiruose energiniuose diapazonuose 2001–2004 metais. Skaičiavimai atlikti pagal formulę:

$$r(x,y)=\frac{n\cdot\sum_{i=1}^{n}x_i\cdot y_i-\sum_{i=1}^{n}x_i\cdot\sum_{i=1}^{n}y_i}{n^2\cdot\sigma(x)\cdot\sigma(y)}; \tag{3.7}$$

čia $r(x,y)$ – Pirsono koreliacijos koeficientas; $n$ – gretinamų dydžių porų kiekis, $n$=48 (mėnesių per ketverius metus); $x$, $y$ – gretinamų diapazonų KKSS mėnesių vidurkiai; $\sigma(x)$ ir $\sigma(y)$ – gretinamų diapazonų KKSS intensyvumo mėnesių vidurkių dispersijos.

Skaičiavimo rezultatai pateikti 3.4 lentelėje.

**3.4 lentelė.** Koreliacijos koeficientai tarp atskirų energinių diapazonų KKSS mėnesio vidurkių 2001–2004 m. (48 mėnesių laikotarpis)

| **Energiniai diapazonai** | 0,3–1,2MeV | 1,2–1,6MeV | 1,6–4MeV | 4 MeV ir daugiau | Integrinis diapazonas |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,3–1,2 MeV | 1 | 0,83 | –0,4 | –0,92 | 1 |
| 1,2–1,6 MeV | | 1 | 0,12 | –0,59 | 0,85 |
| 1,6–4 MeV | | | 1 | 0,71 | –0,35 |
| 4 MeV ir daugiau | | | | 1 | –0,9 |
| Integrinis | | | | | 1 |

Matome, kad stipriausias koreliacinis KKSS mėnesio vidutinių reikšmių ryšys yra integriniame ir pirmajame (0,3–1,2 MeV) diapazonuose (3.4 lentelė). Šiuo atveju koreliacijos koeficientas artimas vienetui. Tarp KKSS eigos interginiame ir ketvirtajame (4 MeV ir daugiau) diapazonuose stebima stipri neigiamoji koreliacija ($r$ = –0,9). Be to, tarp kosminių dalelių kiekių pokyčių 0,3–1,2 MeV energijų ir aukštesnių nei 4 MeV energijų diapazonuose taip pat aptikta ryški neigiamoji koreliaciją ($r$ = –0,92).

Minėti koreliacijos koeficientai apskaičiuoti visiems energiniams diapazonams ir jų vertės pateiktos 3.5 lentelėje.

**3.5 lentelė.** Koreliacijos koeficientai tarp KKSS mėnesių vidurkių atskiruose energiniuose diapazonuose 2001–2004 m.

| | **1 diapazonas** | | | | **2 diapazonas** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Metai** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** |
| **2001** | 1,00 | 0,69 | 0,55 | 0,74 | 1,00 | 0,78 | 0,04 | 0,69 |
| **2002** | | 1,00 | 0,94 | 0,84 | | 1,00 | 0,40 | 0,73 |
| **2003** | | | 1,00 | 0,91 | | | 1,00 | 0,39 |
| **2004** | | | | 1,00 | | | | 1,00 |
| | **3 diapazonas** | | | | **4 diapazonas** | | | |
| **Metai** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** |
| **2001** | 1,00 | 0,51 | –0,36 | 0,14 | 1,00 | 0,90 | 0,74 | 0,62 |
| **2002** | | 1,00 | –0,88 | 0,21 | | 1,00 | 0,65 | 0,72 |
| **2003** | | | 1,00 | –0,41 | | | 1,00 | 0,64 |
| **2004** | | | | 1,00 | | | | 1,00 |
| | Integrinis diapazonas | | | | | | | |
| **Metai** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** | | | | |
| **2001** | 1,00 | 0,64 | 0,48 | 0,74 | | | | |
| **2002** | | 1,00 | 0,92 | 0,85 | | | | |
| **2003** | | | 1,00 | 0,9 | | | | |
| **2004** | | | | 1,00 | | | | |

Tarp KKSS mėnesių vidurkių 2001–2004 metais integriniame ir pirmajame diapazonuose koreliacijos koeficientai yra aukšti (3.5 lentelė). Koreliacijos koeficiento reikšmės kinta nuo 0,5 iki 0,94. Panaši padėtis yra ketvirtajame diapazone. Todėl galima manyti, kad egzistuoja metų sezonų kaitos poveikis kosminių dalelių kiekiams minėtuose diapazonuose. Koreliacijos koeficientų reikšmės tarp KKSS kitimų antrajame ir trečiajame diapazonuose yra žemos ir net gi turi priešingus ženklus.

Be to, KKSS eigos sezoniškumo efektui įvertinti apskaičiuoti KKSS paros vidurkiai įvairiais metų sezonais pagal 3.8 formulę. Šiuo atveju skaičius *n* yra tam tikrų metų sezonų parų kiekis. Skaičiavimo rezultatai pateikti 3.6 lentelėje.

**3.6 lentelė.** KKSS reikšmių paros vidurkiai įvairiais metų sezonais

| Metai | Metų laikai | Integrinis | 0,3–1,2 MeV | 1,2–1,6 MeV | 1,6–4 MeV | 4 MeV ir daugiau |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **2001** | Žiema | 4773 | 3119 | 169 | 568 | 917 |
| | Pavasaris | 4710 | 3038 | 168 | 572 | 932 |
| | Vasara | 4334 | 2631 | 164 | 575 | 964 |
| | Ruduo | 4488 | 3022 | 168 | 571 | 928 |
| **2002** | Žiema | 4821 | 3157 | 168 | 572 | 924 |
| | Pavasaris | 4570 | 2899 | 165 | 569 | 937 |
| | Vasara | 4360 | 2666 | 163 | 572 | 959 |
| | Ruduo | 4664 | 2990 | 168 | 573 | 934 |
| **2003** | Žiema | 4578 | 2891 | 168 | 575 | 945 |
| | Pavasaris | 4271 | 2566 | 163 | 575 | 967 |
| | Vasara | 3950 | 2210 | 160 | 579 | 1001 |
| | Ruduo | 4233 | 2548 | 161 | 567 | 955 |
| **2004** | Žiema | 4394 | 2667 | 168 | 584 | 975 |
| | Pavasaris | 4297 | 2568 | 166 | 583 | 980 |
| | Vasara | 4025 | 2272 | 163 | 586 | 1006 |
| | Ruduo | 4236 | 2476 | 168 | 592 | 1001 |

Integriniame ir pirmajame diapazonuose per visą tiriamąjį laikotarpį KKSS paros vidurkių mažiausios reikšmės yra vasarą ir rudenį, o didžiausios – žiemą ir pavasarį. Ketvirtajame diapazone pastebėta atvirkštinė tendencija: KKSS paros vidurkių reikšmės mažiausios žemą ir pavasarį, o didžiausios – vasarą ir rudenį.

Antrajame ir trečiajame diapazonuose aiškios KKSS paros vidurkių kaitos priklausomybės nuo metų sezonų neaptikta.

Tolesniame darbo etape buvo apskaičiuoti KKSS metų vidurkiai valandiniais laiko intervalais ir jų reikšmės pateiktos 3.7 lentelėje.

**3.7 lentelė.** KKSS reikšmių metų vidurkiai

| Metai | Integrinis | 0,3–1,2 MeV | 1,2–1,6 MeV | 1,6–4 MeV | 4 MeV ir daugiau |
|---|---|---|---|---|---|
| 2001 | 4625 | 2951 | 167 | 571 | 935 |
| 2002 | 4600 | 2924 | 166 | 571 | 924 |
| 2003 | 4257 | 2552 | 163 | 574 | 967 |
| 2004 | 4247 | 2507 | 166 | 586 | 988 |

Nustatyta, kad integriniame ir pirmajame diapazonuose KKSS metų vidurkių reikšmės per tiriamąjį laikotarpį mažėjo, bet ketvirtajame diapazone padidėjo.

Nuodugniai KKSS pokyčių analizei apskaičiuojami KKSS reikšmių paros vidurkių vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai nuo metų vidurkio kiekviename energiniame diapazone pagal formulę:

$$\sigma = \sqrt{\Big/ n(n-1)} \quad ; \tag{3.10}$$

čia $\sigma$ – vidutinis kvadratinis KKSS paros vidurkių nuokrypis, $x_i$ – KKSS $i$-ios paros vidurkio reikšmė, $n$ – parų kiekis metuose.

Skaičiavimo rezultatai pateikti 3.8 lentelėje.

**3.8 lentelė.** Santykiniai vidutiniai kvadratiniai KKSS reikšmių paros vidurkių nuokrypiai nuo metų vidurkio

| Metai | Integrinis | 0,3–1,2 MeV | 1,2–1,6 MeV | 1,6–4 MeV | 4 MeV ir daugiau |
|---|---|---|---|---|---|
| 2001 | 5 | 8,5 | 3,6 | 2,1 | 2,8 |
| 2002 | 4,8 | 7,8 | 3 | 1,9 | 2,5 |
| 2003 | 6,3 | 11,2 | 3,7 | 2,1 | 3,1 |
| 2004 | 4 | 7,2 | 3 | 2 | 2,5 |

Iš 3.8 lentelės duomenų matyti, kad sąlygiškai nestabilūs yra integrinis ir pirmasis (0,3–1,2 MeV) diapazonai. Mažiausi KKSS pokyčiai buvo antrajame (1,2–1,6 MeV) diapazone. Be to, interginiame ir pirmajame diapazonuose 2004 metais mažėjo vidutiniai kvadratiniai KKSS reikšmių paros vidurkių nuokrypiai.

KKSS nestabilumas priklauso nuo metų sezonų. Tam reiškiniui įvertinti apskaičiuoti vidutiniai kvadratiniai KKSS reikšmių paros vidurkių nuokrypiai skirtingais metų laikais. Šiuo atveju 3.10 formulėje skaičius *n* yra tam tikrų metų laikų parų kiekis. Skaičiavimo rezultatai pateikti 3.9 lentelėje.

**3.9 lentelė.** Santykiniai KKSS reikšmių paros vidurkių vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai nuo metų vidurkių įvairiais metų sezonais

| Metai | Metų laikai | Integrinis | 0,3–1,2 MeV | 1,2–1,6 MeV | 1,6–4 MeV | 4 MeV ir daugiau |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **2001** | Žiema | 3,4 | 5,1 | 3,6 | 2,8 | 2,4 |
| | Pavasaris | 4,3 | 7 | 2,4 | 1,7 | 1,9 |
| | Vasara | 3,1 | 5,5 | 2,4 | 1,4 | 1,9 |
| | Ruduo | 2,9 | 4,5 | 2,4 | 1,9 | 2 |
| **2002** | Žiema | 2,3 | 3,2 | 3,6 | 2,6 | 2,6 |
| | Pavasaris | 4 | 6,7 | 2,4 | 1,6 | 2,1 |
| | Vasara | 2,3 | 3,9 | 2,5 | 1,6 | 1,4 |
| | Ruduo | 3,4 | 5,4 | 3 | 1,7 | 1,9 |
| **2003** | Žiema | 4,3 | 6,8 | 3 | 2,6 | 2,6 |
| | Pavasaris | 3,5 | 6 | 2,5 | 1,6 | 1,8 |
| | Vasara | 3,8 | 7,2 | 2,5 | 1,2 | 1,9 |
| | Ruduo | 2,2 | 3,3 | 3,7 | 2,5 | 2,3 |
| **2004** | Žiema | 2 | 3,5 | 3 | 2,4 | 2,4 |
| | Pavasaris | 1,4 | 2,6 | 2,4 | 2 | 2 |
| | Vasara | 3,4 | 6,3 | 2,5 | 1,5 | 1,7 |
| | Ruduo | 1,7 | 2 | 3 | 2,4 | 2,1 |

3.9 lentelėje matyti, kad visais sezonais didžiausi nuokrypiai yra pirmajame (0,3–1,2 MeV) diapazone. Be to, beveik visuose diapazonuose nuokrypiai didėja žiemą ir pavasarį. Vasarą ir rudenį KKSS yra stabilesnis.

## 3.4 IŠVADOS

1. Nustatytos jonizuojančiosios spinduliuotės komponenčių santykinės dalys. Apie 30 % viso fono sudaro kietoji kosminė spinduliuotė. 65 % sudaro aplinkinė (atmosferos, jutiklio apsaugos ir pastato medžiagų) gama spinduliuotė. Gama radioaktyviojo kalio $^{40}$K gama spinduliuotė pačiame jutiklyje ir švino apsaugos sluoksnyje sudaro 4 – 5 %.

2. Visuose spektro intervaluose KKSS kinta skirtingai. 2001 –2004 m. KKSS reikšmės tuo pačiu metu mažėja ar didėja visuose energiniuose diapazonuose 6–10 % visų matavimo duomenų. Atvejų, kai KKSS reikšmės didėjo dvejuose diapazonuose ir mažėjo kituose dvejuose diapazonuose, buvo 22–37 %. Dauguma atvejų (32 –61 %) užfiksuota, kai dalelių kiekis trijuose diapazonuose mažėjo arba didėjo, o kitame diapazone tendencija buvo priešinga.

3. KKSS mėnesių vidurkių reikšmės kaita priklauso nuo metų sezonų: 2001 – 2004 metais dalelių kiekis didėja integriniame ir pirmajame diapazone rudenį ir žiemą, o mažėjo pavasarį ir vasarą. Ketvirtajame diapazone yra atvirkštinė tendencija – KKSS mėnesių vidurkių reikšmės mažėjo rudenį ir žiemą, o padidėjo pavasarį ir vasarą. Antrajame ir trečiajame diapazonuose nepastebėta metų sezonų kaitos poveikio.

# 4. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijų taikymas žmonių sveikatos sutrikimams prognozuoti

Bibliografinė apžvalga įtikinamai rodo, kad Saulės ir geofizikinių veiksnių įtaka žmogaus organizmui bei širdies ir kraujagyslių ligoms egzistuoja, ir gali būti pakankamai patikimai tiriama ir įrodyta tik pasitelkus statistinius kiekybinius tokios įtakos rodiklių metodus. Todėl itin daug reikšmės turi nagrinėjamų KKSS variacijų, kaip geofizinių veiksnių ir Saulės įtakos netiesioginio indikatoriaus, bei širdies ir kraujagyslių ligų statistinė analizė.

Tiriant geomagnetinį poveikį žmogaus organizmui, reikia įvertinti du dalykus: tiesioginį poveikį į organizmą ir organizmo reakciją į šį poveikį. Abu šie dalykai turi skirtingas prasmes. Jeigu ilgą laiką išorinis poveikis dažnai kartojasi, žmogaus organizmas pripranta prie jo ir toliau nereaguoja. Atvirkščiai, net silpnas geomagnetinis pokytis po ilgo „ramaus“ periodo gali skatinti stiprų nepageidaujamą poveikį organizmui.

Žmogaus organizmo širdies ir kraujagyslių sistema reaguoja į daugelį ir vidinių, ir išorinių veiksnių (meteorologinių, socialinių, psichologinių ir kt.). Galima teigti, kad, lyginant su visais kitais veiksniais, geomagnetinis poveikis negali turėti sąlygiškai didelės įtakos.

## 4.1. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto bei širdies ir kraujagyslių ligų kiekio duomenų statistinė analizė

KKSS matavimai atlikti pagal metodiką, aprašytą 2.1 skyriuje. Prietaisas nepertraukiamai registruoja gama kvantus ir miuonus, patekusius į prietaiso jutiklį per 15 minučių. Šiais laiko intervalais atlikta 700 000 matavimų. Apskaičiuoti vienos valandos, paros ir mėnesio KKSS reikšmių vidurkiai.

Tyrimams panaudoti 1997–1999 m. ir 2001–2004 m. KKSS matavimų duomenys. Atlikta jų statistinė analizė naudojant SPSS ir STATISTICA programinius paketus [70–72].

Apskaičiuoti 1997–1999 m. ir 2001–2004 m. laikotarpių KKSS parų valandinių laiko intervalų vidurkių ir ŠKL parų kiekių pagrindiniai statistiniai parametrai: vidurkiai, vidurkių paklaidos, aritmetinių vidurkių pasikliautinieji intervalai, esant 95 % tikimybei, dispersijos, vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai.

Asimetrijos koeficientas apskaičiuotas pagal formulę:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^3}{n(\sigma(x))^3}; \tag{4.1}$$

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

Ekscesas apskaičiuotas pagal formulę:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^4}{n(\sigma(x))^4}; \tag{4.2}$$

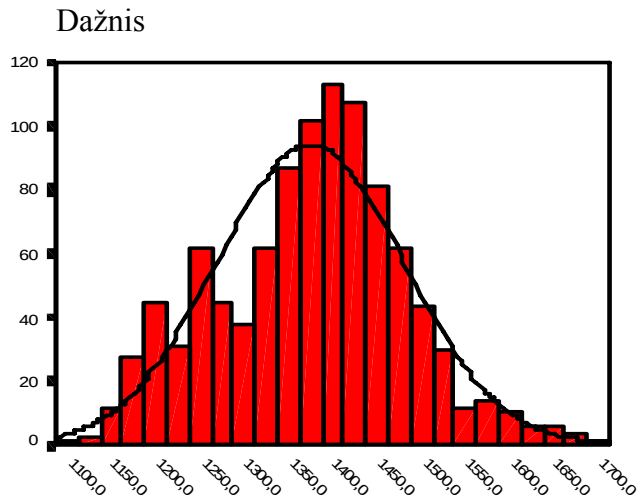
čia $E$ – ekscesas; $n$ – matavimų skaičius; $x_i$ – $i$-matavimo reikšmė; $\bar{x}$ – visų matavimų reikšmių vidutinė vertė; $\sigma(x)$ – matavimo reikšmių vidutinis kvadratinis nuokrypis.

KKSS parų valandinių laiko intervalų vidurkių ir ŠKL parų kiekių statistinės analizės rezultatai pateikti 4.1 lentelėje.

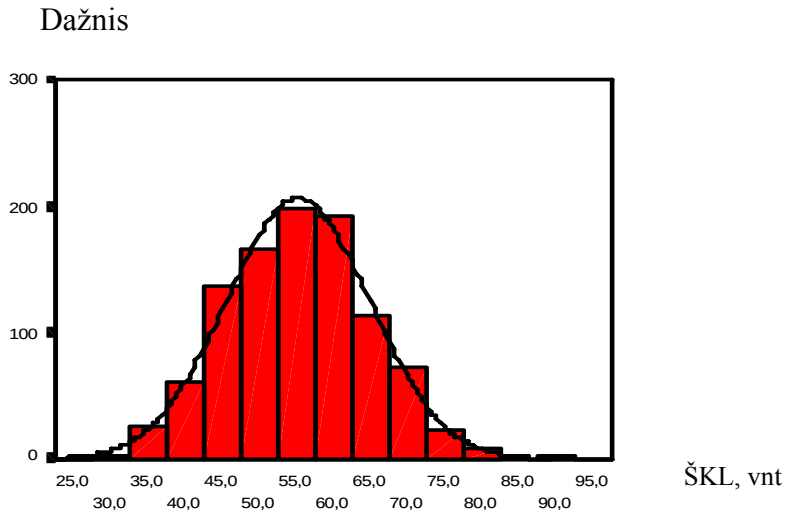
**4.1 lentelė.** Pagrindiniai KKSS ir ŠKL statistinių parametrų skaičiavimo rezultatai

| | | 1997–1999m. KKSS, imp/val | 2001–2004m. KKSS, imp/val | 1997–1999m. ŠKL, vnt | 2001–2004m. ŠKL, vnt. |
|---|---|---|---|---|---|
| **Vidurkis** | | 1375 | 4439 | 55 | 82 |
| Absoliuti vidurkio paklaida | | 3 | 8 | 0,3 | 0,4 |
| **95 % pasikliauti-nieji intervalai** | Apatinė riba | 1368 | 4597 | 55 | 78 |
| | Viršutinė riba | 1381 | 4630 | 55 | 80 |
| **Mediana** | | 1384 | 4406 | 55 | 82 |
| **Dispersija** | | 11209 | 84441 | 94 | 191 |
| **Vidutinis standartinis nuokrypis** | | 106 | 291 | 10 | 14 |
| **Minimali reikšmė** | | 1112 | 3637 | 25 | 44 |
| **Maksimali reikšmė** | | 1691 | 5201 | 93 | 163 |
| **Reikšmių kitimo ribos** | | 579 | 1564 | 68 | 119 |
| **Asimetrijos koeficientas** | | –0,02 | –0,28 | 0,19 | 0,23 |
| **Ekscesas** | | –0,15 | –0,41 | 0,14 | 0,6 |

Atlikus skaičiavimus patikrinta, kad KKSS ir ŠKL duomenų pasiskirstymas paklūsta normaliojo (Gauso) dėsniui. Be to, ankstesnių tyrimų rezultatai parodė, kad egzistuoja sezoninės KKSS variacijos [15]. Todėl buvo sudarytos KKSS reikšmių dažnių histogramos (4.1, 4.2 pav.).

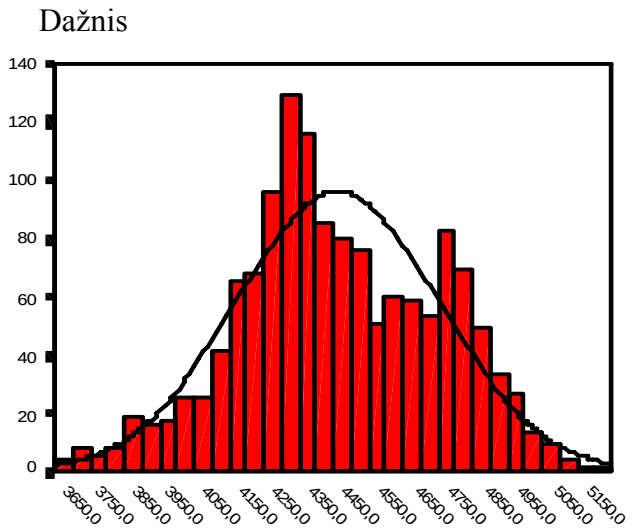



*a*)

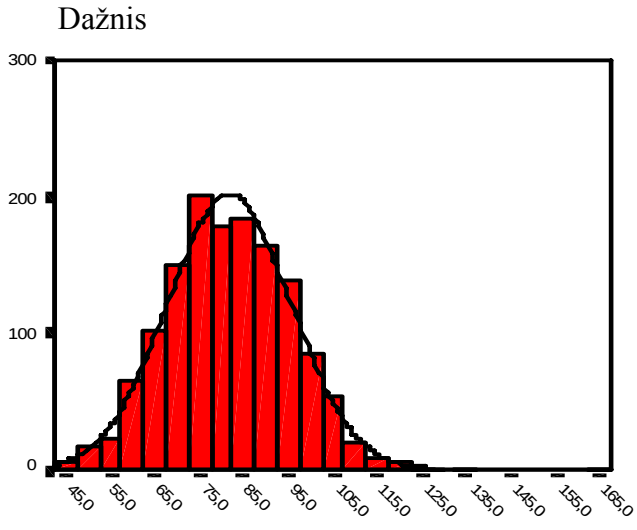



*b*)

**4.1 pav.** KKSS (*a*) parų valandinių laiko intervalų vidurkių ir ŠKL (*b*) parų kiekio 1997–1999 m. pasiskirstymas




*a)*



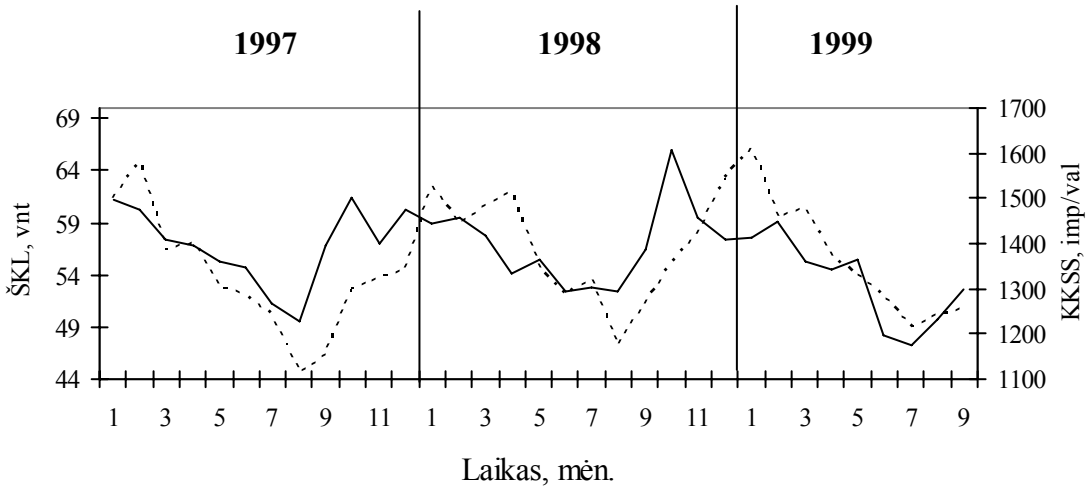

*b)*

**4.2 pav.** KKSS (*a*) parų valandinių laiko intervalų vidurkių ir ŠKL (*b*) parų kiekio 2001–2004 m. pasiskirstymas

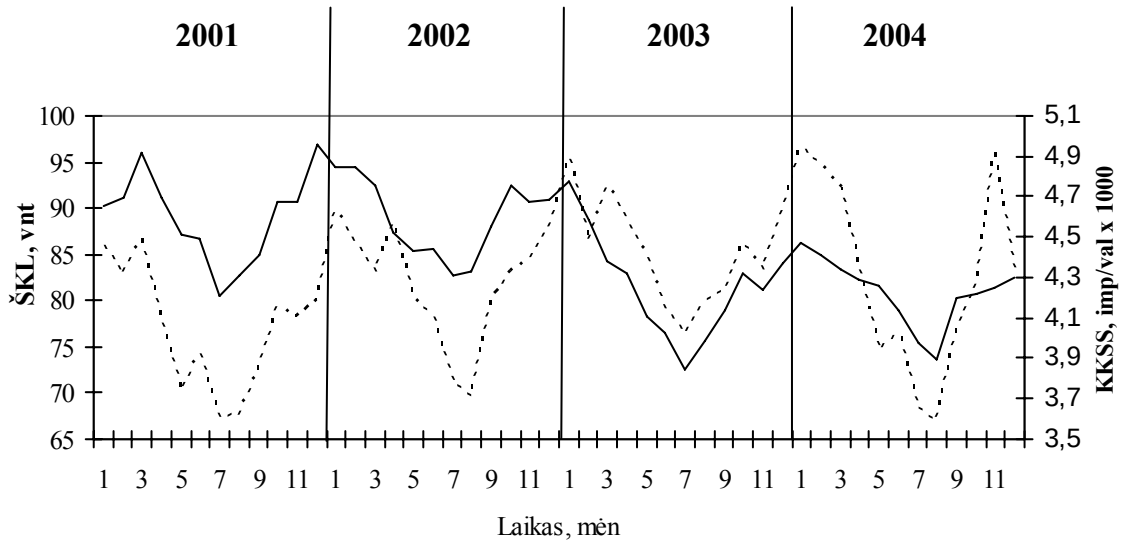
Akivaizdu, kad KKSS parų valandinių laiko intervalų vidurkių ir ŠKL kiekių pasiskirstymas yra artimas normaliajam. Apie tai byloja asimetrijos koeficiento ir ekscesо reikšmės. Asimetrijos koeficientas nurodo dažnių pasiskirstymo nukreipimą nuo simetrinio pasiskirstymo. Jeigu duomenys pasiskirstė pagal normalųjį (Gauso) dėsnį, asimetrijos koeficientas ir ekscesas lygūs nuliui. Šiuo atveju abu koeficientai artimi nuliui (4.1 lentelė), todėl galima sakyti, kad duomenų pasiskirstymas yra artimas normaliajam (Gauso) dėsniui [8 A].

## 4.2. Prognostinio sąryšio tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijų ir širdies ir kraujagyslių ligų paūmėjimo 1997–2004 m. integriniame diapazone pagrindimas ir modeliavimas

Širdies ir kraujagyslių ligų kiekio kitimo analizė buvo atlikta naudojant 1997–1999 m. [19, 20] ir 2001–2004 m. Vilniaus m. GPS duomenis. ŠKL mėnesio vidurkių kitimai buvo gretinami su šio laikotarpio KKSS mėnesio vidurkių kitimais. 4.3 ir 4.4 pav. pateikta KKSS ir ŠKL tų pačių laikotarpių mėnesių vidurkių kaita [1 A, 2 A].




**4.3 pav.** KKSS (——) ir ŠKL (----) mėnesių vidurkių reikšmės 1997–1999 m.




**4.4 pav.** KKSS (——) ir ŠKL (----) mėnesių vidurkių reikšmės 2001–2004 m.

Abiejuose grafikuose matyti, kad KKSS reikšmių ir ŠKL kiekio mėnesių vidurkių eiga turi vienodą tendenciją. Dviejų gretinamų dydžių per visą nagrinėjimą septynerių metų laikotarpį maksimumai pastebėti žiemą, minimumai – liepą ir rugpjūtį. Tai nuoroda į galimą KKSS variacijų ir ŠKL paūmėjimų ryšį. KKSS 1997–1999 m. ir 2001–2004 m. absoliučios reikšmės skiriasi, nes matavimams panaudoti skirtingų matmenų NaI(Tl) scintiliaciniai jutikliai.

Toliau buvo nagrinėjamas koreliacinis sąryšis tarp KKSS variacijų ir širdies bei kraujagyslių ligų paūmėjimų. Akivaizdu, kad širdies ir kraujagyslių ligų paūmėjimams daro įtaką daug veiksnių. Geomagnetinio lauko pokyčiai gali būti tik vieni iš jų.

Nustatyti kiek KKSS ir ŠKL mėnesių vidurkių statistinis ryšys artimas tiesiniam ryšiui, apskaičiuojamas Pirsono koreliacijos koeficientas $r(x,y)$ tarp atsitiktinių dydžių $x$, $y$ pagal 3.7 formulę; čia dydžiai $x_i$ – KKSS mėnesio vidurkio reikšmės, $y_i$ – ŠKL mėnesio vidurkio reikšmės, $\sigma(x)$ ir $\sigma(y)$ – KKSS ir ŠKL mėnesio vidurkio reikšmių standartiniai nuokrypiai.

Koreliacijos koeficientų pasikliautinieji intervalai apskaičiuojami pagal formulę:

$$\left( r(x,y) - \frac{t_p\,(1-(r(x,y))^2)}{\sqrt{n}} \;\ldots\; r(x,y) + \frac{t_p\,(1-(r(x,y))^2)}{\sqrt{n}} \right); \tag{4.3}$$

čia $r(x,y)$ – koreliacijos koeficiento įvertis; $t_p$ – standartizuotojo normaliojo skirstinio atvirkštinės pasiskirstymo funkcijos $t_p = F^{-1}\left(\frac{1+p}{2}\right)$ reikšmė taške $\frac{1+p}{2}$; $p$ – patikimumas ($p = 0{,}95$).

Pasikliautiniesiems intervalams buvo sudaryta kompiuterinė programa naudojant *Maple 7* matematinį paketą.

Koreliacijos koeficientų reikšmės pateiktos 4.2 lentelėje. Galima teigti, kad abiem atvejais jie yra gana aukšti ir yra statistiškai reikšmingi [1 A, 2 A].

**4.2 lentelė.** Koreliacijos koeficientų tarp KKSS reikšmių integriniame diapazone ir ŠKL mėnesių vidurkių eigos reikšmės bei jų pasikliautinieji intervalai

| Laikotarpis | Pirsono koreliacijos koeficientas | Pirsono koreliacijos koeficiento pasikliautinieji intervalai ($p$ = 0,95) |
|---|---|---|
| 1997–1999 m. | 0,55 | 0,31–0,79 |
| 2001 m. | 0,81 | 0,62–1,00 |
| 2002 m. | 0,83 | 0,65–1,00 |
| 2003 m. | 0,9 | 0,79–1,00 |
| 2004 m. | 0,86 | 0,72–1,00 |

Šiuo atveju ryšys tarp kintamųjų nėra tiesinis, todėl tokį ryšį galima įvertinti apskaičiavus koreliacinius santykius $\eta_{x|y}$, $\eta_{y|x}$ pagal formulės:

$$\eta_{x|y} = \sqrt{\frac{\overline{\left(\overline{x_y}\right)^2} - \left(\overline{x}\right)^2}{\overline{x^2} - \left(\overline{x}\right)^2}}, \quad \eta_{y|x} = \sqrt{\frac{\overline{\left(\overline{y_x}\right)^2} - \left(\overline{y}\right)^2}{\overline{y^2} - \left(\overline{y}\right)^2}}. \tag{4.4}$$

Abu koreliaciniai santykiai būna ne didesni kaip 1 ir ne mažesni kaip koreliacijos koeficiento modulis:

$$0 \le |r| \le \eta_{x|y}, \eta_{y|x} \le 1.$$

Kai $\eta_{x|y} \approx 1$ arba $\eta_{y|x} \approx 1$, tai tarp $X$ ir $Y$ sąryšis stiprus, kai $\eta_{x|y} \approx 0$ ir $\eta_{y|x} \approx 0$ – sąryšio nėra. Koreliacinis santykis apibūdina kintamųjų ryšį, kai tarp kintamųjų nėra tiesinės priklausomybės.

Koreliaciniai santykiai apskaičiuoti naudojant *Maple 7* [73] kompiuterinę programą. Šiems skaičiavimams reikia sudaryti tiriamųjų dydžių *X, Y* koreliacinę lentelę. ŠKL mėnesių vidurkio įgyjamų reikšmių intervalas $(\min \overline{X_i}, \max \overline{X_i})$ suskirstytas į *nx* dalinių intervalų $[a_1, a_2), [a_2, a_3) \ldots [a_{nx}, a_{nx+1}]$ ir šių intervalų centrai pažymėti raidėmis $x_i$, $i$=1,2,…, *nx*. Panašiai suskirstytos KKSS mėnesių vidurkių (*Y)* įgyjamos reikšmės į intervalus $[b_1, b_2), [b_2, b_3) \ldots [b_{ny}, b_{ny+1}]$, kurių centrai pažymėti raidėmis $y_j$, $j$=1,2,…, *ny*.

Tada apibrėžiama, kad koreliacinės lentelės elementas $k_{ij}$ lygus skaičių porų $\left(X_p, Y_s\right)$: $a_i \le X_p < a_{i+1}$ ir $b_j \le Y_s < b_{j+1}$ kiekiui, o koreliacinė lentelė užrašoma taip:

| $X \setminus Y$ | $y_1$ | $y_2$ | … | $y_{ny}$ |
|---|---|---|---|---|
| $x_1$ | $k_{11}$ | $k_{12}$ | … | $k_{1ny}$ |
| $x_2$ | $k_{21}$ | $k_{22}$ | … | $k_{2ny}$ |
| ⋮ | | | … | |
| $x_{nx}$ | $k_{nx1}$ | $k_{nx2}$ | … | $k_{nxny}$ |

ŠKL ir KKSS 1997–1999 m. ir 2001–2004 m. mėnesių vidurkių reikšmių intervalai ir koreliacinė lentelė, apskaičiuoti naudojant tą patį *Maple 7* matematinį paketą pateikti lentelėse (4.3 ir 4.4 lentelės).

**4.3 lentelė.** Koreliacinės lentelės tarp ŠKL ir KKSS mėnesio vidurkio reikšmių kitimo eigos 1997–1999 metais

| ŠKL / KKSS | 45,2 | 47,4 | 49,8 | 52,0 | 54,4 | 56,6 | 59,0 | 61,2 | 63,6 | 65,8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1194,85 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1238,55 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1282,25 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1325,95 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1369,65 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1413,35 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1457,05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 1500,75 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1544,45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1588,15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

**4.4 lentelė.** Koreliacinės lentelės tarp ŠKL ir KKSS mėnesio vidurkio reikšmių kitimo eigos 2001–2004 metais

| ŠKL / KSS | 67,6 | 70,6 | 73,8 | 76,8 | 80,0 | 83,0 | 86,2 | 89,2 | 92,4 | 95,4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3892,25 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4004,75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 4117,25 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 4229,75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 4342,25 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 4454,75 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 |
| 4567,25 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4679,75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 |
| 4792,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4904,75 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Koreliacijos teorijos pagrindinė sąvoka susijusi su sąlyginiais vidurkiais $\overline{x}_y$ ir $\overline{y}_x$. Tai yra atsitiktinių dydžių $X$ reikšmių vidurkis kai apibrėžtos $Y$ reikšmės, ir atvirkščiai. Pavyzdžiui, remiantis koreliacinėmis 4.3 ir 4.4 lentelėmis $Y$ ir $Y^2$, sąlyginiai vidurkiai, kai $X$ įgijo reikšmę $x_{2,}$ randami iš 4.5 formulės:

$$\overline{y}_{x_2} = \frac{\sum_{j=1}^{ny} k_{2j} y_j}{\sum_{j=1}^{ny} k_{2j}}, \quad \overline{y^2}_{x_2} = \frac{\sum_{j=1}^{ny} k_{2j} y_j^2}{\sum_{j=1}^{ny} k_{2j}} . \tag{4.5}$$

Koreliacinių santykių pasikliautinieji intervalai apskaičiuojami pagal formulę:

$$\left( \eta - \frac{t_p (1-\eta^2)}{\sqrt{n}} \ \ldots \ \eta + \frac{t_p (1-\eta^2)}{\sqrt{n}} \right); \tag{4.6}$$

čia $\eta$ – koreliacinio santykio įvertis; $t_p$ – standartizuotojo normaliojo skirstinio atvirkštinės pasiskirstymo funkcijos $t_p = F^{-1}\left(\frac{1+p}{2}\right)$ reikšmė taške $\frac{1+p}{2}$; $p$ – patikimumas ($p$ = 0,95).

**4.5 lentelė.** Koreliacinių santykių $\eta$ reikšmės bei jų pasikliautinieji intervalai

| Laikotarpis | Koreliacinio santykio reikšmė | Koreliacinio santykio pasikliautinieji intervalai ($p$ = 0,95) |
|---|---|---|
| 1997–1999 metai | 0,63 | 0,42–0,83 |
| 2001–2004 metai | 0,49 | 0,25–0,69 |

Toliau buvo nagrinėjimas koreliacinis sąryšis tarp KKSS variacijų atskiruose energiniuose diapazonuose bei širdies ir kraujagyslių ligų paūmėjimų. Kadangi širdies ir kraujagyslių ligų paūmėjimams, be geomagnetinio lauko nestabilumo, turi įtakos nemažai kitų veiksnių, pvz., psichologinių, socialinių, tai jie, dažniausiai veikdami kartu, gali sustiprinti ar net visiškai iškreipti sąveikos rezultatus.

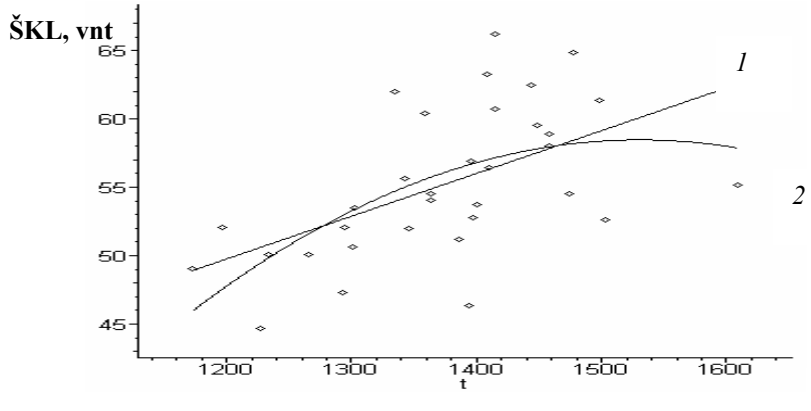
Nustatant KKSS variacijų ir ŠKL paūmėjimų ryšį, apskaičiuojamas Pirsono koreliacijos koeficientas tarp KKSS ir ŠKL mėnesių vidurkių. Koreliacijos koeficientų reikšmės pateiktos 4.6 lentelėje.

**4.6 lentelė.** Koreliacijos koeficientų tarp KKSS ir ŠKL mėnesių vidurkių reikšmės atskiriems energiniams diapazonams

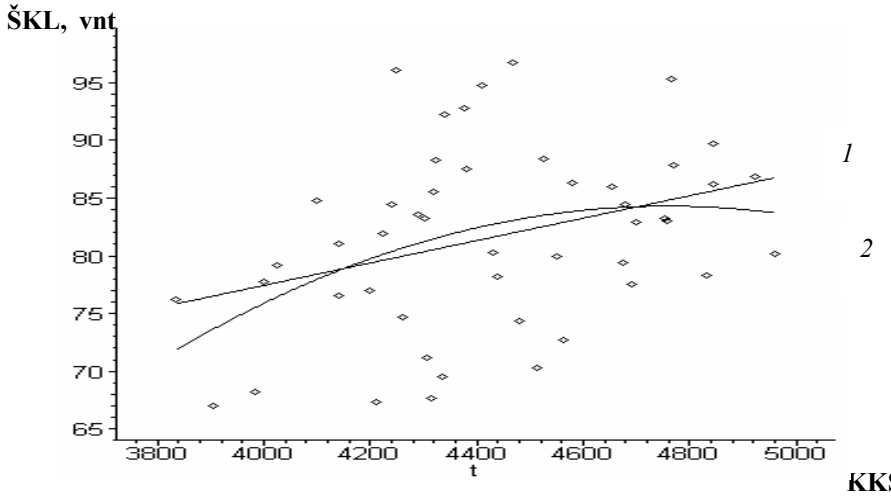
| Laikotarpis | KKSS reikšmių matavimo diapazonas | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0,3–1,2 MeV | 1,2–1,6 MeV | 1,6–4 MeV | 4 MeV ir daugiau | integrinis |
| 1997–1999 m. | | | | | 0,55 |
| 2001 metai | 0,83 | 0,75 | –0,33 | –0,82 | 0,81 |
| 2002 metai | 0,84 | 0,66 | –0,12 | –0,85 | 0,83 |
| 2003 metai | 0,88 | 0,87 | –0,02 | –0,7 | 0,9 |
| 2004 metai | 0,86 | 0,64 | –0,22 | –0,77 | 0,86 |

Analizuodami lentelės duomenis, matome akivaizdų sąryšį tarp ŠKL ir KKSS mėnesio vidurkių 0,3–1,2 MeV energijų diapazone (koreliacijos koeficientas kinta nuo 0,83 iki 0,88) ir integriniame diapazone (koreliacijos koeficientas kinta nuo 0,81 iki 0,9).

Analizuojant sąryšį tarp KKSS ir ŠKL mėnesių vidurkių kitimų integriniame diapazone atlikta regresinė analizė bei apskaičiuoti tiesinės ir parabolinės regresijos kreivių parametrai. Regresijos kreivės pavaizduotos 4.5, 4.6 pav.




**4.5 pav.** Tiesinės (*1*) ir parabolinės (*2*) regresijos tarp KKSS ir ŠKL mėnesių vidurkių reikšmių 1997–1999 m. kreivės




**4.6 pav.** Tiesinės (*1*) ir parabolinės (*2*) regresijos tarp KKSS ir ŠKL mėnesių vidurkių reikšmių 2001–2004 m. kreivės

Tiesinės regresijos kreivė aprašoma lygtimi $y = ax+b$;

čia $a$ – regresijos koeficientas;

$b$ – poslinkis ordinačių ašies atžvilgiu.

Parabolinės regresijos kreivė aprašoma lygtimi $y = cx^2+dx+f$;

čia $c, d, f$ – konstantos.

Determinacijos koeficientas $\mathbf{R^2}$ apibūdina regresinės kreivės kokybę, t. y. atitikimą tarp regresinio modelio bei pradinių duomenų ir gali kisti nuo 0 iki 1.

Apskaičiuotosios koeficientų ***a***, ***b*** bei $\mathbf{R^2}$ reikšmės 1997–1999 m. ir 2001–2004 m. laikotarpiams pateiktos 4.7 lentelėje.

**4.7 lentelė.** Tiesinės regresijos koeficientų reikšmės

| Laikotarpis | ***a*** | ***b*** | $\mathbf{R^2}$ |
|---|---|---|---|
| 1997–1999 m. | 0,0031 | 12,2 | 0,31 |
| 2001–2004 m. | 0,0097 | 38,6 | 0,12 |
| 2001 metai | 0,024 | –33,23 | 0,66 |
| 2002 metai | 0,027 | –43,55 | 0,69 |
| 2003 metai | 0,022 | –7,93 | 0,77 |
| 2004 metai | 0,055 | –150,38 | 0,7 |

Parabolinės regresijos kreivė aprašoma lygtimi:

$y = \boldsymbol{a_0} + \boldsymbol{a_1} x + \boldsymbol{a_2} x^2$;

čia $a_0$, $a_1$, $a_2$ – regresijos koeficientai,

o rezultatai pateikti 4.8 lentelėje.

**4.8 lentelė.** Parabolinės regresijos koeficientų reikšmės

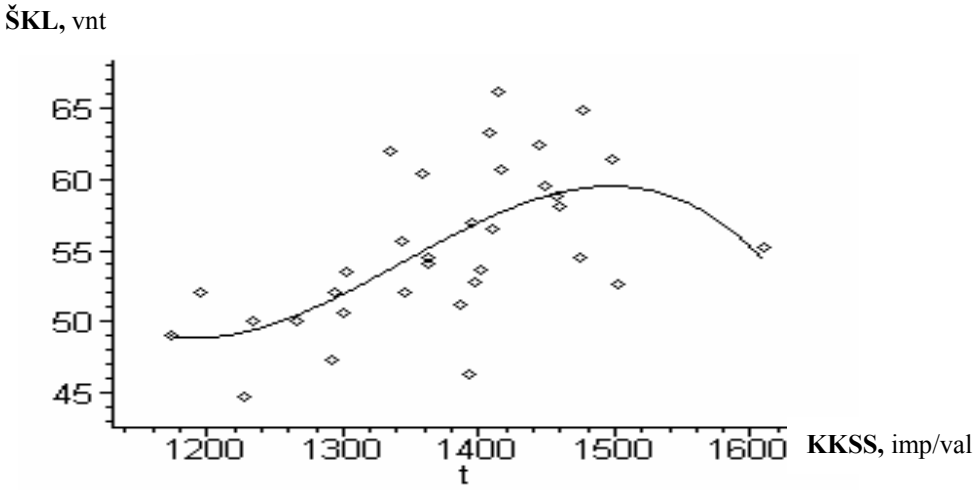
| Laikotarpis | $\boldsymbol{a_0}$ | $\boldsymbol{a_1}$ | $\boldsymbol{a_2}$ | $\mathbf{R^2}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1997–1999 m. | –247,4 | 0,14 | $-14 \cdot 10^{-6}$ | 0,32 |
| 2001–2004 m. | –170,9 | 0,3 | $-98 \cdot 10^{-6}$ | 0,15 |

Polinominės regresijos kreivę tarp KKSS ir ŠKL mėnesių vidurkių reikšmių galima sudaryti pasinaudojus lygtimi:

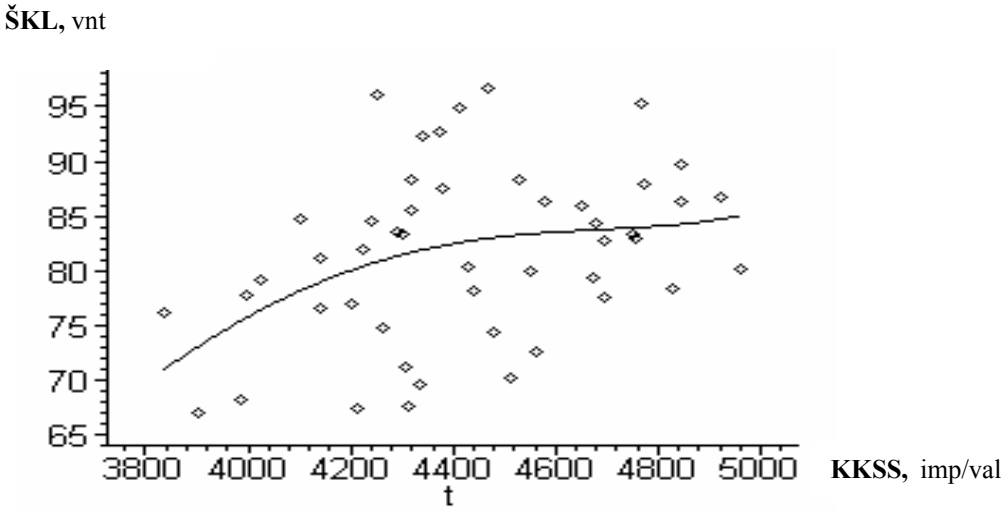
$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4 + a_5 x^5, \ldots a_n x^n$ ,

čia: $a_0$, $a_1$, $a_2$, $a_3$, $a_4$, $a_5$, $\ldots a_n$ – regresijos kreivės koeficientai; $n$ – polinomo laipsnis.

Polinominės regresijos kreivės 1997–1999 m. ir 2001–2004 m. laikotarpiams pavaizduotos 4.7 ir 4.8 pav.




**4.7 pav.** Polinominės regresijos kreivės tarp KKSS ir ŠKL mėnesių vidurkių reikšmių 1997–1999 m.




**4.8 pav.** Polinominės regresijos kreivės tarp KKSS ir ŠKL mėnesių vidurkių reikšmių 2001–2004 m.

Programiniu *Maple 7* paketu apskaičiuotosios polinominės regresijos kreivių lygtys užrašomos taip:

1. 1997–1999 metų laikotarpiui:

   $y = 1140{,}3 - 1{,}484\,x - 0{,}000821\,x^2 + 0{,}2172^{-5}\,x^3 - 0{,}1109^{-8}\,x^4 + 0{,}1682^{-12}\,x^5$ ;

   $R^2 = 0{,}41$.

2. 2001–2004 metų laikotarpiui:

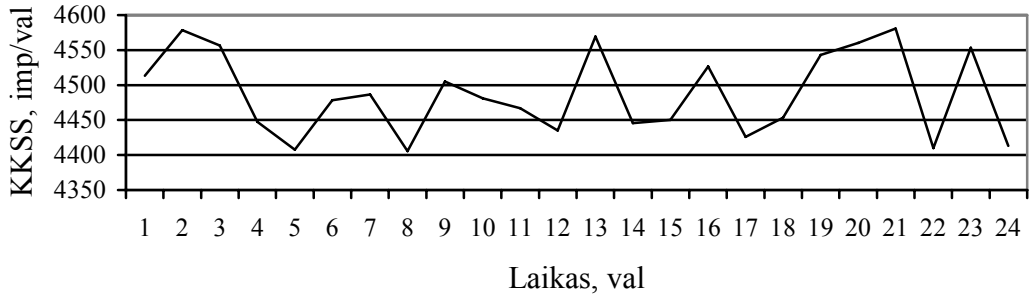
   $y = 1257{,}6 - 1{,}094\,x + 0{,}0002668\,x^2 + 0{,}1357^{-7}\,x^3 - 0{,}119^{-10}\,x^4 + 0{,}1078^{-14}\,x^5$;

   $R^2 = 0{,}18$.

Matome, kad abiejose polinominėse lygtyse pradedant nuo ketvirtojo laipsnio polinomo narių regresijos koeficientai yra maži. Todėl ketvirtojo ir aukštesnių laipsnių narius galima atmesti. Analizei pakanka trečios eilės polinomų.

## 4.3. Trumpalaikė širdies ir kraujagyslių ligų prognozė pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas

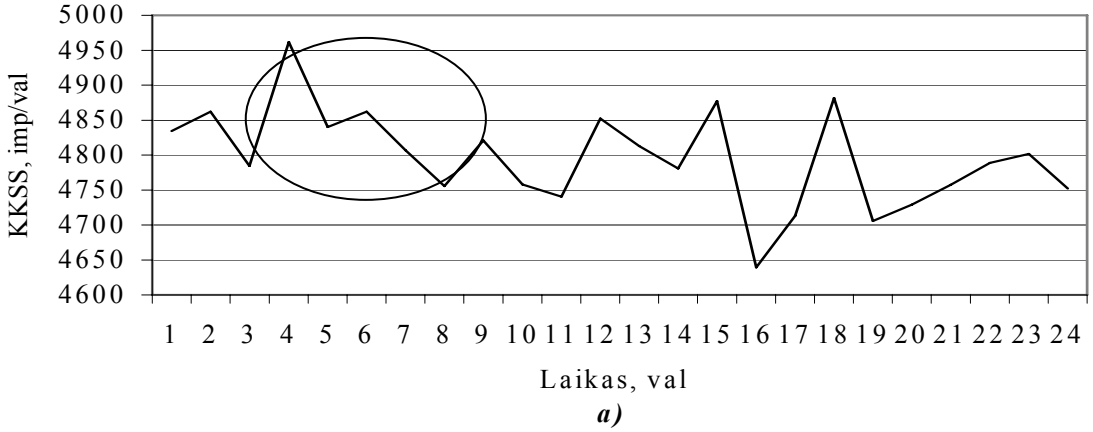
Nagrinėjant KKSS valandinių laiko intervalų reikšmių pokyčius, kartais aptinkami esminiai gretimų valandų reikšmių pokyčiai, o kitomis paromis būna ramių periodų. Dauguma parų KKSS pokyčių atžvilgiu yra „ramios“. Tokio „ramaus“ proceso eigos integriniame diapazone pavyzdys yra 4.9 pav.



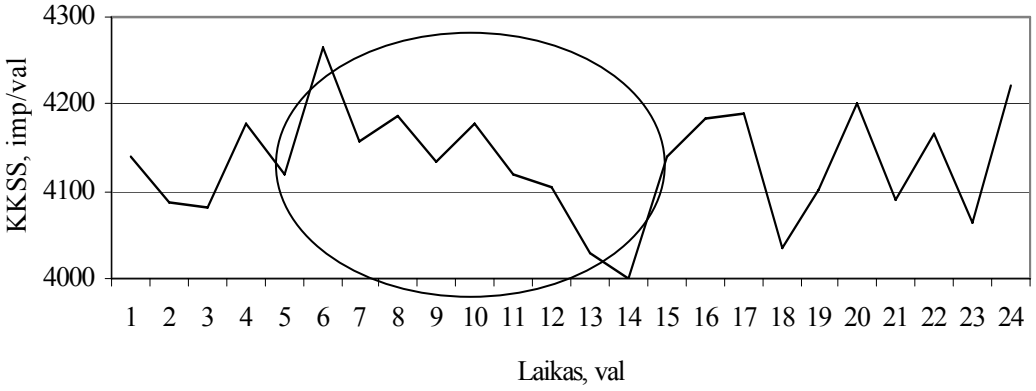

**4.9 pav.** KKSS reikšmės valandiniais laiko intervalais 2002-06-27

Didelių KKSS reikšmių pokyčių tuo metu nebuvo užfiksuota. Kiek ryškesnis srauto sumažėjimas (nesiekiantis 200 imp/val) trijų valandų trukmės užfiksuotas nuo 2 iki 5 valandų.

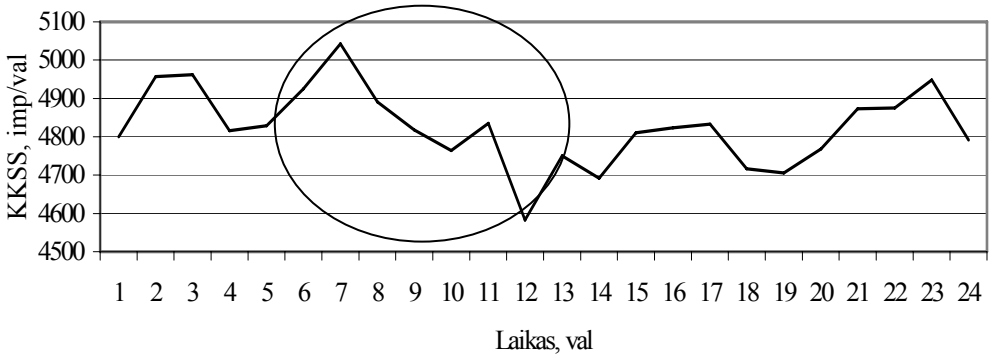
Tačiau kiekvieną mėnesį pasitaikė atvejų, kai per keturias ar daugiau valandų per parą srautas sumažėjo iki 200–250 imp/val. Kartais būna atvejų su dviem KKSS kritimais. Valandinių reikšmių pokyčių pavyzdžiai pateikti 4.10 pav.



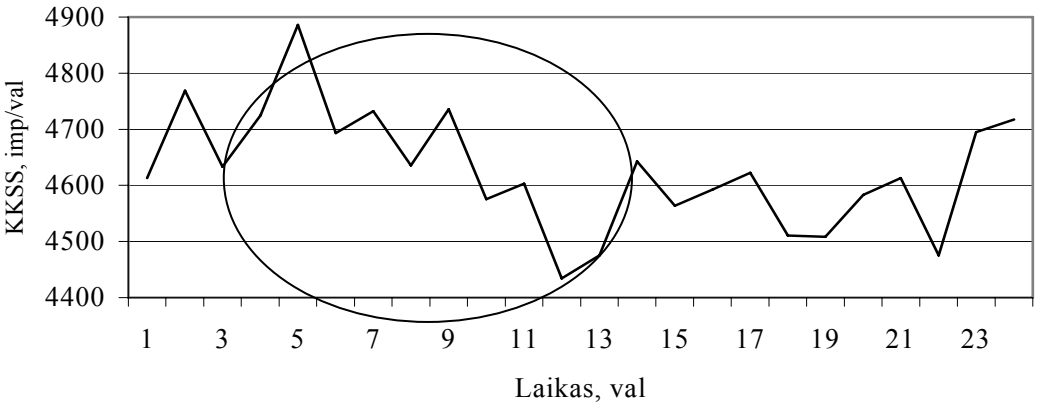

***a)***


4300
4200
4100
4000
KKSS, imp/val
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Laikas, val

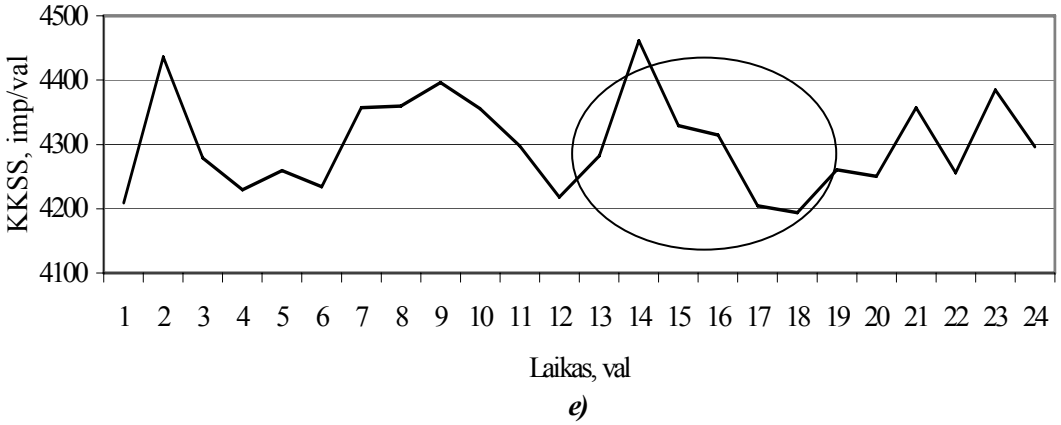
***b)***


5100
5000
4900
4800
4700
4600
4500
KKSS, imp/val
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Laikas, val

***c)***


4900
4800
4700
4600
4500
4400
KKSS, imp/val
1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23
Laikas, val

***d)***




***e)***

**4.10 pav.** KKSS reikšmės valandiniais laiko intervalais. Pažymėti KKSS reikšmių valandiniais laiko intervalais sumažėjimai daugiau nei 200 imp/val.: *a* – 2001-01-02; *b* – 2004-07-01; *c* – 2001-11-26; *d* – 2003-02-07; *e* – 2004-03-12

Matome, kad 2001-01-02 nuo 4 val. iki 8 val. KKSS laipsniškai sumažėjo apie 210 imp/val (4.10 pav. *a*). Šis mažėjimas truko keturias valandas. Būtent toks, aiškiai išsiskiriantis iš normalios KKSS kitimo eigos mažėjimas negalėjo būti nepastebėtas. Po vienos-trijų parų po tokių kritimų ir pasireiškia įvairios širdies ir kraujagyslių ligos. Šiuo atveju ligų paūmėjimai pastebėti po vienos paros (2001-01-03).

Per kitas keturias paras taip pat užfiksuoti srauto sumažėjimai. Taip 2004-07-01 buvo 268 imp/val kritimas, trukęs aštuonias valandas (4.10 pav. *b*). Praėjus trims paroms po KKSS sumažėjimo 2004-07-04 padidėjo ŠKL kiekis.

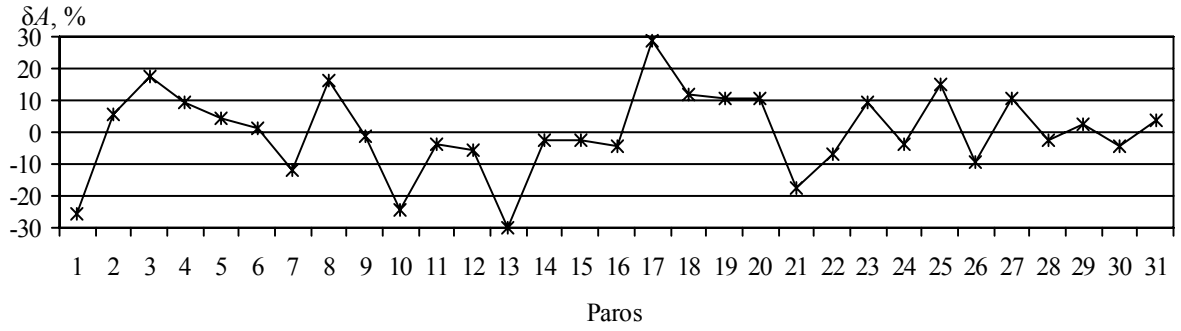
2001-11-26 ir 2003-02-07 pastebėti ypač dideli KKSS sumažėjimai (4.10 pav. *c* ir *d*). Po šių KKSS kritimų užregistruoti ŠKL padidėjimai, atitinkamai 2001-11-29 ir 2003-012-10, t. y. po trijų parų po KKSS sumažėjimų. Tokių staigių KKSS kritimų pasitaiko retai, 2 – 3 kartus metuose.

2004-03-12 taip pat užfiksuotas 270 imp/val. kritimas (4.10 pav. *e*), kuris truko penkias valandas. Tačiau po šio kritimo ŠKL paūmėjimų neaptikta.

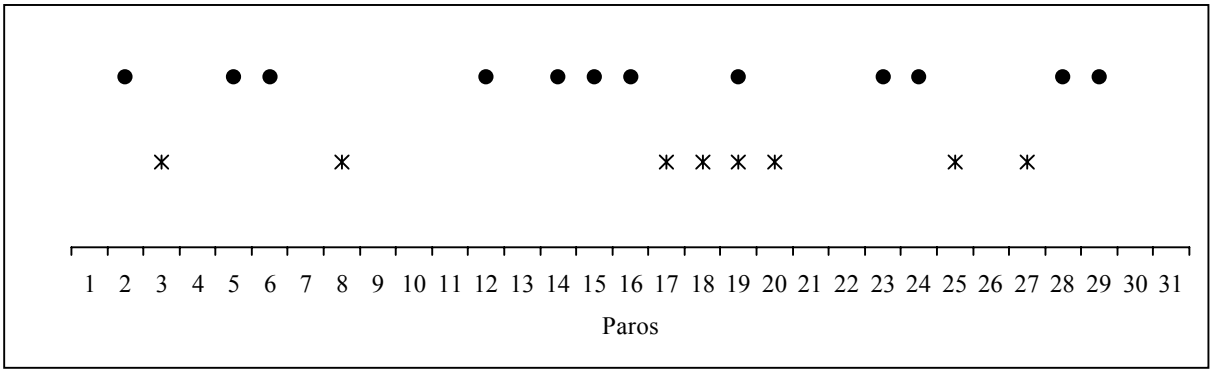
Analizuojant ŠKL kiekio dinamiką per 2001–2004 metus buvo vertinami santykiniai paros nuokrypiai nuo ŠKL mėnesio vidurkio pagal 3.1 formulę. Vertinimo

kriterijus laikomas 10 % ir daugiau nuokrypis nuo mėnesio vidurkio. Išrinktos paros, kai ŠKL kiekio pokyčiai atitiko šį kriterijų. Taip pat išrinktos paros, kada buvo užregistruoti staigūs KKSS mažėjimai.

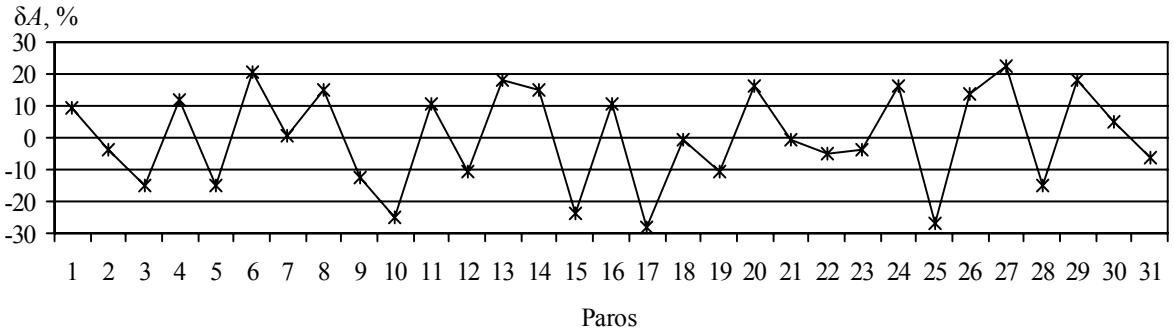
Sugretinus KKSS valandinių reikšmių pokyčius su ŠKL pokyčiais, aptikta, kad dažnai po smarkaus KKSS valandos reikšmių sumažėjimo, trukusio keturias ar daugiau valandų, fiksuojamai ŠKL paūmėjimai. Tokie KKSS kritimai turi būti pakankamai dideli ir siekti 200–250 imp/val [1 A, 2 A]. Tai būtų *pirmasis prognozavimui taikytinas kriterijus.* Be to, jis turi trukti ilgiau nei keturias valandas. Pokyčių sugretinimo pavyzdžiai pateikti 4.11 – 4.16 pav.



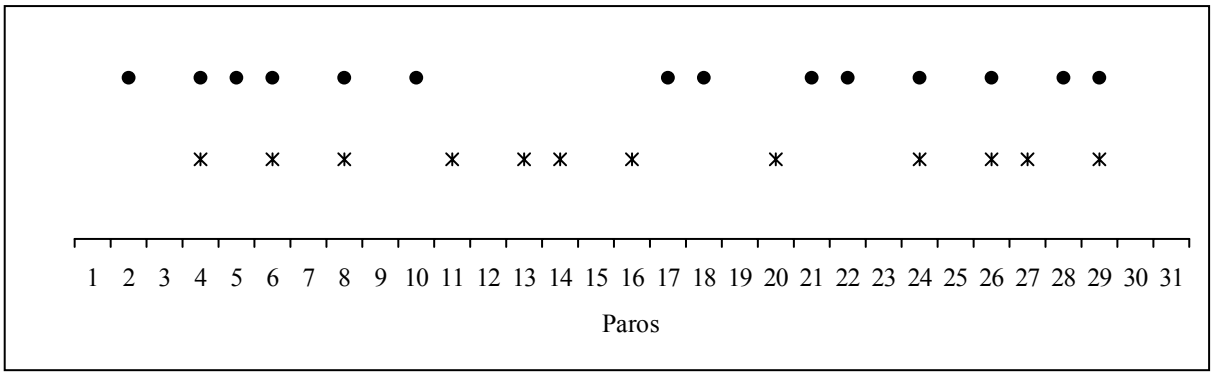

**4.11 pav.** ŠKL santykiniai nuokrypiai nuo mėnesio vidurkio 2001 metų sausio mėnesį



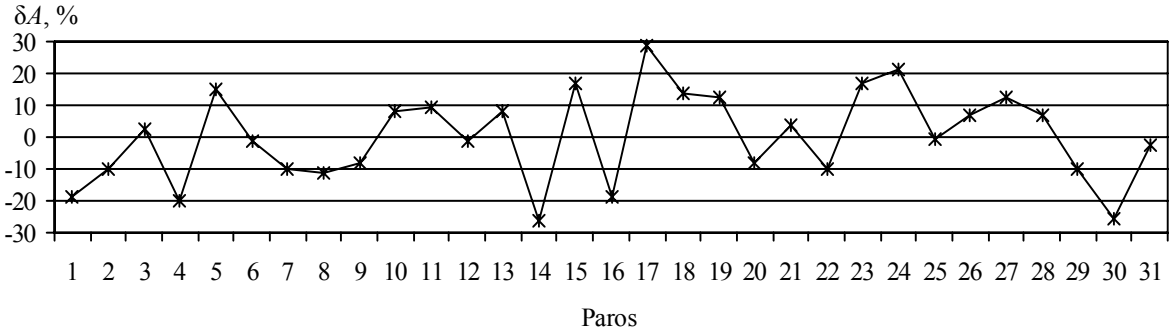

**4.12 pav.** ŠKL paūmėjimų kiekio pokyčių ir KKSS variacijų sugretinimas 2001 metais sausio mėnesį. Skrituliukais pažymėtos paros, per kurias užregistruotas KKSS mažėjimas. Kryžiukais pažymėtos paros, kai ŠKL kiekis viršijo mėnesio vidurkį daugiau nei 10 %



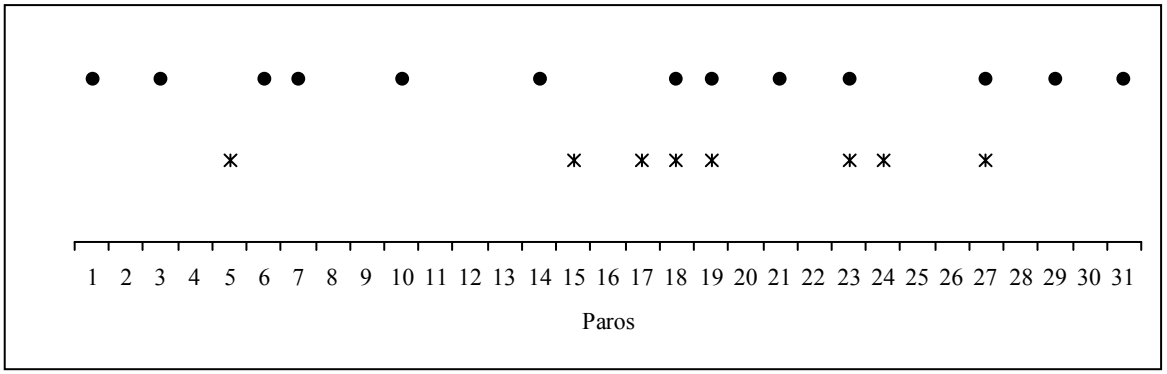

**4.13 pav.** ŠKL santykiniai nuokrypiai nuo mėnesio vidurkio 2002 metų rugpjūčio mėnesį




**4.14 pav.** ŠKL paūmėjimų kiekio pokyčių ir KKSS variacijų sugretinimas 2002 metų rugpjūčio mėnesį. Skrituliukais pažymėtos paros, per kurias užregistruotas KKSS mažėjimas. Kryžiukais pažymėtos paros, kai ŠKL kiekis viršijo mėnesio vidurkį daugiau nei 10 %




**4.15 pav.** ŠKL santykiniai nuokrypiai nuo mėnesio vidurkio 2003 metų kovo mėnesį




**4.16 pav.** ŠKL paūmėjimų kiekio pokyčių ir KKSS variacijų sugretinimas 2003 metų kovo mėnesį. Skrituliukais pažymėtos paros, per kurias užregistruotas KKSS mažėjimas. Kryžiukais pažymėtos paros, kai ŠKL kiekis viršijo mėnesio vidurkį daugiau nei 10 %

Matome, kad dažniausiai prieš ŠKL paūmėjimus aptinkami KKSS kritimai. ŠKL paūmėjimų buvo ieškoma praėjus 1–2 ir 2–3 paroms po užregistruoto KKSS kritimo. Tokia analizė efektyvesnė, nei atliekant analizę prieš kiekvieną parą atskirai, nes mažas Greitosios pagalbos iškvietimo laiko skirtumas, pvz., kelios minutės prieš arba po vidurnakčio, gali iškreipti prognozę. Pateikti tik trijų mėnesių sugretinimo pavyzdžiai. Kitais mėnesiais KKSS ir ŠKL pokyčių eiga analogiška. Analizės rezultatai, taikant tik pirmąjį KKSS mažėjimo kriterijų, yra 4.6 lentelėje.

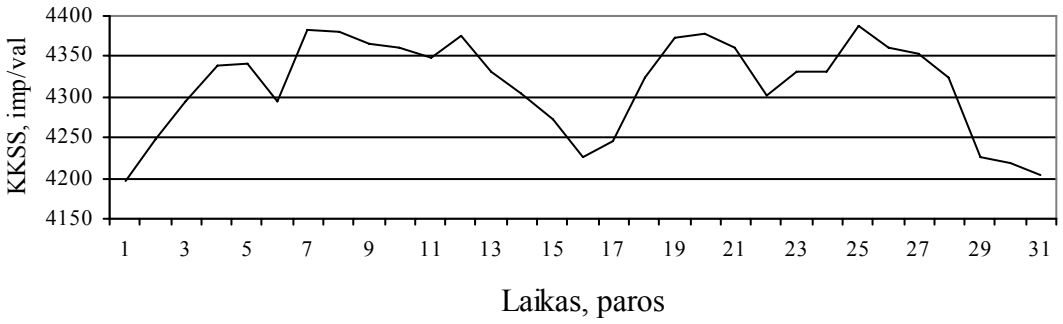
Naudojant tik vieną kriterijų, gautas neaukštas prognozės efektyvumas (4.6 lentelė). Per 2001 ir 2002 metus prognozės efektyvumas siekia 58–66 % Per 2003 metus ir 2004 metus prognozės efektyvumas dar mažesnis ir siekė tik 34–60 %. Bendras ŠKL paūmėjimų prognozės efektyvumas, naudojant tik šį kriterijų 2001–2004 m., yra: po 1–2 parų – 59 %, po 2–3 parų – 52 % ir yra nepakankamas.

**4.6 lentelė.** ŠKL paūmėjimų, viršijančių 10 % mėnesio vidurkį, kiekis bei šių paūmėjimų prognozės pagal KKSS reikšmių sumažėjimus su kriterijumi daugiau nei 200 imp. paros laikotarpiu, realizacijų kiekis. ŠKL prognozė atlikta po 1–2 parų ir po 2–3 parų

| Mėnuo | ŠKL paūmėjimų kiekis, viršijantis 10 % mėnesio vidurkį | | | | Realizacijų kiekis | | | | Realizacijų kiekis | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Po 1–2 parų | | | | Po 2–3 parų | | | |
| | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** |
| Sausis | 8 | 6 | 7 | 9 | 6 | 6 | 5 | 7 | 6 | 6 | 3 | 5 |
| Vasaris | 3 | 7 | 6 | 5 | 1 | 3 | 5 | 4 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| Kovas | 7 | 8 | 8 | 7 | 3 | 4 | 5 | 7 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| Balandis | 8 | 7 | 2 | 6 | 5 | 5 | 1 | 4 | 5 | 5 | 1 | 2 |
| Gegužė | 7 | 9 | 8 | 7 | 5 | 5 | 6 | 4 | 4 | 6 | 3 | 4 |
| Birželis | 8 | 8 | 7 | 6 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 6 | 2 | 1 |
| Liepa | 7 | 10 | 10 | 6 | 4 | 5 | 4 | 3 | 5 | 5 | 2 | 0 |
| Rugpjūtis | 10 | 12 | 7 | 1 | 8 | 9 | 3 | 1 | 7 | 10 | 2 | 1 |
| Rugsėjis | 8 | 9 | 7 | 2 | 5 | 3 | 6 | 1 | 7 | 3 | 4 | 0 |
| Spalis | 7 | 7 | 10 | | 5 | 6 | 3 | | 3 | 4 | 1 | |
| Lapkritis | 5 | 7 | 7 | 9 | 1 | 3 | 4 | 1 | 4 | 5 | 4 | 2 |
| Gruodis | 9 | 7 | 4 | 7 | 7 | 3 | 3 | 4 | 6 | 6 | 1 | 3 |
| Bendras kiekis | 87 | 97 | 86 | 65 | 54 | 56 | 49 | 39 | 57 | 62 | 29 | 25 |
| Realizacija procentais | | | | | *62* | *58* | *57* | *60* | *66* | *64* | *34* | *38* |

Tobulinant prognozę, įvedamas *antrasis kriterijus* – dviejų gretimų parų KKSS reikšmių sumažėjimas daugiau nei 15 imp/val.

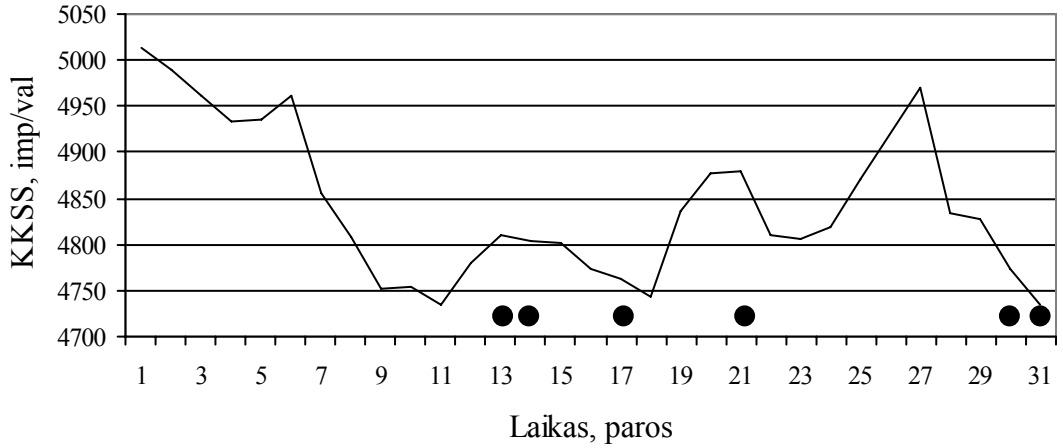
Pastebėta, kad gretimų parų KKSS reikšmių valandiniai vidurkiai taip pat kinta. Jie gali didėti arba mažėti. KKSS parų valandinių vidurkių pokyčių pavyzdys pateiktas 4.17 pav.




**4.17 pav.** KKSS parų valandinių laiko intervalų vidutinių reikšmių kaita 2003 m. spalio mėnesį

2003 m. spalio 1–3 d. ir 16–20 d. KKSS reikšmės sparčiai didėjo. Spalio 7–13 d. jos beveik nesikeitė, o 12–16 d. ir 25–31 d. – mažėjo.

Analizuojant KKSS reikšmių parų valandinių vidurkių kitimą ir ŠKL paūmėjimus mėnesio laikotarpyje, aptikta, kad ŠKL kiekis didėjo, kai buvo gretimų parų KKSS valandinių vidurkių sumažėjimas [1 A, 2 A]. Tokios proceso eigos pavyzdys pateiktas 4.18 pav.




**4.18 pav.** KKSS reikšmių parų valandiniai vidurkiai ir paros kai ŠKL kiekis viršijo mėnesio vidurkį daugiau nei 10 % (pažymėti skrituliukais) 2002 metų sausio mėn.

2002 metų sausio mėnesį buvo šešios paros kai ŠKL kiekis viršijo mėnesio vidurkį daugiau nei 10 %. Šios paros 4.18 pav. pažymėtos skrituliukais. ŠKL paūmėjimai sausio 13–14 d. įvyko po staigių KKSS parų vidurkių sumažėjimų sausio 6–11 d. Paūmėjimai, kurie užfiksuoti sausio 17 ir 30–31 taip pat atitinka šį kriterijų. Tačiau, prieš sausio 21 d. ŠKL kiekio padidėjimą KKSS sumažėjimo nebuvo. Tas galėjo priklausyti nuo įvairių kitų priežasčių – socialinių, gyvensenos, t. y. žmogaus veiksnių.

Toliau sąryšis tarp ŠKL paūmėjimų bei KKSS variacijų nustatomas taikant abu kriterijus. Prognozės efektyvumo rezultatai pateikiami 4.9 lentelėje.

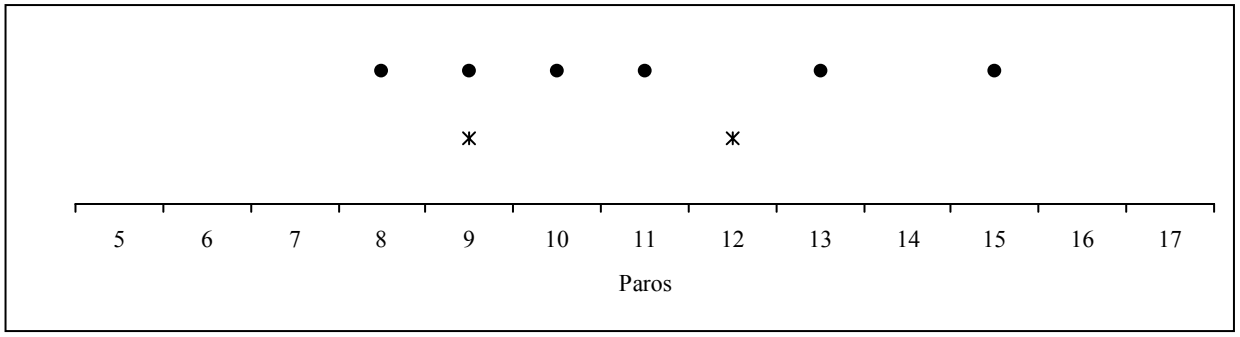
**4.9 lentelė.** ŠKL paūmėjimų, viršijančių 10 % mėnesio vidurkį, kiekis bei šių paūmėjimų prognozės pagal KKSS reikšmių sumažėjimus naudojant du kriterijus. ŠKL prognozė atlikta po 1–2 parų ir po 2–3 parų

| Mėnuo | ŠKL paūmėjimų kiekis, viršijantis 10 % mėnesio vidurkį | | | | Realizacijų kiekis | | | | Realizacijų kiekis | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Po 1–2 parų | | | | Po 2–3 parų | | | |
| | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** |
| Sausis | 8 | 6 | 7 | 9 | 6 | 6 | 5 | 7 | 6 | 6 | 5 | 5 |
| Vasaris | 3 | 7 | 6 | 5 | 3 | 4 | 5 | 5 | 2 | 5 | 5 | 4 |
| Kovas | 7 | 8 | 8 | 7 | 4 | 7 | 7 | 7 | 6 | 8 | 7 | 6 |
| Balandis | 8 | 7 | 2 | 6 | 6 | 6 | 1 | 6 | 7 | 6 | 2 | 3 |
| Gegužė | 7 | 9 | 8 | 7 | 5 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 8 | 7 |
| Birželis | 8 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 6 | 3 | 6 |
| Liepa | 7 | 10 | 10 | 6 | 4 | 7 | 7 | 4 | 7 | 7 | 6 | 4 |
| Rugpjūtis | 10 | 12 | 7 | 1 | 8 | 10 | 4 | 1 | 8 | 10 | 4 | 1 |
| Rugsėjis | 8 | 9 | 7 | 2 | 7 | 7 | 6 | | 8 | 7 | 6 | |
| Spalis | 7 | 7 | 10 | | 5 | 7 | 6 | | 5 | 6 | 4 | |
| Lapkritis | 5 | 7 | 7 | 9 | 3 | 5 | 6 | 5 | 5 | 7 | 6 | 5 |
| Gruodis | 9 | 7 | 4 | 7 | 7 | 5 | 3 | 6 | 8 | 7 | 1 | 6 |
| Bendras kiekis | 87 | 97 | 86 | 65 | 63 | 75 | 62 | 52 | 73 | 81 | 57 | 47 |
| Realizacija procentais | | | | | *72* | *77* | *72* | *80* | *84* | *83* | *66* | *72* |

Naudojant šiuos KKSS mažėjimų kriterijus, prognozės efektyvumas per 2001–2004 m. atitinkamai padidėjo: po 1–2 paros – iki 75 %, po 2–3 parų – iki 77 %.

Prognozės efektyvumas gana aukštas, bet ne visada po KKSS reikšmių sumažėjimo pagal išvardytus kriterijus įvykdavo ŠKL paūmėjimų.

Tokios situacijos buvo pastebėtos 2001 m. lapkričio 13–18 d. (pateikta 4.19 pav.), gruodžio 8–15 d., 2002 m. sausio 23–26 d., balandžio 16–18 d., gegužės 4–11 d., lapkričio 5–7 d.




**4.19 pav.** ŠKL paūmėjimų kiekio pokyčių ir KKSS variacijų sugretinimas 2001 metų lapkričio 5 – 17 d. Skrituliukais pažymėtos paros, kai užregistruoti KKSS kritimai, atitinkantys abiejų siūlomų kriterijų. Kryžiukais pažymėtos paros, kai ŠKL kiekis viršijo mėnesio vidurkį daugiau nei 10 %

Taip 2001 lapkričio 8–11 d. buvo užfiksuoti KKSS kritimai. ŠKL paūmėjimų aptikti lapkričio 9 d. ir 12 d. Po KKSS mažėjimų lapkričio 13 d. ir 15 d. žmogaus organizmo reakcijų neįvyko.

ŠKL kiekio padidėjimo įvertinimas pagal siūlomus KKSS pokyčių kriterijus kai kada duoda neigiamą rezultatą dėl pernelyg ilgai trunkančio geomagnetinio lauko kitimo. Žmogaus organizmas adaptuojasi ir tampa nejautrus geomagnetinio lauko variacijoms.

Be to, KKSS reikšmių pokyčiai pagal nurodytus kriterijus gali būti paskatinti papildomų išorinių poveikių į kosmines daleles. Tai staigūs Saulės radiacijos žybsniai, geomagnetinio lauko krypties ar dydžio pakitimai, intensyvus žaibavimas daro įtaką antrinės kosminės spinduliuotės srautui prie Žemės paviršiaus. Tektoniniai procesai, meteorologinės sąlygos (ciklonų ir anticiklonų formavimasis) taip pat veikia antrinių kosminių dalelių srautą [1 A, 2 A, 3 A, 5 A, 6 A]. Dėl šių priežasčių neįmanoma gauti šimtaprocentinės prognozės realizacijos.

Be išvardytų priežasčių, ŠKL prognozei taip pat turi įtakos žmogaus veiksnys. Akivaizdu, kad žmogų veikia daug išorinių veiksnių, ir juos tiksliai įvertinti beveik neįmanoma. Šis reiškinys buvo iš dalės įvertintas, nustatant, kokiomis savaitės dienomis buvo atvejų, kai ŠKL kiekis viršijo 20 % mėnesio vidurkį [2 A]. Rezultatai pateiki 4.10 lentelėje.

**4.10 lentelė.** Atvejų, kai širdies ir kraujagyslių ligų kiekis viršijo 20 % mėnesio vidurkį, priklausomybė nuo savaitės dienų

| | Savaitės dienos | Pir | Ant | Treč | Ket | Penk | Šeš | Sekm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2001 metai | Atvejų kiekis | 7 | 6 | 3 | 5 | 3 | 0 | 2 |
| 2002 metai | | 7 | 7 | 2 | 2 | 3 | 0 | 2 |
| 2003 metai | | 11 | 7 | 2 | 5 | 1 | 0 | 2 |
| 2004 metai | | 8 | 5 | 5 | 6 | 0 | 2 | 3 |
| *Bendrasis kiekis* | | *33* | *25* | *12* | *18* | *7* | *2* | *9* |

Analizuojant 4.10 lentelės duomenis, aptikta, kad daugiausia ŠKL atvejų buvo pirmadieniais ir antradieniais. Bet tai nepašalina geomagnetinio lauko kaitos poveikio žmogaus organizmui. Panašios situacijos aptiktos ir po švenčių. Pavyzdžiui, 2003 metais ŠKL atvejų užregistruota sausio 2 d., (20 %), vasario 17 d., (15 %) ir 18 d., (20 %), gegužės 2 d. (20 %), birželio 23 d. (20 %) ir 24 d. (15 %), lapkričio 3 d. (20 %), gruodžio 28 d. (10 %) [2 A].

Taigi nepaisant aukšto ŠKL paūmėjimų pagal KKSS variacijas prognozės efektyvumo, pasiekti šimtaprocentinės realizacijos neįmanoma dėl ankščiau išvardytų priežasčių.

## 4.4. IŠVADOS

1. Patvirtinta, kad KKSS nestabilumą galima naudoti kaip netiesioginį indikatorių prognozuojant ŠKL kiekio paūmėjimus.

2. Apskaičiuoti koreliacijos koeficientai tarp KKSS ir ŠKL mėnesių vidurkių eigos. 1997–1999 metais koreliacijos koeficientas yra lygus 0,55, 2001 m. – 0,83, 2002 m. – 0,84, 2003 m. – 0,88, 2004 m. – 0,86.

3. Apskaičiuoti koreliaciniai santykiai tarp KKSS ir ŠKL mėnesių vidurkių eigos, kurie yra lygūs: 1997–1999 m. – 0,63; 2001–2004 m. – 0,49.

4. Analizuojant KKSS variacijų ir ŠKL paūmėjimų kiekio ryšį, atlikta regresinė analizė ir apskaičiuotos tiesinės, parabolinės ir polinominės regresijos lygtys tarp KKSS ir ŠKL mėnesio vidurkių eigos.

5. ŠKL kiekio pagal KKSS variacijas trumpalaikei prognozei siūloma naudoti du kriterijus: KKSS reikšmių sumažėjimas daugiau nei 200 imp/val. paros laikotarpiu, kuris tęsėsi ilgiau nei keturias valandas, bei gretimų parų KKSS reikšmių vidurkių sumažėjimas daugiau nei 15 imp/val.

6. Naudojant pirmąjį kriterijų, gautas prognozės efektyvumas: po 1 – 2 parų – 59 %, po 2 – 3 parų – 52 %. Abiejų kriterijų naudojimas padidina prognozės efektyvumą po 1 – 2 parų iki 75 %, po 2 – 3 parų iki 77 %.

7. Be to, pastebėta, kad ne visada po KKSS reikšmių sumažėjimo pagal išvardytus kriterijus įvykdavo ŠKL kiekio padidėjimai. Galima daryti prielaidą, kad prognozės neigiamas rezultatas galimas dėl žmogaus organizmo adaptacijos prie pernelyg ilgai trunkančio geomagnetinio lauko kitimo. Be to, ŠKL paūmėjimų kiekiui turi įtakos žmogaus veiksnys. Daugiausia ŠKL atvejų buvo pirmadieniais ir antradieniais. Panaši padėtis nustatyta ir po švenčių.

# BENDROSIOS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Patobulinta gama spektrometrinė įranga. Jutiklio apsaugos konstrukcija pritaikyta kietosios kosminės spinduliuotės srauto matavimams. Jutiklis apgaubtas švino apsauginiu sluoksniu.
2. Teoriškai nustatytas ir eksperimentiškai patvirtintas minimalus 9 cm švino ekrano storis, kuris sugeria žemųjų energijų gama kvantus ir kitas daleles.
3. Atlikus kietosios kosminės spinduliuotės srauto stebėjimus integriniame bei keturiuose energiniuose diapazonuose nustatyta, kad visuose spektro intervaluose kietosios kosminės spinduliuotės srautas kinta laike skirtingai. 2001–2004 m. kietosios kosminės spinduliuotės srauto reikšmės tuo pačiu metu mažėja ar didėja visuose energiniuose diapazonuose 6–10 % visų matavimo duomenų. Atvejų, kai srautai didėjo dvejuose diapazonuose ir mažėjo kituose dvejuose diapazonuose buvo 22–37 %. Dauguma atvejų (32–61 %) užfiksuota, kai dalelių kiekis trijuose diapazonuose mažėjo arba didėjo, o kitame diapazone tendencija buvo priešinga.
4. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto mėnesių vidurkių reikšmės priklauso nuo metų sezonų: 2001–2004 metais dalelių kiekis didėjo integriniame ir pirmajame diapazone rudenį ir žiemą, o mažėja pavasarį ir vasarą. Ketvirtajame diapazone ryški atvirkštinė tendencija – kietosios kosminės spinduliuotės srauto mėnesių vidurkių reikšmės mažėjo rudenį ir žiemą, o padidėjo pavasarį ir vasarą. Antrajame ir trečiajame nepastebėtas metų sezonų kaitos poveikis.
5. Patvirtinta, kad kietosios kosminės spinduliuotės srauto nestabilumą galima naudoti kaip netiesioginį indikatorių prognozuojant širdies bei kraujagyslių ligų kiekį.
6. Apskaičiuoti koreliacijos koeficientai tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir širdies bei kraujagyslių ligų kiekio mėnesių vidurkių eigų. 1997–1999 metais jis yra lygus 0,55, 2001 m. – 0,83, 2002 m. – 0,84, 2003 m. – 0,88, 2004 m. – 0,86.
7. Širdies bei kraujagyslių ligų kiekio pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas prognozei siūloma naudoti du kriterijus: kietosios kosminės spinduliuotės srauto reikšmių sumažėjimas daugiau nei 200 imp/val. paros laikotarpyje, kuris tęsėsi ilgiau nei keturias valandas ir gretimų parų kietosios

kosminės spinduliuotės srauto reikšmių vidurkių sumažėjimas daugiau nei 15 imp/val., turint gama spektrometro 6,3 x 6,3 cm NaI(Tl) scintiliacinį jutiklį.

8. Naudojant pirmąjį kriterijų gautas prognozės efektyvumas: po 1–2 parų – 59 %, po 2–3 parų – 52 %. Abiejų kriterijų panaudojimas, padidina prognozės efektyvumą po 1–2 parų iki 75 %, po 2–3 parų iki 77 %.

9. Aptikta, kad ne visada po kietosios kosminės spinduliuotės srauto reikšmių sumažėjimo pagal išvardintus kriterijus įvykdavo širdies-kraujagyslių ligų paūmėjimai. Nagrinėti atvejai, mažinantys prognozės efektyvumą. Prognozės neigiamas rezultatas galimas dėl žmogaus organizmo adaptacijos prie pernelyg ilgai trunkančio geomagnetinio lauko kitimo bei širdies ir kraujagyslių ligų paūmėjimams turi įtakos žmogaus veiksnys.

10. Rekomenduojama taikyti aprašytą darbe prognozės metodą klinikinėje praktikoje iš anksto perspėjant žmones apie gresiančią geomagnetinio laiko kaitos grėsmę.

ŠKL paūmėjimų prognozės efektyvumas pagal KKSS variacijas atskiruose energiniuose spektro diapazonuose ženkliai mažesnis už efektyvumą pagal integrinio spektro variacijas.

## LITERATŪRA


1. Mursula, K., Usoskin, I., Oulu Spase Physics Textbook. http://www.oulu.fi/~spaceweb/textook/. Kreiptasi 2004-05-16.
2. Ginzburg, V. L. Cosmic rays astrophysics (History and general review). Physics–Uspekhi, 39(2): 1996, p.155–168.
3. Луянас, В. Космогенные радионуклиды в атмосфере. Вильнюс: Мокслас, 1979. 196 с.
4. Gaisser, T. K., Stanev, T. Cosmic rays. 1995. http://pdg.lbl.gov. Kreiptasi 2004-04-18.
5. Grieder, P. K .F. Cosmic rays at Earth. Elsevier, Amsterdam, 2001. 1093 p.
6. Ziegler, J. F. Terrestrial cosmic ray intensities. IBM Journal of Research and Development, 42(1): 1998, p. 117–139.
7. Rivin, Yu. R. Modulation of the galactic cosmic ray flux by cyclic variations of solar magnetic fields. International Journal of Geomagnetism and Aeronomy, 1(3): 1998, p. 17–29.
8. Rivin, Yu. R. The 22-year cycle of geomagnetic activity. International Journal of Geomagnetism and Aeronomy, l(2): 1998, p. 56–69.
9. Belov, A. V., Gushchina, R. T., Sirotina, I. V. Long-time modulation of the rigid spectrum of cosmic rays and its relationship with solar activity, Izv. Akad. Nauk Rossia Ser. Fiz., 59 (4), 71, 1995.
10. Fisk, L. A., Jopikii, J. R., Simnett, G. M., Wenzel, K. P. Cosmic Rays in the Heliosphere. Space Sci. Rew., 8391 (20), 1998, p 89–97.
11. Bazilevskaya, G. A., Kraynev, M. B., Makhmutov, V. S., Svirzhevskaya, A. K., Svirzhevskiy, N. S., Stozhkov, Yu. I. Relationship between the galactic cosmic ray intensivity and heliolatitudinal distribution of sunspots, Izv. Akad. Nauk Rossia Ser. Fiz., 59 (4), 75, 1995, p. 64–75.
12. Baršauskas, K. Kosminiai spinduliai. Kaunas: Valstybinė enciklopedijų, žodynų ir mokslinės literatūros leidykla, 1946. 76 p.

13. Baršauskas, K. Antrinių kosminių spindulių energijos pasiskirstymo klausimu: disertacijos daktaro laipsniui gauti Vytauto Didžiojo universiteto Matematikos ir Gamtos fakultete. Kaunas, 1938. 54 p.
14. Стыро, Д. Б. О возможности прогноза перемещения барических полей по вариациям жесткого космического излучения. Физика атмосферы, 8. Вильнюс: „Мокслас“, 1983, с. 95–103.
15. Береснев, А. А., Леонов, В. В., Павилович, Ч. С., Стыро, Д. Б. О колебаниях фона гамма-спектрометрической аппаратуры в различных временных интервалах. Физика атмосферы, 12. Вильнюс: „Мокслас“, 1988, с. 191–206.
16. Styro, D. Regularities of hard cosmic rays flux variations near the ground surface. Environmental Engineering. Vilnius: „Technika“. Nr. 2(6), 1996, p.9–11.
17. Styra, D. Catastrophic earthquakes prediction new method by hard cosmic radiation flux variation. Atmosphere protection. Vilnius: Technika: 1994, p. 67–75.
18. Styra, D. Hard cosmic rays flux variation and seismo-active process. Environment protection. Vilnius: Technika: 1994, p. 25–32.
19. Juozulynas, A., Styra, D., Syrusienė, V., Kielaitė, G. On the Possibility of Prognosis of a Leap in the Number of Heart and Vasarlar Diseases by Hard Cosmic Rays Flux Variation. Acta medic Lituanica, 7, Nr. 4 Vilnius: „Academia“, 2000, p. 213–216.
20. Juozulynas, A., Styra, D., Syrusienė, V. Širdies ir kraujagyslių ligų paūmėjimo prognozės pagal kieto kosminio spinduliavimo srauto svyravimus problemos. Sveikatos mokslai. Nr. 2(14), Vilnius: Sveikatos apsaugos ministerijos Sveikatos teisės ir ekonomikos centras, 2001, p. 47–49.
21. Чижевский, А. Л. Земное эхо солнечных бурь. Москва: „Мысль“, 1976. 376 с.
22. Ormeny, J., Nemeth, T. Effect of meteorological and cosmic factor upon electrolyte solution. Theor. and Appl. Climatol. 42(2), 1990, p. 129–133.
23. Roelot, J. P. Energy transfers between the Sun and the magnetosphere. Application to climatic disturbances. Int. J. Biometeorol, 28(1), 1984, p. 73–83.
24. Misumi, Y. The external forcing of the atmospheric response to a Sun–weater relation. J. Meteorol. Soc. Jap, 64(1), 1986, p. 137–146.
25. Герман, Дж. Р., Голдберг, Р. А. Солнце, погода и климат. Пер. с англ. Ленинград: „Гидрометеоиздат“, 1981. 317 с.

26. Андронова, Т. И., Деряпа, Н. Р., Соломатин, А. П. Гелиотропные реакции здорового и больного человека, Ленинград: „Медицина“, 1982, 247 с.
27. Комаров, Ф. И., Рапопорт, С. И., Бреус, Т. К., Иванова, С. В. Солнечно–биосферные связи, биоритмы и некоторые вопросы внутренней медицины (методические аспекты). Терапевтический архив, 57(3), 1985, с.149–153.
28. Мизун, Ю. Г., Мизун, П. Г. Космос и здоровье. Москва: „Знание“, 1984. 144 с.
29. Мизун, Ю. Г., Хаснулин, В. И. Наше здоровье и магнитные бури. Москва: „Знание“, 1991. 191 с.
30. Nuzhdina, M. A. Effect of natural factors on the occurrence of cardiovascular diseases. Biofizika, 43(4), 1998, p. 640–646.
31. Villoresi, G., Ptitsyna, N. G., Tiasto, M. I., Iucci, N. Myocardial infarct and geomagnetic disturbances: analysis of data on morbidity and mortality (in Russian). Biofizika, 43: 1998, p. 623–631.
32. Messner, T., Häggström, I., Sandahl, I., Lundberg, V. No covariation between the geomagnetic activity and the incidence of acute myocardial infarction in the polar area of northern Sweden. Int J Biometeorol, 46(2), 2002, p. 90–94.
33. Kuleshova, V. P., Pulinets, S. A., Sazanova, E. A., Kharchenko, A. M. Biotropic effects of geomagnetic storms and their seasonal variations. Biofizika, 46(5): 2001, p. 930–934.
34. Alania, M. V., Gil, A., Wieliczuk, R. Statistical analyses of influence of solar and geomagnetic activities on car accident events. Adv Space Res, 28(4): 2001, p. 673–678.
35. Beggs, P. J. Impacts of climate and climate change on medications and human health. Aust N Z J Public Health, 24(6): 2000, p. 630–632.
36. Duffy, K. The weather and health. Environ View, 6(1): 1983, p. 10–12.
37. Driscoll, D. M., Merlar, D. G. A search for associations between weather and the onset of human parturition. Int. J. Biometeorol, 24(3): 1984, p. 211–224.
38. Ассман, Д. Чувствительнось человека к погоде. Ленинград: „Медицина“, 1966, 197 с.
39. Sneyers, R. Extremes in meteorology. Statist. 1983–1984, p. 235–252.
40. Mackensen, S., Hoeppe, P., Maarouf, A., Tourigny, P., Nowak, D. Prevalence of weather sensitivity in Germany and Canada. Int J Biometeorol, 49(3): 2005, p. 156–166.

41. Никберг, И. И., Ревуцкий, Е. А., Санали, Л. И. Гелиометеотротные реакции человека. Киев: „Здоровье“. 1986.
42. Цинадзе, А. Д., Твилдиани, Д. Д., Члаидзе, Т. И. и др. Исследования частоты случаев осложнений ишемической болезни сердца в связи с возмущением геомагнитного поля и Форбуш-эффектами космических лучей. Актуальные вопросы медицинской климатологии и климатотерапии. Тбилиси, 1984, с. 41–45.
43. Комаров, Ф. И., Рапопорт, С. И., Бреус, Т. К., Иванова, С. В. Солнечно-биосферные связи, биоритмы и некоторые вопросы внутренней медицины (методические аспекты). Терапевтический архив, 57(3): 1985, с. 149–153.
44. Комаров, Ф. И., Рапопорт, С. И., Бреус, Т. К. Солнечная активность и здоровье человека. Земля и вселенная, 5: 1988, с. 61–63.
45. Roelot, J. P. Energy transfers between the Sun and the magnetosphere. Application to climatic disturbances. Int. J. Biometeorol, 28(1): 1984, p. 73–83.
46. Persinger, M. A., Nolan, M. Geophysical variables and behaviour: XX weekly number of mining accidents and the weather matrix: the importance of geomagnetic variations and barometric pressure. Percept and Mot. Skiles, 59(3): 1984, p. 719–722.
47. Kastalsky, V., Kirkpatnick, C. B., Daoud, A. T. Proposed physical mechanism linking changes in solar activity with some aspects of the weather. J. And Proc. Roy. Ces. N.S.W, 118 (1–2), 1985, p. 11–20.
48. Leenhardt, M. La machine a prevoir le temps. Sci. Et technol, 31: 1990, p. 23–28.
49. Smolensky, M. H., Renberg, A. Chronobiology and biometeorology. Int. J. Biometeorol, 29(2): 1985, p. 149–164.
50. Tout, D. G. Biometeorology. Prog. Phys. Geogr, 11(4): 1998, p. 473–486.
51. Puhenstroth–Bauer, G., Baumer, H., Burkel, E. M., Sonning, W., Filipiak, B. A. Significant positive correlation between the onset of heat infarct and 28 kHz atmospherics. A pilot study. Clin. Cardiol, 8(3): 1985. p. 149–151.
52. Рыжиков, Г. В., Голиков, А. П., Гуменюк, В. А. Зависимость развития осложнения у больных инфарктом миокарда и хронической ишемической болезнью сердца от состояния электромагнитного поля Земли. *Физиология человека.* 1983. N. 1, с. 92–102.

53. Stoupel, E., Abramson, J., Domarkiene, S., Shimshoni, M., Sulkes, J. Space proton flux and the temporal distribution of cardiovascular deaths. Int J Biometeorol, 40: 1997, p. 113–116.
54. Stoupel, E., Israelevich, P., Gabbay, U., Abramson, E., Petrauskiene, J., Kalediene, B., Domarkiene, S., Sulkes, J. Correlation of two levels of space proton flux with monthly distribution of deaths from cardiovascular disease and suicide. J Basic Clin Physiol Pharmacol, 11(1): 2000, p. 63–71.
55. Stoupel, E. Sudden cardiac deaths and ventricular extrasystoles on days with four levels of geomagnetic activity. J Basic Clin Physiol Pharmacol, 4: 1993, p. 357–366.
56. Stoupel, E., Shimshoni, M. Hospital cardiovascular deaths and total distribution of deaths in 180 consecutive months with different cosmic physical acitivity: a correlative study (1974-1988). Int J Biometeorol, 35: 1991, p. 6–9.
57. Stoupel, E., Abramson, E., Sulkes, J., Martfel, J., Stein, N., Handelman, M., Shimshoni, M., Zadka, P., Gabbay, U. Relationship between suicide and myocardial infarction with regard to changing physical environmental conditions. Int J Biometeorol, 38(4): 1995, p. 199–203.
58. Stoupel, E., Wittenberg, C., Zabludowski, J., Boner, G. Ambulatory blood pressure monitoring in patients with hypertension on days of high and low geomagnetic activity. J Hum Hypertens, 9(4): 1995, p. 293–294.
59. Rastenyte, D., Tuomilehto, J., Domarkiene, S., Cepaitis, Z., Reklaitiene, R. Risk factors for death from stroke in middle-aged Lithuanian men: results from a 20-year prospective study. Stroke Apr, 27(4): 1996, p. 672–676.
60. Stoupel, E., Israelevich, P., Petrauskiene, J., Kalediene, R., Abramson, E., Gabbay, U., Sulkes, J. Cosmic rays activity and monthly number of deaths: a correlative study. Journal of Basic and Clinical Pharmacology, 13(1): 2002, p. 23–32.
61. Stoupel, E., Domarkiene, S., Radishauskas, R., Abramson E. Sudden cardiac death and geomagnetic activity: links to age, gender and agony time. Journal of Basic and Clinical Pharmacology, 13(1): 2002, p. 11–19.
62. Eliahu, G., Stoupel, E., Frimer, H. Chromosome aberration and environmental physical activity: Down syndrome and solar and cosmic ray activity, Israel, 1990–2000. Int J Biometeorol, 50(1): 2005, p. 1–5.

63. Stoupel, E. Effect of geomagnetic activity on cardiovascular parameters. J Clin Basic Cardiol. 2: 1999, p. 34–40.
64. Stoupel, E., Israelevich, P., Gabby, U., Abramson, E., Petrauskiene, J., Kalediene, R., Domarkiene, S., Sulkes, J. Correlation of two levels of space proton flux monthly distribution of deaths from cardiovascular disease and suicide. Journal of Basic and Clinical Pharmacology, 11(1): 2000, p. 63–71.
65. Langeveld, W. Cosmic ray detector. http://www.slac.stanford.ede/ vvs/cosmicrays/crdctour.html. Kreiptasi 2004-03-19.
66. Karagiorgi, G., Slanker, J. Cosmic ray muon detection. http://www.fit.edu/ pss-quarknet/2003/cosmicraymuon.ppt. Kreiptasi 2004-05-07.
67. Стыро, Д. Б., Сивинцев, Ю. В. О времени суток для оптимальной регистрации слабоактивных источников методом гамма-спектрометрии. Физика атмосферы, 8. Вильнюс. Мокслас, 1983, с. 104–107.
68. Горшков, Г. В. Гамма–излучение радиоактивных тел и элементы расчёта защиты от излучения. Москва–Ленинград: АНСССР, 1989. 292 с.
69. Tarptautinė statistinė ligų ir sveikatos problemų klasifikacija. http://www.lsic.lt/tlk/. Kreiptasi 2001-09-23.
70. Боровиков, В. Statistica: искусство анализа данных на компьютере : для профессионалов.Санкт-Петербург: Питер, 2001. 650 с.
71. Бююль, А., Цёфель, П. SPSS: искусство обработки информации = SPSS Version 10: анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей. Москва: DiaSoft, 2002. 601 с.
72. Sakalauskas, V. Statistika su Statistica.Vilnius: Margi raštai, 1998. 227 p.
73. Kleiza, J. Matematinis paketas MAPLE: mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 2003. 87 p.

**ANOS USOVAITĖS PUBLIKACIJOS DISERTACIJOS TEMA:**

**Leidinyje, įrašytame į Mokslinės informacijos instituto (ISI) sąrašą:**

1 A. Styra, D., Gaspariūnas, J., **Usovaitė, A.** and Juozulynas, A. On the connection between hard cosmic ray flux variation and changes in cardiovascular disease in Vilnius city. *Int J biometeorol*., Vol 49, No 1, 2005, p. 267–272. ISSN 0020-7128.

**Tarptautinių konferencijų darbuose, įrašytuose į Mokslinės informacijos instituto (ISI) sąrašą:**

2 A. Styra, D., Gaspariunas, J., Kleiza, J., **Usovaitė, A.** Hard cosmic ray flux variations and a leap in the number of cardiovascular disease in Vilnius in 2003. The 6th International Conference Environmental engineering, Selected papers, Vol 1, Vilnius: Technika, 2005, p. 282–286. ISSN 9986-05-850-3.

**Užsienio mokslo žurnaluose:**

3 A. Styra, D., Gaspariūnas, J., Usovaitė, A. Поиск оптимального метода и энергетического диапазона жесткого космического излучения для прогноза изменения сердечно-сосудистых заболеваний. Vestnik IAELPS (Вестник МАНЕБ), Vol. 8, No.1, Saint Petersburg: IAELPS (МАНЕБ), 2003, p. 89–94 (in Russian). ISSN 1605-4369.

4 A. Styra, D., Gaspariūnas, J., Bogdanovič, A., Syrusienė, V., **Usovaitė, A.** О прогностической связи изменений потока жесткого космического излучения и сердечно-сосудистых заболеваний в г. Вильнюсе в 1997–2001 гг. Vestnik IAELPS (Вестник МАНЕБ), Vol 8, No 6, Saint Petersburg: IAELPS (МАНЕБ), 2003, p. 39–46 (in Russian). ISSN 1605-4369.

**Lietuvos leidiniuose, įrašytuose į Mokslo ir studijų departamento patvirtintą sąrašą:**

5 A. Styra, D., Gaspariūnas, J., **Usovaitė, A.** Ryšio tarp kietosios kosminės spinduliuotės energetinio spektro nestabilumo ir vyresnio amžiaus žmonių širdies bei kraujagyslių ligų paūmėjimų paieška. *Gerontologija*, Vol 3, No 3, Vilnius: Gilija, 2002, p. 125–128. ISSN 1392-9062.

6 A. Styra, D., Gaspariunas, J., **Usovaite, A.** Peculiarities of hard cosmic radiation variations near the ground surface in accordance with geomagnetic activity changes. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management,* Vol 12, No 3, Vilnius: Technika, 2004, p. 96–102. ISSN 1648-6897.

**Kituose mokslo leidiniuose:**

7 A. Styra, D., Gaspariūnas, J., **Usovaitė, A.** Ryšio tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto nestabilumo ir širdies bei kraujagyslių lygų paūmėjimų tyrimas. 6-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“, įvykusios Vilniuje 2003 m. balandžio 18 d., pranešimų medžiaga. Fizika ir fizinė kompiuterija. Vilnius: Technika, 2003, p. 149–154. ISBN 996-05 619-5

8 A. Styra, D., Gaspariūnas, J., **Usovaitė, A.** Prognostinio ryšio tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijų ir širdies–kraujagyslių ligų paūmėjimo 1997–2002m. Vilniaus m. paieška. 7-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“, įvykusios Vilniuje 2004 m. balandžio 15 d., pranešimų medžiaga. Fizika ir fizinė kompiuterija. Vilnius: Technika, 2004, p. 181–187. ISBN 9986-05-723-X

**SKAITYTI PRANEŠIMAI**

1.Styra, D., Gaspariūnas, J., **Usovaitė, A.** Optimalaus metodo ir kieto kosminio spinduliavimo energetinio intervalo paieška širdies ir kraujagyslių susirgimų skaičiaus pokyčio prognozei. V tarptautinė konferencija "Aplinkos inžinerija", VGTU, Vilnius, įvykusi 2002 gegužės 23–24 d.

2.Styra, D., Gaspariūnas, J., **Usovaitė, A.** Prognostinis ryšys tarp kieto kosminio srauto spinduliuotės ir širdies-kraujagyslių ligų paūmėjimo. // 5-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities": Fizika ir fizinė kompiuterija (2002 m. Balandžio 17 d.). VGTU, Vilnius.

3.Styra, D., Gaspariūnas, J., **Usovaitė, A.** Ryšio tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto nestabilumo ir širdies bei kraujagyslių lygų paūmėjimo tyrimas. // 6-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities": Fizika ir fizinė kompiuterija (2003 m. Balandžio 18 d.). VGTU, Vilnius.

4.Стыро, Д., Гаспарюнас, И., **Усовайте, А.** О поиске критериев прогноза изменения числа сердечно–сосудистых заболеваний по колебаниям потока жесткого космического излучения в г. Вильнюсе в 1997–2001 гг., Материалы VII международных научных чтений "Белые ночи–2003". Санкт-Петербург: Издательство МАНЕБ, 2003.

5.Styra, D., Gaspariūnas, J., **Usovaitė, A.** Ryšio tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto nestabilumo ir širdies bei kraujagyslių lygų tyrimas. 35-oji jubiliejinė Lietuvos nacionalinė fizikos konferencija. 2003 m. birželio 12-14 d., Vilnius.

6.Стыро, Д., Гаспарюнас, И., **Усовайте, А.** Поиск прогностической связи между вариациями жесткого космического излучения и обострением сердечно–сосудистых заболеваний в г. Вильнюсе в 1997–2002 гг. Материалы VIII

международных научных чтений “Белые ночи–2004”. Санкт-Петербург: Издательство МАНЕБ, 2004.

7.Styra, D., Gaspariūnas, J., **Usovaitė, A.** Prognostinio ryšio tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijų ir širdies–kraujagyslių ligų paūmėjimo 1997–2002m. Vilniaus m. paieška. // 7-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija "Lietuva be mokslo- Lietuva be ateities". Fizika ir fizinė kompiuterija (2004 m. balandžio 16 d.). VGTU, Vilnius.

8.Styra, D., Gaspariunas, J., Kleiza, J., **Usovaite, A.** Hard cosmic ray flux variations and a leap in the number of cardiovascular disease in Vilnius in 2003. The 6th International Conference Environmental engineering (May 26–27, 2005). VGTU, Vilnius.

9.Styra, D., Gaspariūnas, J., **Usovaitė, A.** Sąryšio tarp širdies ir kraujagyslių ligų paūmėjimų bei kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijų nustatymas 2003 m. Vilniaus mieste. // 8-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija "Lietuva be mokslo- Lietuva be ateities". Fizika ir fizinė kompiuterija (2005 m. balandžio 8 d.). VGTU, Vilnius.