

**VILNIAUS UNIVERSITETAS**  
**FIZIKOS FAKULTETAS**  
**BENDROSIOS FIZIKOS IR SPEKTROSKOPIJOS KATEDRA**

Šarūnas Jacevičius

**ATMOSFEROS AEROZOLIO DALELIŲ PASISKIRSTYMO PAGAL DYDĮ  
MODELIAVIMAS PANAUDOJANT DALELIŲ OPTINIUS PARAMETRUS**

Magistrantūros studijų baigiamasis darbas

APLINKOS IR CHEMINĖS FIZIKOS STUDIJŲ PROGRAMA

Studentas	Šarūnas Jacevičius
Darbo vadovas	Dr. Vidmantas Ulevičius
Konsultantas	Dr. Vadimas Dudoitis
Recenzentas	Doc. Dr. Arūnas Maršalka
Katedros vedėjas	Prof. Dr. Valdas Šablinskas

Vilnius 2017

## Turinys

Įvadas.....	3
Darbo tikslas.....	4
Darbo uždaviniai.....	4
1. Teorinė ir metodinė tyrimo apžvalga.....	5
1. 1. Egzistuojančių metodų apžvalga .....	5
1. 2. Ekstinkcijos koeficientas ir Angstrems eksponentė.....	6
1. 3. <i>Rayleigh-Debye-Gans</i> artinys.....	8
2. Eksperimentinė aparatūra .....	10
2. 1. Nefelometras.....	10
2. 2. SMPS spektrometras .....	11
3. Darbo eiga ir rezultatai .....	14
Išvados.....	28
Literatūra .....	29
Santrauka .....	31
Summary.....	32
Priedai.....	33

## Ivadas

Atmosferos aerolio dalelės yra ore suspenduotas arba tam tikrą stabilumą gravitaciniame lauke išlaikantis skysčio ir kietų dalelių mišinys. Aerolio daleles priimta skirstyti pagal dydį: mažesnės nei  $0.01 \mu\text{m}$  skersmens dalelės priskiriamos nukleacinei modai,  $0,01 \mu\text{m} \div 0,1 \mu\text{m}$  – Aitkeno modai,  $0,1 \mu\text{m} \div 1 \mu\text{m}$  – akumuliacinei modai ir didesnės už  $1 \mu\text{m}$  dalelės priskiriamos stambųjų dalelių modai [1]. Atmosferos užterštumas kietosiomis dalelėmis yra didelė problema, pastaruoju metu minima Europos Komisijos ataskaitose – buvimas didelės koncentracijos, ypač mažų, kietųjų dalelių (KD) aplinkoje turi žalingą poveikį žmogaus organizmui [2]. Be žalingo poveikio žmogaus kvėpavimo takams, atmosferos aerolio dalelės pasižymi Saulės spinduliuotės sugerties ir sklaidos savybėmis, taip sąlygodamos tiesioginį poveikį Žemės klimatui [3].

Pastaruoju metu pastebimas vis didesnis biomasės degimo produktų indėlis į kietųjų dalelių koncentracijos padidėjimą, galimai sąlygojamas mažėjančio iškastinio kuro vartojimo ir grėžimosi į atsinaujinančiąją energetiką [2]. Biomasės degimo produktai yra submikroninės aerolio dalelės (KD 1), kurios dalyvaudamos mikrofizikiniuose debesų formavimosi procesuose sukelia debesų albedo pokytį, taip darydamos netiesioginę įtaką klimato kaitai [4]. Vieni pagrindinių biomasės degimo produktų šaltinių tiek Lietuvoje [5], tiek Europoje [2], yra biokuro naudojimas šildymo sezono metu, kurie daugiausia nulemia vietinę taršą biomasės degimo produktais, ir pavasariniai žolės gaisrai – gaisrų metu susidaranti biomasės degimo aerolio dalelės gali lemti taršą toli nuo jų šaltinio [6]. Pagrindinė biomasės degimo produktų tolimosios pernašos priežastis yra ta, kad pasiekusių laisvąją atmosferą ( $\sim 1 \div 2$  km aukštį virš žemės paviršiaus) submikroninių aerolio dalelių gyvavimo trukmė pasiekia keletą savaičių [7], todėl aerolio dalelių tolimosios pernašos įvykių fiksavimas ir šaltinių nustatymas yra svarbi aplinkos mokslo dalis, padedanti nustatyti oro taršą nulemiančių aerolio dalelių tipą.

Nors dabar egzistuoja ganėtinai daug viešai prieinamų priemonių, leidžiančių analizuoti aerolio dalelių tolimąją pernašą, o remiantis palydovinių matavimų duomenimis tam tikromis sąlygomis įmanoma pakankamai nesudėtingai ir vienareikšmiškai nustatyti aerolio dalelių tipą ir šaltinį, tokį metodą sudėtinga automatizuoti, kadangi kiekvienam fiksuojamam oro taršos aerolio dalelėmis įvykiui įprastai būtina atlikti oro masių trajektorijų analizę, ir/arba naudotis papildomų matavimo prietaisų, esančių toje pačioje arba kitose oro kokybės monitoringo stotyse, duomenimis. Ši aerolio dalelių tipo nustatymo metodą taip pat varžo sudėtinga ir/arba brangi prieiga prie kai kurių palydovinių duomenų, ypač skirtų aerolio dalelių koncentracijai matuoti. Palydoviniai duomenys taip pat pasižymi pakankamai žemu jautrumu aerolio dalelių koncentracijos padidėjimui, tad naudojant tokius duomenis

dažniausiai įmanomas tik labai intensyvių aerozolio dalelių šaltinių nustatymas. Toks metodas tampa nepraktišku vykdant nuolatinį oro kokybės monitoringą.

Siekiant kuo tiksliau įvertinti aerozolio dalelių įtaką žmonių sveikatai ir klimatui konkrečiu momentu, kaip jau minėta, šaltinių nustatymas remiantis trajektorijų analize tampa nepraktišku. Šaltinio nustatymas duoda tik labai nekonkrečią informaciją apie tikrąjį matuojamų dalelių dydį, taip pat negaunama jokios informacijos apie lokalių šaltinių aerozolio daleles, jeigu tie šaltiniai nepakankamai intensyvūs (nematomi/nepakankamai tiksliai matuojami palydoviniais prietaisais). Šiuo tikslu dažniausiai naudojami antžeminiai aplinkos oro kokybės monitoringui skirti aerozolio dalelių dydžio matavimo prietaisai, veikiantys tiek medžiagos surinkimo ant filtrų arba plokštelių principu (pvz.: APS – angl. *Aerodynamic Particle Sizer*), tiek skenuojantys arba matavimus atliekantys realiu laiku (pvz.: SMPS – angl. *Scanning Mobility Particle Sizer*). Tačiau šių tipų prietaisai turi esminių trūkumų – įprastiniais kaskadiniais impaktoriais neįmanoma vykdyti nepertraukiamų matavimų realiu laiku, o matavimus atliekant SMPS spektrometru įprastai nėra matuojamos optinės dalelių savybės. Mažos laboratorijos ne visada gali sau leisti vienu metu atlikti dydžio, koncentracijos ir optinių savybių matavimus, tad papildomų parametrų apskaičiavimas naudojantis vieno prietaiso matavimo duomenimis tampa svarbia aplinkos mokslo dalimi.

## **Darbo tikslas**

Sukurti ir patikrinti metodą, skirtą submikroninių aerozolio dalelių pasiskirstymo pagal dydį nustatymui (angl. *retrieval*), kurį būtų galima taikyti naudojantis aerozolio dalelių optiniais parametrais, matuojamais nefelometru.

## **Darbo uždaviniai**

1. Remiantis nefelometru matuojamais šviesos sklaidos ir atgalinės sklaidos koeficientais nustatyti matuojamų aerozolio dalelių tipą ir kokybiškai įvertinti jų koncentraciją.
2. Remiantis nefelometru matuojamais šviesos sklaidos ir atgalinės sklaidos koeficientais nustatyti matuojamų aerozolio dalelių vidutinį dydį ir dydžių pasiskirstymą.
3. Palyginti apskaičiuojamus aerozolio dalelių dydžių pasiskirstymus su kitų prietaisų matavimo rezultatais, įvertinti metodo pritaikomumo ribas.

## 1. Teorinė ir metodinė tyrimo apžvalga

### 1. 1. Egzistuojančių metodų apžvalga

Šiuo metu veikiantis SPARTAN paviršiaus oro aerozolio dalelių matavimo tinklas (SPARTAN, angl. *Surface PARTiculate mAtter Network*) yra skirtas įvertinti ir pagerinti palydovinių KD 2,5 koncentracijos matavimų rezultatus miesto (angl. *urban*) vietovėse [8]. SPARTAN tinklo stotelėse matavimai atliekami aerozolio daleles renkant ant filtrų (aerozolio dalelių optiniam gyliui, AOD - angl. *aerosol optical depth*, ir KD 2,5 dalelių masės koncentracijai nustatyti) ir nefelometrais (matuojami šviesos sklaidos ir atgalinės sklaidos koeficientai). Snider et al. publikacijoje [8] minima, kad nefelometro atgalinės sklaidos koeficiento matavimų duomenys naudojami siekiant gauti informacijos apie dalelių pasiskirstymą pagal dydį. Chow et al. nustatė, kad nefelometru matuojamas šviesos sklaidos koeficientas gerai koreliuoja ir yra tiesiogiai proporcingas KD 2,5 dalelių masės koncentracijai [9]. Snider et al. darbe šis sąryšis naudojamas (nors ir įvardija, kad KD 2,5 dalelių masės koncentracijos priklausomybei nuo šviesos sklaidos koeficiento svarbios įtakos turi aerozolio dalelių sandara) lyginant šviesos sklaidos koeficiento (antžeminiai matavimai nefelometru) ir AOD (palydoviniai matavimai) santykį su KD 2,5 masės koncentracijos (antžeminiai filtrų bandiniai) ir AOD (palydoviniai matavimai) santykiu Pekine atliekamiems matavimams. Gaunamas panašus šių dydžių kitimas laike. Chow et al. parodytą KD 2,5 dalelių koncentracijos ir šviesos sklaidos koeficiento tarpusavio priklausomybę vis dėlto reikėtų vertinti atsargiai taikant priklausomybę neurbanizuotai (angl. *rural*) vietai. Taip pat verta paminėti, kad nors publikacijoje [8] užsimenama apie nefelometru matuojamo atgalinės šviesos sklaidos koeficiento panaudojimą nustatant aerozolio dalelių pasiskirstymą pagal dydį, tačiau metodo aprašymas ar nuorodos į jį nepateiktos.

Horvath et al. parodė [10, 11], kad pasitelkiant ekstinkcijos koeficientų reikšmes skirtingiems regimojo spektro spinduliuotės bangos ilgiams ir matuojant sklaidą skirtingais kampais, galima gauti prasmingos informacijos apie aerozolio dalelių dydžio pasiskirstymą. Horvath et al. aprašomas metodas paremtas apskaičiuojant aibę teorinių ekstinkcijos koeficientų verčių esant skirtingoms pradinėms sąlygoms – varijuojama spinduliuotės bangos ilgiu ir galimais aerozolio dalelių dydžio skirstiniais, tada naudojantis *Mie* teorija apskaičiuojama spinduliuotės intensyvumo kampinė priklausomybė, nustatomas kampinę priklausomybę atitinkantis ekstinkcijos koeficientas. Nors skirtingi dalelių dydžio skirstiniai gali sąlygoti tą pačią ekstinkcijos koeficiento reikšmę, Horvath et al. parodė, kad filtruojant skaičiavimo rezultatus pagal standartinio nuokrypio dydį ir *Fisher* informacijos parametro reikšmę, naudojantis

aerolio dalelių optiniais parametrais galima nustatyti aerolio dalelių pasiskirstymus pagal dydį, gerai atitinkančius eksperimentinius rezultatus.

Panašus metodas į Horvath et al. publikacijose aprašytąjį taikytas Castagner ir Bigio 2007-ųjų publikacijoje [12] – šiame darbe aprašomas publikacijos autorių sukurtas aukštos kampinės skiriamosios gebos ( $0,1^\circ$  eilės), greitaveikis (vieno matavimo rezultatai gaunami greičiau nei per 1s) polinis nefelometras (angl. *polar nephelometer*). Žinomomis eksperimentinėmis sąlygomis šiuo nefelometru gaunamos polinės diagramos palygintos su *Mie* teorija paremtais skaičiavimais. Laboratorinėmis sąlygomis gautos geros priklausomybės  $1,50 \div 8,96 \mu\text{m}$  skersmens aerolio dalelėms, tačiau įvardijama, kad šis metodas yra netinkamas smulkių aerolio dalelių dydžio nustatymui.

Šio tiriamojo darbo metu remiamasi nefelometro galimybe matavimus atlikti skirtingais sklaidos kampų intervalais ( $7^\circ \div 170^\circ$  ir  $90^\circ \div 170^\circ$ ) trimis regimosios šviesos bangos ilgiams (450 nm, 550 nm ir 700 nm). Pasirinktas supaprastintas aerolio dalelių dydžio nustatymo būdas, lyginant su Horvath et al. publikacijoje aprašytu – vietoje to, kad būtų suskaičiuojama aibė numanomų lognormalinių skirstinių, remiantis matuojama Angstromo eksponentės verte ir šviesos atgalinės sklaidos koeficientu aerolio dalelėms priskiriamas tipas ir lūžio rodiklis ir pasinaudojant *Rayleigh-Debye-Gans* artiniu pagal matuojamą šviesos atgalinės sklaidos ir visos sklaidos koeficientų santykį apskaičiuojami galimi dalelių dydžiai ir standartinis nuokrypis. *Rayleigh-Debye-Gans* artinys naudojamas, kadangi teoriškai jis apima *Rayleigh* sklaidos režimą, tačiau jo taikymas tinkamas ir dalelių dydžiui priartėjant prie sklaidomos šviesos bangos ilgio [13]. Vidutinis dalelių dydis ir standartinis nuokrypis tada panaudojami skaičiuojant vienmodį lognormalinį dalelių dydžio skirstinį, kuris gali būti lyginamas su SMPS matavimų duomenimis (metodas plačiau aptariamas 3 skyriuje).

## 1. 2. Ekstinkcijos koeficientas ir Angstromo eksponentė

Šviesai sklindant optiškai tankioje terpėje, spinduliuotės intensyvumo slopimas gali būti apibūdinamas *Beer-Lambert* dėsnio:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\tau}, \quad (1)$$

čia  $I_0$  yra pradinis spinduliuotės intensyvumas,  $I$  yra pro bandinį praėjusios spinduliuotės intensyvumas, o  $\tau$  yra bandinio optinis gylis (angl. *optical depth*). Jeigu ekstinkcijos koeficientas nepriklauso nuo pozicijos bandinyje, optinis gylis siejasi su ekstinkcijos koeficientu tiesiškai:

$$\tau = \sigma_e x . \quad (2)$$

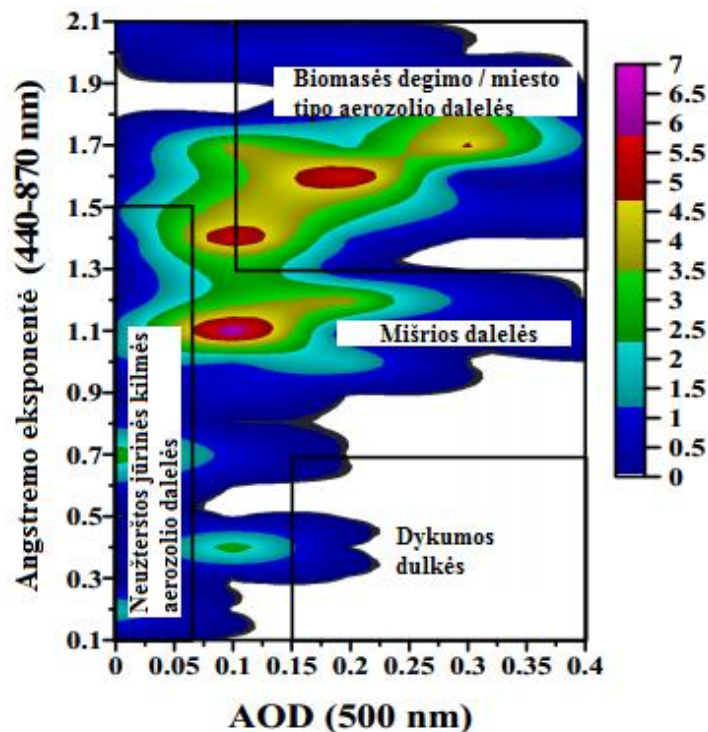
Čia  $x$  yra bandinio storis,  $\sigma_e$  – ekstinkcijos koeficientas. Ekstinkcijos koeficientas gali būti išreiškiamas kaip suma šviesos sklaidos ( $\sigma_s$ ) ir šviesos sugerties ( $\sigma_a$ ) koeficientų:

$$\sigma_e = \sigma_s + \sigma_a . \quad (3)$$

Ekstinkcijos koeficientas priklauso nuo šviesos bangos ilgio ir gali būti apibūdinamas kitaip [14]:

$$\sigma_e = B\lambda^{-\alpha} . \quad (4)$$

Čia  $B$  yra konstanta, žinoma kaip drumstumo (angl. *turbidity*) koeficientas,  $\lambda$  yra šviesos bangos ilgis, o  $\alpha$  – Angstromo eksponentė. Angstromo eksponentė gali būti naudojama kaip kokybinis aerozolio dalelių dydžio indikatorius – eksperimentiškai įrodyta, kad mažesnės Angstromo eksponentės vertės ( $\alpha < 1$ ) dažniausiai siejamos su stambesnėmis aerozolio dalelėmis (jūros druska arba dykumos dulkėmis), o didesnės Angstromo eksponentės vertės ( $\alpha > 2$ ) įprastai nulemtos įvairių submikroninių aerozolio dalelių dominavimu [15] – smulkiosios aerozolio dalelės dažniausiai siejamos su miesto tarša arba biomasės degimo produktais [16]. Tikslesnė informacija apie dalelių tipą gali būti gaunama atsižvelgiant į Angstromo eksponentę ir AOD (aerozolio dalelių optinis gylis, angl. *aerosol optical depth*) kartu:



1 pav. Aerozolio dalelių tipo priskyrimo pagal AOD ir Angstromo eksponentės vertes pavyzdys. Duomenys rinkti Saulės fotometru matuojant vidutinę dalelių koncentraciją (grafike pažymėtos santykinės vertės) žiemos sezono metu Skukuzoje (Pietų Afrikos Respublika). Parengta pagal [17]

Šio darbo metu Angstromo eksponentė skaičiuojama panaudojant šviesos sklaidos koeficientų matavimo duomenis. Esant mažam sugerties koeficientui, pagal (3) ekstinkcijos koeficientas prilyginamas sklaidos koeficientui. Turint sklaidos koeficientų vertes  $\sigma_{s1}$  ir  $\sigma_{s2}$  matavimus atliekant bangos ilgiams  $\lambda_1$  ir  $\lambda_2$ , pasitelkiant (4) gaunama tokia išraiška:

$$\alpha = -\frac{\ln(\sigma_{s1}/\sigma_{s2})}{\ln(\lambda_1/\lambda_2)}. \quad (5)$$

Šitokiu būdu gaunama Angstromo eksponentė gali būti vadinama sklaidos Angstromo eksponentė (SAE, angl. *Scattering Angstrom Exponent*). Tiriamojo darbo metu laikoma, kad AOD yra proporcingas šviesos atgalinės sklaidos koeficientui pagal (2) sąryšį.

### 1. 3. *Rayleigh-Debye-Gans* artinys

Dalelėmis sklaidomos šviesos intensyvumas labiausiai priklauso nuo dalelės dydžio, atstumo iki tos dalelės, spinduliuotės bangos ilgio ir medžiagos lūžio rodiklio. *Rayleigh* sąryšis sklaidomos šviesos intensyvumą ( $I_R$ ) aprašo tam tikroms sąlygoms, kai dalelės yra sferinės ir daug mažesnės už sklaidomos šviesos bangos ilgį:

$$I_R = \left( \frac{V^2}{r^2 \lambda^4} \right) I_0 f(n_1, n_2), \quad (6)$$

čia  $I_0$  yra pradinis spinduliuotės intensyvumas,  $V$  yra dalelės tūris,  $r$  yra dalelės atstumas iki stebėtojo,  $\lambda$  yra bangos ilgis, o  $f(n_1, n_2)$  yra bedimensinė aplinkos ir sklaidančios medžiagos lūžio rodiklių  $n_1$  ir  $n_2$  funkcija [13]. *Rayleigh* teorija aerolio dalelėms iš principo netaikoma, kadangi regimosios šviesos bangos ilgis yra artimas įprastiniam akumuliacinės modos aerolio dalelių skersmeniui.

*Rayleigh-Debye-Gans* (žymėsime RDG) artinys yra *Rayleigh* teorijos papildymas, kuriame atsižvelgiama į galimybę vienoje dalelėje spinduliuotę sklaidyti keletu sklaidos centrų. *Rayleigh-Debye-Gans* artinys šviesos sklaidos efektus priartina prie *Mie* teorijos, papildydamas *Rayleigh* sąryšį vadinamuoju formos faktoriumi  $P(\theta)$ , kuriuo atsižvelgiama į baigtinius dalelių matmenis [13]. Tokiu atveju aerolio dalelių dydis nebūtinai turi būti daug mažesnis už sklaidomos šviesos bangos ilgį. Formos faktorius  $P(\theta)$  įvedamas kaip korekcija *Rayleigh* sąryšiui:

$$I_{RD} = I_R P(\theta). \quad (7)$$



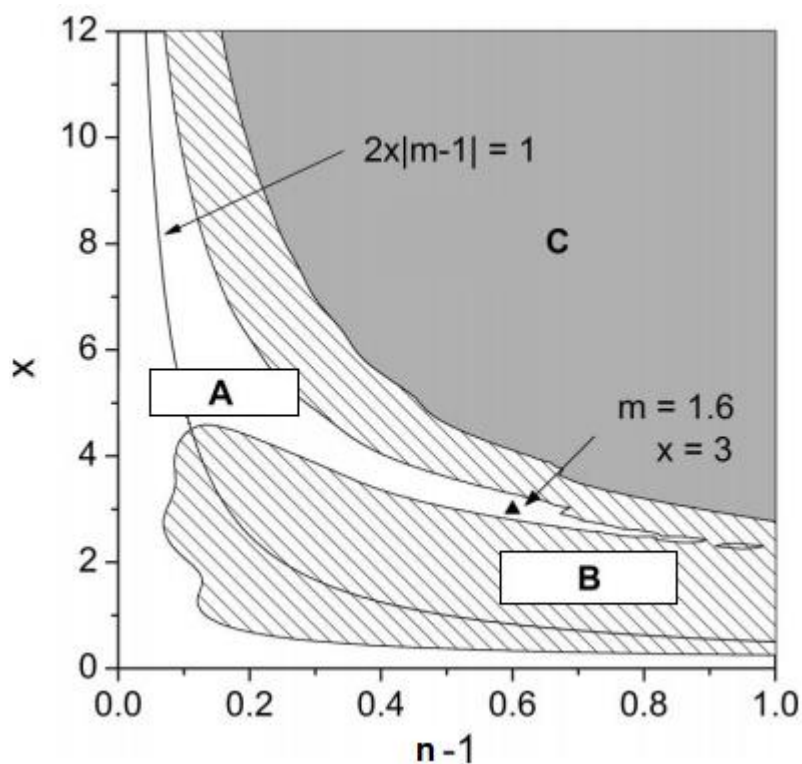
Formos faktorius  $P(\theta)$  aprašo išsklaidytos šviesos intensyvumo priklausomybę nuo kampo ir apibrėžiamas kaip [13, 18]:

$$P(\theta) = \frac{3(\sin u - u \cos u)}{u^3}, \quad (8)$$

kur

$$u = 2n \frac{\pi D_p}{\lambda} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right). \quad (9)$$

Čia  $n$  yra aerozolio dalelės lūžio rodiklis,  $D_p$  yra dalelės skersmuo, o  $\theta$  – sklaidos kampas.



2 pav. Šviesos sklaidos skerspjūvių palyginimas juos skaičiuojant pagal RDG ir *Mie* teorijas. A pažymėta sritis nurodo iki 10 % RDG artinio taikymo paklaidą (lyginant su *Mie*); B sritis žymi 10 ÷ 100 % paklaidą; C sritis – paklaidą, didesnę už 100 %. Horizontalioji ašis žymi lūžio rodiklį  $n - 1$ , vertikalioji – sferos dydžio parametras  $x$ , aprašomas kaip  $\pi D_p \lambda^{-1}$ . Parengta pagal [18]

Zhao ir Ma 2009-ųjų publikacijoje [18] patikrinamas RDG artinio pritaikomumas suodžių (angl. *soot*) dalelių dydžio nustatymui. 2 pav. matoma, kad RDG artinys labiausiai tinkamas naudoti kai dalelių lūžio rodiklis yra artimas vienetui. Esant didesniems lūžio rodikliams, neatitikimas tarp tikslesnių teorijų ir RDG artinio labiausiai pasireiškia sklaidos kampams, statmeniams spinduliuotės sklaidimo kryptims – šimtų nanometrų eilės skersmens dalelėms, kurių lūžio rodiklis  $n = 1,57$ , ryškus neatitikimas tarp RDG

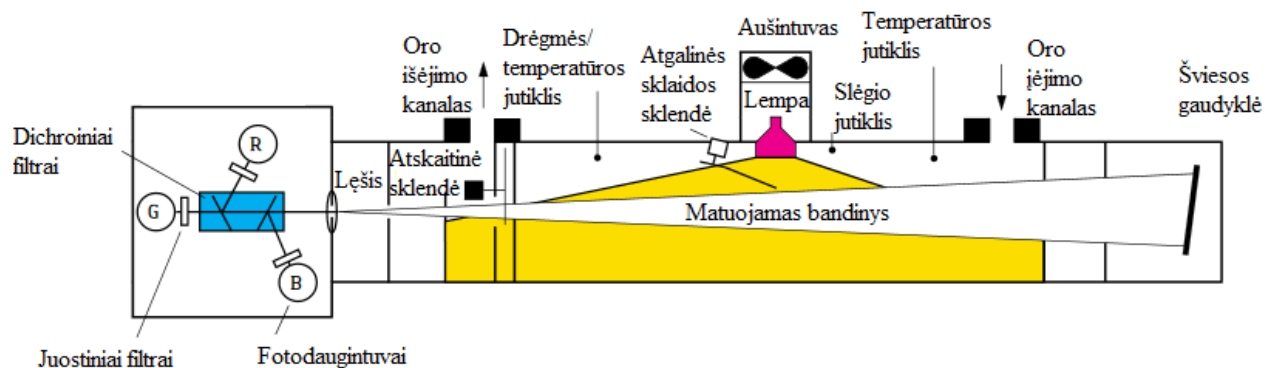
ir *Mie* teorijų pasireiškia tik  $90^\circ - 100^\circ$  sklaidos kampų intervale (šiam intervale RDG išsklaidytos šviesos intensyvumas mažesnis už *Mie*). Esant mažoms dalelėms (iki 100 nm), kurių lūžio rodiklis 1,57, lyginant RDG ir T-matricų (angl. *T-matrix*) metodais gaunamus dalelių šviesos sklaidos skerspjūvius gaunamas iki 12 % neatitikimas, kuris padidėja tik sklaidos kampams esant artimiems  $90^\circ$ .

Šiame darbe naudojamas RDG artinys, kadangi teoriškai jis galioja dalelėms priklausančioms tiek Aitkeno (dalelių koncentracijos maksimumas), tiek akumuliacinei (dalelių paviršiaus ploto maksimumas, taip pat vienas iš dalelių tūrio maksimumų) modoms [1]. Kadangi tiriamojo darbo metu naudojami šviesos sklaidos intensyvumo duomenys platiems ( $7^\circ \div 170^\circ$  ir  $90^\circ \div 170^\circ$ ) sklaidos kampų intervalams, yra pagrindo manyti, kad RDG artiniui būdingas prastas sklaidos intensyvumo vertinimas  $90^\circ$  sklaidos kampo aplinkoje skaičiavimų rezultatams neturi reikšmingos įtakos.

## 2. Eksperimentinė aparatūra

### 2.1. Nefelometras

Tiriamąjį darbo metu analizuoti duomenys, išmatuoti integruojančiu nefelometru (angl. *nephelometer*) TSI 3563. Šis nefelometras 100 s laikine skyra matuoja trijų bangos ilgių (450 nm, 550 nm ir 700 nm) šviesos sklaidos koeficientus atmosferos ore dviuose sklaidos kampų intervaluose:  $7^\circ \div 170^\circ$  ir  $90^\circ \div 170^\circ$ .



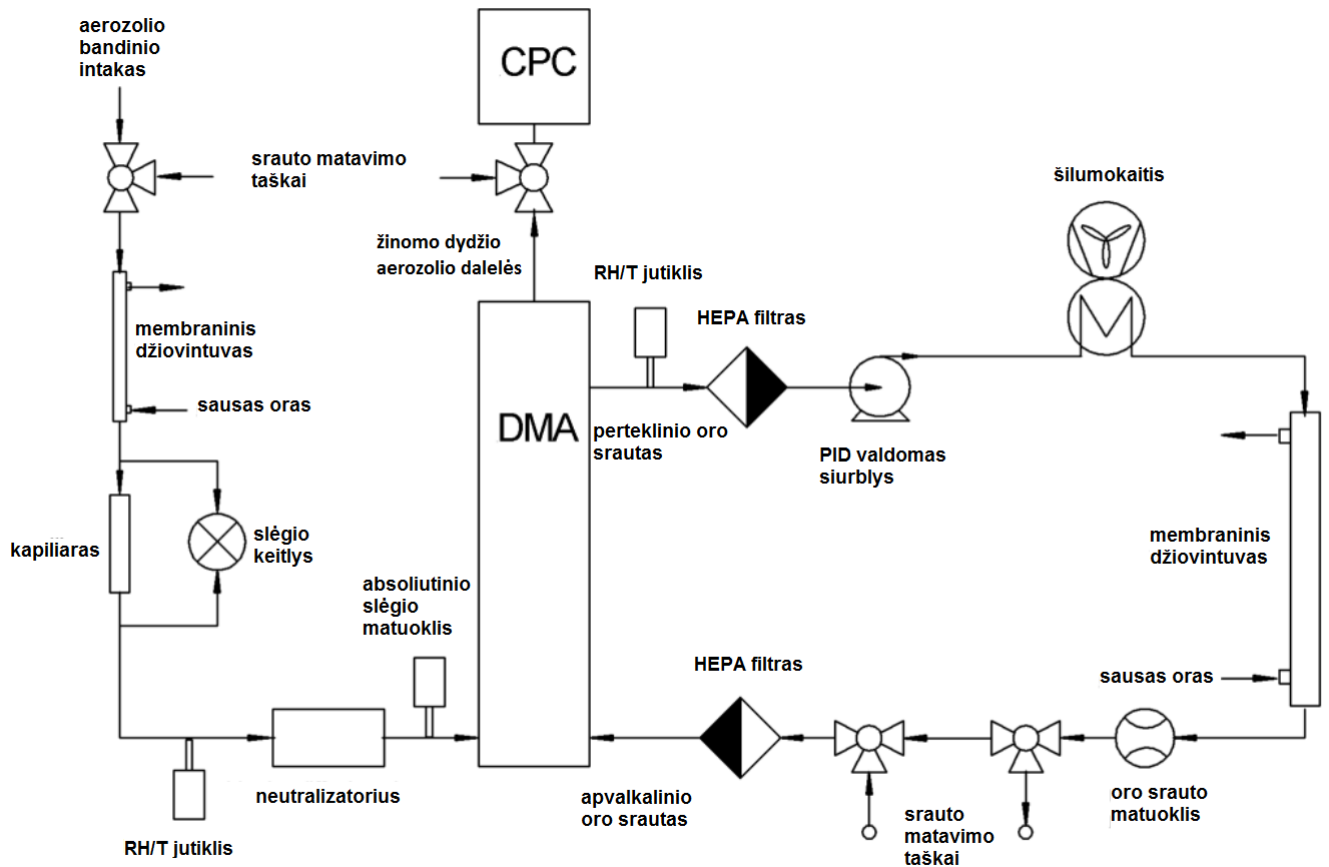
3 pav. Integruojančio nefelometro TSI 3563 blokinė schema. Parengta pagal [19]

Atmosferos oro bandinys, patenkantis į nefelometro matavimo vamzdį naudojant 30 l/min srautą, yra apšviečiamas halogenine lempa  $7^\circ \div 170^\circ$  kampu vykstant visos sklaidos matavimams ir  $90^\circ \div 170^\circ$  kampu (panaudojant atgalinės sklaidos sklendę), jeigu vyksta atgalinės sklaidos matavimai. Oro bandinyje išsklaidyta spinduliuotė dichroiniais filtrais dar kartą išsklaidoma ir nukreipiama pro juostinius

filtrus patenka į atitinkamus fotodaugintuvus. Sukantis atskaitinei sklendei gaunami trijų tipų eksperimentiniai duomenys [20]:

- 1) kai sklendė atidaryta, matuojamas šviesos sklaidos koeficientas;
- 2) kai sklendė uždaryta, matuojama neapšviestų fotodaugintuvų srovė, į kurią atsižvelgiama siekiant patikslinti sklaidos matavimo rezultatus;
- 3) trečiuoju atveju nustatoma sklendės pozicija, leidžianti atlikti šviesos šaltinio intensyvumo matavimą. Į šviesos šaltinio intensyvumo kitimą laike atsižvelgiama siekiant patikslinti sklaidos matavimo rezultatus.

## 2. 2. SMPS spektrometras



4 pav. SMPS spektrometro blokinė schema. Parengta pagal [21]

Šiame darbe pagal aerolio dalelių optinius parametrus apskaičiuojamas dalelių dydis lyginamas su eksperimentiniais duomenimis, gautais naudojant TROPOS 19.03.09 IFT/TT modelio SMPS (angl.

*Scanning Mobility Particle Sizer*) sistema. SMPS spektrometras yra automatinė sistema, nustatanti aerozolio dalelių dydžio pasiskirstymą pagal krūvininkų judrį. Pagrindinės sistemos sudedamosios dalys yra neutralizatorius, diferencinis judrio analizatorius (žymėsime DMA, angl. *Differential Mobility Analyser*) ir kondensacinis dalelių skaitiklis (žymėsime CPC, angl. *Condensation Particle Counter*), matomi 4 pav. Į sistemą patekęs oro srautas pirmiausia praeina membraninį džiovintuvą, kuris skirtas palaikyti žemesnį už 40 % santykinį drėgnį. Prieš patekdamas į neutralizatorių oras praeina kapiliarą ir jo srautas nustatomas slėgio keitliu (angl. *pressure transducer*), RH/T jutikliu išmatuojamas santykinis drėgnis ir temperatūra [22].

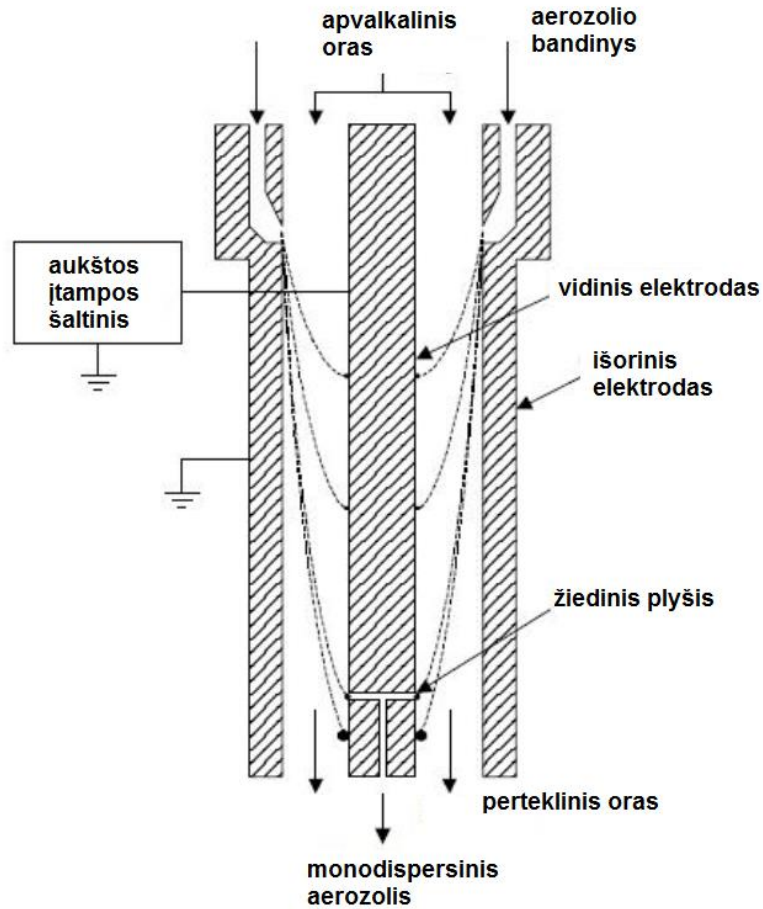
Neutralizatoriuje (angl. *neutralizer* arba *bipolar diffusion charger*) įmontuotas  $^{239}\text{Pu}$   $\alpha$ -dalelių šaltinis, kuris jonizuoja jame esantį orą. Teigiami ir neigiami oro jonai neutralizatoriuje difunduoja ir dėl elektrostatiinių jėgų prilimpa prie aerozolio dalelių. Esant didesnei aerozolio dalelei, prie jos prilimpa daugiau jonų ir atvirkščiai. Tokiu būdu iš aerozolio dalelių srauto pašalinamas nežinomas pradinis krūvis ir gaunamas žinomas aerozolio dalelių pasiskirstymas pagal krūvį. Jonų porų koncentracija bandinyje siekia  $\sim 10^7 \text{ cm}^{-3}$ , todėl tokio tipo SMPS spektrometro veikimas teoriškai apribojamas iki aerozolio dalelių skaičiaus koncentracijų, neviršijančių  $10^6 \text{ cm}^{-3}$  [21].

Žinomą krūvį įgavusios aerozolio dalelės pasiekia diferencinį judrio analizatorių (DMA), kuris iš principo yra cilindrinis kondensatorius. DMA cilindru teka laminarinis apvaskalinto oro srautas, kuris prieš patekdamas į DMA išvalomas nuo jame esančių aerozolio dalelių HEPA (angl. *High Efficiency Particulate Air*) filtrais. Į DMA patekęs aerozolio dalelių srautas atskiriami pagal jų krūvininkų judrį, kuris labiausiai priklauso nuo dalelių nešamo krūvio ir dydžio – kuo mažesnis dalelių skersmuo ir kuo didesnis jų nešamas krūvis, tuo didesnis tų dalelių elektrinis judris. Žinant DMA matmenis, galima apskaičiuoti kokia įtampa reikalinga, kad tam tikrą krūvininkų judrį turinčios dalelės patektų į žiedinį plyšį, pažymėtą 5 pav. apačioje. Tokiu būdu DMA bandinio srauto išėjime gaunamas kontroliuojamo dydžio aerozolio dalelių srautas. Aerozolio dalelių pasiskirstymas pagal dydį gaunamas keičiant DMA elektrodo įtampą – skenuojant. Vienas aerozolio dalelių koncentracijos matavimas visais kanalais atliekamas per 5 min [21].

Iš DMA aerozolio dalelių bandinys patenka į kondensacinį dalelių skaitiklį (CPC), kuriame nustatoma dalelių koncentracija. CPC remiasi aerozolio dalelių augimo principu, kai ant jų kondensuojasi butanolio garai. Tokiu būdu dalelės užauginamos iki  $2 \div 3 \mu\text{m}$  skersmens ir jų koncentracija gali būti nustatoma optiškai [22].

Šiame tyrime naudojami duomenys gauti SMPS spektrometru, galinčių atskirti  $8,7 \div 840 \text{ nm}$  skersmens daleles panaudojant 71 spektrinį kanalą (skenovimo įtampą). Diferencinio judrio analizatorius

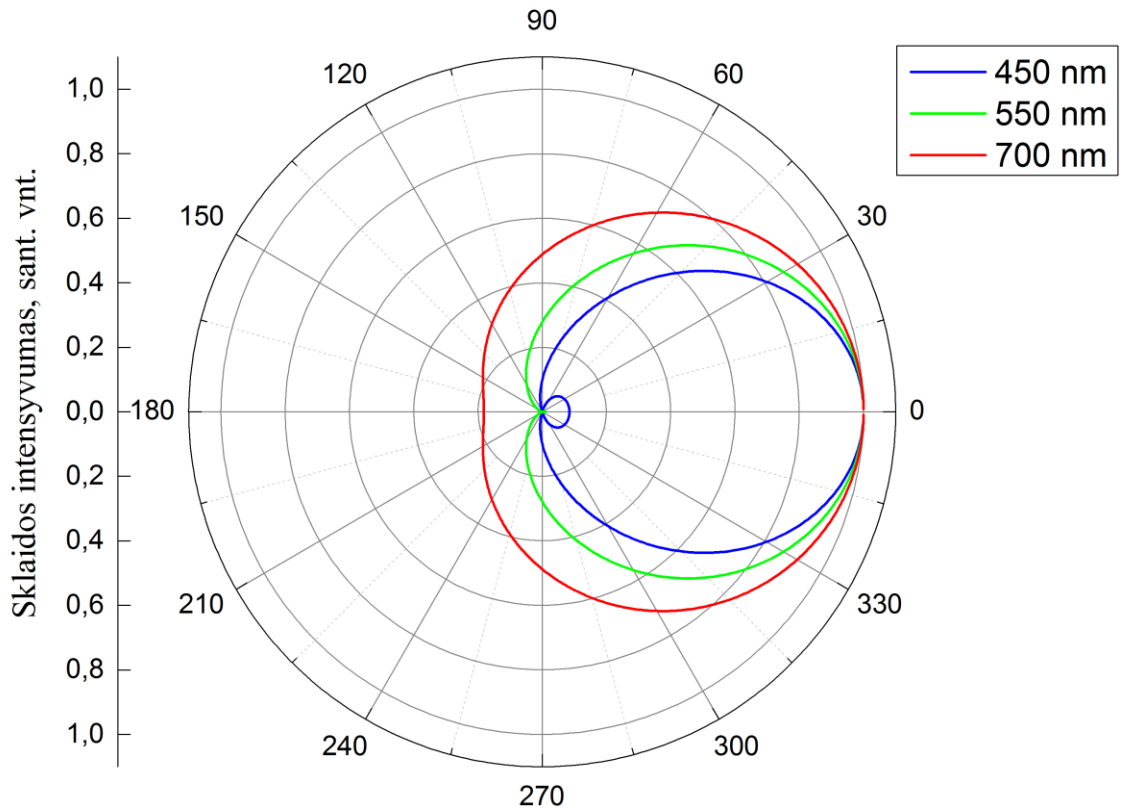
yra 280 mm ilgio, vidinio elektrodo išorinis skersmuo yra 50 mm, išorinio elektrodo vidinis skersmuo yra 67 mm. Į SMPS sistemą patenkančio aerozolio dalelių bandinio srautas yra 1,0 l/min, apvalkalinio oro srautas – 5,0 l/min [23].



5 pav. Diferencinio judrio analizatoriaus (DMA) schematinis brėžinys. Parengta pagal [22]

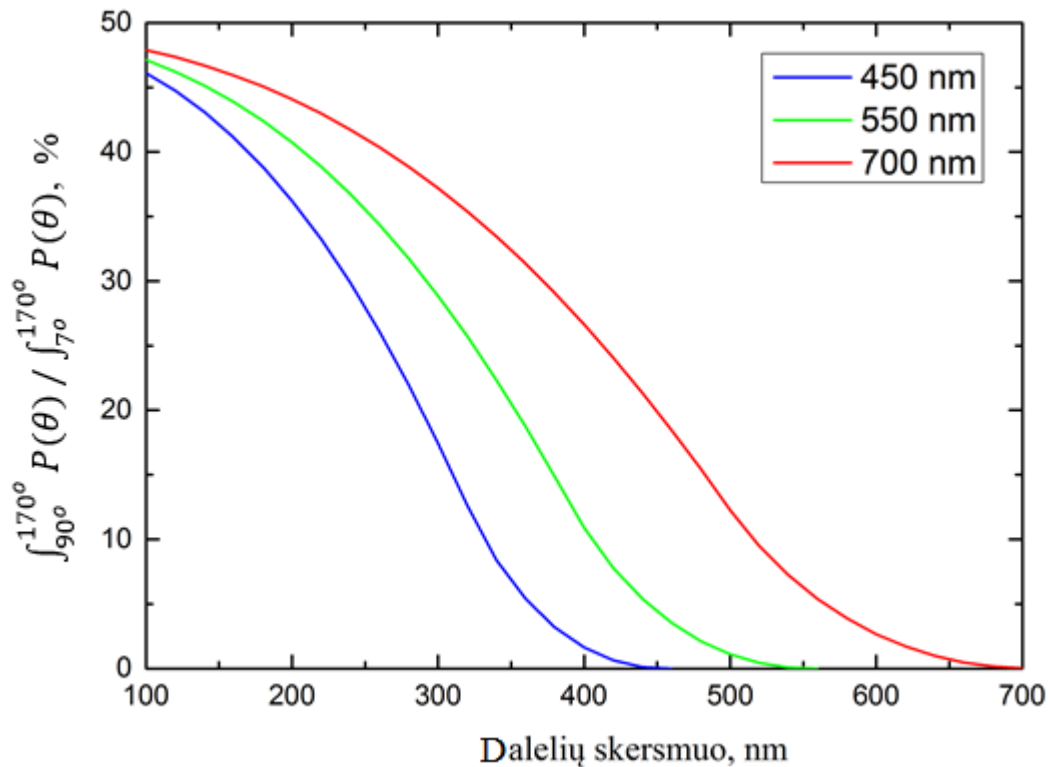
### 3. Darbo eiga ir rezultatai

Tiriamąjį darbą atliekant panaudojant šviesos sklaidos koeficientą, matuojamą nefelometru, ir remiantis *Rayleigh-Debye-Gans* (RDG) artiniu bandyta įvertinti aerozolio dalelių pasiskirstymą pagal dydį. RDG artinyje šviesos sklaidos intensyvumo priklausomybė nuo kampo gaunama įvedant formos faktorių  $P(\theta)$ , priklausantį nuo dalelės dydžio, lūžio rodiklio ir sklaidomos šviesos bangos ilgio. Šiame darbe formos faktoriaus ir kiti skaičiavimai vykdyti MATLAB aplinkoje parašytu kodu (priedai, nr. 1). Pagal (8) ir (9) išraiškas apskaičiuotos formos faktoriaus kampinės priklausomybės  $1,00 \div 1,75$  (0,05 žingsniu) lūžio rodiklio,  $10 \div 1000$  nm (kas 2 nm) skersmens dalelėms, sklaidančioms nefelometre naudojamą 450 nm, 550 nm ir 700 nm bangos ilgio spinduliuotę. Kampinė sklaidos intensyvumo priklausomybė (pavyzdys pateiktas 6 pav.) integruojama nefelometro naudojamais  $7^\circ \div 170^\circ$  ir  $90^\circ \div 170^\circ$  sklaidos kampais kairinių stačiakampių metodu,  $0,1^\circ$  integravimo žingsniu.



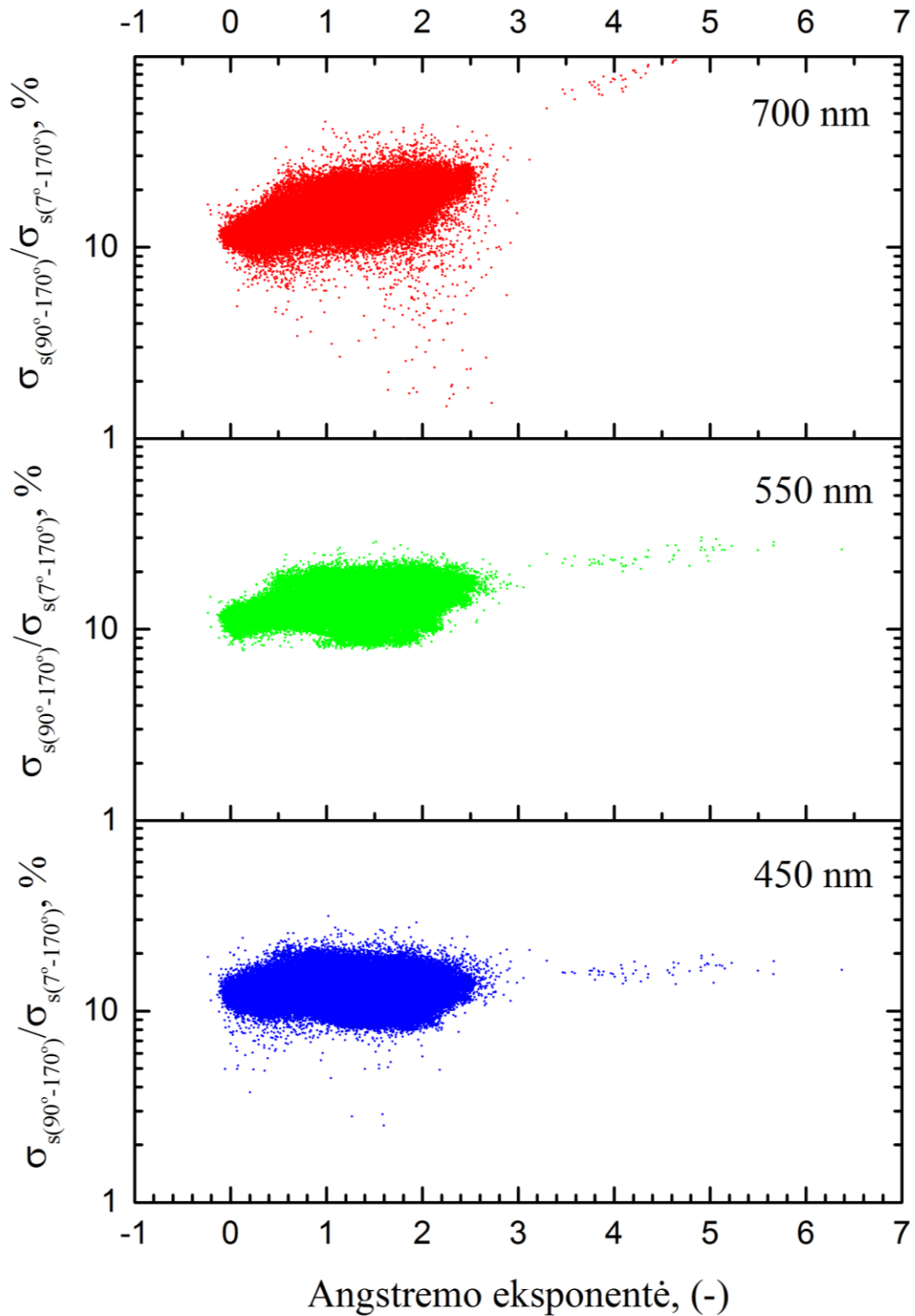
6 pav. Polinė diagrama, iliustruojanti *Rayleigh-Debye-Gans* formos faktorių. Pateikiamas sunormuotas sklaidos intensyvumo kampinis pasiskirstymas 400 nm skersmens dalelėms, kurių lūžio rodiklis  $n = 1,0$ . Dešiniajame viršutiniame kampe pažymėti sklaidomos šviesos bangos ilgiai

6 pav. matoma, kad taikant RDG artinį 400 nm skersmens dalelėms, sklaidančioms 450 nm spinduliuotę, atsiranda kilpų – neigiamų sklaidos intensyvumo verčių – kurios nulemia neigiamą integralo vertę  $90^\circ \div 170^\circ$  sklaidos kampų intervale. Aerosolio dalelėms pasiekus dydį, artimą sklaidomos spinduliuotės bangos ilgiui, integruojant gaunamas atgalinės sklaidos ir visos sklaidos santykis pasiekia neigiamas vertes ir netenka fizikinės prasmės. Šiame darbe a priori laikoma, kad artinio taikymas galioja nuo 100 nm dalelių skersmens iki dalelių skersmens, ties kurio atgalinės sklaidos dalies vertė pasiekia nulį (7 pav.)



7 pav. Rayleigh-Debye-Gans artinį naudojant gaunama atgalinės sklaidos intensyvumo dalies priklausomybė nuo dalelių skersmens, 450 nm, 550 nm ir 700 nm bangos ilgio spinduliuotę sklaidant skirtingo dydžio dalelėmis. Lūžio rodiklis  $n = 1,0$

Dalelių dydžio nustatymui naudojami 2015-ųjų balandžio 9 d. – rugsėjo 2 d. Preilos Aplinkos užterštumo tyrimų stotyje veikusio nefelometro duomenys. Šių matavimų duomenys naudojami todėl, kadangi tai yra naujausi duomenys, gauti vienu metu keletą mėnesių veikiant nefelometrui ir SMPS spektrometrui. Tai yra pakankamas laiko intervalas, per kurį abiem prietaisais įmanoma užregistruoti aerosolio dalelių koncentracijos padidėjimo įvykių. 8 pav. pateiktos viso minėto matavimų periodo nefelometru matuojamos spinduliuotės atgalinės sklaidos ir visos sklaidos santykio vertės. Ant horizontaliosios ašies atidėtos sklaidos Angstromo eksponentės, apskaičiuotos pagal (5) formulę, vertės.



8 pav. 2015-ųjų balandžio 9 d. – rugsėjo 2 d. Preilos Aplinkos užterštumo tyrimų stotyje veikusio nefelometro matavimų duomenys. Duomenys pateikti kaip atgalinės sklaidos koeficiento ir visos sklaidos koeficiento santykio priklausomybė nuo sklaidos Angstromo eksponentės. Vienas taškas atitinka 100 s trukmės matavimą.



Kaip matoma iš 8 pav., eksperimentinės atgalinės sklaidos dalies vertės daugiausia patenka į 7 % ÷ 30 % intervalą – taikant RDG artinį tai atitiktų 250 nm – 550 nm skersmens daleles, kurių lūžio rodiklis  $n = 1,0$ . Atgalinės sklaidos dalis 700 nm bangos ilgiui rodo silpną koreliaciją su Angstromo eksponente – koreliacijos koeficientas  $R^2 = 0,388$ , tiesės krypties koeficientas lygus 0,037. Atgalinės sklaidos dalis 550 nm ir 450 nm bangos ilgiams pastebima koreliacija nepasižymi –  $R^2$  atitinkamai 0,138 ir  $10^{-4}$ . 700 nm atgalinės sklaidos dalies koreliacija su Angstromo eksponentės vertėmis nėra atsitiktinė – abu šie dydžiai priklauso nuo aerozolio dalelių dydžio. Didelis kiekis eksperimentinių duomenų (~118000) plačiame matavimų laiko intervale (5 mėnesiai) nulemia didelį išsibarstymą, tad koreliacija išryškėja tik matavimais tokio bangos ilgio spinduliuote (700 nm), kurios atgalinės sklaidos dalies priklausomybė nuo dalelių skersmens (remiantis 7 pav.) kinta didžiausiame intervale.

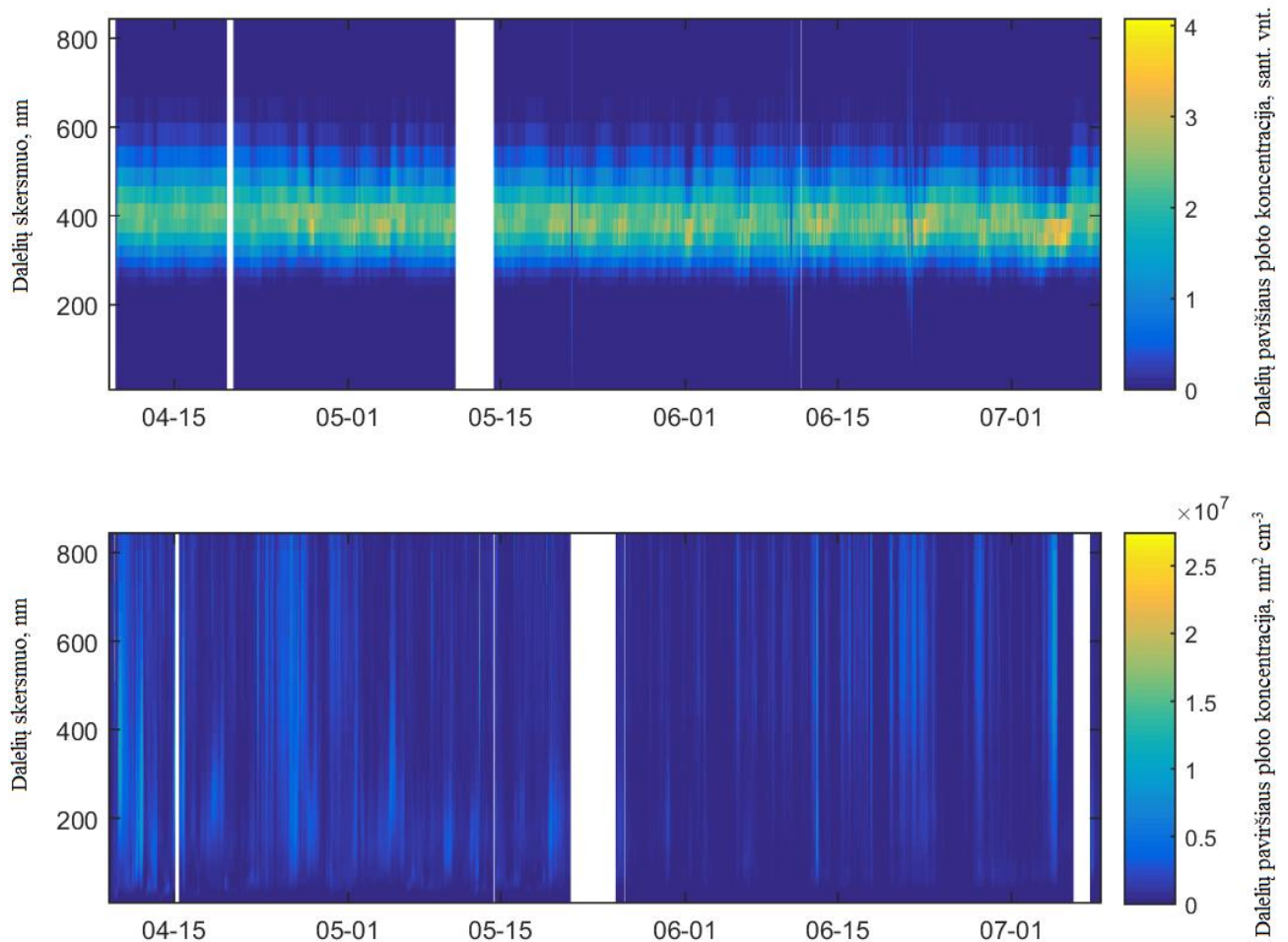
Panaudojant RDG artinį, nefelometru matuojamiems šviesos atgalinės ir visos sklaidos koeficientų santykiams priskiriami dalelių dydžiai (priedai, nr. 2). Kadangi aerozolio dalelių lūžio rodiklis eksperimento pradžioje yra nežinomas, pirmasis skaičiavimas atliekamas lūžio rodiklį laikant nekintančiu  $n = 1,0$ . Remiantis Zhao et al., esant tokiam lūžio rodikliui RDG artinys turėtų duoti rezultatus, artimus *Mie* teorijai [18]. Norint gauti aerozolio dalelių pasiskirstymą pagal dydį, panaudojant eksperimentinius duomenis apskaičiuojamas lognormalinis pasiskirstymas [11]:

$$\frac{dA}{d \ln r} = A \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \ln \sigma_g} \exp\left(-\frac{(\ln r - \ln r_g)^2}{2 \ln^2 \sigma_g}\right). \quad (10)$$

Čia  $A$  yra skirstinio aerozolio dalelių paviršiaus plotas,  $r$  – dalelės spindulys,  $r_g$  – dalelių spindulio geometrinis vidurkis, o  $\sigma_g$  yra geometrinis standartinis nuokrypis. Kadangi  $A$  nežinomas ir nedaro įtakos skirstinio formai, skaičiavimuose šis dydis nenaudojamas. Vidutinis spindulys ir standartinis nuokrypis gaunami skaičiuojant dalelių dydžių (spindulių) geometrinį vidurkį ir geometrinį standartinį nuokrypį vienos valandos nefelometro matavimų rezultatams. Dalelių paviršiaus ploto koncentracija skaičiuojama  $2r$  keičiant 8,77 ÷ 843,99 nm intervale 71 skirtingiems dydžiams, tarp kurių atstumas  $\Delta \ln(2r)$  yra išlaikomas pastovus (priedai, nr. 3) – tokiu būdu gaunamas dalelių pasiskirstymas SMPS spektrometro matavimo duomenis atitinkančiuose kanaluose (9 pav.)

Kadangi galima laikyti, jog šviesos sklaidos koeficientas priklauso nuo dalelių paviršiaus ploto [24], o SMPS spektrometru matuojama dalelių skaičiaus koncentracija, siekiant palyginti nefelometru ir SMPS spektrometru gaunamus dalelių skirstinius pagal dydį reikia įvykdyti tam tikrus perskaičiavimus. Vienas iš būdų yra kiekvieno SMPS spektrometro kanalo dalelių skaičiaus koncentraciją padauginti iš vidutinio

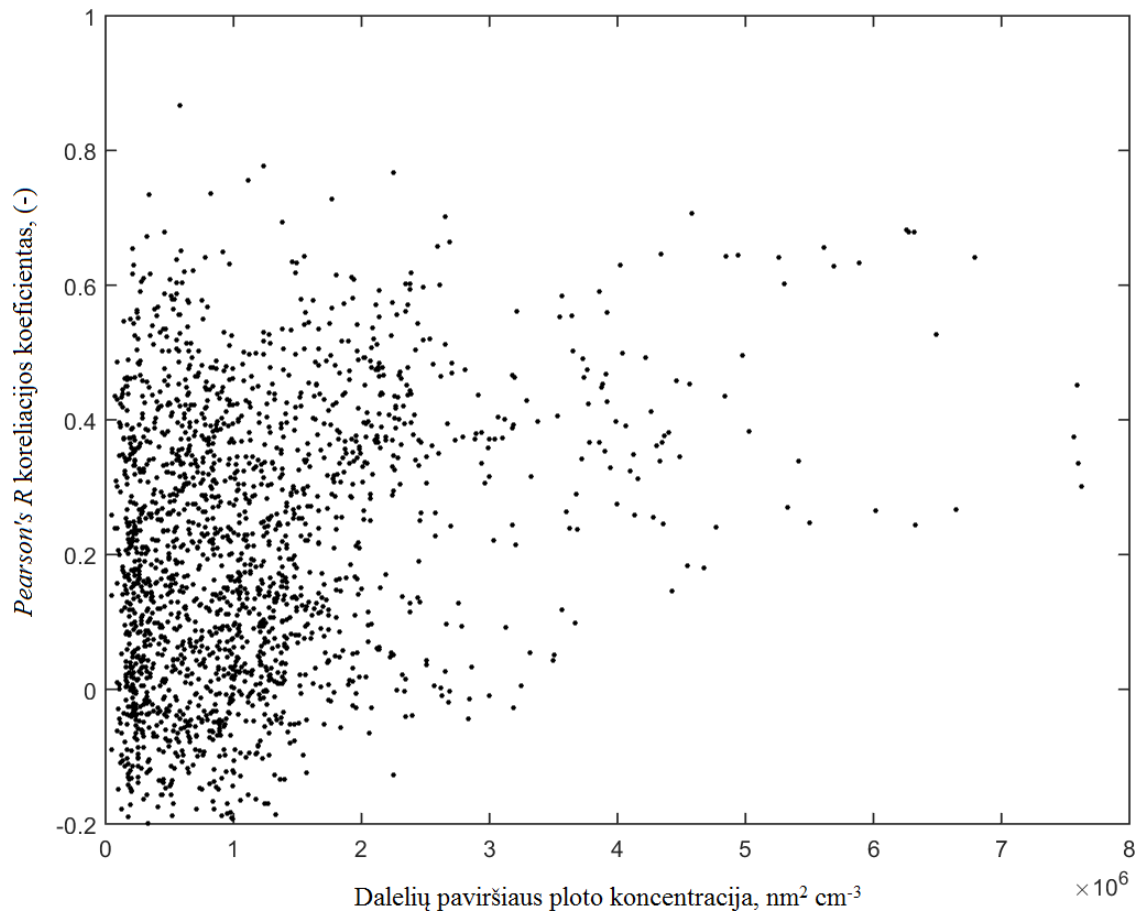
vienos dalelės paviršiaus ploto tame kanale. Šiame darbe perskaičiavimai atlikti darant prielaidą, kad SMPS matuojamos dalelės yra sferinės – pagal kiekvieno kanalo vidutinį skersmenį apskaičiuojamas toki skersmenį turinčios sferos paviršiaus plotas, kuris padauginamas iš kanalo dalelių skaičiaus koncentracijos. 9 pav. pateiktas tokiu būdu gaunamas vaizdas.



9 pav. Dalelių paviršiaus ploto koncentracijos, apskaičiuotos panaudojant 2015-ųjų balandžio 9 d. – liepos 9 d. Preilos Aplinkos užterštumo tyrimų stotyje veikusių nefelometro (viršutinis grafikas) ir SMPS spektrometro (apatinis grafikas) matavimų duomenis, kitimas laike. Vienas pasiskirstymas atitinka matavimų rezultatų valandinį vidurkį

9 pav. pateikti skaičiavimo rezultatai ir SMPS matavimų rezultatai, tačiau tai prastai iliustruoja jų tarpusavio atitikimą. Vaizdą dar labiau iškreipia tai, kad remiantis nefelometro matavimų duomenimis dažniausiai gaunamas mažas geometrinis standartinis nuokrypis, nulemiantis siaurą skirstinį, kuris vizualiai nelabai panašus į SMPS spektrometro matavimų rezultatus. Kadangi pagal nefelometro duomenis apskaičiuotas dalelių paviršiaus ploto koncentracijos kitimas atspindi tik pasiskirstymą

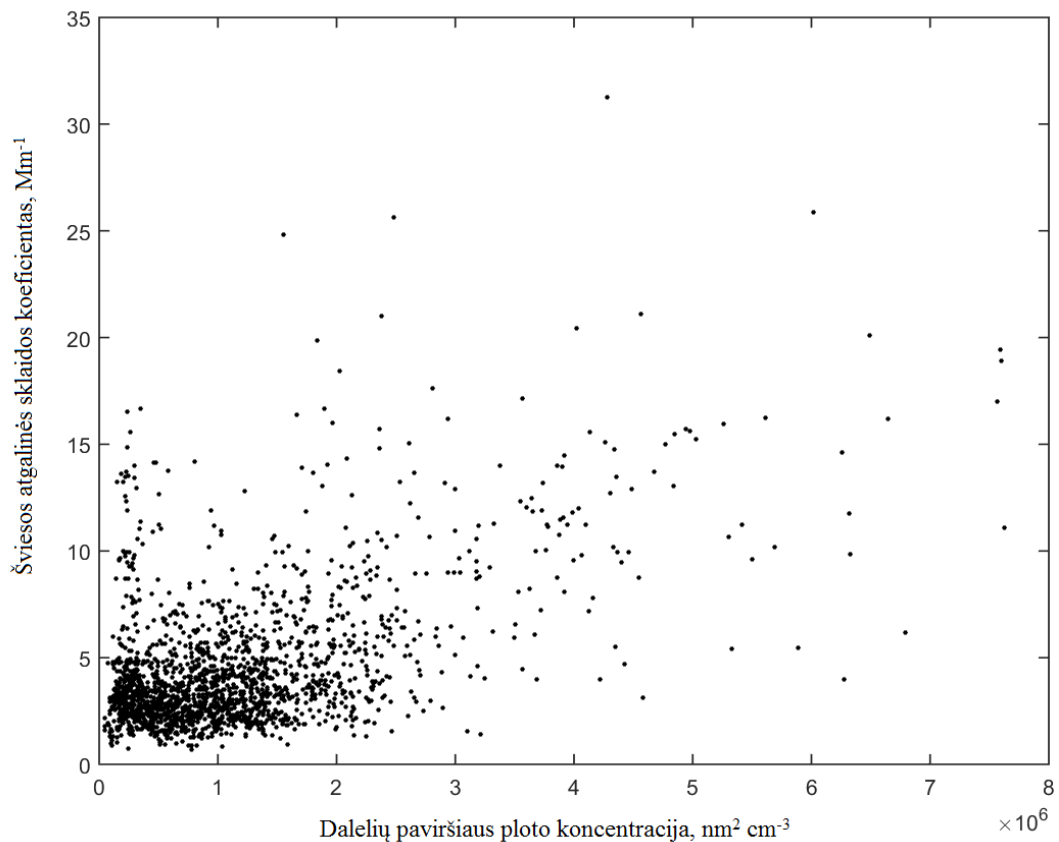
pavidalą, o ne kiekybinę informaciją apie dalelių koncentraciją, apskaičiuojami koreliacijos koeficientai tarp nefelometro ir SMPS spektrometru gaunamų paviršiaus ploto koncentracijos pasiskirstymų. Tada patikrinama koreliacijos koeficiento priklausomybė nuo SMPS spektrometru matuojamos suminės dalelių paviršiaus ploto koncentracijos (10 pav.)



10 pav. Nefelometro ir SMPS spektrometro duomenimis naudojantis gaunamų dalelių paviršiaus ploto koncentracijos skirstinių tarpusavio koreliacijos koeficiento priklausomybė nuo suminės SMPS dalelių paviršiaus ploto koncentracijos. Vienas taškas atitinka valandos trukmės matavimą

Iš 10 pav. matyti, kad koreliacijos koeficientai tarp dalelių paviršiaus ploto skirstinių, gaunamų analizuojant nefelometro ir SMPS spektrometro duomenis, daugiausia yra teigiami. Koreliacijos koeficientų išsibarstymas esant mažai aerozolio dalelių paviršiaus ploto koncentracijai ( $< 2 \cdot 10^6 \text{ nm}^2 \text{ cm}^{-3}$ ) yra atsitiktinis, tačiau koncentracijai padidėjus koreliacijos koeficientas pasiekia ir išlaiko  $0,2 \div 0,7$  vertes. Tai reiškia, kad siekiant tiksliau įvertinti dalelių paviršiaus ploto koncentracijos pasiskirstymą, atsiranda poreikis naudojantis nefelometro duomenimis įvertinti kada SMPS spektrometru matuojama padidėjusi dalelių koncentracija. Kaip jau minėta, Chow et al. [9] parodė, kad nefelometru

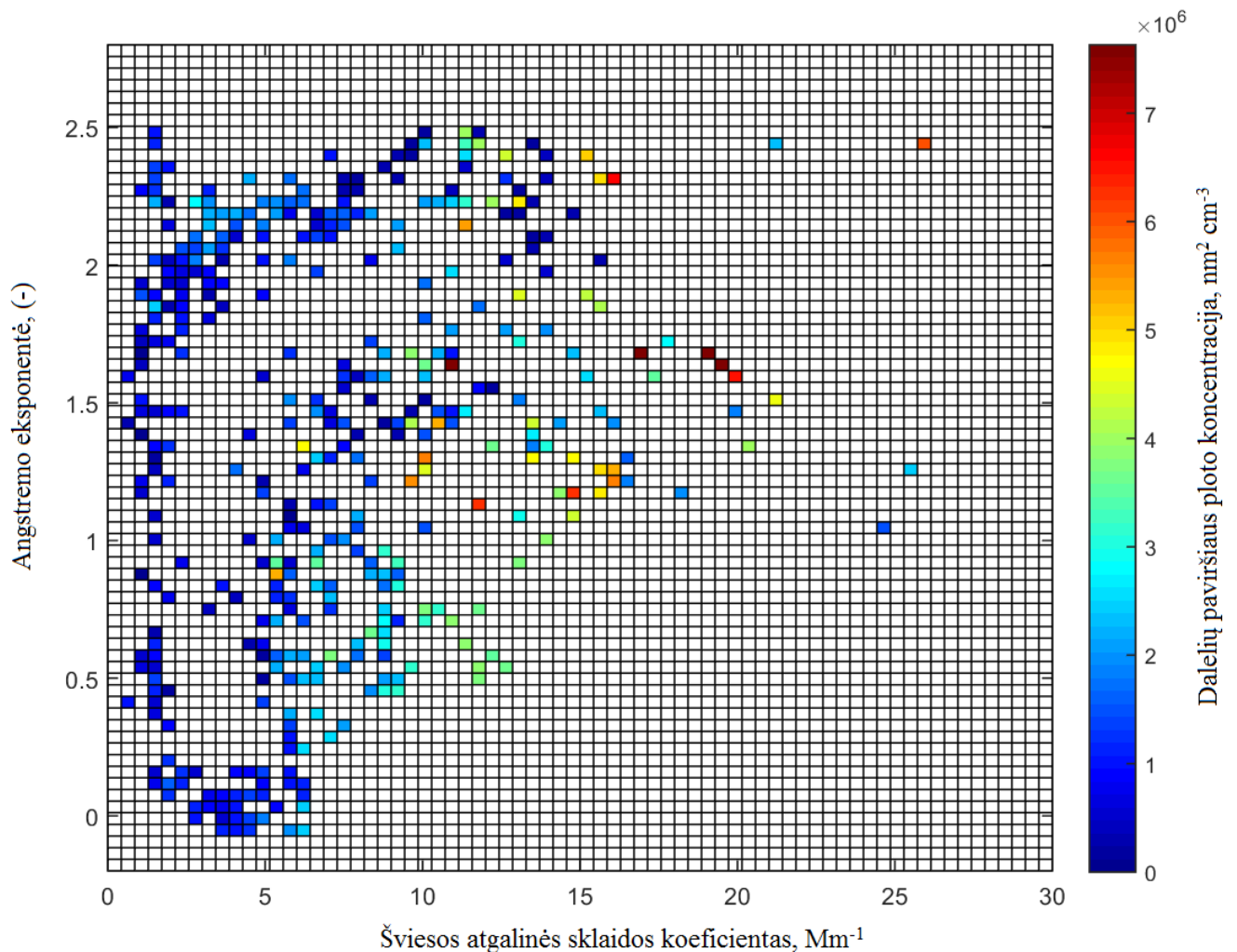
matuojamas šviesos atgalinės sklaidos koeficientas koreliuoja su KD 2,5 dalelių masės koncentracija, o Snider et al. publikacijoje [8] teigiama, kad koreliacijos buvimas arba nebuvimas tarp šviesos sklaidos koeficiento ir aerozolio dalelių koncentracijos taip pat priklauso nuo aerozolio dalelių tipo. Laikant, kad aerozolio dalelių tankis viename dydžio skirstinyje nekinta, dalelių masės koncentracija yra proporcinga dalelių tūrio koncentracijai, o dalelių tūrio koncentracija proporcinga dalelių paviršiaus ploto koncentracijai, padaugintai iš dalelių spindulio. Tai reiškia, kad lyginant su dalelių tūrio koncentracija, tų pačių dalelių paviršiaus ploto koncentracijos maksimumas yra ties mažesnėmis dalelėmis, nei masės koncentracijos maksimumas. Logiška būtų manyti, kad jeigu skirstinyje nėra stambumo modos dalelių, turėtų būti stebima tam tikra koreliacija tarp SMPS spektrometru matuojamos dalelių paviršiaus ploto koncentracijos ir šviesos atgalinės sklaidos koeficiento.



11 pav. Nefelometru matuojamo šviesos atgalinės sklaidos koeficiento 450 nm bangos ilgio spinduliuotei priklausomybė nuo suminės SMPS dalelių paviršiaus ploto koncentracijos. Vienas taškas atitinka valandos trukmės matavimą

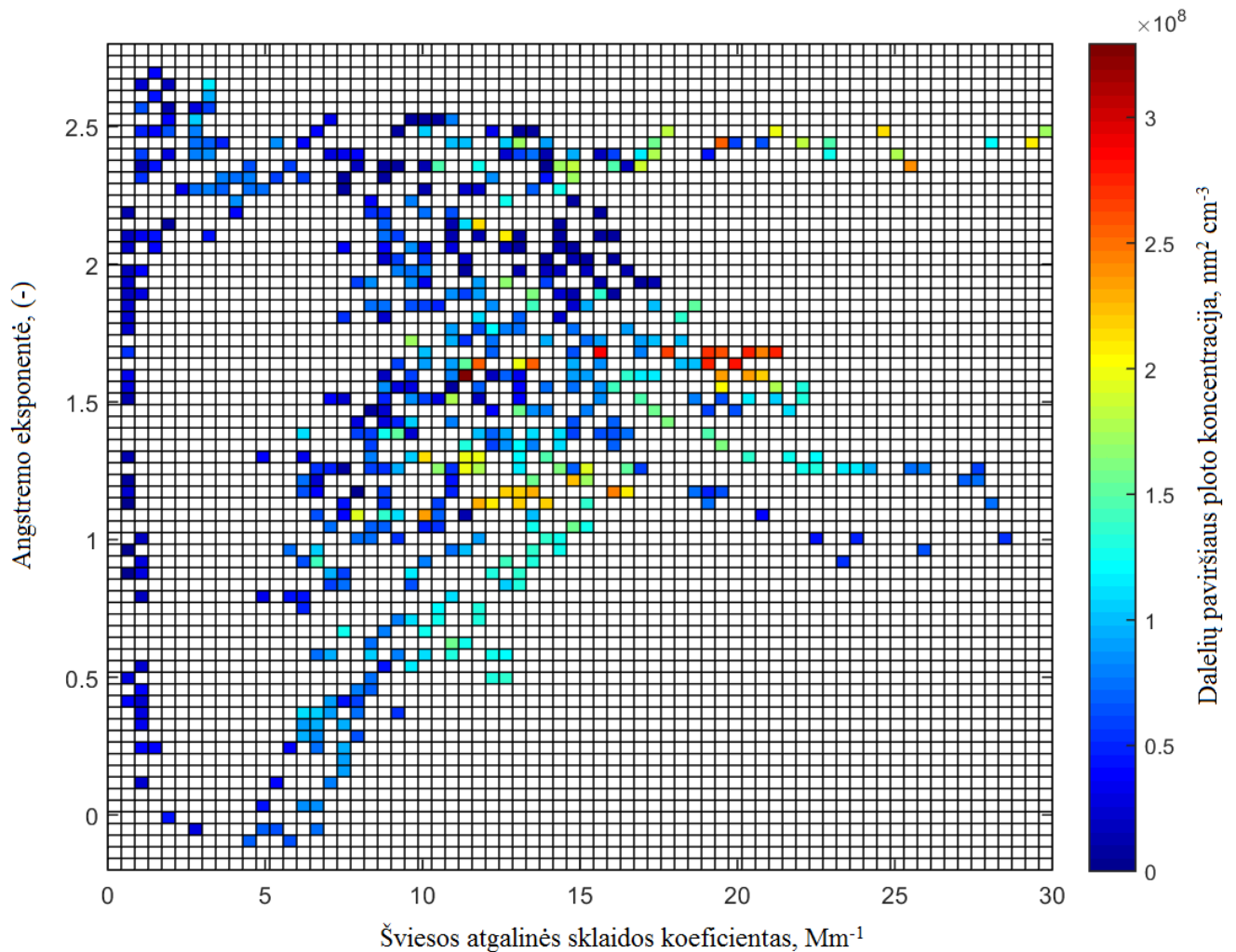
11 pav. pateikiamai priklausomybei atgalinės sklaidos koeficientas 450 nm spinduliuotei pasirinktas todėl, kadangi nefelometro matavimo metu sklaidos koeficiento kitimas šiam bangos ilgiui įprastai vyksta plačiausiame intervale, taip potencialiai gaunant geriausią signalo/triukšmo santykį. 11 pav.

matoma, kad tarp šviesos atgalinės sklaidos koeficiento ir suminės dalelių paviršiaus ploto koncentracijos egzistuoja tam tikra koreliacija (*Pearson's R* koreliacijos koeficientas lygus 0,526), tačiau siekiant įvertinti dalelių koncentraciją, vien šviesos atgalinės sklaidos matavimų duomenų nepakanka – esant padidėjusiam ( $5 \div 20 \text{ Mm}^{-1}$ ) šviesos atgalinės sklaidos koeficientui daugeliu atvejų nebus stebimas dalelių koncentracijos padidėjimas, ir atvirkščiai. Šiuo tikslu papildomai galima panaudoti Angstromo eksponentę, kadangi šviesos atgalinės sklaidos koeficientas priklauso ne tik nuo dalelių koncentracijos, bet ir nuo dalelių tipo.



12 pav. Suminė SMPS dalelių paviršiaus ploto koncentracija, pateikiama kaip priklausomybė nuo atgalinės sklaidos koeficiento 450 nm bangos ilgio spinduliuotei ir Angstromo eksponentės. Dalelių paviršiaus ploto koncentracijos vertė pagal tame pačiame laiko intervale (60 min) išmatuotas Angstromo eksponentės ir atgalinės sklaidos koeficiento vertes priskiriama  $72 \times 71$  matricos celei. Į vieną celį patekus daugiau nei vienai vertei, pateikiamas tų verčių aritmetinis vidurkis.

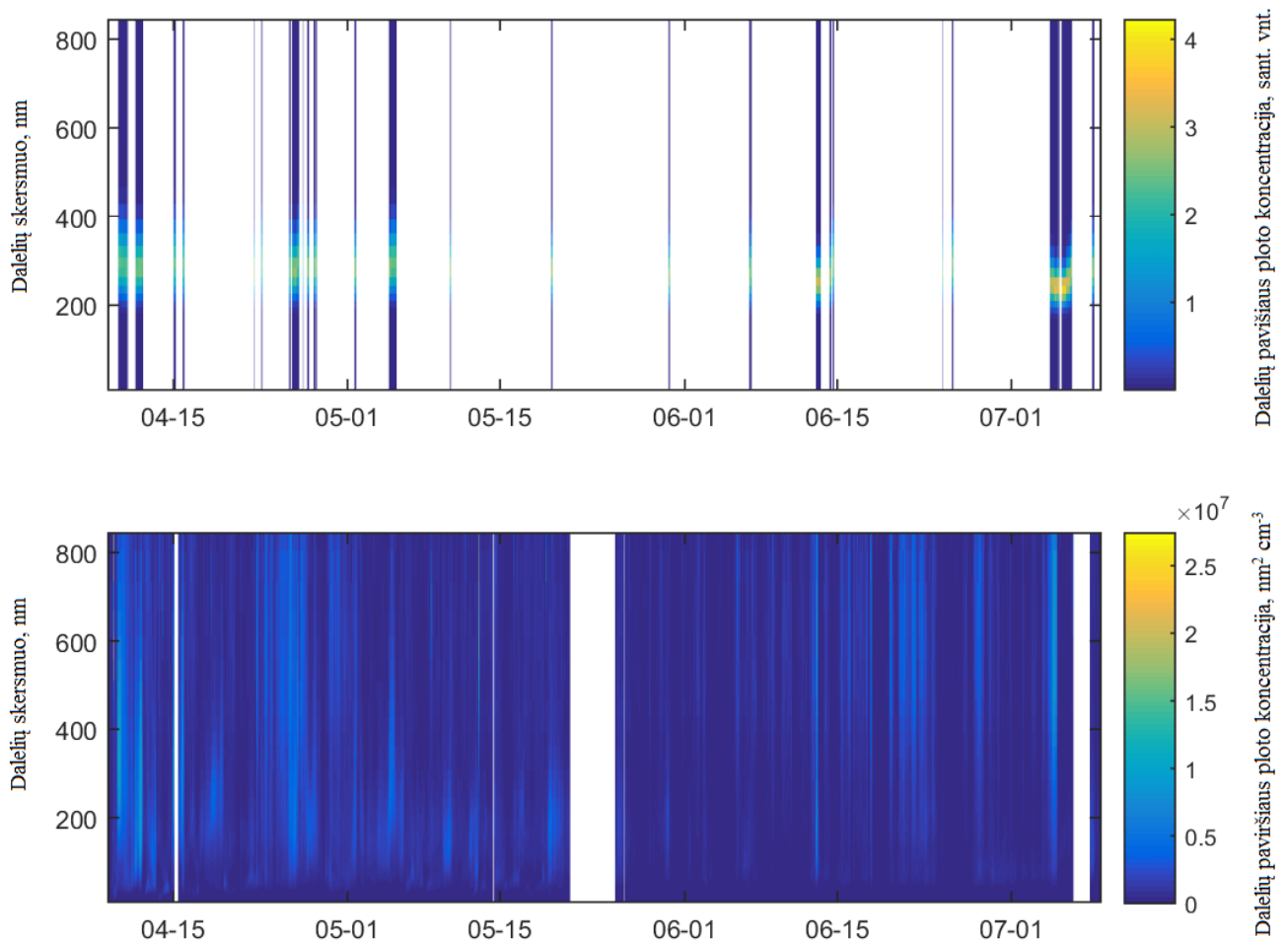
12 pav. nors ir ne visai ryškiai, tačiau matoma tendencija, kad fiksuojant didesnę šviesos atgalinės sklaidos koeficientą ir didesnę Angstromo eksponentės vertę, tampa labiau tikėtina, kad tuo metu buvo padidėjusi dalelių paviršiaus ploto koncentracija. Vaizdas 12 pav. šiek tiek panašus į 1 pav., kuriuo remiantis galima manyti, kad dalelių paviršiaus ploto koncentracijos padidėjimo atvejai daugiausia susiję su atneštais biomasės degimo produktais arba mišraus tipo aerozoliais. Tam neprieštarauja ir tai, kad aerozolio dalelių akumuliacinėje modoje, į kurią patenka biomasės degimo produktai, pasireiškia dalelių paviršiaus ploto maksimumas, o kitų didelės koncentracijos akumuliacinės modos aerozolio dalelių šaltinių netoli Preilos Aplinkos užterštumo tyrimų stoties nėra (stotis klasifikuojama kaip kaimo, angl. *rural*, vietovė). Norint patvirtinti šią prielaidą, reikalinga didesnė matavimo rezultatų imtis – šiuo tikslu matavimų rezultatai perskaičiuojami 5 min laikine skyra.



13 pav. Duomenų pateikimas identiškas 12 pav., išskyrus tai, kad čia pateikiamas tų pačių eksperimentinių duomenų 5 min laikinis vidurkis

13 pav. panaudojami aukštesnės laikinės skyros tų pačių matavimų duomenys ir taip gaunamas vaizdas, neprieštaraujantis ir papildantis 12 pav. – didėjant Angstromo eksponentės ir šviesos atgalinės sklaidos vertei tampa labiau tikėtina, kad matuojama padidėjusi suminė SMPS dalelių paviršiaus ploto koncentracija. Remiantis Kumar et al. [17] aerozolio tipo priskyrimu pagal AOD ir Angstromo eksponentę ir tuo, kad sklaidos Angstromo eksponentė tam pačiam aerozolių tipui gali kisti šiek tiek kitame intervale nei ekstinkcijos Angstromo eksponentė [16], galima daryti prielaidą, kad sklaidos Angstromo eksponentės vertei esant maždaug  $\alpha > 2,0$  ir atgalinės sklaidos koeficientui esant  $\sigma_{bs} > 10 \text{ Mm}^{-1}$  yra matomas aerozolio dalelių koncentracijos padidėjimas dėl biomasės degimo produktų, o kai  $0,5 > \alpha > 2,0$  ir  $5 \text{ Mm}^{-1} > \sigma_{bs} > 25 \text{ Mm}^{-1}$  – fiksuojamas mišrių aerozolių dalelių koncentracijos padidėjimas. Jeigu matavimų metu būtų fiksuojami Saharos dulkių tolimosios pernašos įvykiai (Lietuvoje fiksuojami pakankamai retai [14]), dykumos dulkių tipo aerozolio dalelės galimai pasimatytų srityje, kurioje  $0,0 > \alpha > 1,0$  ir  $\sigma_{bs} > 20 \text{ Mm}^{-1}$ . Keistai atrodo tik  $10 < \sigma_{bs} < 20 \text{ Mm}^{-1}$  sritis ties  $1,8 < \alpha < 2,2$  – šioje srityje matavimų metu buvo beveik išimtinai fiksuota žema dalelių koncentracija, tad remiantis tik šiomis sąsajomis neišvengiamai išlieka tikimybė tam tikrais atvejais klaidingai nustatyti padidėjusių aerozolio dalelių paviršiaus ploto koncentraciją.

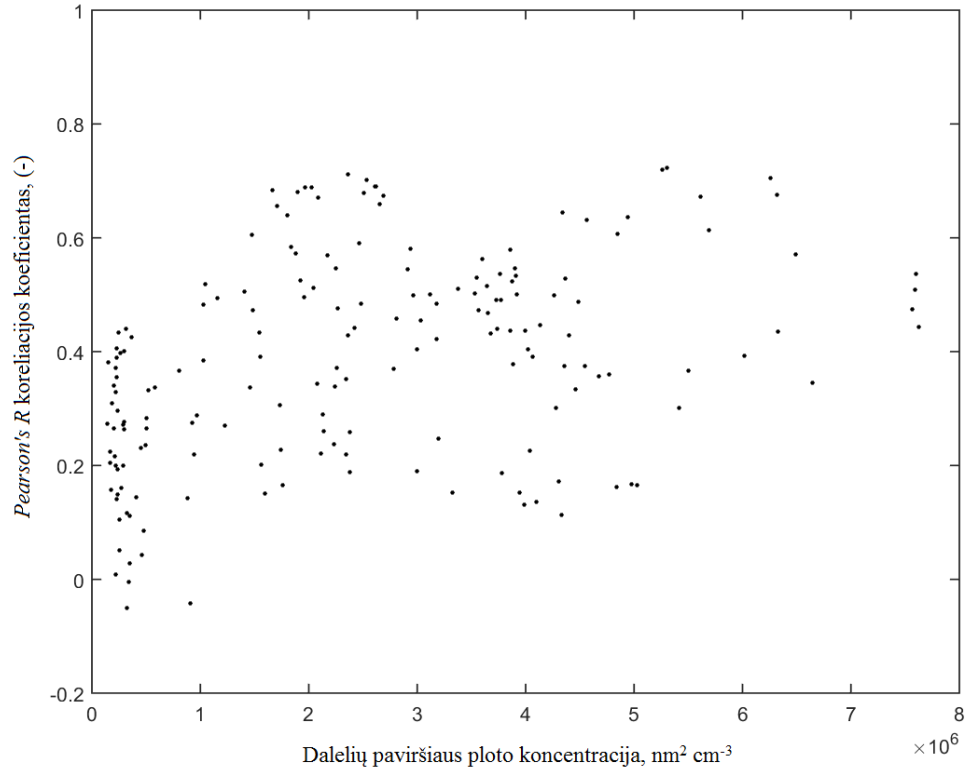
Remiantis 12 pav. ir 13 pav. matoma, kad prieš skaičiuojant aerozolio dalelių dydį taikant RDG artinį, atsiranda galimybė įvertinti matuojamų aerozolio dalelių tipą. Kadangi RDG formos faktorius  $P(\theta)$  priklauso nuo lūžio rodiklio, pagal nustatomą aerozolio dalelių tipą joms gali būti priskiriamas lūžio rodiklis. Skaičiavimuose įvedami pakeitimai – jei nustatomas biomasės degimo produktų tipas, priskiriamas 1,50 lūžio rodiklis (pagal Zhang et al. anglingų aerozolio dalelių lūžio rodiklis kinta  $1,47 \div 1,53$  ribose [25]). Jeigu nustatomas mišrus aerozolio dalelių tipas, priskiriamas 1,40 lūžio rodiklis, kuris būdingas jūrinio tipo aerozoliams (pagal Levoni et al. 300 ÷ 700 nm bangos ilgiams tokių dalelių lūžio rodiklis kinta  $1,38 \div 1,40$  ribose [26]) – daroma prielaida, kad mišraus tipo aerozoliai, fiksuojami Preilos Aplinkos užterštumo tyrimų stotyje, turi daugiau vandens ir yra optiškai „minkštesni“ už biomasės degimo produktus. Jeigu skaičiavimo matavimų rezultatai nepatenka į aprašytuosius rėžius, nefelometro matavimų duomenims aerozolio dalelių dydis nepriskiriamas, kadangi tokiu atveju yra tikėtina, kad dalelių koncentracija nėra pakankamai didelė. Vaizdas, gaunamas įvedus šiuos apribojimus ir atlikus perskaičiavimus (priedai, nr. 5), pateikiamas 14 pav.



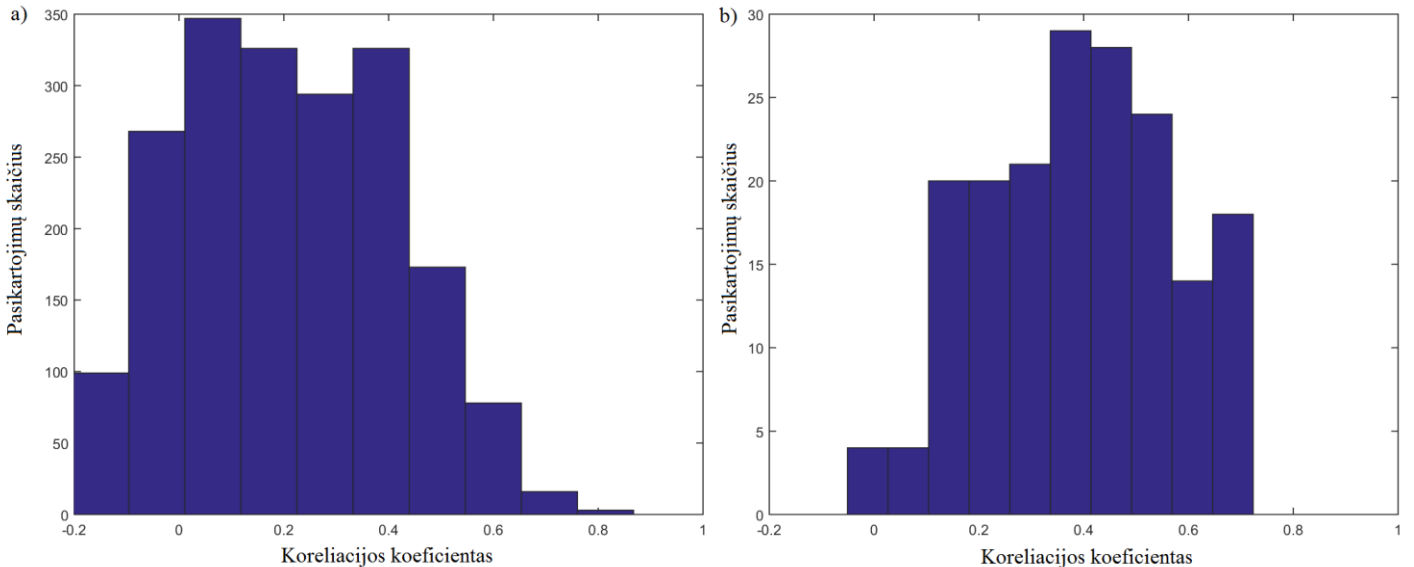
14 pav. Identiška priklausomybė, kaip pateikta 9 pav. Esminis skirtumas, kad šiuo atveju matuojamoms aerolio dalelėms priskiriamas mišrus arba biomasės degimo produktų tipas ir atliekant skaičiavimus neįtraukti matavimų duomenys, kurių metu buvo fiksuojama žema Angstromo eksponentės ir šviesos atgalinės sklaidos koeficiento vertė

14 pav. matoma daug mažiau nefelometro matavimo rezultatų, nei 9 pav., ir iš pirmo žvilgsnio atrodo, kad dėl rezultatų imties kuklumo šis paveikslas ne itin informatyvus – daugelis matavimo rezultatų nepateikti dėl tikėtinos mažos aerolio dalelių paviršiaus ploto koncentracijos, o šio tyrimo metu nenustatytas būdas kiekybiškai įvertinti aerolio dalelių koncentraciją naudojantis nefelometro duomenimis. Tačiau galima matyti, kad SMPS spektrometru fiksuojant dalelių paviršiaus ploto koncentracijos padidėjimą, daugeliu atvejų tuos matavimų intervalus atitinka pagal algoritmą atrinkti nefelometro matavimų rezultatai. Informatyvesnis vaizdas gaunamas apskaičius atrinktųjų nefelometru ir SMPS spektrometru gaunamų pasiskirstymų tarpusavio koreliaciją.

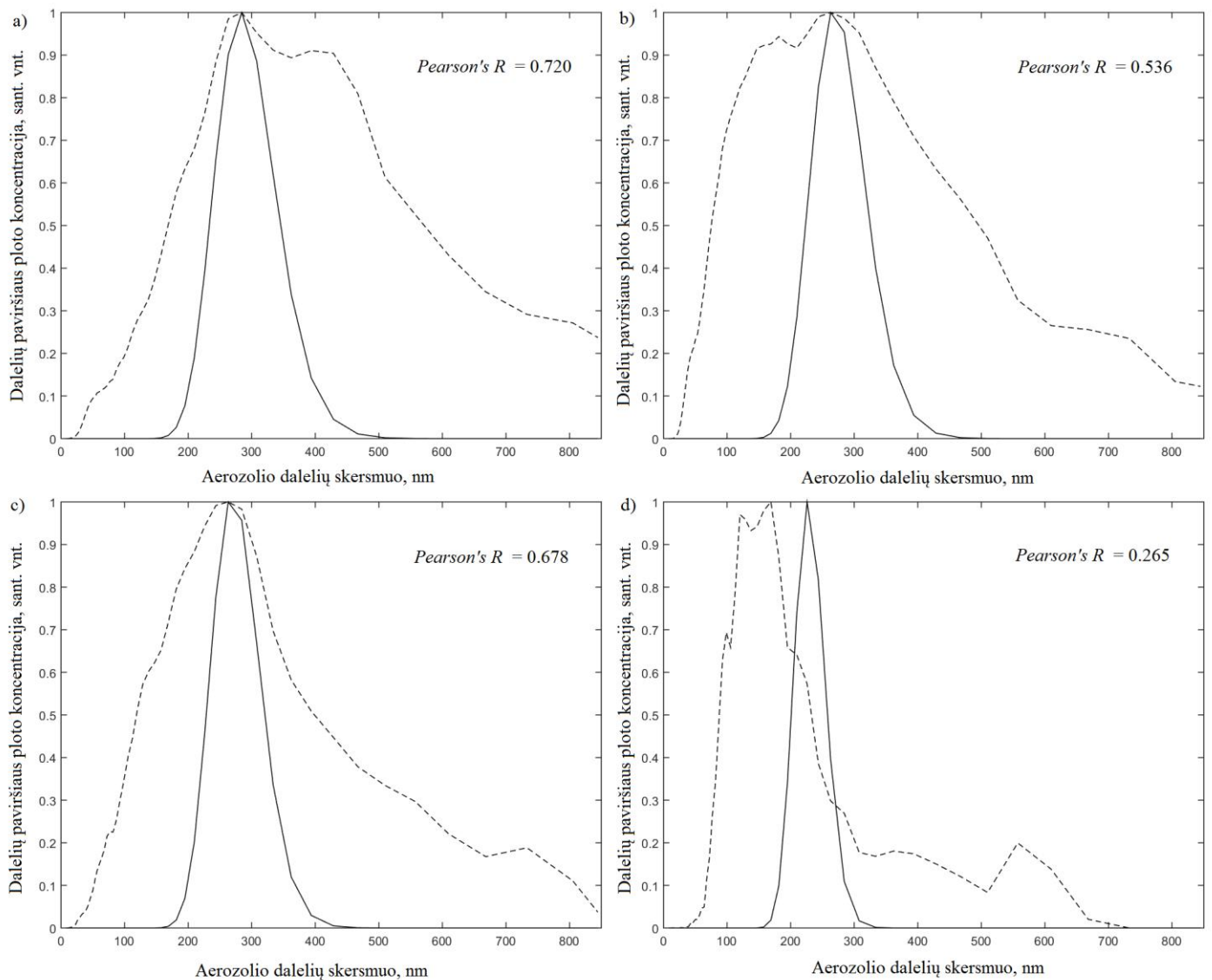




15 pav. Nefelometro ir SMPS spektrometro duomenimis naudojantis gaunamų dalelių paviršiaus ploto koncentracijos skirstinių, pateiktų 14 pav., tarpusavio koreliacijos koeficiento priklausomybė nuo suminės SMPS dalelių paviršiaus ploto koncentracijos



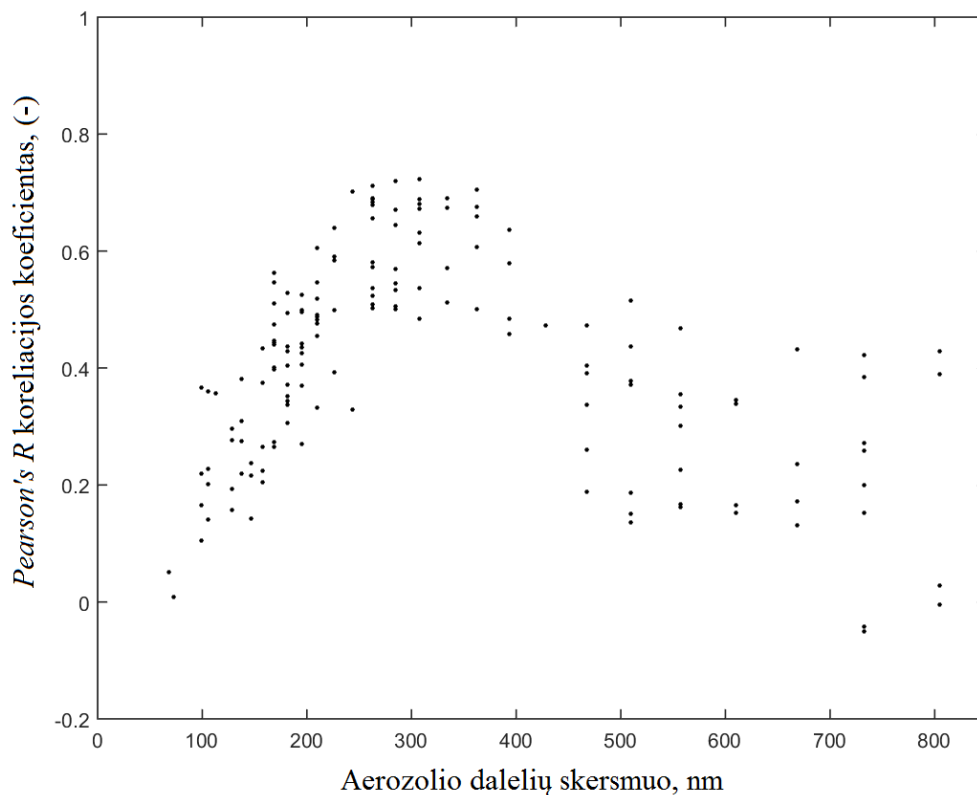
16 pav. Koreliacijos koeficientų tarp nefelometru ir SMPS spektrometru gaunamų dalelių paviršiaus ploto koncentracijos skirstinių pasikartojimo dažnis a) kai visais matavimų intervalais aerozolio dalelėms priskiriamas  $n = 1,0$  lūžio rodiklis (9 pav.); b) kai tinkami matavimo intervalai parenkami remiantis Angstromo eksponente ir atgalinės sklaidos koeficientu (14 pav.)



17 pav. Palyginimas tarp SMPS spektrometro ir nefelometro duomenis panaudojant gaunamų aerolio dalelių paviršiaus ploto koncentracijos pasiskirstymų pagal dydį. Punktyrinė linija žymi rezultatus, gautus SMPS spektrometru, o ištisinė – nefelometro matavimų rezultatus

Algoritmas, kuriuo šiame darbe dalelėms priskiriamas aerolio tipas, atmeta šiek tiek daugiau nei 90 % pradinių nefelometro matavimo duomenų. Tarpusavyje lyginant 15 pav. su 10 pav. matoma, kad tokiu būdu atmetant tam tikrų matavimų intervalų duomenis pašalinama didžioji dalis atsitiktinių koreliacijos koeficiento išsibarstymą nulemiančių taškų, kuriuose SMPS spektrometru matuojama žema dalelių paviršiaus ploto koncentracija, taip pagerinant metodo veikimą. Tarpusavio koreliacijos pagerėjimą gerai iliustruoja 16 pav., kuriame matoma, kad atmetant nenustatyto tipo aerolius, koreliacijos koeficientų išsibarstymo maksimumas pasislenka į didesnių koreliacijos koeficientų pusę. Atidžiai išanalizavus skaičiavimų rezultatus paaiškėjo, kad geriausias atitikimas tarp SMPS spektrometru

ir nefelometru matuojamų dalelių paviršiaus ploto koncentracijos pasiskirstymų pagal dydį gaunamas, kai SMPS spektrometru fiksuojamas vienmodis arba artimas vienmodžiui dalelių paviršiaus ploto koncentracijos pasiskirstymas (17 pav. pateikiami pasiskirstymų pavyzdžiai), kurio pagrindinis maksimumas patenka į 250 ÷ 400 nm dalelių skersmens intervalą (18 pav.). Toks rezultatas gaunamas, kadangi nefelometru matuojamų šviesos atgalinės sklaidos ir visos sklaidos koeficientų santykis kinta gana siaurame intervale (daugiausia matavimo rezultatų patenka į 10 ÷ 30 % intervalą) jei lūžio rodiklis pastebimai didesnis už 1,0 (šiuo atveju 1,4 ir 1,5), taip pat atmetami taškai, kuriuose atgalinės sklaidos koeficientas mažas ( $\sigma_{bs} < 10 \text{ Mm}^{-1}$ ) – tokiu būdu taikant RDG artinį dalelių dydžio maksimumas priskiriamas siauram dydžių intervalui (šiuo atveju 220 ÷ 300 nm skersmens dalelėms). Pagal 17 pav. taip pat matoma, kad pagal nefelometro duomenis apskaičiuoti dalelių paviršiaus ploto pasiskirstymai daug siauresni už SMPS spektrometru gautuosius – kadangi atgalinės sklaidos ir visos sklaidos koeficientų santykis gretimuose matavimuose dažniausiai mažai svyruoja, yra gaunamas mažas standartinis nuokrypis, o tai sąlygoja šiuo metodu gaunamus siaurus pasiskirstymus. Tokiu būdu metodas apribojamas iki siaurų skirstinių, gaunamų vienmodžio dalelių paviršiaus ploto koncentracijos pasiskirstymo pagal dydį maksimumui esant siaurame, 250 ÷ 400 nm, intervale.



18 pav. Koreliacijos koeficiento (15 pav.) priklausomybė nuo SMPS dalelių paviršiaus ploto koncentracijos pasiskirstymo pagal dydį pagrindinės modos padėties

## Išvados

1. Remiantis nefelometro 2015-ųjų balandžio 9 d. – rugsėjo 2 d. matavimų rezultatais, Angstromo eksponentė rodo teigiamą tiesinę koreliaciją su  $\sigma_{s(90^\circ-170^\circ)}/\sigma_{s(7^\circ-170^\circ)}$  santykiu, išmatuotu 700 nm bangos ilgio spinduliuotei. Gaunamas  $R^2 = 0,388$  koreliacijos koeficientas.
2. Siekiant nustatyti aerozolio dalelių dydį taikant *Rayleigh-Debye-Gans* (RDG) artinį nefelometro matavimų duomenims, geriausia koreliacija tarp apskaičiuotų ir SMPS spektrometru išmatuotų aerozolio dalelių dydžio pasiskirstymų gaunama tuo metu, kai SMPS spektrometru nustatoma padidėjusi akumuliacinės modos aerozolio dalelių koncentracija.
3. Nustatyta, kad padidėjusi akumuliacinės modos dalelių koncentracija ir aerozolio dalelių tipas gali būti įvertinamas remiantis nefelometro matavimų rezultatais – šviesos atgalinės sklaidos koeficientu ( $\sigma_{s(90^\circ-170^\circ)}$ ) ir Angstromo eksponente ( $\alpha$ ). Kai  $\alpha > 2,0$  ir  $\sigma_{s(90^\circ-170^\circ)} > 10 \text{ Mm}^{-1}$ , matomas biomasės degimo produktų padidėjimas; kai  $0,5 > \alpha > 2,0$  ir  $5 \text{ Mm}^{-1} > \sigma_{s(90^\circ-170^\circ)} > 25 \text{ Mm}^{-1}$ , matomas mišrių aerozolio dalelių padidėjimas.
4. Atsižvelgiant į dalelių tipą, nustatomą panaudojant 3-jame išvadų punkte aprašytas sritis, pastebimai pagerėja koreliacija tarp nefelometro ir SMPS spektrometru išmatuotų aerozolio dalelių dydžio pasiskirstymų.
5. Taikant RDG artinį nefelometro matavimų rezultatams nustatomi dalelių dydžio skirstiniai pasižymi siauru plokčiu, kuris nebūdingas SMPS matavimų rezultatams. Didžiausia koreliacija (*Pearson's R* koreliacijos koeficientas kinta  $0,5 \div 0,7$  ribose) tarp nefelometro ir SMPS spektrometru išmatuotų aerozolio dalelių dydžio pasiskirstymų gaunama pagrindinei SMPS dalelių dydžio pasiskirstymo modai esant  $250 \div 400$  nm intervale. Apskaičiuoti ir SMPS spektrometru išmatuoti dalelių dydžio skirstiniai kituose intervaluose panašumu nepasižymi.

## Literatūra

- [1] P. A. Baron, K. Willeke, Aerosol measurement: Principles, techniques, and applications, (Wiley, New York, 2001).
- [2] European Environment Agency, Emissions of Primary PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> Particulate Matter, CSI 003/APE 009 (2014). (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/emissions-of-primary-particles-and-5/assessment-3>) [2017-05-27]
- [3] J. F. Galvez et al., Aerosol size distribution from inversion of solar radiances and measured at ground-level during SPALI10 campaign, Atmospheric Research, 127, 130-140 (2013).
- [4] K. M Markowicz, M. T. Chilinski, J. Lisok et al., Study of Aerosol Optical Properties During Long-Range Transport of Biomass Burning from Canada to Central Europe in July 2013, Journal of Aerosol Science, 101, 156-173 (2016).
- [5] V. Ulevicius, S. Bycenkiene, K. Plauskaite, G. Mordas, V. Dudoitis et al., Fossil and Non-Fossil Source Contributions to Atmospheric Carbonaceous Aerosols During Extreme Spring Grassland Fires in Eastern Europe, Atmospheric Chemistry and Physics, 16 (9), 5513-5529 (2016).
- [6] R. L. Cordell, M. Mazet, C. Dechoux et al., Evaluation of Biomass Burning Across North West Europe and Its Impact on Air Quality, Atmospheric Environment, 141, 276-286 (2016).
- [7] I. Lagzi, R. Mészáros, G. Gelybó, A. Leelőssy, Atmospheric Chemistry, (Eötvös Loránd University, Budapest, 2013).
- [8] G. Snider et al., SPARTAN: A global network to evaluate and enhance satellite-based estimates of ground-level particulate matter for global health applications, Atmospheric Measurement Techniques, 8, 505-521 (2015).
- [9] J. C. Chow, J. G. Watson, K. Park, N. F. Robinson, D. H. Lowenthal, K. A. Magliano, Comparison of Particle Light Scattering and Fine Particulate Matter Mass in Central California, Journal of the Air & Waste Management Association, 56 (4), 398-410 (2006).
- [10] H. Horvath, C. Dellago, On the accuracy of the size distribution information obtained from light extinction and scattering measurements—II. Case studies, Journal of Aerosol Science, 24(2), 143-154 (1993).
- [11] G. Videen, M. Kocifaj, Optics of Cosmic Dust, (Springer, Dordrecht, 2002). p. 143 – 158
- [12] J. L. Castagner, I. J. Bigio, Scattering: Particle sizing with a fast polar nephelometer, Applied Optics, 46 (4), 527-532 (2007).
- [13] R. N. Zare, B. H. Spencer, D. S. Springer, M. P. Jacobson, Laser: Experiments for Beginners, (University Science Books, California, 1995).

- [14] G. Mordas, N. Prokopciuk, S. Bycenkiene, J. Andriejauskiene, V. Ulevicius, Optical Properties of the Urban Aerosol Particles Obtained from Ground Based Measurements and Satellite-Based Modelling Studies, *Advances in Meteorology*, (2015).
- [15] A. Valenzuela, F. J. Olmo, H. Lyamani, M. Anton, G. Titos, A. Cazorla and L. Alados-Arboledas, Aerosol Scattering and Absorption Angstrom Exponents As Indicators of Dust and Dust-Free Days Over Granada (Spain), *Atmospheric Research*, 154, 1-13 (2015).
- [16] G. L. Schuster, O. Dubovik and B. N. Holben, Angstrom Exponent and Bimodal Aerosol Size Distributions, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111 (2006).
- [17] K. R. Kumar, V. Sivakumar, A. J. Adesina, R. R. Reddy, K. R. Gopal, Identification and classification of different aerosol types over a subtropical rural site in Mpumalanga, South Africa: Seasonal variations as retrieved from the AERONET sunphotometer, *Aerosol and Air Quality Research*, 14 (1), 108-123 (2014).
- [18] Y. Zhao, L. Ma, Applicable range of the Rayleigh-Debye-Gans theory for calculating the scattering matrix of soot aggregates, *Applied Optics*, 48 (3), 591 (2009).
- [19] [http://www.tsi.com/uploadedFiles/Site\\_Root/Products/Literature/Spec\\_Sheets/3563.pdf](http://www.tsi.com/uploadedFiles/Site_Root/Products/Literature/Spec_Sheets/3563.pdf) [2017-01-20]
- [20] TSI Incorporated, Model 3563 Integrating Nephelometer Operation and Service Manual, Revision F (2005).
- [21] A. Wiedensohler, et al., Mobility particle size spectrometers: Harmonization of technical standards and data structure to facilitate high quality long-term observations of atmospheric particle number size distributions, *Atmospheric Measurement Techniques*. 5 (3), 657-685 (2012).
- [22] <http://www.wmo-gaw-wcc-aerosol-physics.org/files/smeps-tropos.pdf> [2017-05-27]
- [23] G. Mordas, K. Plauškaitė, N. Prokopciuk, V. Dudoitis, C. Bozzetti, V. Ulevicius, Observation of new particle formation on Curonian Spit located between continental Europe and Scandinavia, *Journal of Aerosol Science*, 97, 38-55 (2016).
- [24] A. M. Sundstrom et al., Characterization of satellite-based proxies for estimating nucleation mode particles over South Africa, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15 (9), 4983-4996 (2015).
- [25] G. H. Zhang, The real part of the refractive indices and effective densities for chemically segregated ambient aerosols in Guangzhou measured by a single-particle aerosol mass spectrometer, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16 (4), 2631-2640 (2016).
- [26] C. Levoni, M. Cervino, R. Guzzi, F. Torricella, Atmospheric aerosol optical properties: a database of radiative characteristics for different components and classes, *Applied Optics*, 36 (30), 8031 (1997).

## Santrauka

Šarūnas Jacevičius, Atmosferos aerozolio dalelių pasiskirstymo pagal dydį modeliavimas panaudojant dalelių optinius parametrus.

Aplinkos mokslas yra mokslo šaka, dažniausiai nepateikianti staigių atradimų bei reikalaujanti ilgo ir išsistinio eksperimentinių duomenų kaupimo. Tačiau ne visos laboratorijos gali sau leisti skirtingose aplinkos užterštumo monitoringo stotyse vienu metu atlikti dydžio, koncentracijos ir optinių savybių matavimus, o aerozolio dalelių koncentracijos padidėjimo įvykiai, priklausomai nuo jų šaltinio, dažniausiai įvyksta neprognozuojamai. Todėl papildomų parametrų skaičiavimas panaudojant vieno prietaiso matavimų duomenis, taip praplečiant prietaisų pritaikymo galimybes, tampa svarbia aplinkos mokslo dalimi. Šio tiriamojo darbo metu buvo siekiama sukurti paprastą, besiremiantį *Rayleigh-Debye-Gans* (RDG) artiniu, metodą aerozolio dalelių dydžių pasiskirstymo įvertinimui panaudojant nefelometru matuojamus šviesos sklaidos koeficientus. Ne mažesnės svarbos darbo dalį sudarė metodo veikimo ribų įvertinimas ir gaunamų rezultatų palyginimas su SMPS (angl. *Scanning Mobility Particle Sizer*) spektrometro eksperimentiniais duomenimis. Panaudojus SMPS spektrometro aerozolio dalelių paviršiaus ploto koncentracijos matavimų rezultatus, juos pavyko susieti su nefelometro matavimų rezultatais ir taip atlikti kokybinį matuojamų aerozolio dalelių koncentracijos įvertinimą bei nustatyti tų dalelių tipą remiantis vien nefelometru matuojamais optiniais parametrais. Panaudojant šias savybes atliekant skaičiavimus, pavyko pagerinti aerozolio dalelių paviršiaus ploto koncentracijos pasiskirstymo pagal dydį įvertinimą, nustatytos RDG artinio pritaikomumo ribos tokio tipo matavimams. Šiuo darbu tikimasi suteikti naudingų įžvalgų apie aerozolio dalelių tipo nustatymą bei *Rayleigh-Debye-Gans* artinio panaudojimo galimybes ir ribas aplinkos užterštumo monitoringui neurbanizuotose vietovėse taikant nefelometriją.

## Summary

Sarunas Jacevicius, Atmospheric aerosol size distribution retrieval from optical parameters.

Environmental science is such a field of science where sudden discoveries usually don't happen and long continuous collection of data is the main research method. Smaller laboratories usually can't afford simultaneous measurements of size, concentration and optical properties in different air quality monitoring stations, this way potentially missing valuable data during the events of unpredicted rise in aerosol concentration. Because of this, retrieval of additional information from the measurements of less instruments becomes an important part in aerosol science. During this research project it was attempted to develop a simple method that relies on the Rayleigh-Debye-Gans approximation (RDGA) for retrieval of aerosol size distributions from light scattering coefficients as measured by nephelometer. Validation of the method proved to be as important as calculating the retrievals themselves – validation was performed by comparing aerosol surface area size distributions retrieved from nephelometer data with the same distributions obtained by the Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS). Particle surface area concentration measured by SMPS was connected to nephelometer measurements through light backscatter coefficient and Angstrom exponent, allowing to qualitatively identify particle concentration and particle type based on measurements made by nephelometer only. By using these properties, it was possible to improve the aerosol surface area size distribution retrieval, as well as identify RDGA application limits for this type of measurements. The results are expected to provide useful insights about aerosol type identification and also the limits and applicability of RDG approximation in rural location nephelometry.



## Priedai

### 1.

```
function RDG_intensity_autosave(L,n) % Skaičiuojamas RDG artinio sklaidos kampinis
intensityvumas; L - bangos ilgis, n - lūžio rodiklis
bsts_vector = [];
a_vector = [];
x_range = [];
for a = 5:1:500 % dalelės spindulys
    a;
    RDG_intensity_ts = [];
    stepint=0.1;
    for x = 0:stepint:180
        form_factor_i = -(3/64)*L^2*(-
4*n*pi*a*sin((1/360)*x*pi)*cos(4*n*pi*a*sin((1/360)*x*pi)/L)+sin(4*n*pi*a*sin((1/36
0)*x*pi)/L)*L)/(n^3*pi^3*a^3*(cos((1/360)*x*pi)^2-1)*sin((1/360)*x*pi));
        RDG_intensity_i=form_factor_i;
        RDG_intensity_ts = [RDG_intensity_ts; RDG_intensity_i];
    end
    RDG_intensity_ts = RDG_intensity_ts./max(RDG_intensity_ts);
    x_range = [0:stepint:180]';
    x_RDG = horzcat(x_range, RDG_intensity_ts);
    x_range = x_RDG(:,1);
    RDG_intensity_ts = x_RDG(:,2);
    RDG_intensity_ts = RDG_intensity_ts(find(x_range==7):find(x_range==170));
    RDG_intensity_bs = RDG_intensity_ts(find(x_range==90):end);
    bsts_i = sum(RDG_intensity_bs)/sum(RDG_intensity_ts);
    a_vector = [a_vector; a];
    bsts_vector = [bsts_vector; bsts_i];

    if bsts_vector(end)<0
        break
    end
end
bsts_vector = bsts_vector(1:end-1);
a_vector = a_vector(1:end-1);
data_all = horzcat(2*a_vector, bsts_vector); % saugojimui
save(['D:\Universitetas\FTMC17\ - magistrinis -\RDGv3\RDG_',
num2str(L, '%03d'), '_nm_n=', num2str(n, '%.2f'), '.mat'], 'data_all')
```

### 2.

```
function psize_neph_RDG_v2
file_dir_1='D:\Universitetas\FTMC17\ - magistrinis -\RDGv3\'; % pakraunami priede
nr.1 suskaičiuoti RDG artinio taikymo rezultatai
RDG_file=dir(fullfile(file_dir_1, '*.mat'));
RDG_file = {RDG_file.name};
for ith_file = 1:length(RDG_file)
    load(fullfile(file_dir_1, RDG_file{ith_file}));
    RDG_total{ith_file} = data_all(:,2);
end
load('D:\Universitetas\FTMC17\neph_ang_bsts_2015.mat') % pakraunama matrica,
kurioje 1 stulpelis - data, 2 - Angstremo eksponentė, 3,4,5 - 450, 550 ir 700 nm
bangos ilgio atgalinės sklaidos ir visos sklaidos koeficiento santykis
```

```

psize_RDG = zeros(length(neph_bstsddata_2015),3);
for bstsd_line = 1:length(neph_bstsddata_2015)
    bstsd_line
    for rfr_index = 1 % naudojame lūžio rodiklį n = 1
        [ignore_450, index_450nm] = min(abs(RDG_total{rfr_index} -
neph_bstsddata_2015(bstsd_line,3)));
        [ignore_550, index_550nm] = min(abs(RDG_total{rfr_index+12} -
neph_bstsddata_2015(bstsd_line,4)));
        [ignore_700, index_700nm] = min(abs(RDG_total{rfr_index+24} -
neph_bstsddata_2015(bstsd_line,5)));
    end
    psize_RDG(bstsd_line,1) = 10+2*(index_450nm-1);
    psize_RDG(bstsd_line,2) = 10+2*(index_550nm-1);
    psize_RDG(bstsd_line,3) = 10+2*(index_700nm-1);
end
save('D:\Universitetas\FTMC17\magistrinis -\MATLAB\psize_RDG_v2.mat',
'psize_RDG')

```

### 3.

```

function geometric_psize_sd_hourly % skaičiuojamas dalelių dydžio valandinis
geometrinis vidurkis
psize_RDG = load('D:\Universitetas\FTMC17\magistrinis -
\MATLAB\psize_RDG_v2.mat'); %psize: 1 - 450nm (B), 2 - 550nm (G), 3 - 700nm (R)
psize_RDG = struct2cell(psize_RDG);
psize_RDG = psize_RDG{1};
neph_data = load('D:\Universitetas\FTMC17\nephelometer_data_2015vasara.mat'); % 1
stulpelis - data, 2,3,4 - B, G, R sklaidos koeficientas, 5,6,7 - B, G, R atgalinės
sklaidos koeficientas
neph_data = struct2cell(neph_data);
neph_data = neph_data{1};
h_psize_450 = zeros(length(2457121:1/24:2457268),1);
h_psize_550 = zeros(length(2457121:1/24:2457268),1);
h_psize_700 = zeros(length(2457121:1/24:2457268),1);
h_sd_450 = zeros(length(2457121:1/24:2457268),1);
h_sd_550 = zeros(length(2457121:1/24:2457268),1);
h_sd_700 = zeros(length(2457121:1/24:2457268),1);
jd_laikas = [];
psize_avg = [];
geosd_total = [];
n = 1;
for laikas = 2457121:1/24:2457268 %intervalas be dideliu trūkių
    n
    indeksai = find(neph_data(:,1)>laikas & neph_data(:,1)<(laikas+1/24));
    if isempty(indeksai) == 1
        h_psize_450(n) = NaN;
        h_psize_550(n) = NaN;
        h_psize_700(n) = NaN;
        h_sd_450(n) = NaN;
        h_sd_550(n) = NaN;
        h_sd_700(n) = NaN;
        geosd_total_n = NaN;
    else % skaičiuojamas spindulys
        h_psize_450(n) = geomean(psize_RDG(indeksai,1)./2);
        h_psize_550(n) = geomean(psize_RDG(indeksai,2)./2);
        h_psize_700(n) = geomean(psize_RDG(indeksai,3)./2);
    end
end

```

```

        h_sd_450(n) = geostd(psize_RDG(indeksai,1)./2);
        h_sd_550(n) = geostd(psize_RDG(indeksai,2)./2);
        h_sd_700(n) = geostd(psize_RDG(indeksai,3)./2);
        geosd_total_n = geostd([psize_RDG(indeksai,1)./2; psize_RDG(indeksai,2)./2;
psize_RDG(indeksai,3)./2]);
    end
    psize_avg = [psize_avg; geomean([h_psize_450(n) h_psize_550(n)
h_psize_700(n)])];
    geosd_total = [geosd_total; geosd_total_n];
    jd_laikas = [jd_laikas; laikas];
    n=n+1;
end

function lgn_psize_geosd_total % Skaičiuojamas lognormalinis pasiskirstymas
lgn_dist = [];
for n = 1:length(geosd_total)
    n
    lgn_dist_m = [];
    for m = 1:length(size_range) % size_range - paimami SMPS spektrometro kanalai
        lgn_dist_m = [lgn_dist_m exp(-((log(size_range(m)/2) -
log(psize_avg(n)))^2)/(2*(log(geosd_total(n))^2)))/(sqrt(2*pi)*log(geosd_total(n)))
];
    end
    lgn_dist = [lgn_dist; lgn_dist_m];
end
%% SMPS dN/dlogR keitimas i dS/dlogR
smps_ds = [];
size_range_s = (4*pi*(size_range./2).^2)';
for n = 1:length(smps_avg) % smps_avg - SMPS matuojamo dalelių koncentracijos
pasiskirstymo pagal dydį valandinis vidurkis
    smps_ds = [smps_ds; smps_avg(n,:).*size_range_s];
end
%% Koreliacijos koeficiento skaičiavimas tarp skirstinių
cr_coef = [];
for n = 1:length(psize_avg)
    cr_coef = [cr_coef; corr(lgn_dist(n,:)',smps_ds(n,:))];
end
end

```

#### 4.

```

function grid_plot_neph_smps2 % Gaunami duomenys 12 pav. ir 13 pav. braižymui
ang_scale = [-0.2:3/71:2.8];
bs_scale = [0:3E-5/70:3E-5];
conc_grid = zeros(length(ang_scale),length(bs_scale));
for n = 1:length(ang_scale)-1
    n
    for m = 1:length(bs_scale)-1
        indeksas =
find(angstrom>=ang_scale(n) & angstrom<ang_scale(n+1) & bs_450>bs_scale(m) & bs_450<bs_sc
ale(m+1));
        conc_grid(n,m) = mean(sum_smps_ds(indeksas).*0.0285); % sum_smps_ds - vieno
SMPS matavimo koncentracijų visais kanalais suma. 0.0285 yra skirtumas tarp dalelių
dydžio gretimuose kanaluose logaritmu, skirtas apskaičiuoti tikrąją koncentraciją
    end
end
end

```

## 5.

```

function psize_neph_RDG_v3 % Priskiriamas lūžio rodiklis ir RDG artinio dydis pagal
aerozolių tipą, nustatoma remiantis 13 pav.
file_dir_1='D:\Universitetas\FTMC17\magistrinis -\RDGv3';
RDG_file=dir(fullfile(file_dir_1, '*.mat'));
RDG_file = {RDG_file.name};
% Atskaitoma į skirtingus RDG_total cell elementus - 1 - 16 = 450nm; 17-32 -
550nm; 33 - 48 - 700nm. lūžio rodiklis - nuo 1 iki 1.75, 0.05 žingsniu;
for ith_file = 1:length(RDG_file)
    load(fullfile(file_dir_1, RDG_file{ith_file}));
    RDG_total{ith_file} = data_all(:,2);
end
load('D:\Universitetas\FTMC17\neph_ang_bsts_2015.mat') % kintamasis
neph_bstsdata_2015; 3,4 ir 5 bs/ts 450,550 ir 700 nm
load('D:\Universitetas\FTMC17\nephelometer_data_2015vasara.mat') % kintamasis
data_all -> neph_data ; 1 - matavimų laikas, 2:4 - BGR ts, 5:7 - BGR bs
neph_data = data_all;
psize_RDG = zeros(length(neph_bstsdata_2015),3);
angstrom = zeros(length(neph_bstsdata_2015),1);
for bsts_line = 1:length(neph_bstsdata_2015)
    bsts_line
    angstrom_n = mean([-
log(neph_data(bsts_line,4)/neph_data(bsts_line,3))/log(700/550) -
log(neph_data(bsts_line,4)/neph_data(bsts_line,2))/log(700/450) -
log(neph_data(bsts_line,3)/neph_data(bsts_line,2))/log(550/450)]);
    if angstrom_n > 2 && neph_data(bsts_line,5) > 1E-5
        rfr_index = 11; %atitinka n = 1.5
        [ignore_450, index_450nm] = min(abs(RDG_total{rfr_index} -
neph_bstsdata_2015(bsts_line,3)));
        [ignore_550, index_550nm] = min(abs(RDG_total{rfr_index+16} -
neph_bstsdata_2015(bsts_line,4)));
        [ignore_700, index_700nm] = min(abs(RDG_total{rfr_index+32} -
neph_bstsdata_2015(bsts_line,5)));
        psize_RDG(bsts_line,1) = 10+2*(index_450nm-1);
        psize_RDG(bsts_line,2) = 10+2*(index_550nm-1);
        psize_RDG(bsts_line,3) = 10+2*(index_700nm-1);
    elseif angstrom_n > 0.5 && neph_data(bsts_line,5) > 1E-5 &&
neph_data(bsts_line,5) < 2.5E-5
        rfr_index = 9; %atitinka n = 1.4
        [ignore_450, index_450nm] = min(abs(RDG_total{rfr_index} -
neph_bstsdata_2015(bsts_line,3)));
        [ignore_550, index_550nm] = min(abs(RDG_total{rfr_index+16} -
neph_bstsdata_2015(bsts_line,4)));
        [ignore_700, index_700nm] = min(abs(RDG_total{rfr_index+32} -
neph_bstsdata_2015(bsts_line,5)));
        psize_RDG(bsts_line,1) = 10+2*(index_450nm-1);
        psize_RDG(bsts_line,2) = 10+2*(index_550nm-1);
        psize_RDG(bsts_line,3) = 10+2*(index_700nm-1);
    else % nepamiršti atsižvelgti į galimas NaN vertes vidurkinant kituose
žingsniuose
        psize_RDG(bsts_line,1) = NaN;
        psize_RDG(bsts_line,2) = NaN;
        psize_RDG(bsts_line,3) = NaN;
    end
    angstrom(bsts_line) = angstrom_n;
end
end

```