



**VILNIAUS UNIVERSITETAS
ŠIAULIŲ AKADEMIJA**

IŠMANIOSIOS GAMYBOS INŽINERIJOS MAGISTRO STUDIJŲ PROGRAMA

MANTAS BUDREVIČIUS

Magistro studijų baigiamasis darbas

**KIETŲJŲ DALELIŲ REGISTRAVIMAS IŠMANIOSIOS GAMYBOS
KONTEKSTE**

Darbo vadovas: prof. dr. Gintautas Daunys

Šiauliai, 2022

**Studijuojančiojo, teikiančio baigiamąjį
darbą, GARANTIJA**

WARRANTY of Final Thesis

Vardas, pavardė <i>Name, Surname</i>	Mantas Budrevičius
Padalinys <i>Faculty</i>	Šiaulių akademija <i>Šiauliai Academy</i>
Studijų programa <i>Study Programme</i>	Išmaniosios gamybos inžinerija <i>Smart Manufacturing Engineering</i>
Darbo pavadinimas <i>Thesis topic</i>	Kietųjų dalelių registravimas išmaniosios gamybos kontekste <i>Particulate Matter Registration in the Context of smart Manufacturing</i>
Darbo tipas <i>Thesis type</i>	Baigiamasis darbas <i>Final Thesis</i>

Garantuojau, kad mano baigiamasis darbas yra parengtas sąžiningai ir savarankiškai, kitų asmenų indėlio į parengtą darbą nėra. Jokių neteisėtų mokėjimų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

I guarantee that my thesis is prepared in good faith and independently, there is no contribution to this work from other individuals. I have not made any illegal payments related to this work.

Šiame darbe tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos yra pažymėtos literatūros nuorodose.

Quotes from other sources directly or indirectly used in this thesis, are indicated in literature references.

Aš, Mantas Budrevičius, pateikdamas (-a) šį darbą, patvirtinu (pažymėti)



Embargo laikotarpis
Embargo Period

Prašau nustatyti šiam baigiamajam darbui toliau nurodytos trukmės embargo laikotarpį:
I am requesting an embargo of this thesis for the period indicated below:

- _____ mėnesių / *months*
(embargo laikotarpis negali viršyti 60 mėn. / *an embargo period shall not exceed 60 months*).
- Embargo laikotarpis nereikalingas / *no embargo requested*.

Embargo laikotarpio nustatymo priežastis / *Reason for embargo period:*

TURINYS

SANTRAUKA	4
SUMMARY	5
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	6
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	7
SANTRUMPOS	9
ĮVADAS.....	10
1. KIETOSIOS DALELĖS	11
1.1 Kietųjų dalelių poveikis sveikatai	12
1.2 Vizuali modelių klasifikacija ir galimos dalelių morfologijos.....	13
1.3 Kietųjų dalelių fiksavimo metodai ir instrumentai.....	15
1.3.1 Koncentracijos matavimo metodai ir instrumentai	16
1.3.2 Dydžių pasiskirstymo matavimo metodai ir instrumentai.....	19
2. KIETŪJŲ DALELIŲ IDENTIFIKAVIMO METODIKA	23
2.1 Realio laiku ore sklindančių dalelių identifikatorius.....	23
2.2 Kietųjų dalelių fiksavimas pagal Mie teoriją	26
2.3 Fluorescencijos matavimai	28
2.4 Duomenų apdorojimas	30
3. TYRIMO REZULTATAI	32
3.1 Duomenų analizė pagal 2022 m. duomenis	32
3.2 Duomenų analizė pagal 2020 m. duomenis	37
IŠVADOS.....	45
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	46
PRIEDAI	49

SANTRAUKA

Magistro baigiamajame darbe analizuojama kietųjų dalelių registracija prietaisu Rapid-E, kuris buvo įsigytas Šiaulių universiteto siekiant analizuoti žiedadulkes, norint įvertinti jo panaudojimo galimybes išmaniosios gamybos kontekste. Darbe apžvelgiama dalelių poveikis žmogaus sveikatai bei jų fiksavimo metodai ir prietaisai. Aprašomos pagrindinės Rapid-E savybės, kurių pagrindu yra sukurtas prietaisas, kad galėtų fiksuoti daleles ir jų dydžius. Norint gautą informaciją pateikti vartotojui reikalingos tam tikros programos, kurios trumpai aprašomos darbe, ir jų kodai.

Atliekant tyrimą buvo analizuojami duomenys gauti iš prietaiso Rapid-E šių metų sausio – balandžio mėnesiais ir 2020 metais vasario – liepos mėnesiais. Pagal gautus duomenis buvo analizuojami dalelių dydžiai ir jų fiksavimo dažnumas skirtingu paros laiku, skirtingomis mėnesių dienomis. Iš gautų duomenų buvo vertinama kaip keičiasi dalelių dydžių pasiskirstymas bei koncentracija skirtingomis meteorologinėmis sąlygomis.

Reikšminiai žodžiai: kietosios dalelės, prietaisas Rapid-E, dalelių dydžiai, koncentracija.

SUMMARY

The master's thesis analyzes the registration of particulate matter with the Rapid-E device, which was purchased by Šiauliai University in order to analyze the pollen in order to evaluate its application in the context of intelligent manufacturing. The paper reviews the effects of particles on human health and their capture methods and devices. Describes the key features of the Rapid-E that underlie the device's ability to capture particles and their sizes. In order to provide the received information to the user, certain programs, which are briefly described in the work, and their codes are required.

The study analyzed data from the Rapid-E in January-April this year and February-July 2020. Based on the obtained data, the particle sizes and the frequency of their fixation at different times of the day and on different days of the month were analyzed. From the obtained data, the changes in the particle size distribution and concentration under different meteorological conditions were assessed.

Keywords: particulate matter, Rapid-E device, particle sizes, concentration.

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė Kietųjų dalelių dydžių pavyzdžiai [8]	12
1.2 lentelė Įvairių dalelių matavimo prietaisų palyginimas ir specifikacijos [19]	21
2.1 lentelė Pagrindiniai Rapid-E techniniai duomenys [16]	24
3.1 lentelė Sausio, vasario, kovo ir balandžio mėnesių bendra kiekvienos dienos užfiksuota dalelių koncentracija	32
3.2 lentelė Sausio, vasario, kovo ir balandžio mėnesių dienų užfiksuotas tomis pačiomis valandomis kietųjų dalelių koncentracijos vidurkis	35
3.3 lentelė Vasario – liepos mėnesių bendra kiekvienos dienos užfiksuota dalelių koncentracija	37
3.4 lentelė Vasario – liepos mėnesių dienų užfiksuotas tomis pačiomis valandomis kietųjų dalelių koncentracijos vidurkis	41

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Kietųjų dalelių diametras lyginant su žmogaus plauku [8].....	12
1.2 pav. Dvidešimt nuosekliai gautų modelių duomenų rinkimu metu [4]	13
1.3 pav. Kokybinė kvalifikacija vaizduojanti atmosferos dalelių sklaidos modelių kintamumą [4]	14
1.4 pav. Kietųjų dalelių registravimo metodai ir instrumentai [19].....	15
2.1 pav. Rapid-E prietaisas [17].....	24
2.2 pav. Rapid-E užregistruoto sklaidos vaizdo pavyzdys [17].....	25
2.3 pav. Fluorescencijos duomenų diagrama [17]	25
2.4 pav. Fluorescencijos gyvavimo trukmės duomenų diagrama [17]	26
2.5 pav. Mie sklaidos modelio pavyzdys [11]	26
2.6 pav. Spektrometro veikimo principas [7]	29
2.7 pav. Bendras fluorescencijos gyvavimo trukmės matavimų modelis [24]	30
2.8 pav. Failų laiko palyginimas sekundėmis skaitant 10 milijonų duomenų taškų iš saugyklos [14]	30
2.9 pav. Spyder aplinkos su įkeltu Phyton skriptu darbinio lango pavyzdys	31
3.1 pav. Vidutinė sausio mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija	33
3.2 pav. Vidutinė vasario mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija	33
3.3 pav. Vidutinė kovo mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija	34
3.4 pav. Vidutinė balandžio mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija	34
3.5 pav. Sausio, vasario, kovo ir balandžio mėnesių užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracijos vidurkių palyginimas.....	35
3.6 pav. Sausio, vasario, kovo ir balandžio mėnesių dienų užfiksuotas tomis pačiomis valandomis kietųjų dalelių koncentracijos vidurkis	36
3.7 pav. Dalelių dydžio pasiskirstymo histogramos sausio 11 d. (kairėje) ir balandžio 8 d. (dešinėje). Pateiktose histogramose daugiausia kietųjų dalelių, kurių dydis diapazone nuo 4 iki 5 µm	36
3.8 pav. Dalelių dydžio pasiskirstymo histogramos sausio 25 d. (kairėje) ir vasario 2 d. (dešinėje). Pateiktose histogramose daugiausia kietųjų dalelių, kurių dydis diapazone nuo 5 iki 6 µm	37
3.9 pav. Vidutinė vasario mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija	38
3.10 pav. Vidutinė kovo mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija	38
3.11 pav. Vidutinė balandžio mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija	39
3.12 pav. Vidutinė gegužės mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija	39
3.13 pav. Vidutinė birželio mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija.....	40

3.14 pav. Vidutinė liepos mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija	40
3.15 pav. Vasario – liepos mėnesių užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracijos vidurkių palyginimas	41
3.16 pav. Vasario – liepos mėnesių dienų užfiksuotas tomis pačiomis valandomis kietųjų dalelių koncentracijos vidurkis	42
3.17 pav. Dalelių dydžio pasiskirstymo histogramos vasario 10 d. (kairėje) ir liepos 16 d. (dešinėje). Pateiktose histogramose daugiausia kietųjų dalelių, kurių dydis diapazone nuo 4 iki 5 μm	42
3.18 pav. Dalelių dydžio pasiskirstymo histogramos vasario 25 d. (kairėje) ir liepos 28 d. (dešinėje). Pateiktose histogramose daugiausia kietųjų dalelių, kurių dydis diapazone nuo 5 iki 6 μm	43
3.19 pav. Dalelių dydžio pasiskirstymo histograma kovo 2 d. Pateiktoje histogramoje daugiausia kietųjų dalelių, kurių dydis diapazone nuo 7 iki 8 μm	43
3.20 pav. Valstybinio aplinkos oro kokybės monitoringo (x ašis) ir ir Rapid-E (y ašis) koncentracijų palyginimas. Ištinė linija turi polinkį 500	44

SANTRUMPOS

- KD** – Kietosios dalelės
- FST** – Fotoakustinis suodžių jutiklis
- LSĮ** – Lazerio sukeltas įkaitinimas
- KEVM** – Kūginių elementų virpesių mikrobalansas
- ŽSS** – Žemo slėgio smogtuvas
- DDMM** – Dalelių dydžio mobilumo matuoklis
- GDDMM** – Greitas dalelių dydžio mobilumo matuoklis
- EŽSS** – Elektrinis žemo slėgio smogtuvas
- ODS** – Optinis dalelių skaitiklis
- KDS** – Kondensacinis dalelių skaitiklis
- DMA** – Diferencialinis mobilumo analizatorius
- IDMM** – Išcentrinis dalelių masės matavimas
- DMS** – Diferencialinio mobilumo spektrometras
- GIMS** – Greitas integruotas mobilumo spektrometras
- EDB** – Elektros difuzinė baterija
- T** – Tikslumas

ĮVADAS

Pasaulis vis labiau kenčia nuo užteršto oro, o ypač didmiesčiai kur vykdoma pramonė, birių medžiagų krovos darbai geležinkelyje ir jūrų uostuose, vyksta intensyvus transporto eismas bei intensyviai plėtojamos statybos. Ore tvyroja daugybe dalelių, kurių plika akimi žmogus pamatyti negali, tačiau yra prietaisai, kurie tokias daleles fiksuoja ir analizuoja. Jų pagalba galima nustatyti oro užterštumo lygį tam tikroje teritorijoje ar uždaroje patalpoje, kur reikalingas švarus oras.

Pasaulinė sveikatos organizacija ir aplinkos apsaugos agentūros turi surinkę nemažai duomenų apie kietųjų dalelių poveikį aplinkai ir žmogaus organizmui. Jų atlikti tyrimai rodo, kad kietosios dalelės gali sukelti rimtus sveikatos sutrikimus bei negalavimus, o augmenijai gali sukelti tam tikras ligas. Visas šias rizikas galima sumažinti stebint oro kokybę išmaniais įrenginiais, kurių pagalba surinktą ir apdorotą informaciją galima pateikti organizacijoms ar agentūroms, kurios atsakingos už oro kokybės priežiūrą. Šios institucijos gali informuoti visuomenę apie oro kokybę ir kokių priemonių imtis, kad sumažinti jos neigiamą poveikį sveikatai.

Rapid-E yra visiškai optinis aerozolio detektorius, skirtas akimirksniu aptikti ir identifikuoti alergenų, tokius kaip žiedadulkes ir sporas, taip pat kitas daleles įskaitant oro teršalus ir dulkes. Šio prietaiso pagalba galima įvertinti ore esančių dalelių koncentraciją ir dydžius, kurie turi didelę įtaką žmogaus organizmo būsenai ir poveikį aplinkai. Vertinant šio prietaiso panaudojimą išmaniojoje gamyboje rezultatai turėtų būti teigiami, nes prietaisą galima valdyti ir duomenis gauti nuotoliniu būdu bei gauti duomenis įvertinami realiu laiku. Taip pat šiuo prietaisu jau yra atlikta keltas tyrimų, kurių rezultatai patvirtina prietaiso patikimumą ir naudą.

Daug įmonių, kuria panašius prietaisus kaip Rapid-E, kurių panaudojimas yra platus, kad įvertinti ne tik oro kokybę žmogaus sveikatai ar aplinkai, bet ir jų panaudojimą išmaniojoje gamyboje vertinat aplinkos sąlygas gaminat preciziškai tikslus prietaisus ar komponentus.

Darbo tikslas:

Išanalizuoti įrenginio Rapid-E galimybes ir jo surinktus duomenis, kad būtų galima įvertinti prietaiso tinkamumo operatyviam kietųjų dalelių registravimui.

Darbo uždaviniai:

- Apžvelgti ore esančias kietąsias daleles bei jų registravimo metodus.
- Išanalizuoti Rapid-E veikimo principą ir technines dalelių registravimo galimybes.
- Sukurti duomenų analizės metodiką.
- Išanalizuoti surinktus duomenis.

1. KIETOSIOS DALELĖS

Pasaulinė sveikatos organizacija (*World Health Organization*) ir aplinkos apsaugos agentūros naudoja terminą PM (angl. *particulate matter*, Lietuvoje geriau žinomą kaip kietosios dalelės – KD) kai kalbama apie aplinkos taršos kriterijus [8].

Kietosios dalelės – tai ore esančių dalelių ir skysčio lašelių mišinys, kurio sudėtyje gali būti įvairūs komponentai: rūgštys, sulfatai, nitratai, organiniai junginiai, metalai, dirvožemio dalelės, dulkės, suodžiai ir kt [8].

Pagrindiniai kietųjų dalelių šaltiniai yra:

- Gamtiniai: augalų žydėjimas, miškų gaisrai, smėlio audros, ugnikalnių išsiveržimai [8].
- Dirbtiniai, sukelti žmogaus veiklos: išmetamosios automobilių ir kito transporto dujos, kietojo kuro deginimas gyvenamuosiuose namuose bei pramoniniuose objektuose, statybos, pastatų griovimas, keliai (žvyrkeliai, prastai asfaltuoti keliai, kelkraščių dulkės), žolės deginimas, cigarečių dūmai [8] [18].

Didelę įtaką kietųjų dalelių kaitai aplinkos ore turi ir meteorologinė situacija – pavyzdžiui, silpnas vėjas, orai be kritulių, rūkas sudaro labai geras sąlygas teršalams kauptis. Tuo tarpu lietus bei stiprus vėjas kietąsias daleles išsklaido [8].

Jei žiemą miestuose pastebima silpno vėjo ir didesnio šalčio įtaka oro užterštumui kietosiomis dalelėmis, tai pavasarį prie jau minėtų veiksnių prisideda druskų ir smėlio likučiai kelkraščiuose bei nuo džiūstančios žemės paviršiaus išsiskiriančios šiukšlių dulkės [8].

Kietosios dalelės pagal dydį, matuojamą mikrometrais, skirstomos į tris pagrindines grupes [8]:

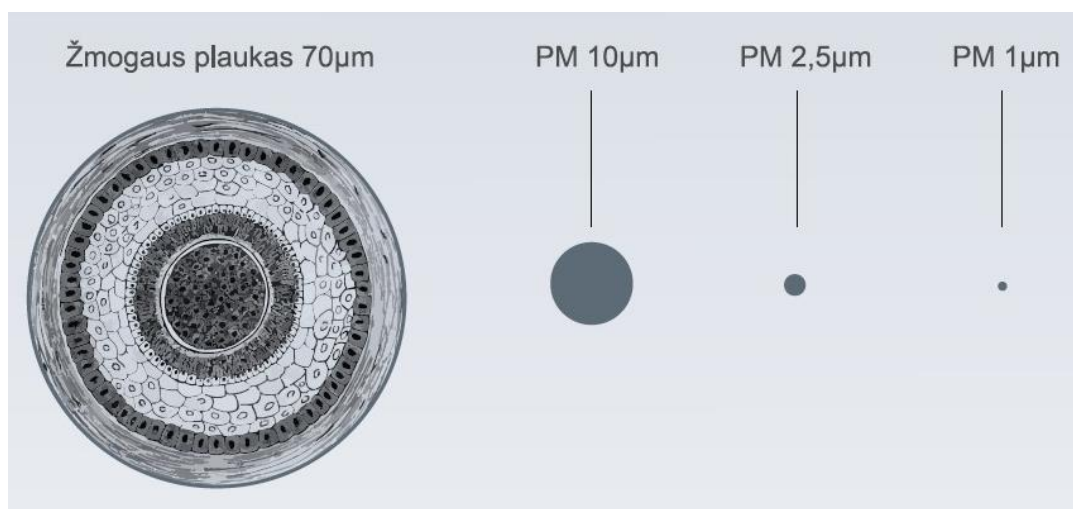
- KD 10 (dalelės dydis nedidesnis nei 10 μm) [8].
- KD 2.5 (dalelės dydis nedidesnis nei 2.5 μm) [8].
- KD 1 (dalelės dydis nedidesnis nei 1 μm) [8].

Kuo mažesnis dalelių dydis, tuo jos pavojingesnės žmonių sveikatai. Pateikiama 1.1 lentelėje keletą pavyzdžių kokie galimi dalelių dydžiai, kuriuos savo aplinkoje sutinkame dažniausiai [8].

Kietųjų dalelių dydžių pavyzdžiai [8]

Dirbtinių taršos šaltinių dalelės	Dydis μm	Gamtinių taršos šaltinių dalelės	Dydis μm
Smogas	0,001-1	Žiedadulkės, trąšos	10-100
Automobilių emisijos	1-150	Pelėsio sporos	3-30
Smalkės ir kiti degimo produktai	0,1-1	Dulkių erkučių alergenai	0,1-12
Smulkiųjų dulkių dalelės	0,1-2	Gyvūnų pleiskanos	0,1-5
Tabako dūmai	0,01-4	Bakterijos	0,3-60
Insekticidų dulkės	0,5-10	Virusai	0,005-0,3
Cemento dulkės	3-100	Žmogaus plaukai	30-600

Pasaulyje yra specialios matavimo stotys, kuriose nustatoma kietųjų dalelių koncentracija. Oro taršos situaciją Lietuvoje galima stebėti keliuose tinklapiuose, kuriuose pateikiama mūsų šalies oro tarša didelėmis (KD 10) ir vidutinėmis (KD 2,5) kietosiomis dalelėmis. Pačių smulkiųjų kietųjų dalelių kaip smogo, smalkių, smulkiųjų dulkių Lietuvos stebėjimo stotys nematuoja [8].



1.1 pav. Kietųjų dalelių diametras lyginant su žmogaus plauku [8]

1.1 Kietųjų dalelių poveikis sveikatai

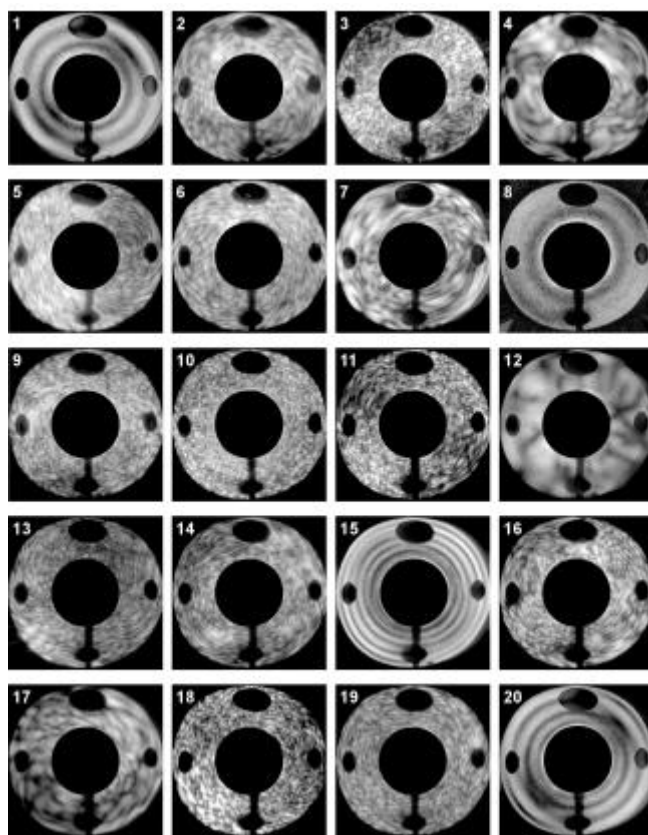
Kietosios dalelės neturi koncentracijos slenksčio, todėl neigiamas jų poveikis sveikatai gali būti juntamas nuolat. Kadangi kai kurių dalelių dydis žmogaus akiai nepastebimas, sudėtinga įsivaizduoti kokią žalą kietosios dalelės gali padaryti mūsų sveikatai [8].

- KD 10 grupės ir mažesnės dalelės gali patekti į kvėpavimo takus [8].

- KD 2.5 grupės ir mažesnės dalelės gali patekti į plaučius, taip sutrikdydamos jų funkcionalumą, bei gali sukelti odos ir akių problemas [8].
- KD 1 grupės ir mažesnės dalelės – pačios pavojingiausios, jos gali patekti į kraujotakos sistemą, sukeldamos ten tokias ligas kaip vėžys, širdies ligos, smegenų bei nervų sistemos veiklos sutrikimai [8].

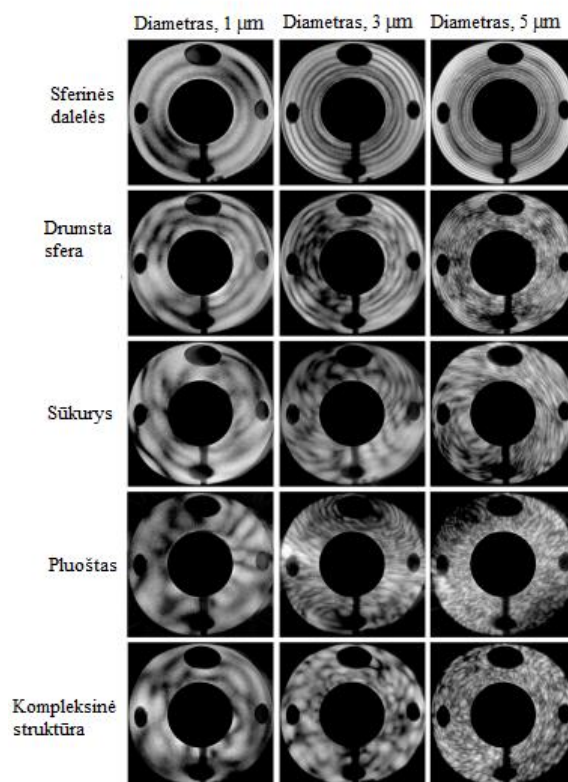
1.2 Vizuali modelių klasifikacija ir galimos dalelių morfologijos

Išsamus ore esančių kietųjų dalelių morfologijos tyrimas buvo atliktas panaudojant dvimatę lazerio spindulio sklaidą [4]. Dvidešimt skirtingų sklaidos modelių parodyta 1.2 paveiksle. Modelių ryškumas buvo pakoreguotas, kad būtų lengviau įžiūrėti, nes yra didelis dalelių kintamumo lygis tarp modelių. Kai kurie modeliai (žiūrėti 1.2 pav.) 8, 15 ir 20 yra gaunami registruojant sferines daleles. Kai kurie modeliai atrodo atsiranda iš sudrumstų sferų, kaip rodo jų panašumai į sferos tipo modelius, o kiti modeliai turi panašumų į pluoštą. Dar kiti modeliai yra salėti arba kintamo intensyvumo sūkurius primenantys modeliai, tačiau tokių dalelių formas nėra lengva apibūdinti [4].



2.2 pav. Dvidešimt nuosekliai gautų modelių duomenų rinkimu metu [4]

Siekiant atidžiai iširti sklaidos modelio charakteristikas, buvo surūšiuoti 2525 modeliai (apie 500 modelių iš penkių skirtingų sklaidos intensyvumo diapazonų). Kadangi griežtos vaizdų analizės nebuvo, todėl vizualiai surūšiuoti sudėtingus modelius buvo pasikliauta padaryti žmogaus akimi. Modelių pavyzdžiai buvo suskirstyti į penkias grupes (sferinės dalelės, drumsta sfera, sūkurys, pluoštas ir kompleksinė struktūra) apimančias tris skirtingus diapazonus [4].



3.3 pav. Kokybinė kvalifikacija vaizduojanti atmosferos dalelių sklaidos modelių kintamumą [4]

Modeliai, atsirandantys dėl dalelių, kurios kaip manoma yra sferinės, parodytos pirmoje 1.3 paveikslo eilutėje. Šie modeliai turi būdingą žiedo struktūrą, kuri gali būti apskaičiuota pagal Lorenz-Mie teoriją. Simetrijos laipsnis šių modelių yra 0,77 vardiniam 1 μm sferai, 0,72 – 3 μm sferai ir 0,6 – 5 μm sferai [4].

Modeliai pavaizduoti antroje 1.3 paveikslo eilutėje turi deformuotą arba lūžusią į žiedą panašią struktūrą, kurios paviršiuje yra mažų dalelių, apibūdinama kaip drumsta sferinė dalelė [4].

Modeliai pateikti 1.3 paveikslo trečioje eilutėje vadinami sūkuriais. Sūkurio raštai atrodo sudaryti iš sulūžusių arba susuktų žiedų, tačiau žiedai yra ne centre. Modeliai turi keletą panašumų į lašelius su inkluzais ar deformuotus lašelius, multipletuotas dalelės, pluoštinius klasterius bei sluoksniuotas dalelės [4].

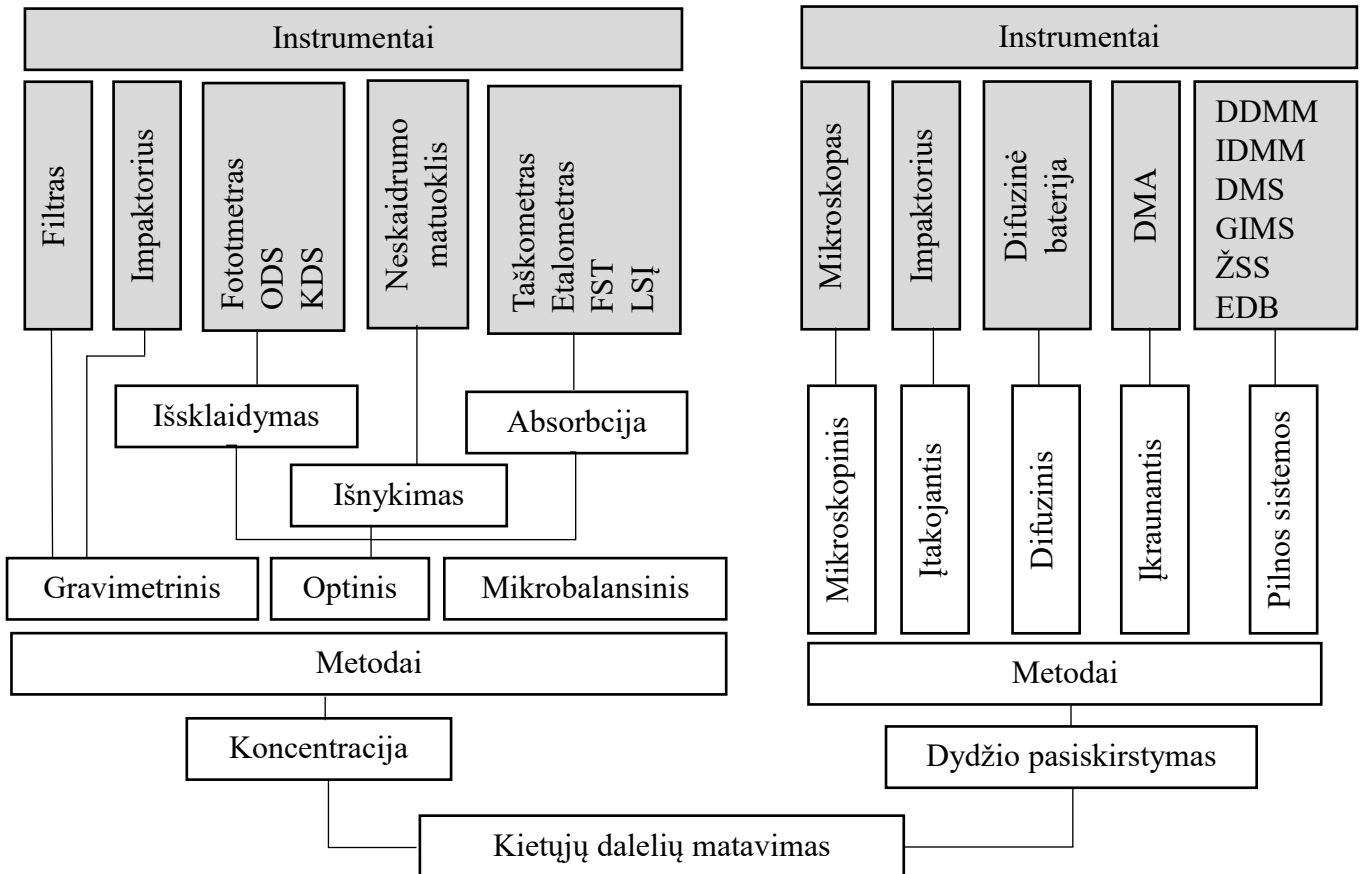
Modeliai 1.3 paveikslo ketvirtoje eilutėje yra būdingi pluoštų charakteristikoms [4].

Paskutinėje 1.3 paveikslo eilutėje rodomi modeliai sudaryti daugiausia iš salelių, kurios nėra stipriai susijusios su jokia tam tikra kryptimi. Šie modeliai turi panašumą į anksčiau užfiksuotus modelius. Bandomųjų dalelių rezultatai rodo, kad šiuos modelius atitinkančios dalelės turi kompleksinę struktūrą, sukombinuotą iš įvairių paprastesnių modelių [4].

1.3 Kietųjų dalelių fiksavimo metodai ir instrumentai

Yra keletas prietaisų, skirtų skirtingoms kietųjų dalelių charakteristikoms matuoti. Labiausiai svarbūs dalelių matavimai yra dalelių koncentracija ir dalelių dydis. Dalelių dydžio analizatorius gali nustatyti dalelių elgesį aplinkos ore. Submikroninės dalelės gali išlikti atmosferoje ilgesnį laiką nei didesnio dydžio. Dalelių koncentracijos matavimai yra svarbūs norint standartizuoti emisijos ribas, kurios garantuoja oro kokybės standartus. Prietaisai, matuojantys dalelių dydžio pasiskirstymą, naudoja dalelių elgseną (difuziją, aerodinamiką ir optinį bei elektrinį mobilumą) [19].

Dažniausiai naudojami dalelių matavimo prietaisai yra klasifikuojami pagal dalelių koncentracijos ir dydžio pasiskirstymo metodus pavaizduoti 1.4 paveikslėlyje [19].



4.4 pav. Kietųjų dalelių registravimo metodai ir instrumentai [19]

1.3.1 Koncentracijos matavimo metodai ir instrumentai

Taikant koncentracijos metodus, KD koncentracija gali būti masė (m), skaičius (N) ir paviršiaus plotas (S). Šie prietaisai yra pagrįsti skirtingais matavimo principais ir gali būti gravimetriniai, optiniai, mikrobalsiniai ir elektros krūvio [19].

1) Gravimetrinis metodas

Taikant gravimetrinį metodą, dalelių masės koncentracija nustatoma sveriant filtrus prieš ir po mėginių ėmimo laikotarpio. Gravimetrinis metodas pagrįstas filtrais ir kaskadiniais smogtuvais. Jis gali rinkti daleles ir įvertinti jų koncentraciją. Norint atlikti išsamesnę analizę reikalingi kiti metodai, pavyzdžiui: nuskaitymas elektronine mikroskopija ar perdavimo elektronų mikroskopija [19].

2) Optinis metodas

Taikant optinio aptikimo metodus, aerolio dalelės apšviečiamos šviesos spinduliu ir spinduliuoja šviesą visomis kryptimis. Dalis šios šviesos tuo pačiu metu transformuojama į kitas energijos formas. Šviesos išnykimą galima apskaičiuoti pridėdant sklaidą ir sugertį. Optiniai prietaisai, naudojami dalelių koncentracijai matuoti realiu laiku, gali būti pagrįsti sklaidos, sugerties ir šviesos išnykimo principais [19].

3) Šviesos sklaida

Šviesos sklaida klasifikuojama kaip šviesos sklaida pagal atskiras daleles, o sklaidos fotometras pagal dalelių bendrą vaizdą. Šviesos sklaidos matavimas pagal dalelių visumą apima dispersinius fotometrus, kurie matuoja išsklaidytos šviesos intensyvumą vienu ar keliais kampais. Šviesos sklaidos fotometrai matuoja išsklaidytą šviesą derindami visas optinio aptikimo tūryje esančias daleles [19].

Medžiagos taip pat gali būti tiriamos tiriant iš medžiagos išsklaidytą šviesą. Yra daug sklaidos formų, tačiau pagrindinės yra šios [15]:

- Rayleigh sklaida.
- Mie sklaida.
- Brillouino sklaida.

- Ramano sklaida.
- Thompsono sklaida.

Rayleigh yra elastinga sklaida iš mažų dalelių, tokių kaip atomai ar molekulės, todėl spinduliuotė yra išsklaidyta, kuri sklinda visomis kryptimis tolygiai. Rayleigh sklaida priklauso nuo bangos ilgio, o trumpesni bangos ilgiai yra labiau išsibarstę. Būtent dėl Rayleigh sklaidos atmosferoje esančiose molekulėse ir susidaro mėlynas dangus, kurį matome gražią dieną. Mėlyna saulės šviesa, pasiekusi viršutines atmosferos dalis, yra išsklaidyta maždaug 10 kartų daugiau nei raudona šviesa, todėl virš galvos mėlyna šviesa gali patekti į stebėtojo akį, o raudona šviesa iš esmės neišsisklaidoma ir atspindima atgal į kosmosą [15].

Mie yra elastingas sklaidos mechanizmas, atsirandantis dėl santykinai didelių dalelių arba molekulių, kurių matmenys yra panašūs į krintančios spinduliuotės bangos ilgį arba didesni, o susidaranti išsklaidyta spinduliuotė yra netolygi. Sklaida nelabai priklauso nuo bangos ilgio. Dėl šio proceso atsiranda balta išsklaidyta šviesa, matoma debesyse ar rūke [15].

Brillouin sklaida yra neelastingas sklaidos mechanizmas, kuris paprastai atsiranda šviesai sklindant kietose medžiagose. Krintančios spinduliuotės bangos ilgį keičia garso bangų arba fononų energijos lygiai kietoje medžiagoje, kurie paprastai yra labai maži [15].

Ramano sklaida yra neelastingas sklaidos mechanizmas, kai išsklaidytos spinduliuotės dažnis keičiasi dėl energijos padidėjimo arba praradimo, kuris atitinka atomo ar molekulės energijos lygius. Šis procesas naudojamas daugeliui diagnostinės analizės formų. Ramano sklaida yra labai silpna ir paprastai yra daug mažesnė nei Rayleigh išsklaidyta šviesa, todėl sunku Ramano signalą atskirti nuo Rayleigh signalo, ypač esant mažiems dažnio poslinkiams [15].

Thompsono sklaida yra elastingas sklaidos mechanizmas, kai šviesą išsklaido įkrautos dalelės. Panaši sklaidos forma, vadinama Komptono sklaida, yra neelastinga Thompsono sklaidos forma, kuri atsiranda, kai krintančios spinduliuotės energija panaši į likusią įkrautos dalelės energiją. Komptono sklaida yra pagrindinis rentgeno spindulių slopinimo mechanizmas, suteikiantis kontrastą medicininėse rentgeno nuotraukose [15].

4) Optinis dalelių skaitiklis

Optinis dalelių skaitiklis yra dažniausiai naudojamas instrumentas. Jis paprastai naudoja diodinį lazerį kaip šviesos šaltinį, kuris apšviečia daleles tam tikru kampu. Fotodetektorius matuoja šviesą, kurioje yra išsibarstę dalelės. Remiantis šviesos intensyvumu, galima suskaičiuoti ir išmatuoti daleles tuo pačiu metu. Optinis dalelių skaitiklis yra panašus į sklaidos fotometrą. Pagrindinis skirtumas yra tas, kad optinio dalelių skaitiklio optinio aptikimo tūris yra mažesnis

negu sklaidos fotometro. Sklaidos fotometras išsklaidytą šviesą aptinka kaip elektros impulsą panaudodamas fotodetektorius. Dalelių dydis nustatomas pagal elektros impulso aukštį, naudojant kalibravimo kreivę [19].

5) Kondensacijos dalelių skaitikliai

Kondensacijos dalelių skaitikliai taip pat klasifikuojami kaip šviesos sklaidos skaitikliai. Jie naudojami matuoti mažų dalelių koncentracijai. Šios dalelės pakankamai neišsisklaido šviesoje, todėl įprasti optiniai skaitikliai negali aptikti šios dalelių sklaidos. Tam, kad mažų dalelių dydis padidėtų ir jas galima būtų užfiksuoti, naudojami skysčio garai. Kai dalelės padidėja, Kondensacijos dalelių skaitikliai tampa panašūs į optinius dalelių skaitiklius. Tokiu būdu eina atskiri lašai per lazerio spindulio židinio tašką su šviesos blyksniu. Kiekvienas šviesos blyksnis skaičiuojamas kaip viena dalelė [19].

6) Šviesos absorbcija

Koncentracijai matuoti naudojami šviesos sugerties principu pagrįsti juodosios anglies matavimo prietaisai, kurie sudaro aerazolį. Juodoji anglis stipriai sugeria šviesą, todėl yra teigiama spinduliavimo medžiaga, kuri prisideda prie klimato pokyčių ir buvo plačiai iširta atmosferos tyrimuose. Aerozolių šviesos sugertis yra vienas iš labiausiai neapibrėžtų parametru, susijusių su tiesioginiu ir netiesioginiu aerozolių poveikiu klimatui [19].

Šviesos absorbcijai naudojami trys skirtingi instrumentai [19]:

Taškiniai matuokliai – žinomi kaip reflektometrai arba dūmų filtrų matuokliai, kurių šviesos sugerties matavimo principas pagrįstas šviesos atspindžiu per filtrą. Taškiniame matuoklyje dalelių koncentracija gaunama filtruojant išmetamąsias dujas popieriniame filtre ir registruojant santykį tarp šviesos, kurią atspindi ši atvira vieta ir neeksponuotos dėmės [19].

Aetalometrai – kaip ir taškiniai matuokliai, naudojami nustatyti juodosios anglies koncentraciją. Kietosios dalelės renkamos naudojant kvarco pluošto filtrą. Šviesos pralaidumo (sugerties) pokytis matuojamas filtre, keliuose bangos ilgiuose. Aetalometras yra vienas iš optinių prietaisų pagrįstas filtrais, kuris dažniausiai naudojamas šviesą sugeriančios anglies kiekiui nustatyti [19].

Fotoakustinis suodžių jutiklis. Šis metodas pagrįstas fotoakustiniu principu. Amplitudės moduluotos šviesos sugertis periodiškai įkaitina šviesą sugeriančias daleles mėginio aerolyje. Šiluma aplinkinėms dujoms sukuria slėgio bangas (akustines), kurios įrašomos mikrofONU [19].

7) Lazerio sukeltas įkaitinimas

Dalelės yra kaitinamos žemiau anglies sublimacijos temperatūros. Dalelių kaitinimas atliekamas trumpu lazerio impulsu. Po kaitinimo dalelės užsidega ir suyra. Matuojamas dalelių skilimas naudojant fotodaugintuvą [19].

8) Šviesos išnykimas

Šie matavimai atliekami neskaidrumo matuokliais ir ertmių mažinimo prietaisais, tačiau tik neskaidrumo matuokliai buvo naudojami atliekant išmetamųjų dujų aerozolių tyrimus. Neskaidrumo matuoklis matuoja šviesos dalį, perduodamą per tam tikrą išmetamųjų dujų tūrį. Šviesos išnykimas (taip pat vadinamas neskaidrumu arba dūmų neskaidrumu) dėl absorbcijos ir sklaidos yra skirtumas tarp krintančios ir sklindančios šviesos [19].

9) Mikrobalanso metodas

Mikrobalansai naudoja rezonanso dažnio pokytį, kad nustatytų KD, nes dalelės surenkamos ant svyruojančio elemento paviršiaus. Yra du pagrindiniai matavimo prietaisai, kuriuose naudojamas mikrobalanso metodas: kūginis virpesių mikrobalansas ir kvarcinių kristalų mikrobalansas. Kūginis virpesių mikrobalansas matuoja KD masę pagal kūginės kvarco lazdelės rezonanso dažnio pokyčius, dėl dalelių kaupimosi mėginių ėmimo filtre, kuris yra prijungtas prie lazdelės antgalio. Kvarcinio kristalo mikrobalanse kvarco kristalas turi pjezoelektrinę savybę keisti savo rezonanso dažnį, kai jo paviršiuje yra nedidelis masės kiekis. Dalelės nusėda elektrostatinio nusodinimo būdu smulkiame kvarce ant kristalų rezonatoriaus [19].

1.3.2 Dydžių pasiskirstymo matavimo metodai ir instrumentai

Dydžio pasiskirstymo metodai matuoja aerozolio dydį, kuris gali būti nurodytas ir aerozolio koncentracija. Paprastai dalelių dydžio pasiskirstymas matuojamas derinant kelis matavimo instrumentus. Šis derinys apima dalelių įkėlimą į koronos įkroviklį, dalelių dydžio klasifikaciją ir aptikimą [19].

1) Mikroskopija

Aerolio mėginių ėmimas dalelių dydžio analizei mikroskopu, paprastai apima dalelių surinkimą tiesiai iš filtrų, kurie specialiai paruošiami, kad būtų pagerintas matomumas. Be kietųjų dalelių matmenų, elektroninė mikroskopija taip pat tiria jų morfologiją [19].

2) Smūginis (impakto) metodas

Impaktorius yra prietaisas, skirtas matuoti dydžio pasiskirstymą masėje, o tai yra veikimo principas gravimetrija su keliais smūgio etapais. Kai kuriuose įrenginiuose randamos kelios angos. Dažniausiai naudojami impaktoriai yra kaskadiniai, kurie veikia remiantis inercine dalelių klasifikacija [19].

3) Difuzinė baterija

Dalelės, kurių dydis mažesnis nei $0,1 \mu\text{m}$ nėra stipriai įtakojamos gravitacinės ir inercijos jėgos. Todėl jų elgesys nėra gerai reprezentuojamas aerodinamikos skersmeniu, kuris yra įprastas matavimas tradicinėje įrangoje. Vietoj to, dalelių judėjimas paprastai įtakojamas difuzijos. Tokiu būdu lygiavertis tūrio skersmuo gautas difuzinėje baterijoje tampa tinkamesnė nanometriniams dalelėms [19].

4) Mobilumo analizatorius

Mobilumo analizatorius naudoja bipolinį difuzinį įkrovimą, kad suteiktų tiksliai apibrėžti krūvio pasiskirstymas aerozolyje. Po pakrovimo dalelės įterpiamos į elektrostatinę klasifikatorių leidžiantį dalelėms praeiti siaurame elektrinio mobilumo diapazone. Klasifikuotos dalelės matuojamos elektrometru arba kondensacijos dalelių skaitikliu [19].

5) Išcentrinis dalelių masės matavimas

Išcentrinis dalelių masės matavimas gali būti atliekamas naudojant išcentrinį dalelių masės analizatorių arba aerolio dalelių masę. Prietaisas sudarytas iš dviejų bendraašių cilindrinėse elektrodų, vienas vidinis ir kitas išorinis. Vidinis elektrodas sukasi šiek tiek greičiau nei išorinis elektrodas. Eidamos pro elektrodus, apkrautos dalelės patiria elektrostatinę ir išcentrinę jėgas, tai veikiant priešingomis kryptimis [19].

6) Diferencialinio mobilumo spektrometrai

Tarp spektrometrų, pagrįstų dalelių mobilumu, labiausiai žinomi diferencialiniai mobilumo spektrometrai ir greito mobilumo dalelių dydžio matuoklis. Greitas integruotas mobilumo spektrometras sudarytas iš pakraunamos talpyklos, dydžio klasifikatoriaus, vieno kondensatoriaus ir vieno detektoriaus [19].

7) Elektrinis žemo slėgio impaktorius

Jis klasifikuoja daleles pagal jų aerodinamines skersmens savybes, be to matuojama koncentraciją ir dalelių pasiskirstymo skaičius (nuo 7 nm iki 10 μm). Matavimai yra artimi realiajam laikui. Dalelių dydžio pasiskirstymo skaičiai lengvai ir greitai gaunami naudojant elektrinį žemo slėgio impaktorių, tačiau šis metodas priklauso nuo aerozolio tankio [19].

2.2 lentelė

Įvairių dalelių matavimo prietaisų palyginimas ir specifikacijos [19]

Instrumentas	Realiu laiku	Papildomas apdorojimas	Aptikimo riba	Dydžių diapazonas (nm)	T (%)	Privalumai	Trūkumai
Filtrai	Ne	Taip	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Priklauso nuo išankstinio paruošimo	5	Paprastas, patikimas, cheminė analizė	Daug darbo
Išsibarstymas	Taip	Ne	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>50	30	-	Didelių KD matavimas
Taškinis matuoklis	Ne	Ne	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	All	15	Matavimas BC	Didelis atsako laikas
FST, LSĮ	Taip	Taip, Ne	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>10	10	Matavimas BC	Reikalingas kalibravimas
Neskaidrumas	Taip	Ne	0.1% neskaidrumo	>50	20	-	Priklauso nuo kelių faktorių
KEVM	Taip	Priklausomai nuo mėginių ėmimo vietos	-	D	-	Puikiai dera su filtrų mėginiais	Jei koncentracija didelė, filtrą reikia pakeisti
ŽSS	Ne	Ne	-	30–10,000	-	Didelis diapazonas	Netinka smulkesnėms dalelėms
DDMM	Ne	Taip	100 / cm^3	3–700	15	Labai mažos dalelės	Netinka didesnėms dalelėms
GDDMM	Taip	Taip	1000 / cm^3	5–700	25	Greitas, gerai parodo proceso pokyčius	Netikslesnis nei DDMM

3.2 lentelės tęsinys

Instrumentas	Realiu laiku	Papildomas apdorojimas	Aptikimo riba	Dydžių diapazonas (nm)	T (%)	Privalumai	Trūkumai
EŽSS	Taip	Taip	1000 /cm ³	10–10,000	25	Patikimas ir platus diapazonas	Plačios kanalų plokštelės gali turėti įtakos rezultatui

Pagal 1.2 lentelėje pateiktas specifikacijas ir palyginimus galima įvertinti, kur ir koki prietaisą būtų galima panaudoti optimaliausiai atsižvelgiant į esamas sąlygas ir panaudojimo tikslus.

2. KIETŪJŲ DALELIŲ IDENTIFIKAVIMO METODIKA

2.1 Realiu laiku ore sklindančių dalelių identifikatorius

Rapid-E yra pirmasis pasaulyje instrumentas skirtas tiksliai ir visapusiškai analizuoti atskiras aerolio daleles realiuoju laiku. Visiškai automatizuotas, jis aptinka bet kokias ore esančias daleles nuo 0,5 iki 100 mikrometrų, suderintas ir apimantis daugybę pritaikymų aplinkos stebėjimui ir ne tik. Rapid-E ne tik atlieka matavimus realiuoju laiku, bet ir renka ore esančių dalelių mėginius, kurie gali būti skirti laboratorinei analizei. Naudojimui lauke prietaisas turi korpusą, kuris atlaiko nuolatinę aplinkos poveikį nuo -30°C iki $+45^{\circ}\text{C}$ temperatūros diapazone [17].

Rapid-E technologija pagrįsta morfologine analize naudojant šviesos sklaidą ir cheminę analizę naudojant didelės skiriamosios gebos lazeriu sukeltą fluorescenciją ir fluorescencijos trukmę. Kiekvienai dalelei registruojami išsklaidytos šviesos modelio ir lazerio sukeltos fluorescencijos parametrai atspindintys unikalų optinį atspaudą. Ši analizė leidžia labai tiksliai identifikuoti rūšis realiuoju laiku ir rekordiškai mažą klaidingų teigiamų rezultatų skaičių [17].

Aplinkos oras į prietaisą patenka per angą įrenginio viršuje. Mėginio oro srautas yra iki 2,8 L/min, kai skaičiavimo greitis yra iki 4500 dalelių aptikimų per minutę. Prietaiso mažiausia aptinkama dalelė yra 0,5 μm skersmens, tačiau realiomis aplinkos sąlygomis šis lygis nepasiekiamas [22].

Oro mėginys praeina pro purkštuką, kuris matavimo zonoje sukuria laminarinį srautą. Dalelės sąveikauja su 400 nm lazerio šviesos šaltiniu, o išsibarsčiusi šviesa laike užfiksuojama 24 detektoriais, išdėstytais skirtingais kampais. Informacija apie dalelių chemines savybes gaunama galingu impulsiniu giliųjų UV spindulių lazeriu (320 nm), kuris sukelia fluorescenciją. Dalelės išspinduliuotos fluorescencijos spektras matuojamas 32 jutikliais, atitinkančiais bangų ilgius nuo 350 iki 800 nm aštuonis kartus kas 500 ns., Fluorescencijos gyvavimo trukmė matuojami 4 jutikliais su plačiais spektro diapazonais [22].

Įrenginyje yra keli veikimo režimai. Kadangi giliojo UV lazerio išteklių yra riboti, 400 nm sklaidos vaizdas naudojamas išankstiniam dalelių morfologijos įvertinimui ir sprendimui ar tai gali būti žiedadulkės. Žiedadulkių režimu prietaisas uždega gilų UV lazerį tik 5–100 μm dalelių dydžio diapazonui. Kitas režimas leidžia aptikti daleles nuo 0,5 iki 100 μm sporoms, kietosioms dalelėms ir bakterijų identifikavimui. Tačiau numatomas giliojo UV lazerio tarnavimo laikas šiuo režimu yra daug trumpesnis ypač užterštoje atmosferoje [22].



5.1 pav. Rapid-E prietaisas [17]

Panaudojimas:

- Automatinis aeroalergenų (žiedadulkių ir sporų) stebėjimas [16].
- Bioaerozolių tyrimai [16].
- Oro kokybės tyrimai (KD10, KD2.5, KD1 ir policikliniai aromatiniai angliavandeniliai) [16].

4.1 lentelė

Pagrindiniai Rapid-E techniniai duomenys [16]

Dalelių dydžio diapazonas	0,5-100 μm
Mėginio oro srautas	2,8 l/min (gali būti padidintas iki 28,3 naudojant koncentratorius)
Automatinis oro mėginių ėmimas, daugkartinio naudojimo filtrų skaičius	10
Energijos sąnaudos	200 W
Matmenys (ilgis x plotis x aukštis)	73 x 40 x 34 cm
Drėgmės diapazonas	0-95 %
Svoris	20 kg

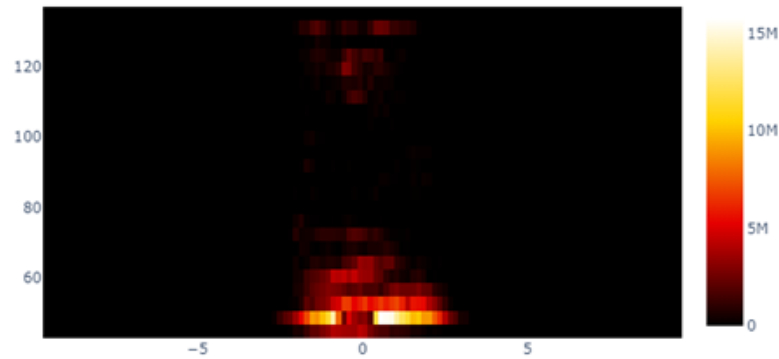
Pagrindinės savybės:

- Vieno bioaerozolio apibūdinimas šviesos sklaida ir UV lazerio sukelta fluorescencija [16].
- Nuotolinis, nuolatinis ir realiu laiku stebėjimas [16].
- Automatinis mėginių ėmimas [16].
- Darbo lauke ir viduje galimybės [16].

Unikalios Rapid-E savybės:

1. Šviesos sklaidos aptikimas.

Kiekviena dalelė, kertanti lazerio spindulį išsklaido lazerio šviesą pagal Mie teoriją, o pikseliai fiksuoja šviesos intensyvumą. Surinkta informacija kas minutę pateikiama gamintojo formato *.raw faile [17].

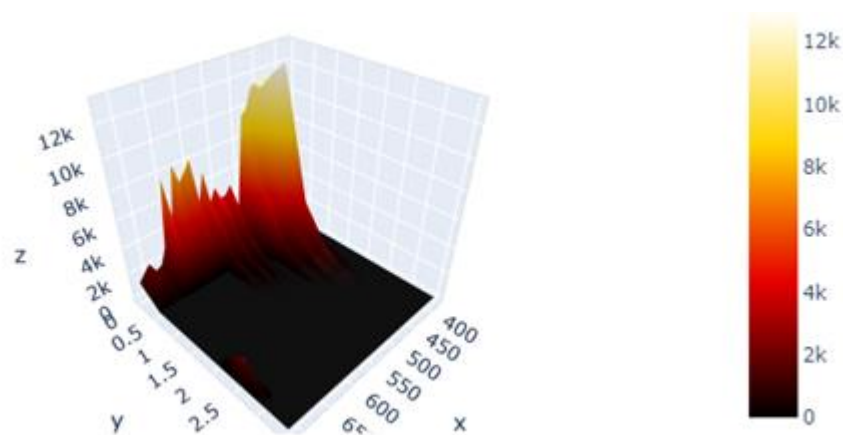


6.2 pav. Rapid-E užregistruoto sklaidos vaizdo pavyzdys [17]

X ašis atitinka skirtingus laiko momentus, Y ašis - sklaidos kampus lazerio ašies atžvilgiu, spalva – užregistruotos šviesos energiją santykiniais vienetais [17].

2. Fluorescencijos matavimai.

Fluorescencinis signalas matuojamas naudojant patentuotą optinių jutiklių išdėstymą, todėl kiekvienos dalelės spektras vienu laiko momentu nustatomas 32 šviesos bangų ilgiams. Spektro registravimas atliekamas 8 kartus, siekiant užfiksuoti spektro kitimą laike [17].

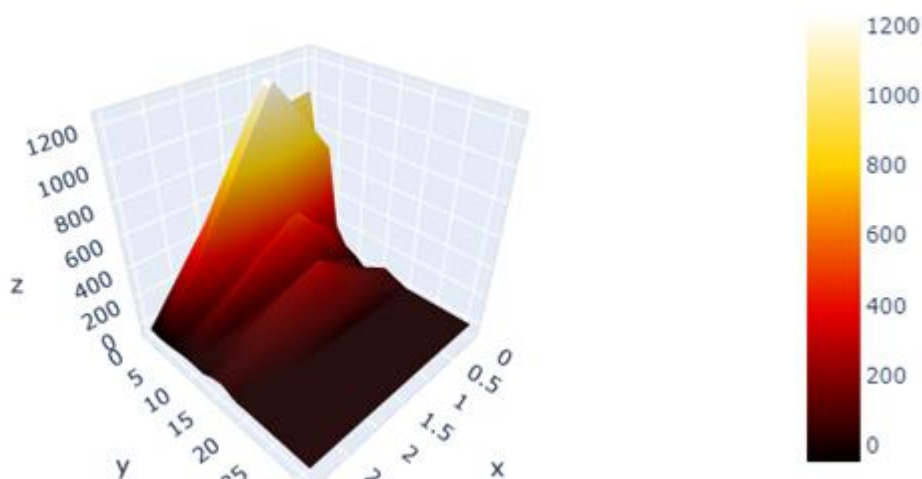


7.3 pav. Fluorescencijos duomenų diagrama [17]

X ašyje bangos ilgiai pavaizduoti nanometrais, Y ašyje rodomas laikas mikrosekundėmis (8 iš eilės gauti duomenys) [17].

3. Fluorescencijos trukmės matavimai.

Fluorescencijos trukmės signalo matavimas atliekamas naudojant patentuotą optinį išdėstymą, todėl kiekvienai dalelei tam pačiam laiko momentui užregistruojamos reikšmės 4 fluorescencinėse juostose. Registravimas atliekamas 100 ns skyra visuose 4 kanaluose [17].

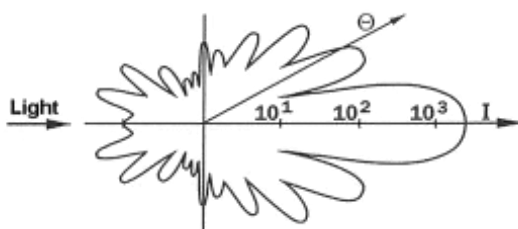


8.4 pav. Fluorescencijos gyvavimo trukmės duomenų diagrama [17]

X ašyje pavaizduoti kanalai viso gyvenimo trukmės, Y ašyje laiko atskaitos [17].

2.2 Kietųjų dalelių fiksavimas pagal Mie teoriją

Mie sklaida yra reiškinys, kai šviesa elastinga išsklaidoma dalelėmis, kurių skersmuo yra panašus į krintančios šviesos bangos ilgį arba didesnis už jį. Mie signalas yra proporcingas dalelės skersmens kvadratui. Išsklaidytas intensyvumas yra stipriai priklausomas nuo kampo ypač mažesnėms dalelėms, į kurias reikia atsižvelgti norint sėkmingai atlikti Mie vaizdavimo eksperimentus. Mie sklaida dažnai naudojama srauto greičiams matuoti taikant dalelių vaizdo greičio matavimo metodą [11].



9.5 pav. Mie sklaidos modelio pavyzdys [11]

Mie sklaida tam tikru atstumu nuo dalelės krintančios šviesos kryptimi yra aprašoma modeliu, kuris aprašo pasiskirstymą priklausomai nuo dalelės dydžio ir krintančios šviesos bangos ilgio. Iš Mie sklaidos modelio galima gauti informaciją susijusią su medžiagos dydžio pasiskirstymu [13].

Kai kurios medžiagos nepraleidžia šviesos ir sugeria energiją. Tokiais atvejais galima daryti prielaidą, kad medžiaga turi itin aukštą lūžio rodiklį. Esant tokioms sąlygoms, skaičiavimai gali būti aprašyti panaudojant Fraunhoferio teorija [13].

Šviesa taip pat gali atsispindėti nuo medžiagos paviršiaus, o tokių duomenų naudojimas matuojant dydį būtų netinkamas [13].

Dar vienas sąveikos atvejis yra ypatingas tuo, kad medžiaga yra šiek tiek skaidri. Šiuo atveju šviesa prasiskverbia pro dalelę taip kaip per deimantą. Deimanto atveju ji lūžta ir sukuria gerai žinomus blizgesius, tačiau prasiskverbdama pro dalelę ji gali padidinti Mie sklaidą. Mie sklaida priklauso tik nuo dalelės dydžio. Atspindys neturi įtakos difrakcijai, bet gali turėti įtakos refrakcijai, jei paviršius pakankamai atspindi. Poveikis refrakcijai būtų apriboti į dalelę patenkančios šviesos kiekį ir taip sumažinti lūžio poveikį difrakcijos modeliui. Refrakcijos poveikį taip pat stipriai veikia dalelės forma. Refrakcija gali turėti didelį poveikį Mie sklaidos vaizdui, tačiau poveikio dydis labai priklauso nuo medžiagos dydžio ir formos [13].

Sferinės dalelės sukurs tą patį lūžio vaizdą, nepaisant jos orientacijos. Matavimo sistemos, kurioje sferinė dalelė nuolat keičia orientaciją krintančios šviesos atžvilgiu, vaizdas visada yra identiškasis ir gali duoti tiksliai apibrėžtą, sustiprintą pašalinę informaciją, kuri gali iškraipyti arba trukdyti apskaičiuoti dalelių dydį pagal difrakcijos vaizdą. Nesferinės dalelės taip pat gali laužyti šviesą ir sukurti sklaidos vaizdą, kuris susideda su difrakcijos vaizdu, kokį sudaro sferinės dalelės, tačiau poveikis yra šiek tiek kitoks. Kiekvienas orientacijos pakeitimas suteiks naują ir skirtingą paviršių šviesai patekti ir lūžti. Šviesai išėjus atsiranda naujas refrakcijos vaizdas, kuris užsikloja ant difrakcijos vaizdo [13].

Kai dalelės yra mažesnės nei 1 mikronas, skaidrios ir mažai sugeriančios (pvz. mažo lūžio rodiklio stiklas), šviesos kelias per jas yra labai trumpas – absorbcija nevyksta [13].

Maždaug 1–10 mikronų diapazone gali atsirasti absorbcijos efektų, tačiau tik tuo atveju, jei reikšmė yra 0,5–1,0 (didelės įsivaizduojamos reikšmės). Vertės, kurios laikomos didelėmis, apimtų suodžius ir metalus [13].

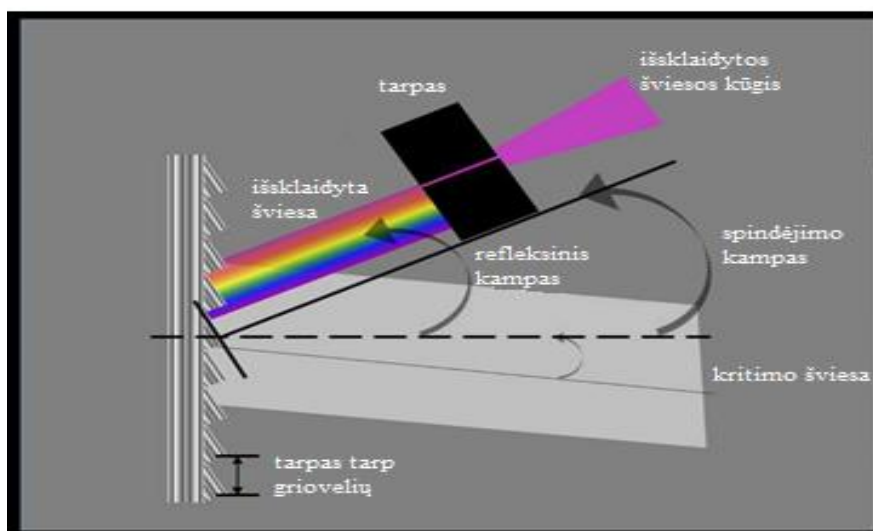
Kai dalelės yra didesnės nei apytiksliai 10–30 mikronų, praleidžiamos šviesos kiekis yra labai mažas, o lūžis apskritai turi labai mažą poveikį. Esant daug didesniems dydžiams skaičiuojant gali būti naudojamos Fraunhoferio teorijos aproksimacinės lygtys [13].

2.3 Fluorescencijos matavimai

Fluorescencija yra reiškinys, kai molekulė sugeria energiją iš gaunamos šviesos ir akimirksniu išspinduliuoja kitą šviesą, kurios spinduliuojamos šviesos bangos ilgis yra ilgesnis nei sugertos šviesos. Fluorescencijos matavimai yra metodai, skirti kiekybiškai vizualizuoti ir apibūdinti fizinių, biologinių ar cheminių procesą, pagrįstą proceso metu vykstančiomis fluorescencijos savybėmis [21]. Sugertas fotonas priverčia molekulę įgauti didesnės vibracinės energijos būseną, kai molekulė sugeria tam tikrą šviesos bangos ilgį. Tada molekulės susiduria su kitomis molekulėmis, todėl jos praranda savo vibracinę energiją ir grįžta į žemiausią sužadintos būsenos vibracinį lygį. Tada molekulė gali grįžti į pradinės būsenos vibracijos lygius. Kai molekulė grįžta į pradinę būseną, ji skleidžia šviesos fotoną, kurio bangos ilgis skiriasi nuo ją sužadinusio bangos ilgio. Tai yra tada, kai molekulė dalyvauja fluorescencijoje [7].

Fluorescencija matuojama fluorometrais. Fluorometras yra prietaisas, skirtas matuoti įvairius fluorescencijos parametrus, įskaitant jos intensyvumą ir spinduliuotės po sužadinimo pasiskirstymą pagal bangos ilgį [7].

Naudojami fluorescenciniai spektrometrai fluoroforų molekulėms sužadinti ir jo skleidžiamai fluorescencijai matuoti. Spektrometras sukuria ultravioletinę arba matomą šviesą naudodamas fotonų šaltinį, pavyzdžiui lazerį, ksenoninę lempą ar šviesos diodus. Šviesa praeina per monochromatorių, kuris išskiria tam tikrą bangos ilgį, dažnai naudodamas difrakcijos gardelę. Difrakcinė gardelė – tai stiklo arba metalo plokštė su labai artimomis lygiagrečiomis linijomis, sukurianti spektrą difrakcijos ir šviesos trukdžių būdu. Išeinanti šviesa išeina tam tikru kampu, priklausomai nuo jos bangos ilgio. Spektrometras fokusuoja monochromatinės bangos ilgį į mėginį. Mėginys skleidžia bangos ilgį, kuris nukeliauja į detektorius. Detektorius paprastai nustatomas 90 laipsnių kampu šviesos šaltinio atžvilgiu, kad būtų išvengta bet kokių trukdžių iš perduodamos sužadinimo šviesos. Išspinduliuoti fotonai pataiko į detektorius. Kompiuterio programinė įranga, kuri prijungta prie detektoriaus sukuria spektrą, grafinį vaizdą parodantį, kokius bangos ilgius mėginys sugeria. Emisijos spektras parodo, kokius bangos ilgius mėginiai skleidžia [7].

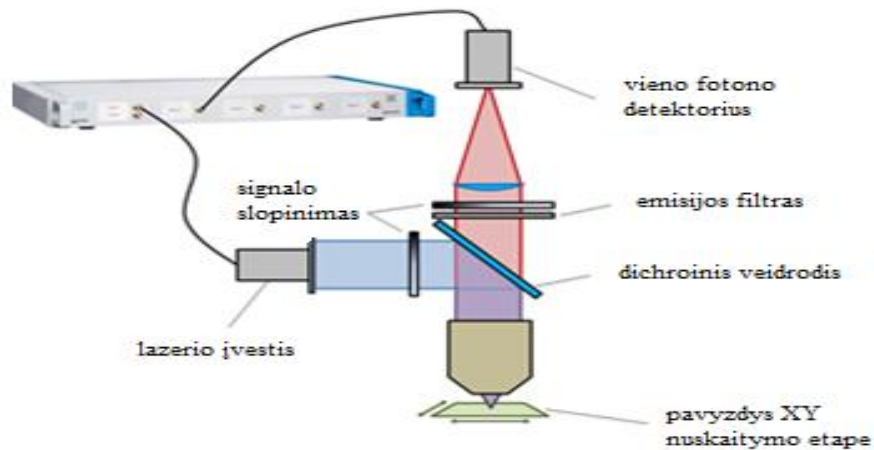


10.6 pav. Spektrometro veikimo principas [7]

Dažniausiai emisijos spektras perkeliamas į ilgesnius bangos ilgius. Laikas nuo absorbcijos iki emisijos gali būti išmatuotas ir vadinamas šios konkrečios fluorescencinės molekulės gyvavimo trukme arba skilimo laiku. Įprasto fluoroforo gyvavimo trukmė yra iki 10 ns. Jei gyvavimo trukmė yra daug ilgesnė (diapazone nuo μs iki ms), tada suaktyvinamas kitoks procesas ir jis vadinamas fosforescencija. Papildomi procesai, tokie kaip gesinimas, krūvio perkėlimas ar molekulinis sukimasis taip pat turi įtakos gyvavimo trukmei. Todėl gyvenimo trukmės ir jos pokyčių matavimas yra svarbus parametras, suteikiantis informacijos apie pagrindinius procesus ir vietinę cheminę aplinką [24].

Norint nustatyti fluoroforo gyvavimo trukmę, laike koreliuotas pavienių fotonų skaičiavimas yra gerai žinomas ir nusistovėjęs metodas. Šioje sąrankoje impulsinis lazeris sužadina norimą mėginį, o skleidžiamus fotonus surenka detektorius. Laike koreliuotų pavienių fotonų skaičiavimui reikalingas „pradžios“ signalas (paprastai lazerio impulso pradžia, suteikiamas lazerio elektronikos) ir „stop“ signalas, kuris išskiriamas iš detektoriaus vieno fotono jautrumu. Šis matavimas kartojamas daug kartų, o laiko skirtumai atvaizduojami histogramoje [24].

Įprastai sąrankai reikalingas impulsinis lazerio šaltinis, vieno fotono detektorius ir tam tikros optikos, kad atskirtų sužadinimą nuo skleidžiamos šviesos (optinių filtrų arba monochromatoriaus) ir tikriausiai slopintuvo, atsižvelgiant į fluoroforo intensyvumą. Kai atliekamas fluorescencinis viso gyvavimo trukmės vaizdavimas, paprastai mėginys perkeliamas naudojant XY nuskaitymo etapą, o informacija apie gyvenimą susiejama su mėginio padėtimi [24].



11.7 pav. Bendras fluorescencijos gyvavimo trukmės matavimų modelis [24]

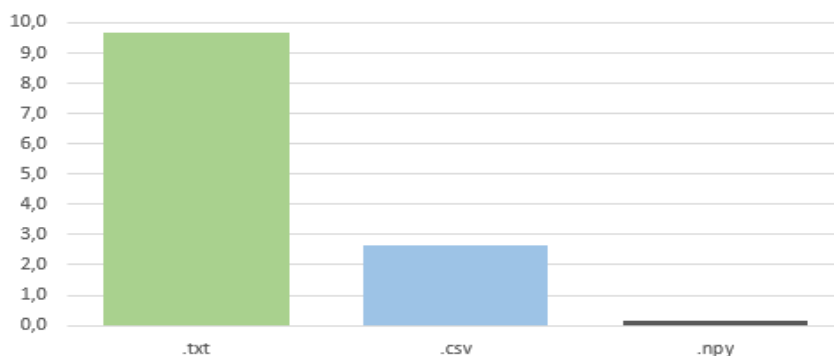
2.4 Duomenų apdorojimas

Rapid-E duomenys apdorojami Python kalba parašytais skriptais. Prietaisas duomenis kas minutę įrašo į kietąjį diską gamintojo formato *.raw failais. Gamintojo pateiktu Python skriptu duomenys konvertuojami į JSON formatą (JavaScript Object Notation).

Reikalingą informaciją patogiau išsaugoti numpy failų formatu NPY, surenkant informaciją iš 1000 minučių atitinkančių įrašų, kad toliau nereiktų dirbti su daug failų ir duomenis būtų galima greičiau apdoroti.

Privalumai dirbant su numpy *.npy failais:

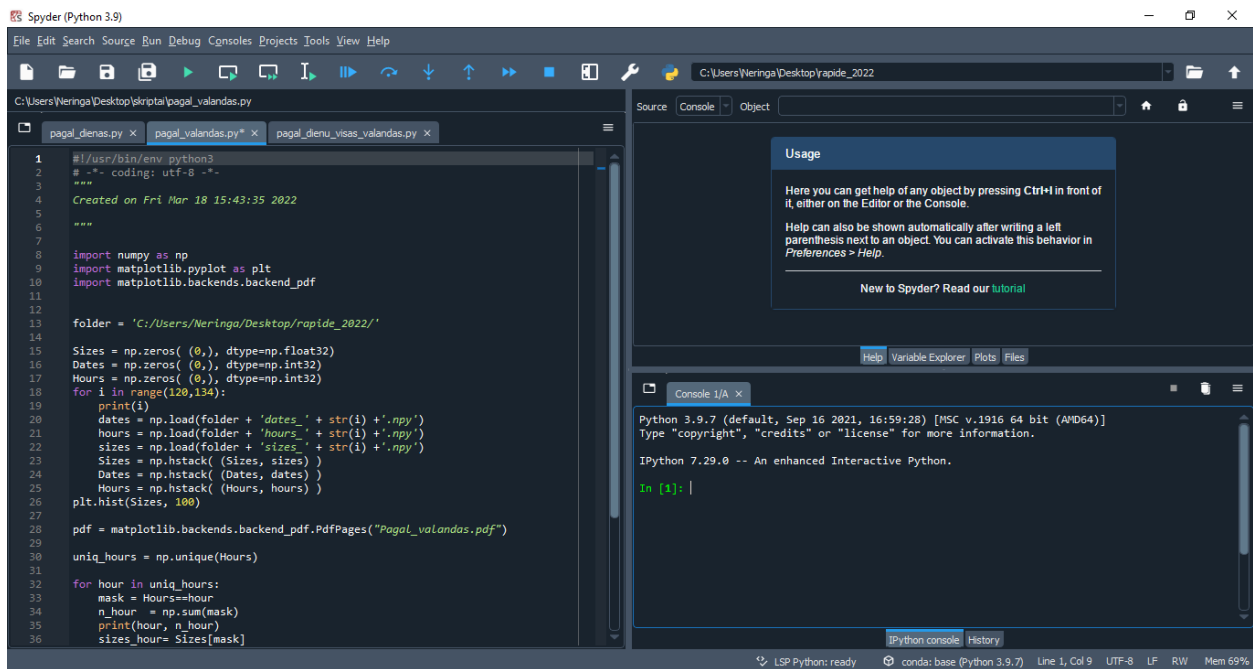
- Duomenų rinkinys išsaugos savo formatą [1].
- Nereikia nurodyti ir pertvarkyti reikšmių iš išorinio tekstinio failo [1].
- Su šiais failais dirbti daug greičiau [1].
- Tai specialus tekstinio failo tipas [1].
- Užima daug mažiau vietos atmintyje nei atitinkamas „csv“ [1].



12.8 pav. Failų laiko palyginimas sekundėmis skaitant 10 milijonų duomenų taškų iš saugyklos

[14]

Gauti duomenys yra apdorojami kompiuteriujė, kuriame yra įdiegtas Anaconda programinis paketas. Python skriptai vykdomi Spyder aplinkoje. Buvo paruošti Python skriptai nuskaityti duomenis iš *.npy failų, suskaičiuoti dalelių dydį pagal Mie sklaidos modelį, vizualizuoti skirtingais būdais. Pagal gautus duomenis galime įvertinti kietųjų dalelių pasiskirstymą ore pagal valandas, dienas ir mėnesius. Pagal tai galime vertinti, kiek dažnai ir kokio dydžio dalelės buvo registruotos.



13.9 pav. Spyder aplinkos su įkeltu Python skriptu darbinio lango pavyzdys

Duomenų atvaizdavimo histogramos yra išsaugomos *.pdf formato failuose, kad būtų lengviau palyginti gautą informaciją. Gautos skaitmeninės reikšmės perkeliamos į Excel failą tolimesniai duomenų palyginimui.

3. TYRIMO REZULTATAI

3.1 Duomenų analizė pagal 2022 m. duomenis

Tyrimui atlikti naudojamas įrenginys yra Rapid-E. Tai sudėtingas prietaisas, kurio pagalba galima registruoti kietąsias daleles, kurios yra ore ir plika akimi nematomos.

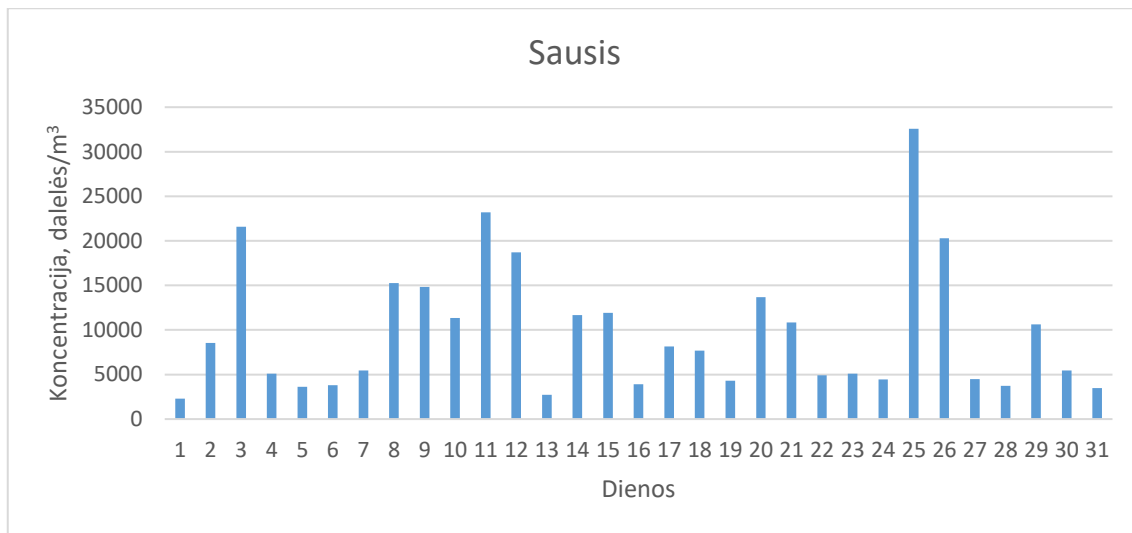
Duomenys tyrimui buvo naudojami šių metų sausio, vasario, kovo ir balandžio (iki 17 d.) mėnesių. 3.1 lentelėje pateikti duomenys, kurie buvo užfiksuoti 2022 m. sausio – balandžio mėnesiais. Iš pateiktų duomenų buvo nubraižytos diagramos įvertinti kietųjų dalelių koncentraciją.

5.1 lentelė

Sausio, vasario, kovo ir balandžio mėnesių vidutinė kiekvienos dienos užfiksuota dalelių koncentracija

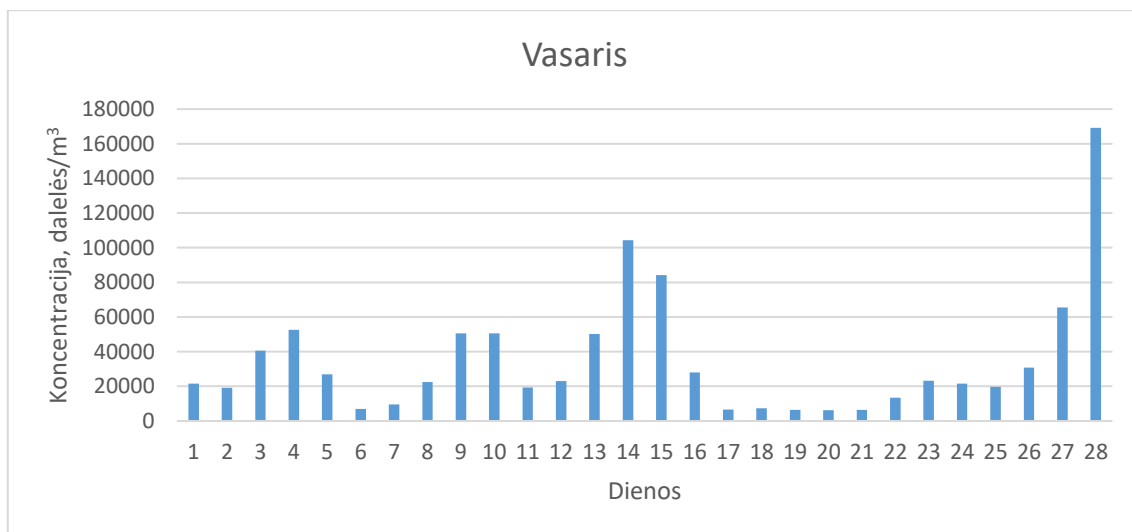
Diena	Koncentracija, dalelės/m ³				Diena	Koncentracija, dalelės/m ³			
	Sausis	Vasaris	Kovas	Balandis		Sausis	Vasaris	Kovas	Balandis
1	2294	5508	61453	37411	17	8148	1664	11097	5934
2	8555	4912	45041	32218	18	7688	1893	10939	
3	21573	10388	23702	15711	19	4316	1617	4349	
4	5085	13461	26028	51516	20	13686	1592	3014	
5	3634	6860	23692	15439	21	10827	1652	3726	
6	3789	1782	13149	10718	22	4916	3412	3326	
7	5455	2436	19176	10554	23	5091	5940	3447	
8	15267	5735	11732	11026	24	4448	5523		
9	14847	12903	11855	11503	25	32578	5058		
10	11352	12911	38243	6659	26	20299	7852		
11	23188	4960	29690	18807	27	4478	16728		
12	18713	5880	35032	24765	28	3722	43249	575	
13	2737	12838	14745	18420	29	10609		111	
14	11658	26658	11385	28864	30	5445			
15	11924	21502	9084	10358	31	3492		22835	
16	3926	7157	6522	7103					

2294 – žymėjimas geltona spalva žymi savaitgalius arba švenčių dienas.



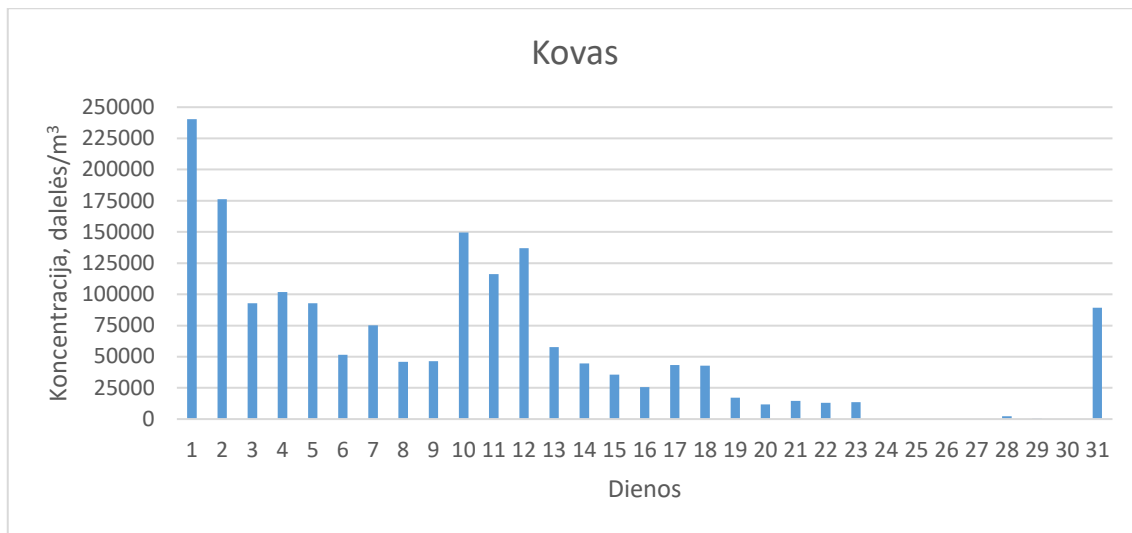
14.1 pav. Vidutinė sausio mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija

Iš pateiktos sausio mėnesio diagramos (žr. 3.1 pav.) matyti, kad didžiausia fiksuota kietųjų dalelių koncentracija yra 25 d., bet taip pat galima matyti, jog yra kelios dienos, kai buvo fiksuota nemaža dalelių koncentracija t. y. sausio 3, 11, 12 ir 26 dienomis.



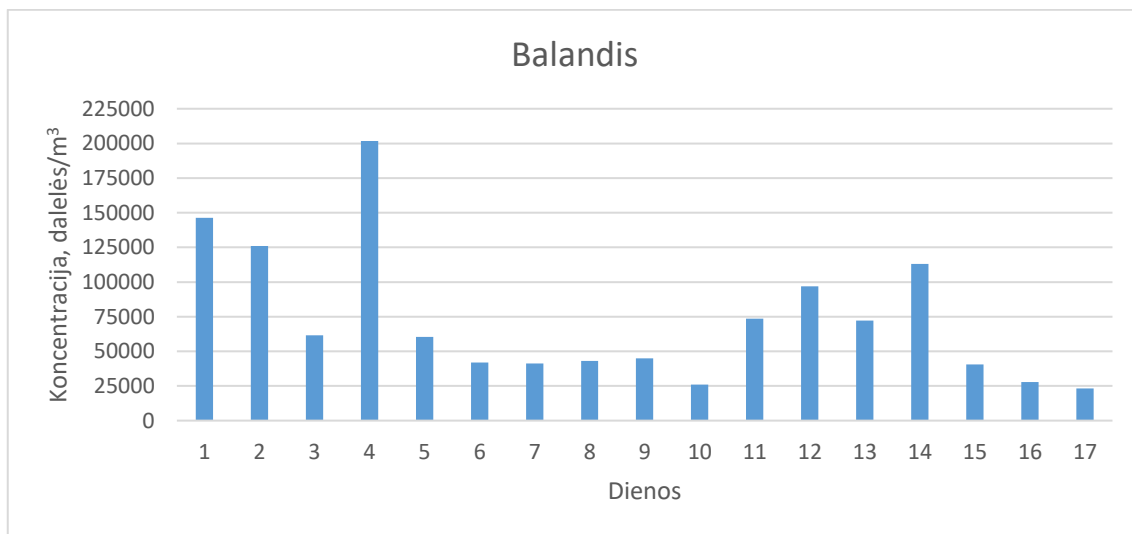
15.2 pav. Vidutinė vasario mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija

Vasario mėnesio diagramoje (žr. 3.2 pav.) galima pastebėti tik 1 dieną (28 d.), kada dalelių koncentracija ore buvo didžiausia ir dvi dienos, kada dalelių koncentracija buvo ženkliai pakilusi nuo įprastos dalelių koncentracijos viso mėnesio laikotarpiu.



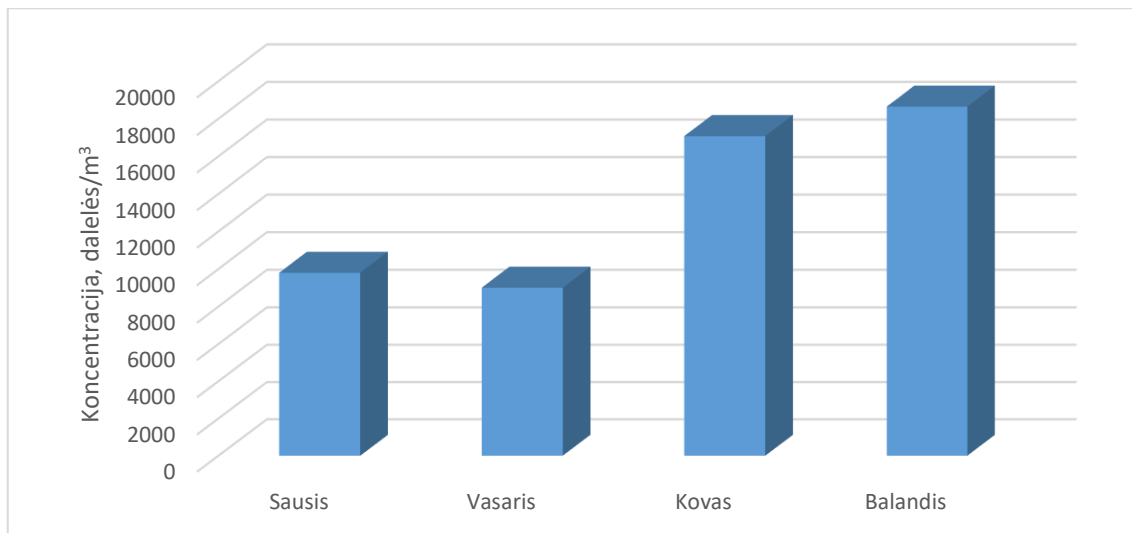
16.3 pav. Vidutinė kovo mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija

Kovo 1 d. (žr. 3.3 pav.) buvo fiksuota didžiausia dalelių koncentracija ir palaipsniui mažėjo iki mėnesio vidurio, kai koncentracija 3 dienas vėl buvo padidėjusi, o paskui ženkliai sumažėjo.



17.4 pav. Vidutinė balandžio mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija

Iš pateiktos balandžio mėnesio diagramos (žr. 3.4 pav.) matyti, kad tik kelias dienas buvo fiksuota didesnė dalelių koncentracija. Didesnė dalelių koncentracija buvo fiksuojama mėnesio pradžioje ir viduryje. Likusiomis dienomis dalelių koncentracija buvo panaši.



18.5 pav. Sausio, vasario, kovo ir balandžio mėnesių užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracijos vidurkių palyginimas

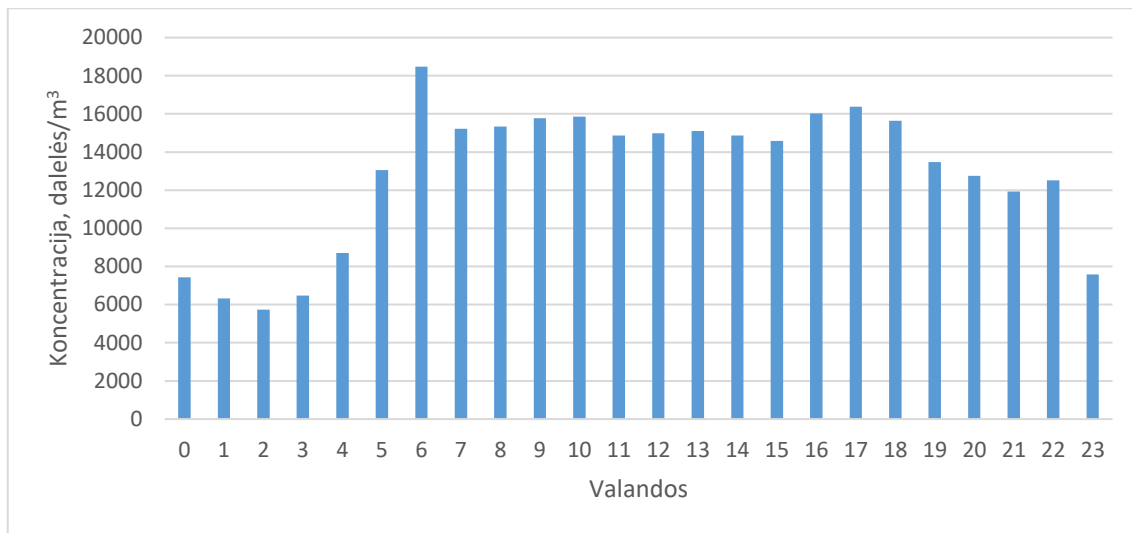
Palyginus visų mėnesių rezultatus (žr. 3.5 pav.) matyti, kad didžiausia koncentracija buvo užfiksuota balandžio mėnesį, o mažiausia vasarį.

6.2 lentelė

Sausio, vasario, kovo ir balandžio mėnesių dienų užfiksuotas tomis pačiomis valandomis kietųjų dalelių koncentracijos vidurkis

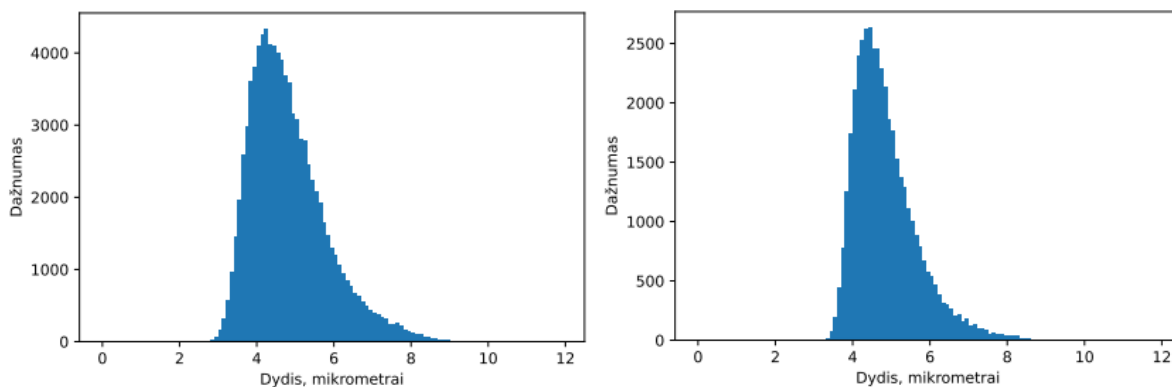
Valandos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Koncentracija, dalelės/m³	7433	6330	5742	6470	8700	13056	18471	15221	15333	15781	15859	14865
Valandos	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Koncentracija, dalelės/m³	14993	15109	14865	14582	16022	16379	15645	13474	12758	11938	12520	7579

Pagal gautus 4 mėnesių duomenis, kurie pateikti 3.2 lentelėje, buvo padaryta diagrama įvertinti dalelių koncentracijos pasiskirstymą paros laikotarpyje. Diagramoje (žr. 3.6 pav.) matyti, kad didžiausias kietųjų dalelių koncentracija fiksuojamas nuo 5 val. iki 22 val. Taip pat galima matyti, jog didžiausia užfiksuota dalelių koncentracija yra 6 val. ryte. Didžiausia dalelių koncentracija vyrauja dienos metu, kad padidėja eismas, gamyklų darbas kiti įvairūs darbai: statybos, kelio remontai ir pan.

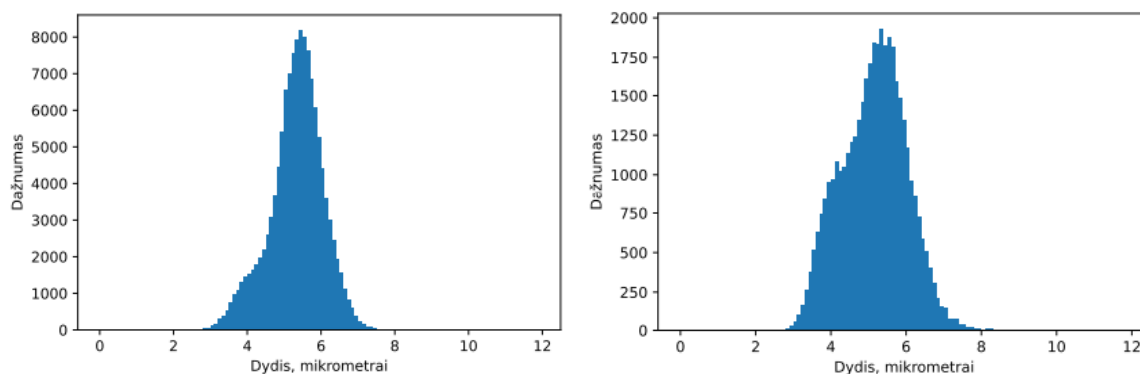


19.6 pav. Sausio, vasario, kovo ir balandžio mėnesių dienų užfiksuotas tomis pačiomis valandomis kietųjų dalelių koncentracijos vidurkis

Išanalizavus surinktus duomenis pastebėta, kad fiksuojamų dalelių dydis kinta nuo 3 iki 8,5 μm (žr. 3.7 pav. ir 3.8 pav.). Dažniausiai fiksuojamų dalelių dydžio diapazonas svyruoja nuo 4 iki 6 μm . Šį diapazoną dar galima suskirstyti į du atskirus diapazonus. Vienas diapazonas būtų nuo 4 iki 5 μm ir jis apima didžiąją dalį dienų, kai fiksuojamas dalelių dydžio maksimumas, o kitas diapazonas – nuo 5 iki 6 μm , kuris apima tik kelias dienas, kada fiksuojamas užregistruotų dalelių maksimumo pasiskirstymas tame diapazone.



20.7 pav. Dalelių dydžio pasiskirstymo histogramos sausio 11 d. (kairėje) ir balandžio 8 d. (dešinėje). Pateiktose histogramose daugiausia kietųjų dalelių, kurių dydis diapazone nuo 4 iki 5 μm



21.8 pav. Dalelių dydžio pasiskirstymo histogramos sausio 25 d. (kairėje) ir vasario 2 d. (dešinėje). Pateiktose histogramose daugiausia kietųjų dalelių, kurių dydis diapazone nuo 5 iki 6 μm

3.2 Duomenų analizė pagal 2020 m. duomenis

Duomenys tyrimui buvo naudojami 2020 metų nuo vasario iki liepos mėnesio. 3.3 lentelėje pateikti duomenys, kurie buvo užfiksuoti 2020 m. vasario – liepos mėnesiais. Iš pateiktų duomenų buvo nubraižytos diagramos įvertinti kietųjų dalelių koncentraciją.

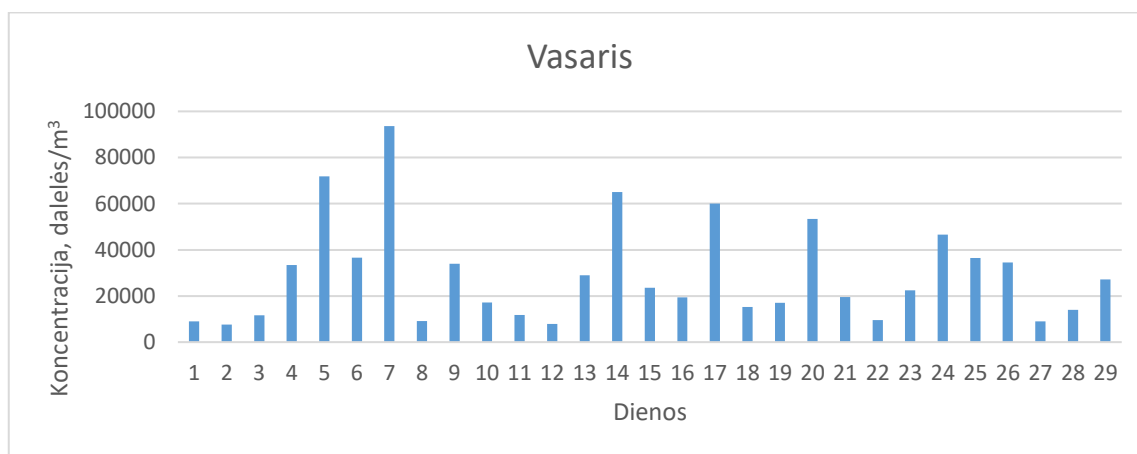
7.3 lentelė

Vasario – liepos mėnesių bendra kiekvienos dienos užfiksuota dalelių koncentracija

Diena	Koncentracija, dalelės/m ³					
	Vasaris	Kovas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa
1	9013	24653	21281	128597	106768	37344
2	7549	67991	22905	23882	115652	52666
3	11628	11797	31610	15940	124358	44676
4	33455	34219	25196	41341	100382	37350
5	71879	59277	36671	45624	178212	24838
6	36559	62438	91197	74706	40333	32334
7	93548	17266	159270	61143	37827	53616
8	9135	36826	83152	91117	58779	39653
9	34020	45745	98326	70631	41522	41822
10	17153	33656	61209	87176	88988	34852
11	11796	16683	45621	43824	52915	33264
12	7872	22780	79112	25298	80186	27685
13	29021	14463	34055	31031	78760	38065
14	65052	16723	34101	33581	60891	51578
15	23590	25215	27441	50107	84719	116878
16	19404	52149	83724	33114	89462	146288
17	60067	41277	47754	17000	115770	105704
18	15276	36481	34187	26235	181746	101541
19	16997	32059	29321	35518	96027	111335
20	53432	68087	59437	40152	93778	134925
21	19591	21679	85224	70380	65022	46378

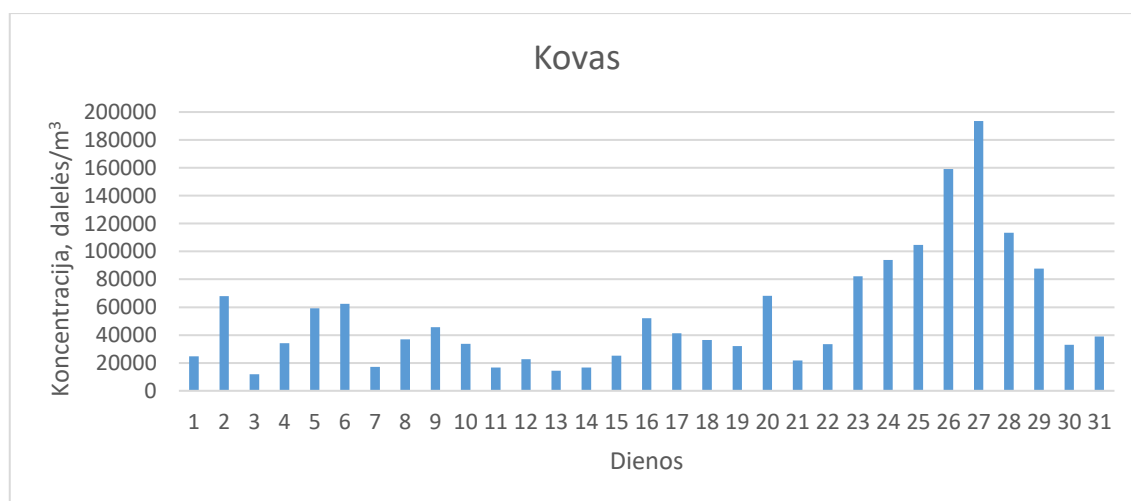
Diena	Koncentracija, dalelės/m ³					
	Vasaris	Kovas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa
22	9514	33524	79156	67503	100152	31918
23	22457	82239	96449	77147	119544	28571
24	46635	93862	114805	25489	88995	37182
25	36398	104707	73908	40222	137975	39075
26	34477	159065	40513	61437	156404	36875
27	8940	193548	83399	55259	90161	69560
28	13979	113349	111123	67592	47847	101035
29	27228	87621	52347	91549	62653	36123
30		33003	102822	139422	54494	29900
31		38891		132515		29358

9013 – žymėjimas geltona spalva žymi savaitgalius arba švenčių dienas.



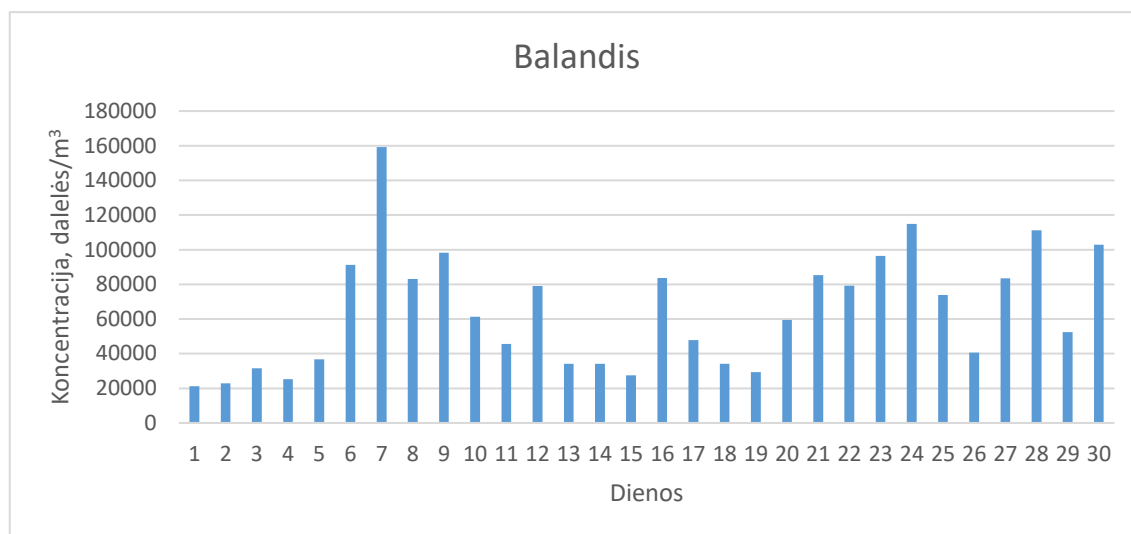
22.9 pav. Vidutinė vasario mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija

Vasario 7 d. (žr. 3.9 pav.) kietųjų dalelių koncentracija ore buvo didžiausia. Viso mėnesio laikotarpiu koncentracija keleta dienų padidėdavo, o paskui sumažėdavo.



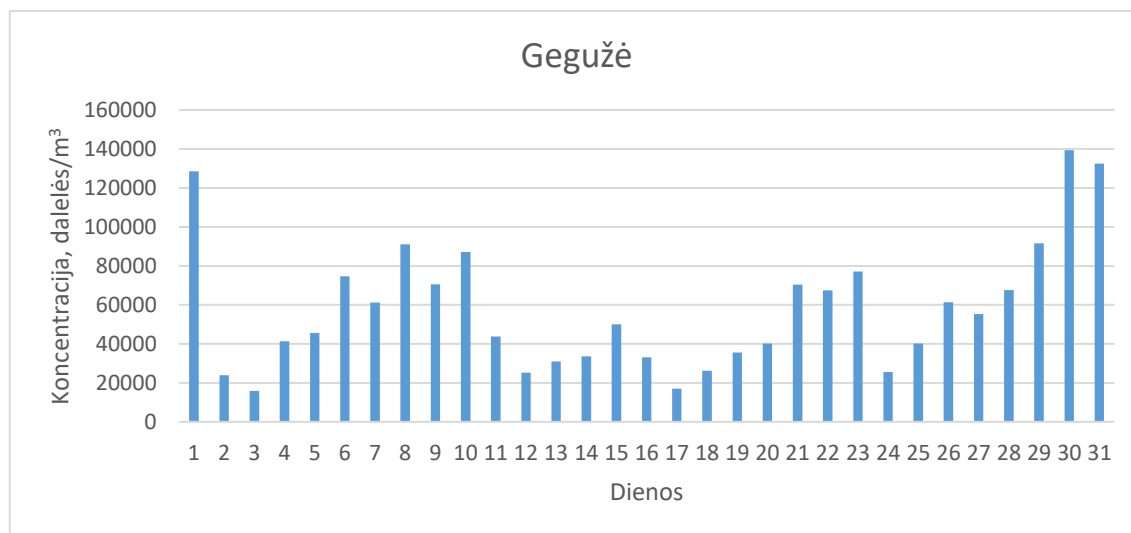
23.10 pav. Vidutinė kovo mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija

Kietųjų dalelių koncentracijos padidėjimas užfiksuotas kovo mėnesio (žr. 3.10 pav.) pabaigoje (nuo 23 d. iki 29 d.). Likusiu mėnesio laikotarpiu koncentracija nežymiai padidėdavo, o paskui sumažėdavo.



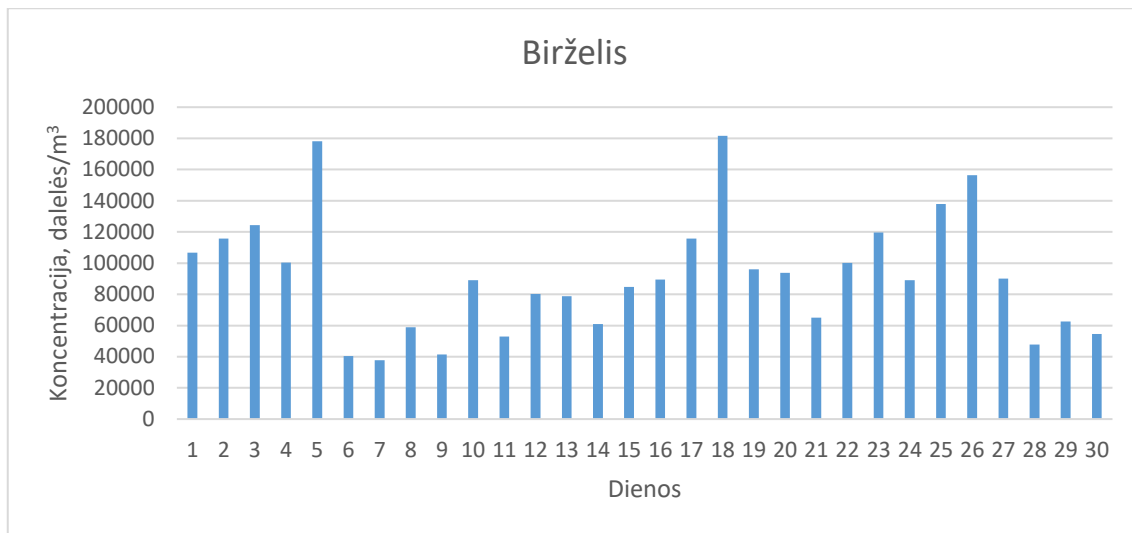
24.11 pav. Vidutinė balandžio mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija

Balandžio 7 d. (žr. 3.11 pav.) kietųjų dalelių koncentracija ore buvo didžiausia. Kietųjų dalelių koncentracijos padidėjimas užfiksuotas balandžio mėnesio pradžioje ir pabaigoje. Mėnesio pirmas kelias dienas ir mėnesio vidurio laikotarpyje dalelių koncentracija buvo mažiausia.



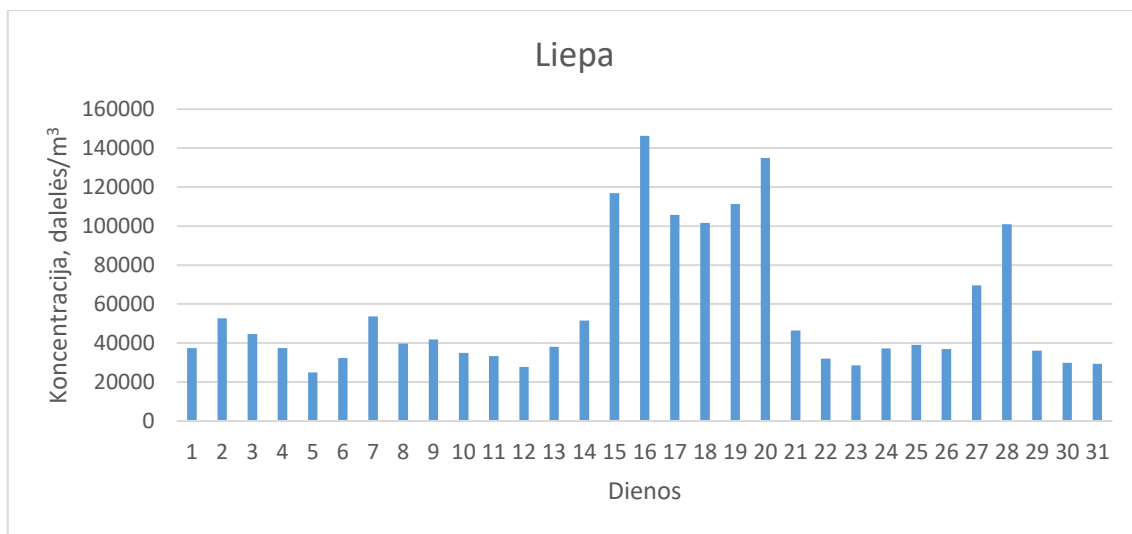
25.12 pav. Vidutinė gegužės mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija

Gegužės mėnesį (žr. 3.12 pav.) kietųjų dalelių koncentracija ore kelta dienų padidėdavo, o paskui sumažėdavo. Toks koncentracijos svyravimas vyravo viso mėnesio laikotarpiu.



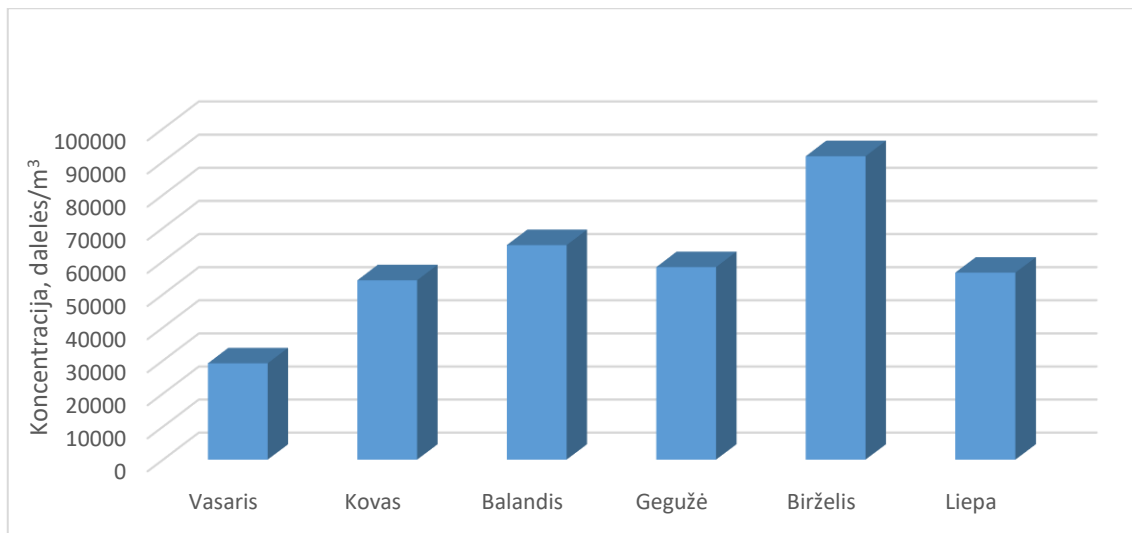
26.13 pav. Vidutinė birželio mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija

Didžiausia kietųjų dalelių koncentracija birželio mėnesyje (žr. 3.13 pav.) buvo užfiksuota 5 ir 18 dienomis. Mažiausia koncentracija buvo 6 ir 7 dienomis. Likusiu mėnesio laikotarpiu koncentracija išliko pakankamai aukšta.



27.14 pav. Vidutinė liepos mėnesio dienų užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracija

Kietųjų dalelių koncentracijos padidėjimas užfiksuotas liepos mėnesio (žr. 3.14 pav.) viduryje (nuo 15 d. iki 20 d.). Likusiu mėnesio laikotarpiu koncentracija nežymiai padidėdavo, o paskui sumažėdavo.



28.15 pav. Vasario – liepos mėnesių užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracijos vidurkių palyginimas

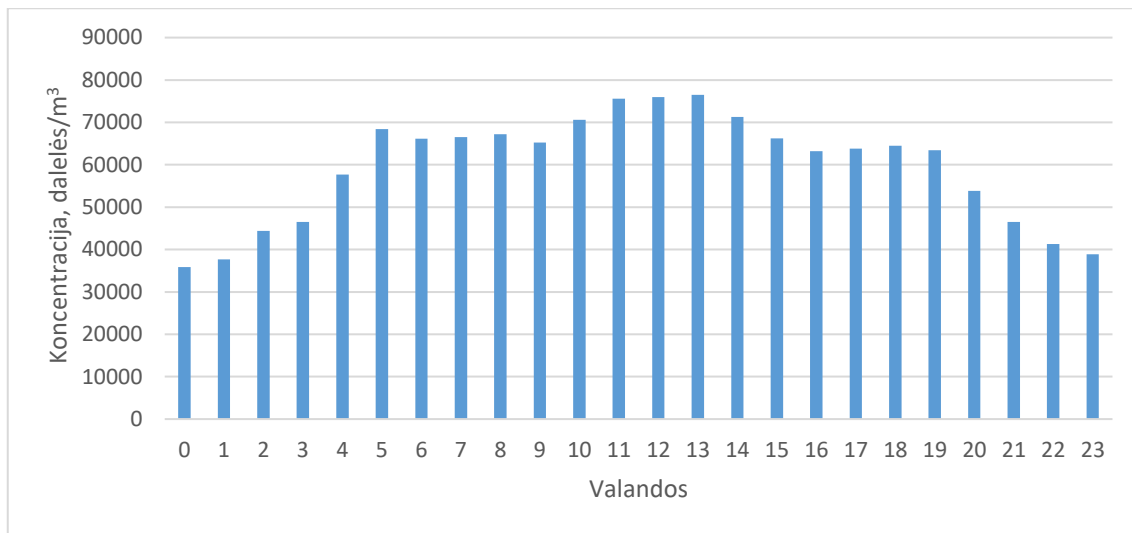
Palyginus visų mėnesių rezultatus (žr. 3.15 pav.) galima pastebėti, kad birželio mėnesį buvo fiksuota didžiausia kietųjų dalelių koncentracija, o mažiausia koncentracija buvo vasarį. Likusių mėnesių dalelių koncentracija buvo panaši su nežymiu koncentracijos pokyčiu.

9.4 lentelė

Vasario – liepos mėnesių dienų užfiksuotas tomis pačiomis valandomis kietųjų dalelių koncentracijos vidurkis

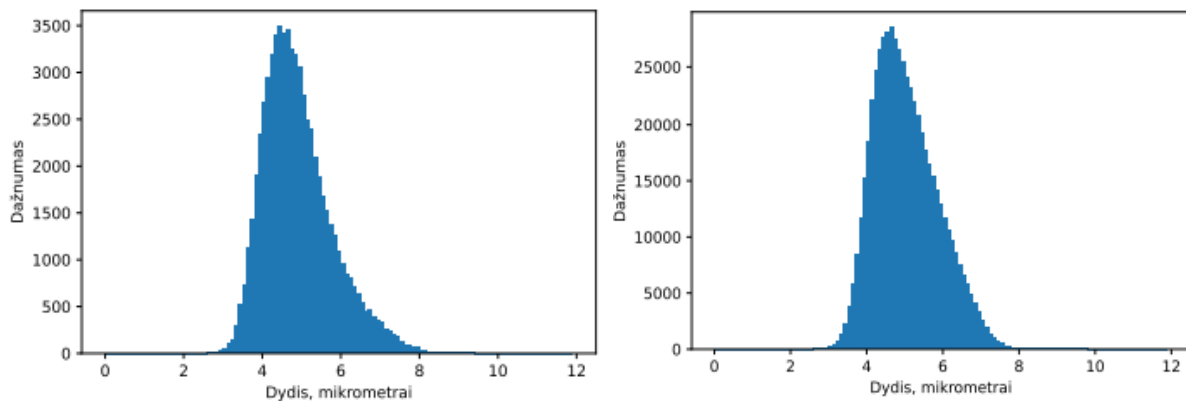
Valandos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Koncentracija, dalelės/m³	35852	37707	44392	46529	57656	68400	66176	66561	67205	65264	70589	75572
Valandos	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Koncentracija, dalelės/m³	75974	76503	71260	66202	63178	63800	64495	63461	53867	46501	41332	38864

Pagal gautus 6 mėnesių duomenis, kurie pateikti 3.4 lentelėje, buvo padaryta diagrama įvertinti dalelių koncentracijos pasiskirstymą paros laikotarpyje. Diagramoje (žr. 3.16 pav.) matyti, kad didžiausias kietųjų dalelių koncentracija fiksuojamas nuo 5 val. iki 19 val. Taip pat matoma, jog didžiausias užfiksuota kietųjų dalelių koncentracijos pikas vyrauja nuo 11 val. iki 13val.

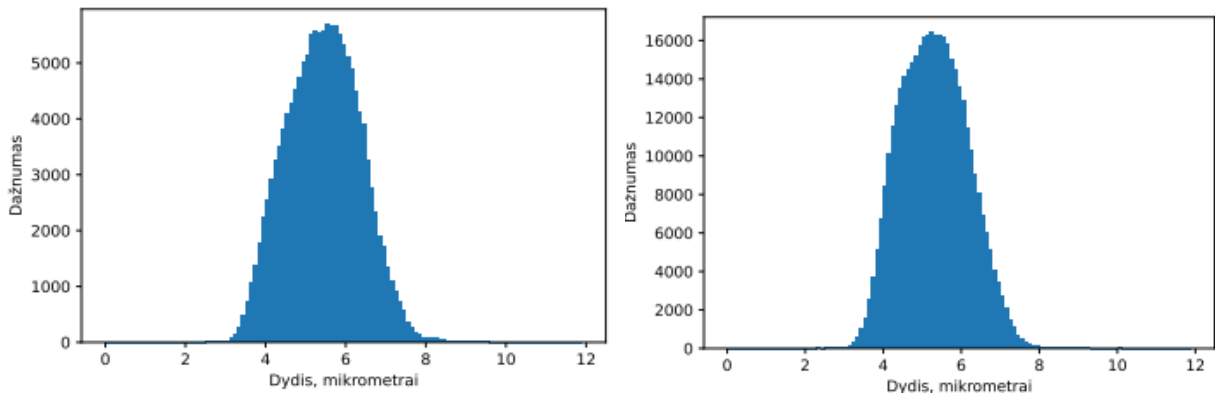


29.16 pav. Vasario – liepos mėnesių dienų užfiksuotas tomis pačiomis valandomis kietųjų dalelių koncentracijos vidurkis

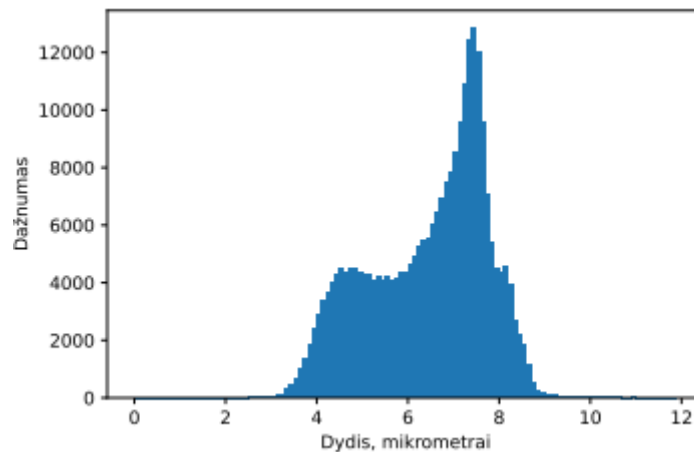
Išanalizavus surinktus duomenis pastebėta, kad fiksuojamų dalelių dydis kinta nuo 3 iki 8 μm (žr. 3.17 pav. ir 3.18 pav.). Dažniausiai fiksuojamų kietųjų dalelių dydžio diapazonas svyruoja nuo 4 iki 6 μm . Šį diapazoną dar galima suskirstyti į du atskirus diapazonus. Vienas diapazonas būtų nuo 4 iki 5 μm ir jis apima didžiąją dalį dienų, kai fiksuojamas dalelių dydžio maksimumas, o kitas diapazonas – nuo 5 iki 6 μm , kuris apima tik kelias dienas, kada fiksuojamas užregistruotų dalelių maksimumo pasiskirstymas tame diapazone.



30.17 pav. Dalelių dydžio pasiskirstymo histogramos vasario 10 d. (kairėje) ir liepos 16 d. (dešinėje). Pateiktose histogramose daugiausia kietųjų dalelių, kurių dydis diapazone nuo 4 iki 5 μm



31.18 pav. Dalelių dydžio pasiskirstymo histogramos vasario 25 d. (kairėje) ir liepos 28 d. (dešinėje). Pateiktose histogramose daugiausia kietųjų dalelių, kurių dydis diapazone nuo 5 iki 6 μm



32.19 pav. Dalelių dydžio pasiskirstymo histograma kovo 2 d. Pateiktoje histogramoje daugiausia kietųjų dalelių, kurių dydis diapazone nuo 7 iki 8 μm

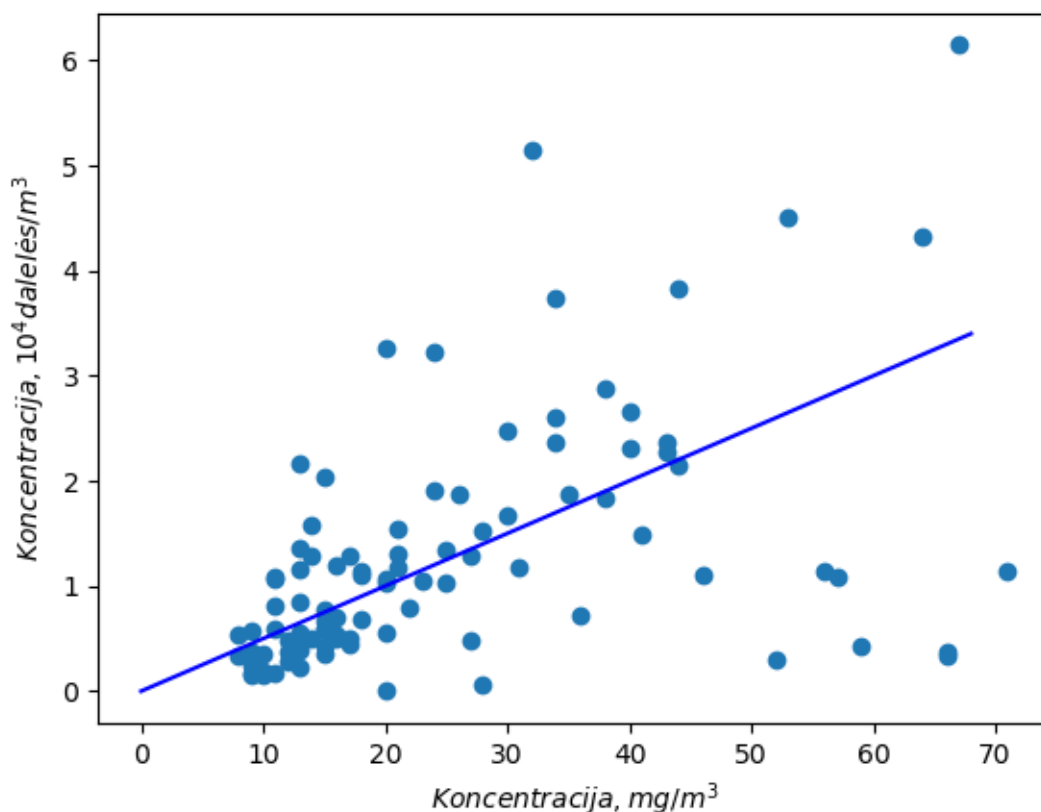
Pagal kovo 2 d. (žr. 3.19 pav.) užfiksuotus duomenis gavosi neįprastos formos kietųjų dalelių dažnumo histograma. Paprastai iš gautų duomenų sudarytos histogramos atrodo panašios į varpo formą. Šioje histogramoje kietųjų dalelių maksimumo pasiskirstymo diapazonas svyruoja nuo 7 iki 8 μm . Tai vienintelis pastebėtas atvejis, kai maksimumo diapazonas yra nuo 7 iki 8 μm ir histograma nėra panaši į varpo formą.

Išanalizavus paros turimus duomenis pastebėta, kad kietųjų dalelių koncentracija padidėja ryte, kai žmonės vyksta į darbus ir vakare, kai jie grįžta namo. Taip pat dalelių koncentracija išlieka aukšta visą dieną, o su mažėja tik vėlai vakare.

Apžvelgus mėnesių kietųjų dalelių koncentraciją pastebėta, kad dalelių koncentracijos padidėjimas būna darbo dienomis, o savaitgaliais koncentracija sumažėja. Tam įtakos turi žmonių veikla, kuri darbo dienomis būna intensyvi, o savaitgaliais praktiškai nevykdoma arba vykdoma mažesniais pajėgumais nei darbo dienomis. Dalelių koncentracijos pasiskirstymui nemažą įtaką

daro vėjo greitis bei kritulių kiekis. Kuo didesnis vėjo greitis bei kritulių kiekis tuo mažesnė dalelių koncentracija. Tiksliai įvertinti negalima, nes kritulių duomenys B priede pateikiami kaip bendras metų vidurkis, o vėjo greičio duomenys C priede pateikti kaip kiekvieno mėnesio dienos vidurkis. Taip pat reikia įvertinti vėjo kryptį, kietųjų dalelių matavimo prietaiso vietą, miesto vietovę ir išplanavimą bei kitus kriterijus.

Šiaulių centrinėje miesto dalyje yra vykdomas Valstybinio aplinkos oro kokybės monitoringas. Jo duomenys pateikti A priede. Turimus duomenis, gautus iš Valstybinio aplinkos oro kokybės monitoringo, galima palyginti su prietaiso Rapid-E duomenimis (žr. 3.20 pav.). Skirtumai gali būti dėl to, kad Valstybinio aplinkos oro kokybės monitoringo buvo fiksuojamas KD10 dalelių masė, o Rapid-E – skaičius. Atskiromis dienomis skiriasi dalelių dydžio pasiskirstymas. Išanalizavus abiejų atvejų užfiksuotus duomenis pastebėta tendencija, kad dalelių koncentracija mėnesių dienomis padidėja ar pamažėja tiek vienu tiek kitu atveju. Tik keletas dienų buvo kai parodymai skyrėsi.



33.20 pav. Valstybinio aplinkos oro kokybės monitoringo (x ašis) ir ir Rapid-E (y ašis) koncentracijų palyginimas. Ištisinė linija turi polinkį 500

IŠVADOS

1. Darbe apžvelgti kietųjų dalelių dydžiai ir atsiradimo šaltiniai. Kuo mažesnės dalelės tuo jos pavojingesnės ne tik žmogaus sveikatai, bet ir aplinkai. Dalelės gali sukelti tam tikras ligas ir alergijas. Pagrindiniai kietųjų dalelių atsiradimo šaltiniai yra gamtiniai ir dirbtiniai. Daugiausia yra dirbtinių, kurie sukeliama žmonių veiklos.
2. Kietųjų dalelių registravimas skirstomas į du tipus: kietųjų dalelių koncentraciją ir dydžio pasiskirstymą. Dalelių koncentracijos matavimai yra svarbūs norint standartizuoti emisijos ribas, kurios garantuoja oro kokybę. Prietaisai, matuojantys dalelių dydžio pasiskirstymą, naudoja dalelių elgseną (difuziją, aerodinamiką ir optinį bei elektrinį mobilumą). Kiekvienas tipas turi tam tikrus metodus ir prietaisus, kurių pagalba registruojamos kietosios dalelės.
3. Įrenginys Rapid-E gali būti naudojamas lauko ir vidaus sąlygomis. Dalelių stebėjimas gali būti vykdomas nuotoliniu būdu ir realiu laiku. Taip pat jo pagalba galima vykdyti mėginių ėmimą, kurie vėliau gali būti perduoti į laboratoriją tolimesniems tyrimams.
4. Rapid-E technologija pagrįsta morfologine analize, panaudojant šviesos sklaidą, ir cheminę analizę, panaudojant didelės skiriamosios gebos lazeriu sukeltą fluorescenciją ir fluorescencijos trukmę.
5. Atlikta gautų duomenų tyrimo analizė, kurios metu įvertinta kietųjų dalelių koncentracija mėnesių dienomis, skirtingu paros laiku bei skirtingais mėnesiais. Pastebėta, kad dalelių koncentracija didžiausia būna dienos metu, o naktį ženkliai sumažėja. Vertinat mėnesių duomenis patebėta tendencija, kad dalelių koncentracija padidėja darbo dienomis, o savaitgaliais sumažėja.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Analyticbox. *Using NPY in NumPy instead of CSV*. Prieiga per internetą: <https://medium.com/analyticbox/using-ntp-in-numpy-instead-of-csv-f53865320687>
2. Aplinkos apsaugos agentūra. *Paros oro kokybės rodikliai*. Prieiga per internetą: <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/oras/oro-kokybes-statistika-ir-duomenys/paros-oro-kokybes-rodikliai>
3. Aplinkos apsaugos agentūra. *Žemėlapis*. Prieiga per internetą: <http://stoteles.gamta.lt/ap3/>
4. Aptowicz, K. B., R. G. Pinnick, S. C. Hill, Y. L. Pan, and R. K. Chang (2006). *Optical scattering patterns from single urban aerosol particles at Adelphi, Maryland, USA: A classification relating to particle morphologies*. Prieiga per internetą: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2005JD006774>
5. Benoît Crouzy, Michelle Stella, Thomas Konzelmann, Bertrand Calpini, Bernard Clot (2016). *Atmospheric Environment. All-optical automatic pollen identification: Towards an operational system* 202–212. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231016304186?via%3Dihub>
6. European Environment Agency. *European Air Quality Index*. Prieiga per internetą: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-index/index>
7. Horiba scientific. *What is a Fluorescence Measurement?* Prieiga per internetą: <https://www.horiba.com/int/scientific/technologies/fluorescence-spectroscopy/what-is-a-fluorescence-measurement/>
8. Ygla. *Kietosios dalelės. Kaip jų neįsileisti į patalpas?* Prieiga per internetą: <https://www.ygla.lt/kietosios-daleles-kaip-ju-neisileisti-i-patalpas2>
9. Janine Fröhlich-Nowoisky, Christopher J. Kampf, Bettina Weber, J. Alex Huffman, Christopher Pöhlker, Meinrat O. Andreae, Naama Lang-Yona, Susannah M. Burrows, Sachin S. Gunthe, Wolfgang Elbert, Hang Su, Peter Hoor, Eckhard Thines, Thorsten Hoffmann, Viviane R. Després, Ulrich Pöschl (2016). *Atmospheric Research. Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions* 346–376. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809516301995?via%3Dihub>
10. Klimas R. (2021), *Šiaulių municipalinis aplinkos oro monitoringas 2021 m. ataskaita*. Prieiga per internetą: https://www.matl.lt/images/dokumentai/AplinkosOroUzterstumas/AplinkosOroMonitoringas2021_Ataskaita.pdf

11. Lavisision. *Mie Scattering*. Prieiga per internetą:
<https://www.lavisision.de/en/techniques/mie-rayleigh-raman/>
12. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. *2022 balandžio mėn. apžvalga*. Prieiga per internetą: <http://www.meteo.lt/lt/2022-balandis#>
13. Microtrac. *Mie Scattering and Mie Theory*. Prieiga per internetą:
www.microtrac.com/knowledge/mie-scattering-mie-theory/
14. Nistrup P. (2019), What is .npy files and why you should use them... *Towards Data Science*. Prieiga per internetą: <https://towardsdatascience.com/what-is-npy-files-and-why-you-should-use-them-603373c78883>
15. Oxford instruments. *Types of Light Scattering*. Prieiga per internetą:
<https://andor.oxinst.com/learning/view/article/scattering-of-light-an-overview-of-the-various-forms-of-light-scattering>
16. Plair. *Rapid-E Bioaerosol Detection and Sampling*. Prieiga per internetą:
<https://www.plair.ch/assets/pdf/Brochure/Rapid-E%20Bioaerosol%20Detection%20and%20Sampling.pdf>
17. Plair. *Rapid-E instrument*. Prieiga per internetą: www.plair.ch/Rapid-E.html
18. San Joaquin Valley. *Particulate Matter (PM) Sources*. Prieiga per internetą:
http://www.valleyair.org/air_quality_plans/AQ_plans_PM_sources.htm
19. Simone Simões Amaral, João Andrade de Carvalho Jr., Maria Angélica Martins Costa and Cleverson Pinheiro (2015). *An Overview of Particulate Matter Measurement Instruments*. Prieiga per internetą: www.mdpi.com/2073-4433/6/9/1327/htm
20. Sinkevičius S. (2011), *Oro tarša: kaip žmogaus organizmą veikia kietosios dalelės?* Prieiga per internetą: <http://naujienos.vu.lt/oro-tarsa-kaip-zmogaus-organizma-veikia-kietosios-daleles/>
21. Springer Link. *Fluorescence Measurements*. Prieiga per internetą:
https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-0-387-48998-8_580
22. Šaulienė I., Šukienė L., Daunys G., Valiulis G., Vaitkevičius L., Predrag Matavulj, Sanja Brdar, Marko Panic, Branko Sikoparija, Bernard Clot, Benoît Crouzy, Mikhail Sofiev (2019). *Automatic pollen recognition with the Rapid-E particle counter: the first-level procedure, experience and next steps* 3435–3452. Prieiga per internetą:
<https://amt.copernicus.org/articles/12/3435/2019/>
23. Thermopedia. *Mie Scattering*. Prieiga per internetą: www.thermopedia.com/content/956/
24. Qutools. *Fluorescence lifetime imaging*. Prieiga per internetą:
<https://qutools.com/qutag/fluorescence-lifetime-measurements/>

25. Weather underground. *Šiauliai, Šiauliai, Lithuania Weather History*. Prieiga per internetą: <https://www.wunderground.com/history/monthly/lt/%C5%A1iauliai/EYSA/date/2022-1>
26. World Health Organization. *Ambient (outdoor) air pollution*. Prieiga per internetą: [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
27. Xprt environmental. *Rapid - Model E - Real-Time Airborne Particle Identifiers*. Prieiga per internetą: <https://www.environmental-expert.com/products/rapid-model-e-real-time-airborne-particle-identifier-552734>

PRIEDAI

Šiaulių centrinės miesto dalies Valstybinio aplinkos oro kokybės monitoringo duomenys

Diena	Išmatuota kietųjų dalelių (KD10) vidutinė paros koncentracija, $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2022 m.			
	Sausis	Vasaris	Kovas	Balandis
1	13	13	67	34
2	13	27	53	24
3	13	20	34	14
4	17	25	34	32
5	15	18	43	21
6	12	10	21	20
7	16	9	24	23
8	28	9	21	18
9	41	14	31	18
10	56	17	44	15
11	40	14		26
12	35	11		30
13	12	27		38
14	13	40	71	38
15	16	44		25
16	13	36		16
17	11	9	46	15
18	15	10	57	18
19	15	9	59	26
20	13	10	52	
21	11	11	66	
22	12	8	97	26
23	16	15	66	29
24	17	20	35	13
25	20	13	50	18
26	15	22	63	17
27	13	30	13	17
28	9	64	28	27
29	11		20	17
30	8		30	16
31	10		43	

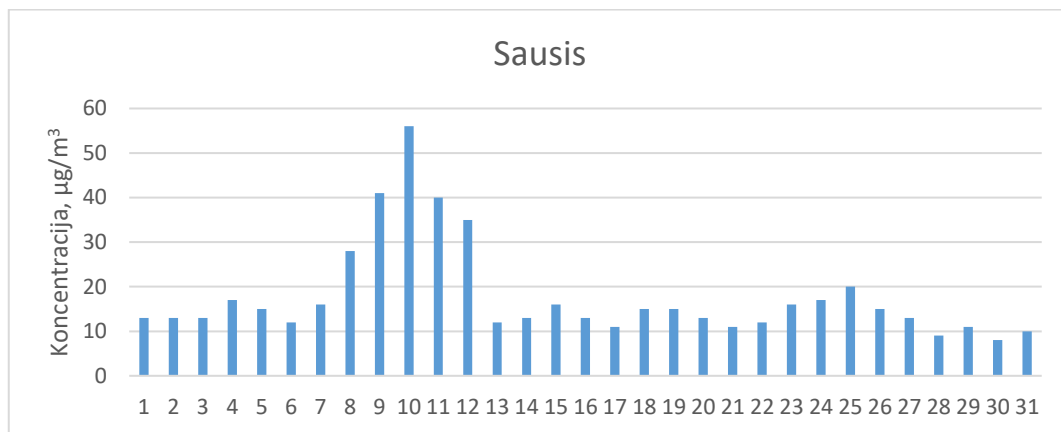
13 – žymėjimas geltona spalva žymi savaitgalius arba švenčių dienas.

Šiaulių centrinės miesto dalies Valstybinio aplinkos oro kokybės monitoringo duomenys

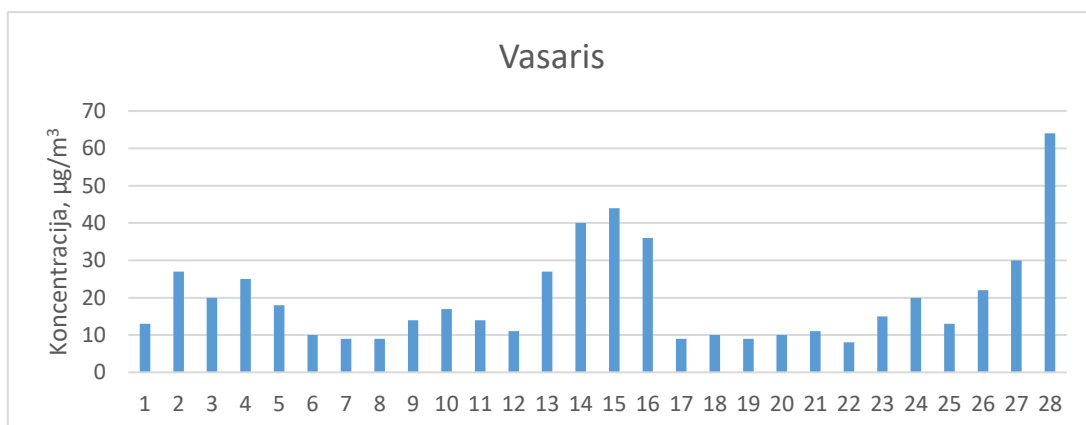
Diena	Išmatuota kietųjų dalelių (KD10) vidutinė paros koncentracija, μg/m ³ , 2020 m.					
	Vasaris	Kovas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa
1	10	21	11	41	31	20
2	7	30	12		30	24
3	9	24	16	12	25	20
4	30	25	12	18	25	20
5	23	35	20	37	29	15
6	23	40	30	35	19	14
7	29	15	51	20	16	20
8	12	25	23	27	27	19
9	35	33	31	26	26	17
10	18	39	15	29	26	16
11	11	17	14	18	27	15
12	9	15	24	17	28	12
13	13	14	18	16	23	17
14	55	9	13	13	18	22
15	37	15	14	17	19	29
16	31	30	28	15	29	32
17	19	17	16	10	34	28
18	14	22	13	11	52	28
19	19	17	15	19	33	30
20	27	16	22	16	33	29
21	23	14	26	20	23	19
22	17	18	22	22	29	13
23	15	43	21		32	18
24	20	37	27		31	20
25	20	42	21	22	47	17
26	28		14	21	42	14
27	8		21	20	35	27
28	14	45	37	24	19	22
29	20	29	17	27	29	18
30		16	30	33	25	15
31		20		30		13

10 – žymėjimas geltona spalva žymi savaitgalius arba švenčių dienas.

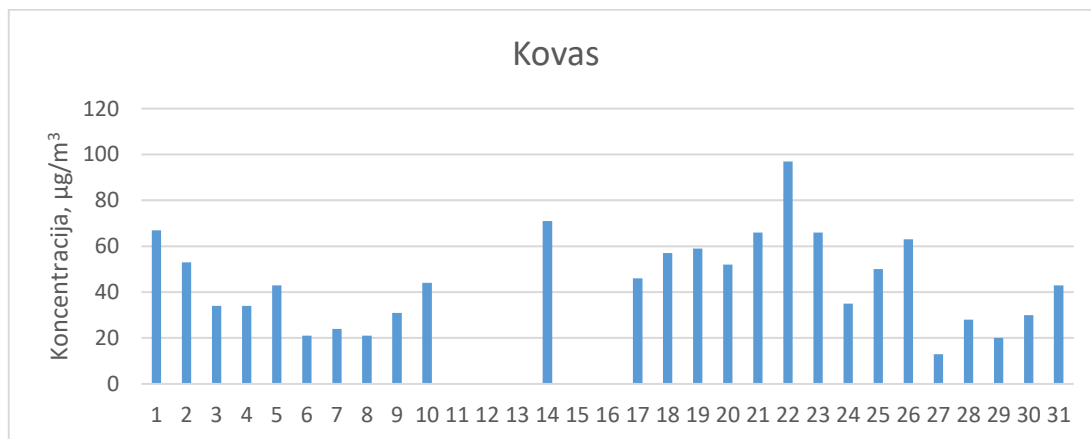
Pagal 2022 m. duomenis (žr. 1 lentelę)



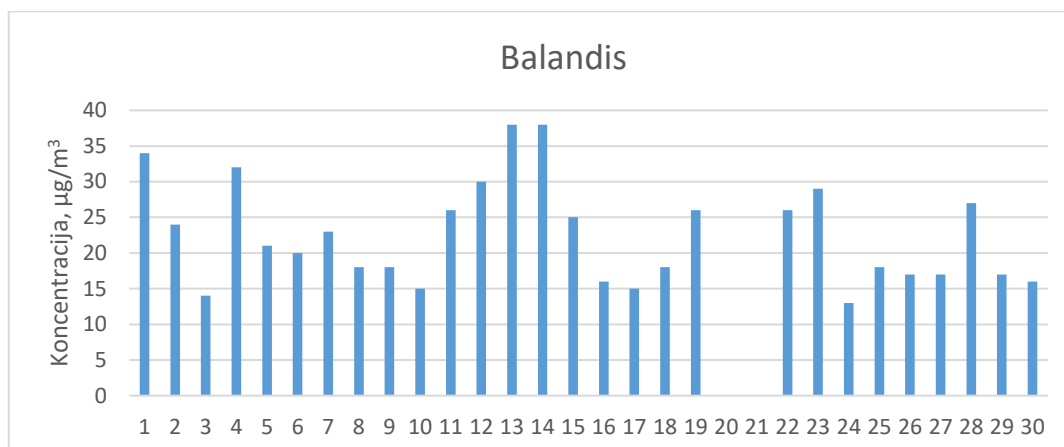
1a pav. Sausio mėn. išmatuota KD10 vidutinė paros koncentracija, 2022 m.



2a pav. Vasario mėn. išmatuota KD10 vidutinė paros koncentracija, 2022 m.

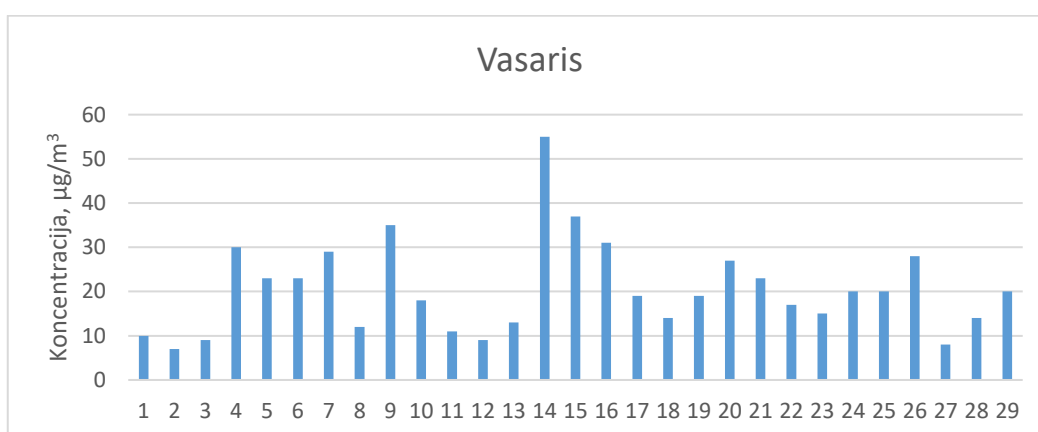


3a pav. Kovo mėn. išmatuota KD10 vidutinė paros koncentracija, 2022 m.

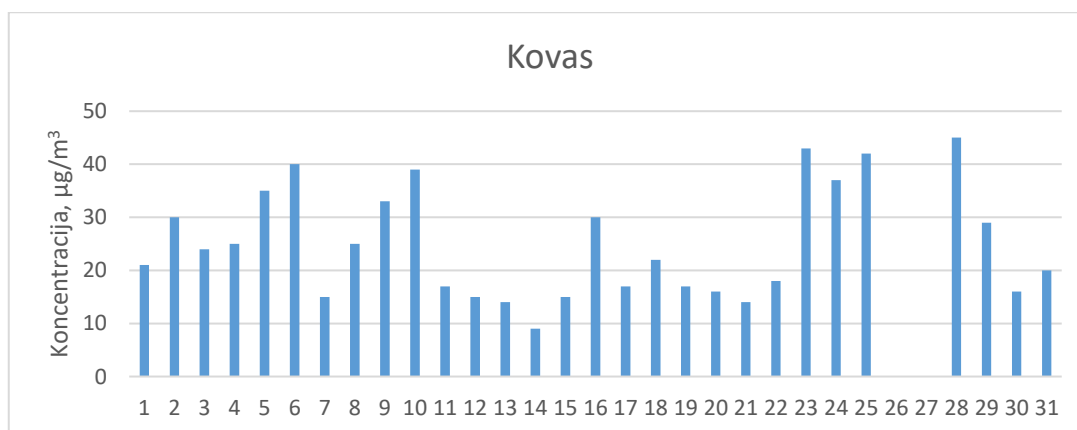


4a pav. Balandžio mėn. išmatuota KD10 vidutinė paros koncentracija, 2022 m.

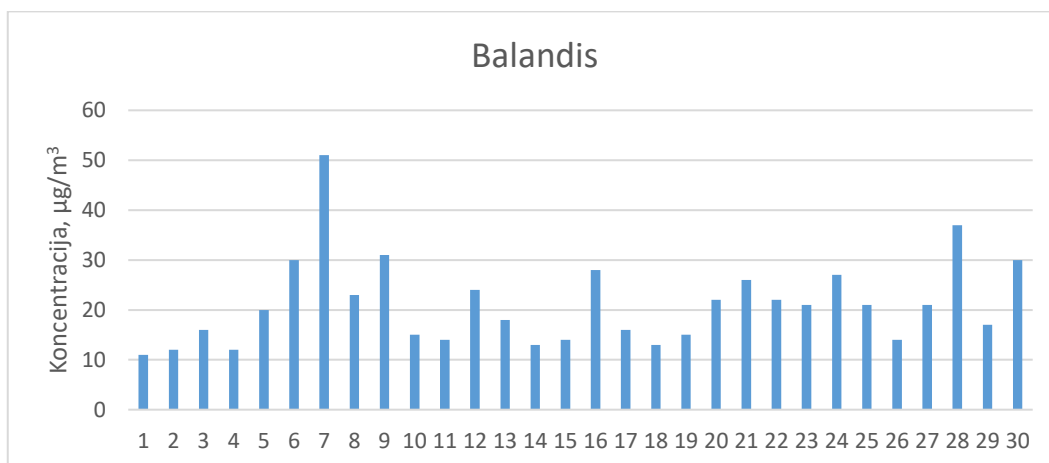
Pagal 2020 m. duomenis (žr. 2 lentelę)



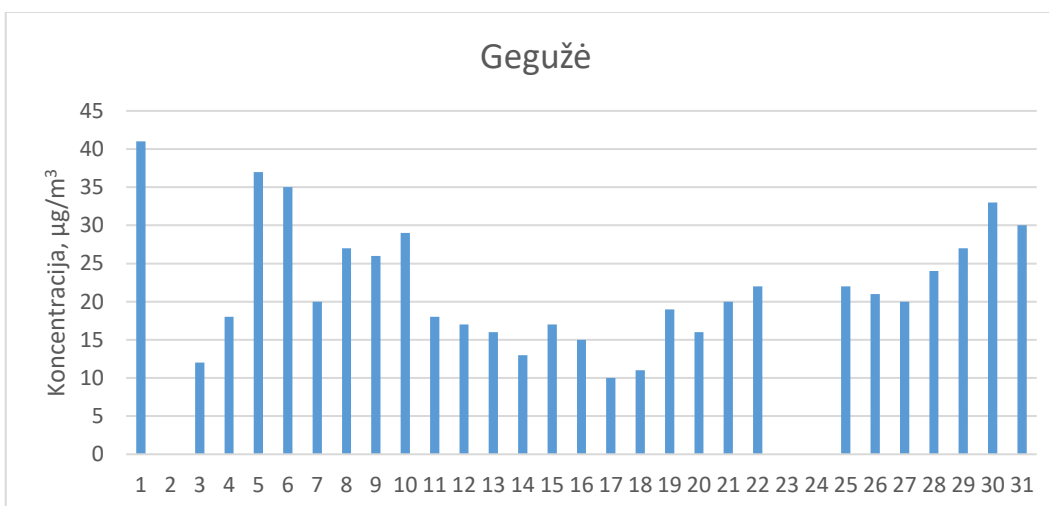
5a pav. Vasario mėn. išmatuota KD10 vidutinė paros koncentracija, 2020 m.



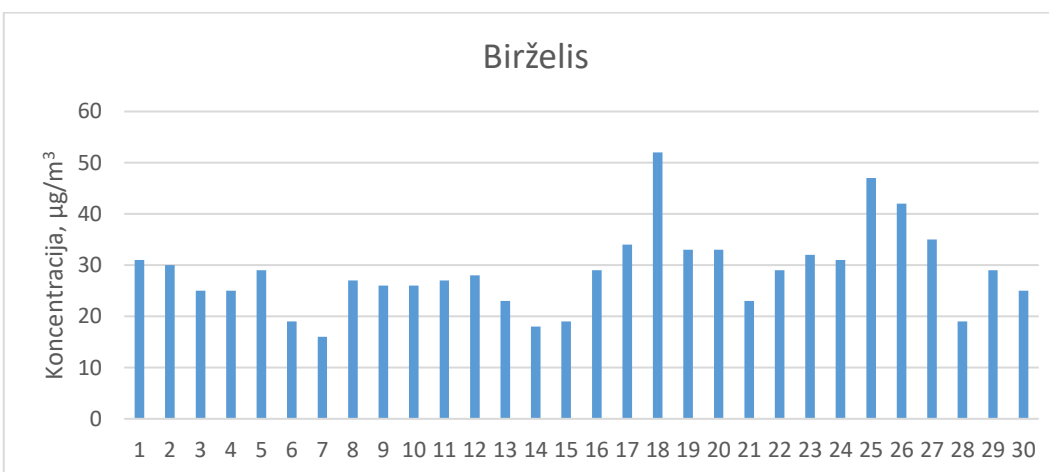
6a pav. Kovo mėn. išmatuota KD10 vidutinė paros koncentracija, 2020 m.



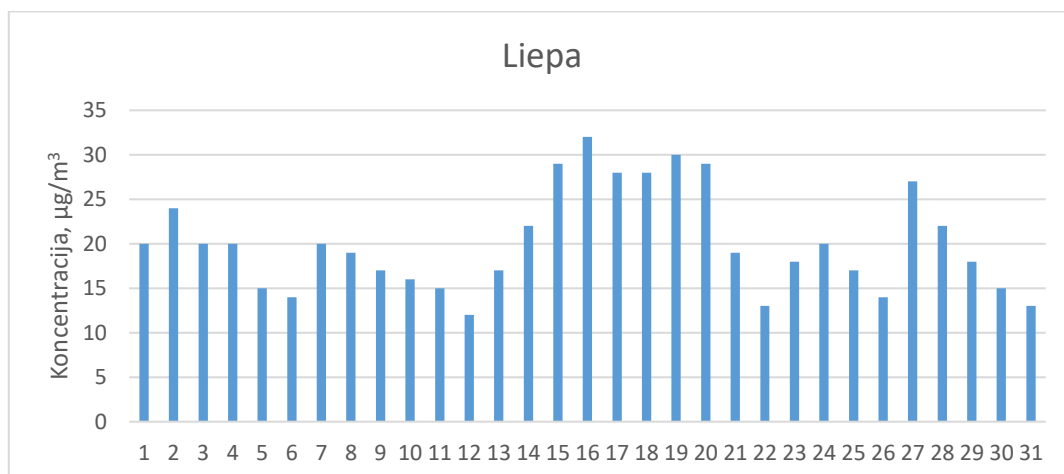
7a pav. Balandžio mėn. išmatuota KD10 vidutinė paros koncentracija, 2020 m.



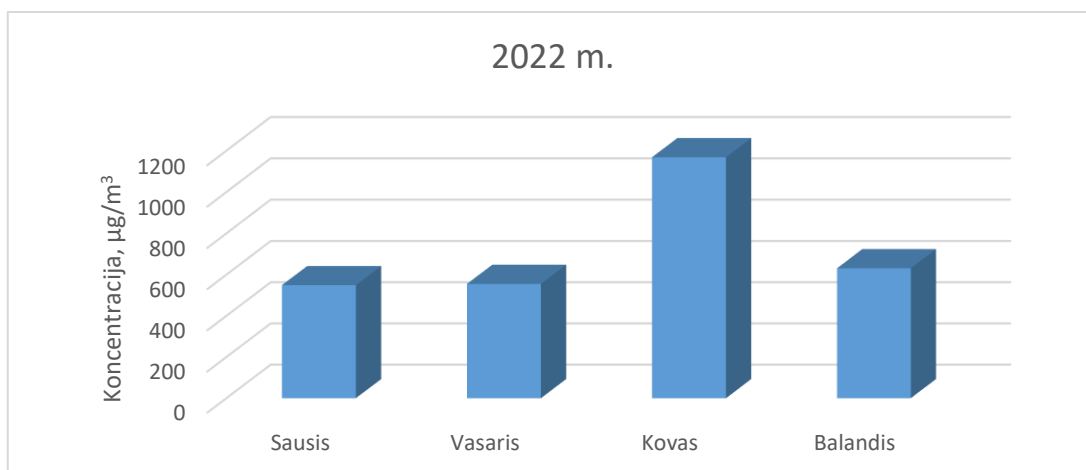
8a pav. Gegužės mėn. išmatuota KD10 vidutinė paros koncentracija, 2020 m.



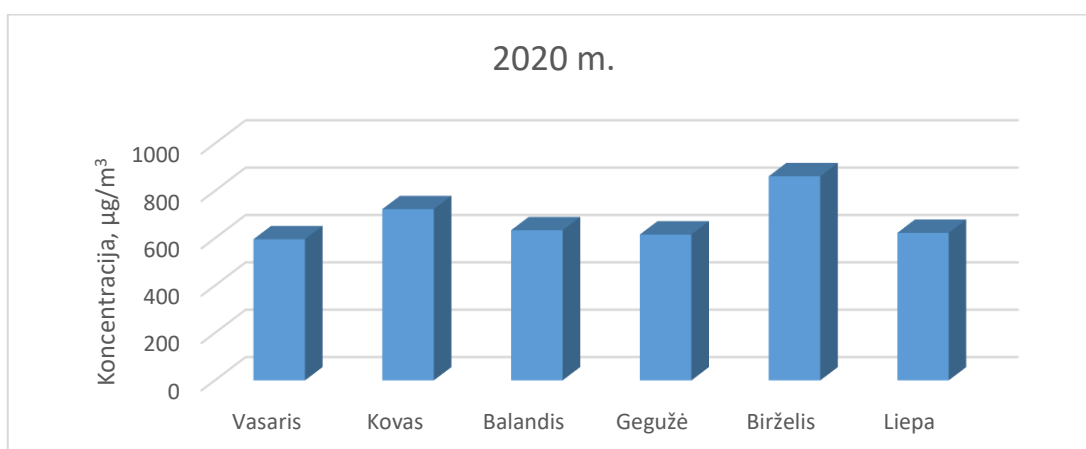
9a pav. Birželio mėn. išmatuota KD10 vidutinė paros koncentracija, 2020 m.



10a pav. Liepos mėn. išmatuota KD10 vidutinė paros koncentracija, 2020 m.

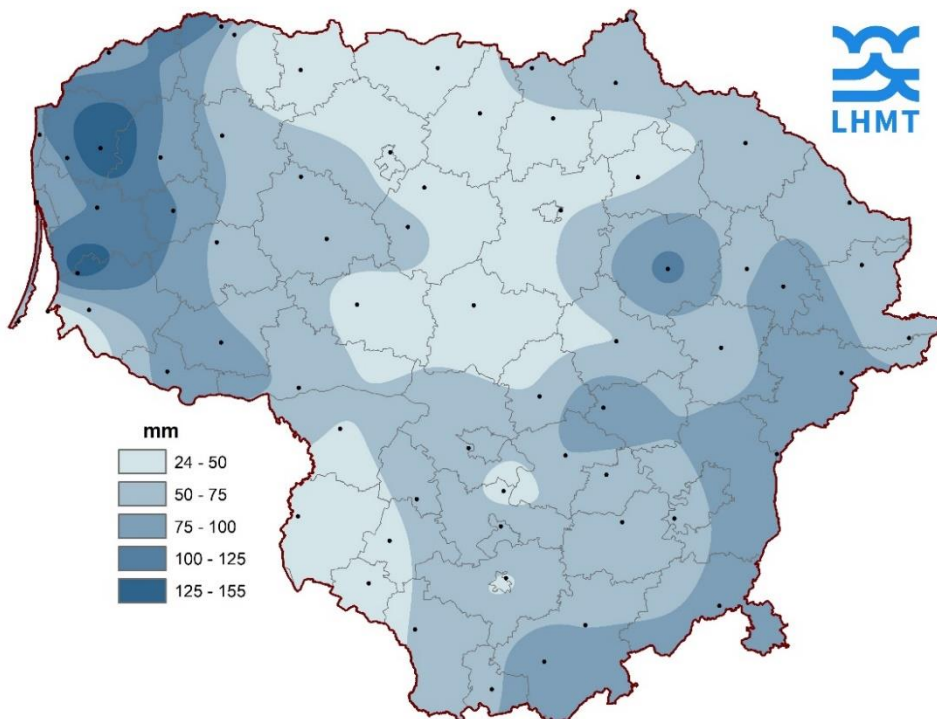


10a pav. Sausio – balandžio mėnesių užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracijos palyginimas

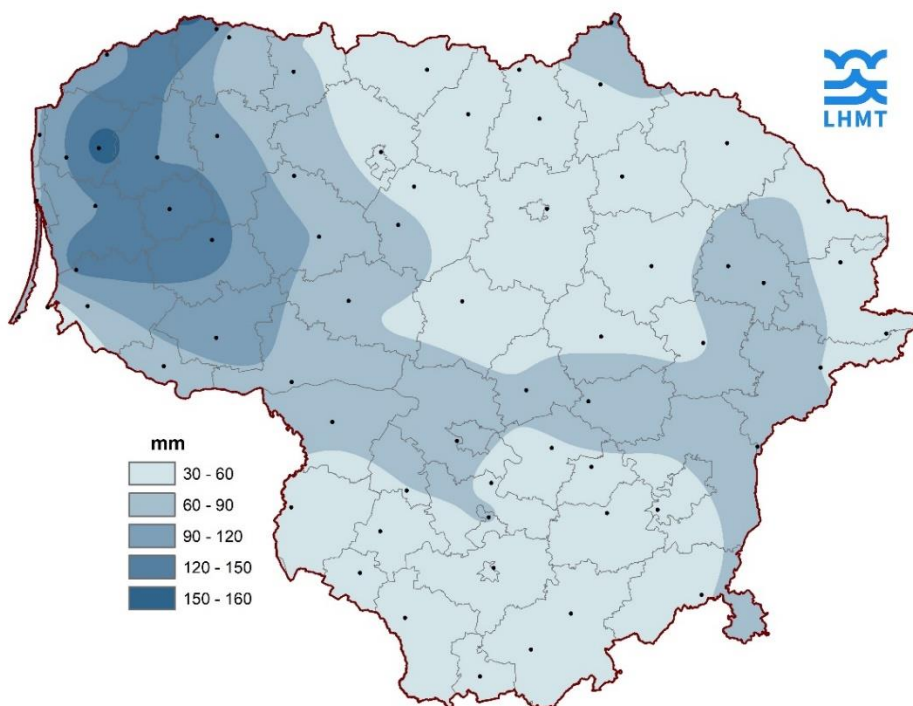


11a pav. Vasario – liepos mėnesių užfiksuotų kietųjų dalelių koncentracijos palyginimas

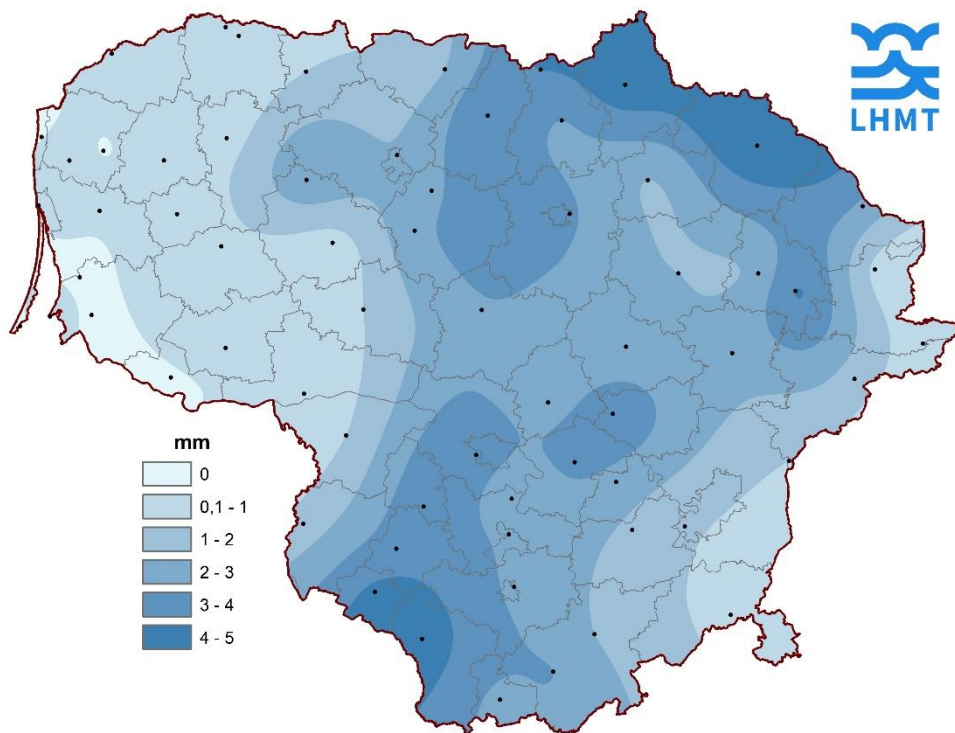
Vidutinis kritulių kiekis Lietuvoje 2022 m. ir 2020 m.



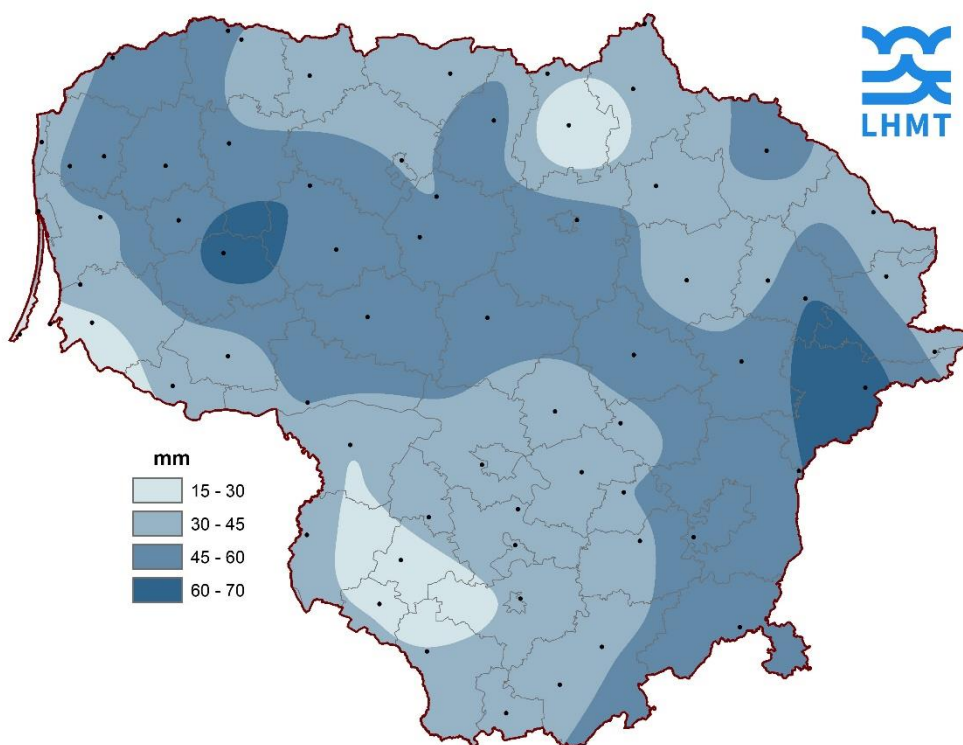
1b pav. Sausio mėnesio vidutinis kritulių kiekis, 2022 m.



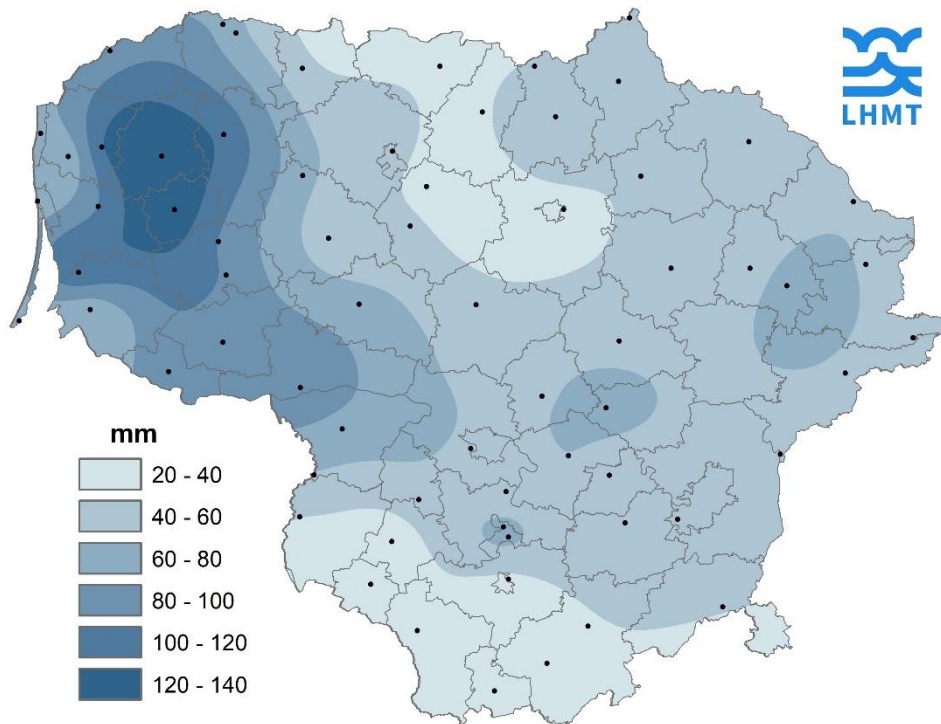
2b pav. Vasario mėnesio vidutinis kritulių kiekis, 2022 m.



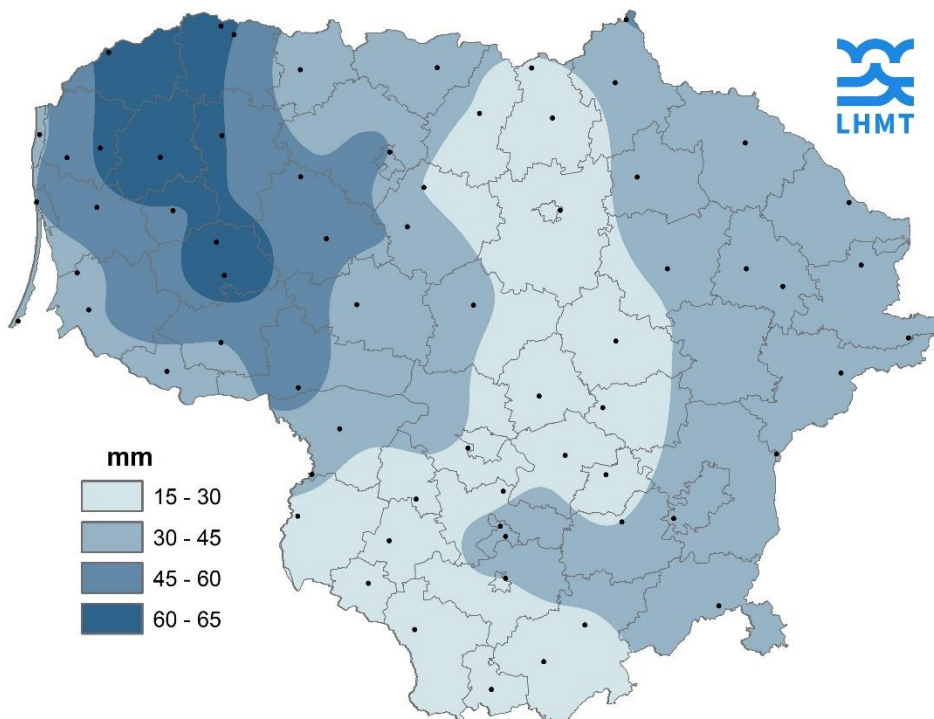
3b pav. Kovo mėnesio vidutinis kritulių kiekis, 2022 m.



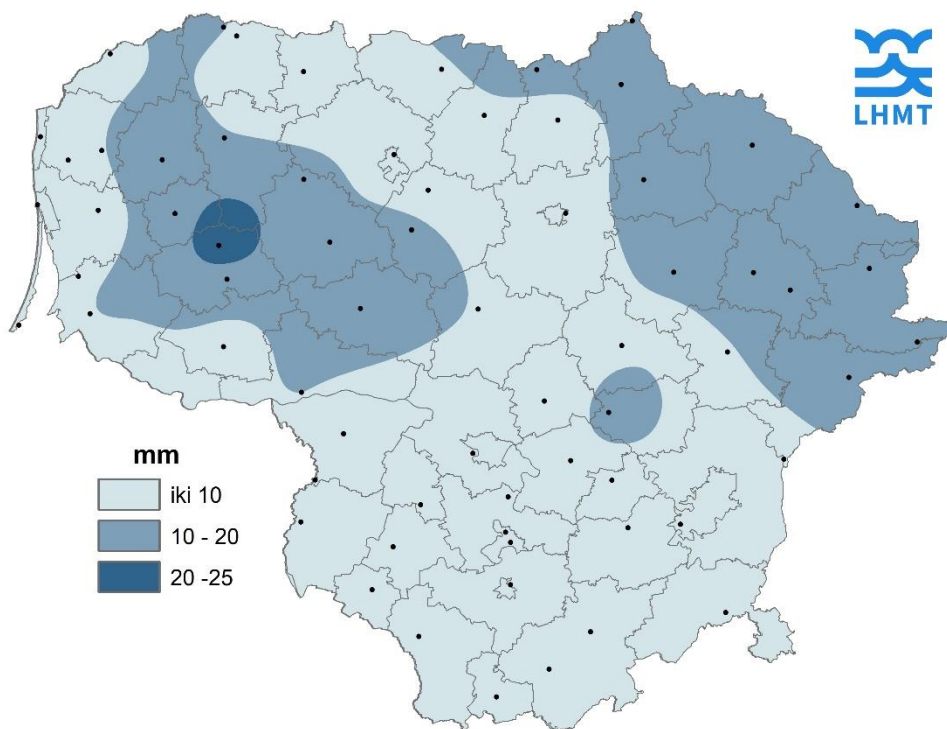
4b pav. Balandžio mėnesio vidutinis kritulių kiekis, 2022 m.



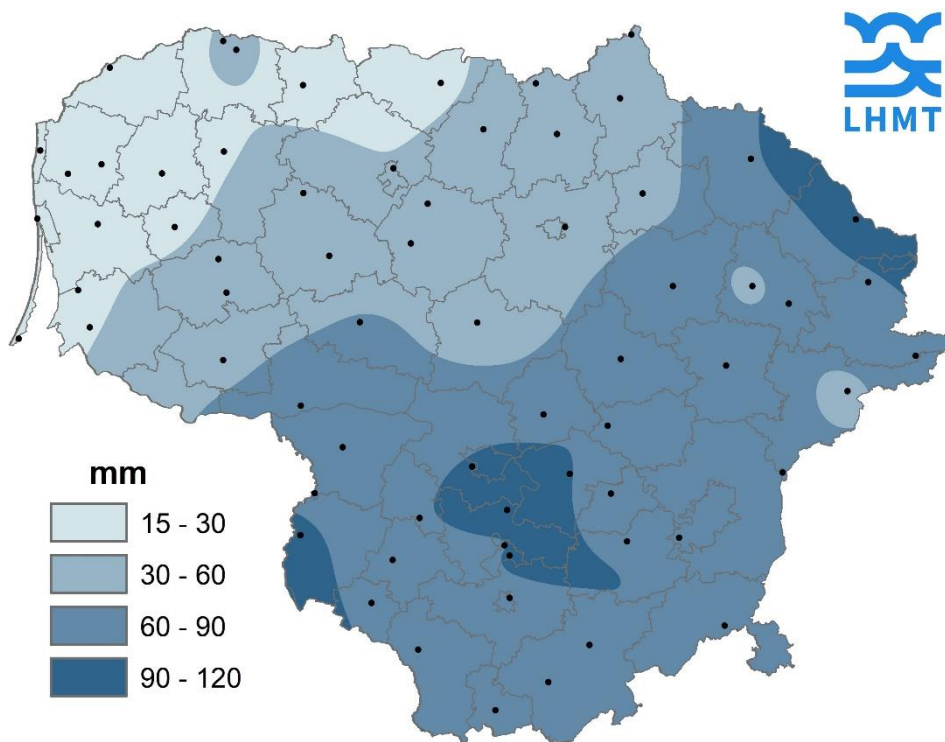
5b pav. Vasario mėnesio vidutinis kritulių kiekis, 2020 m.



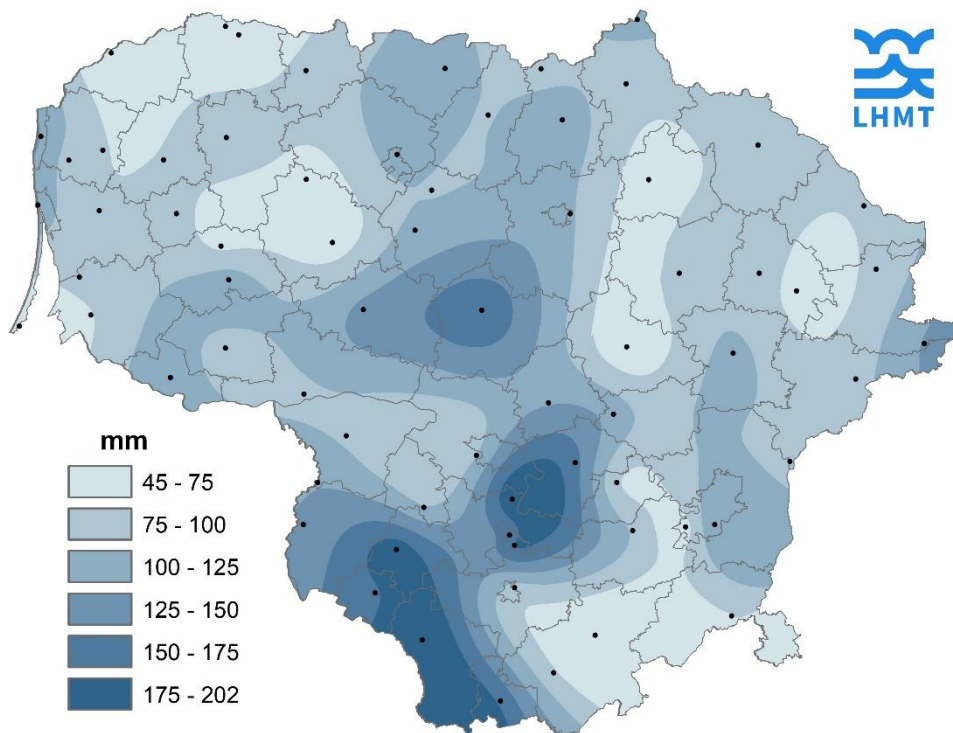
6b pav. Kovo mėnesio vidutinis kritulių kiekis, 2020 m.



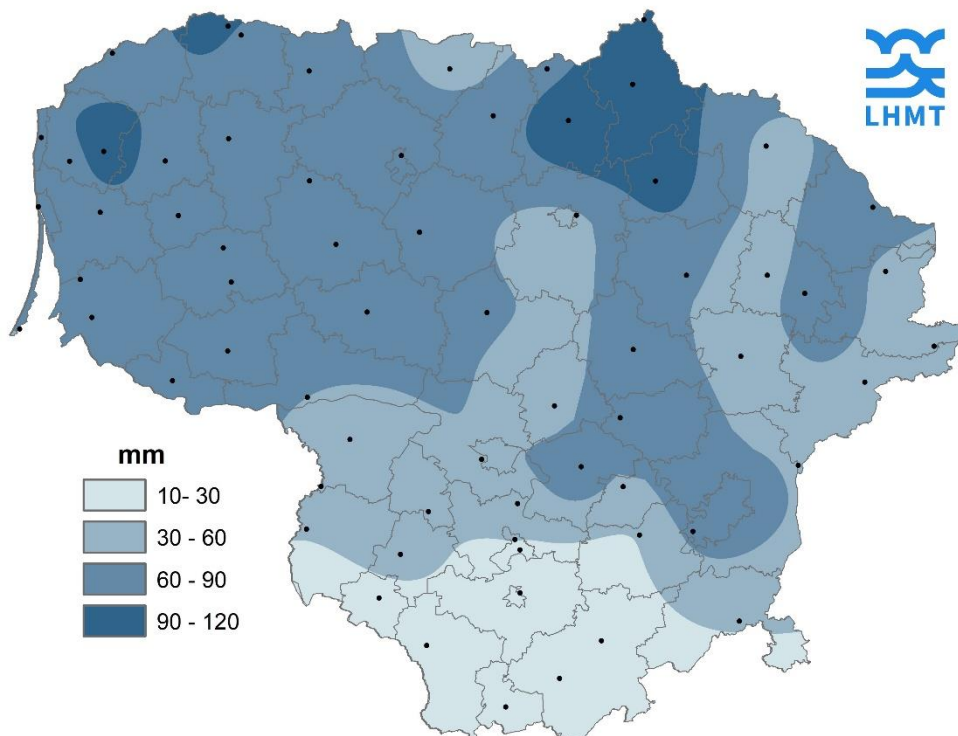
7b pav. Balandžio mėnesio vidutinis kritulių kiekis, 2020 m.



8b pav. Gegužės mėnesio vidutinis kritulių kiekis, 2020 m.

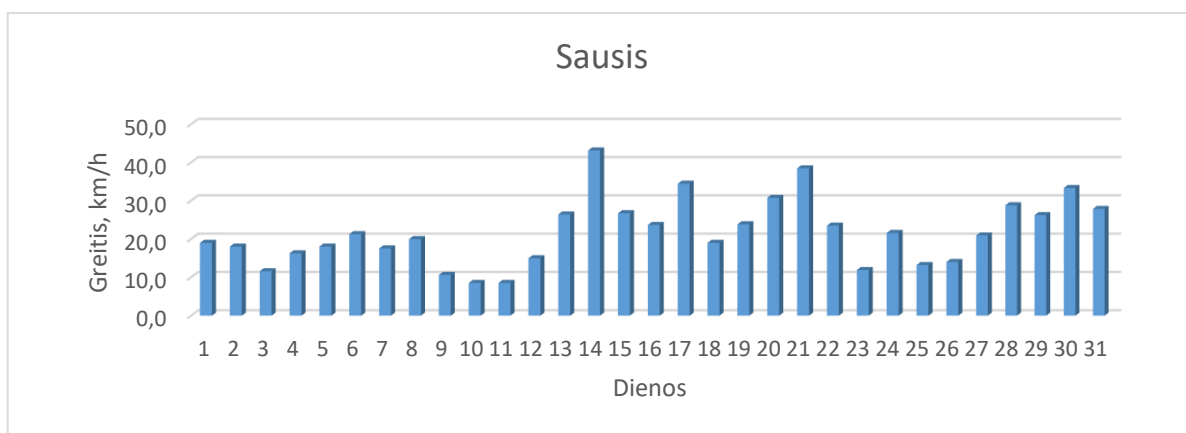
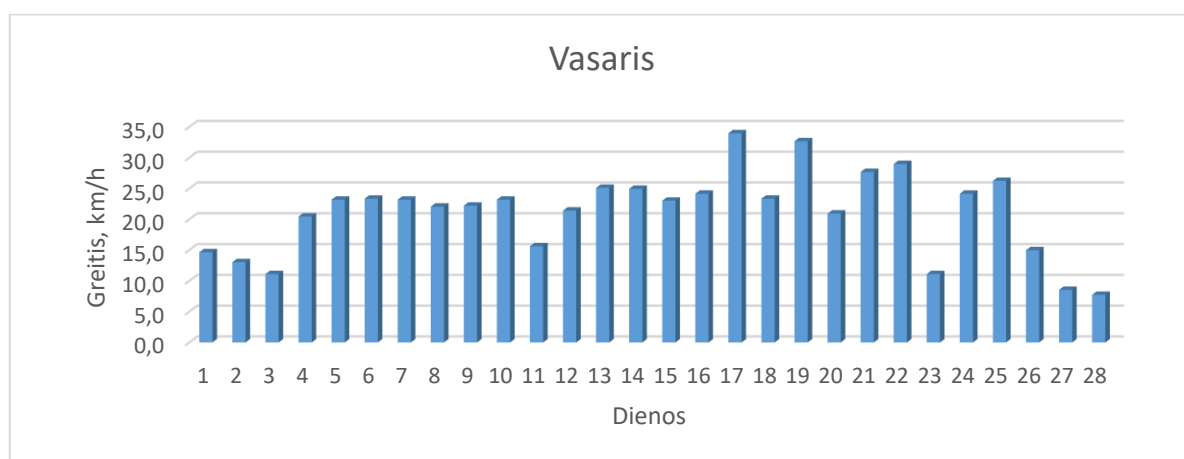
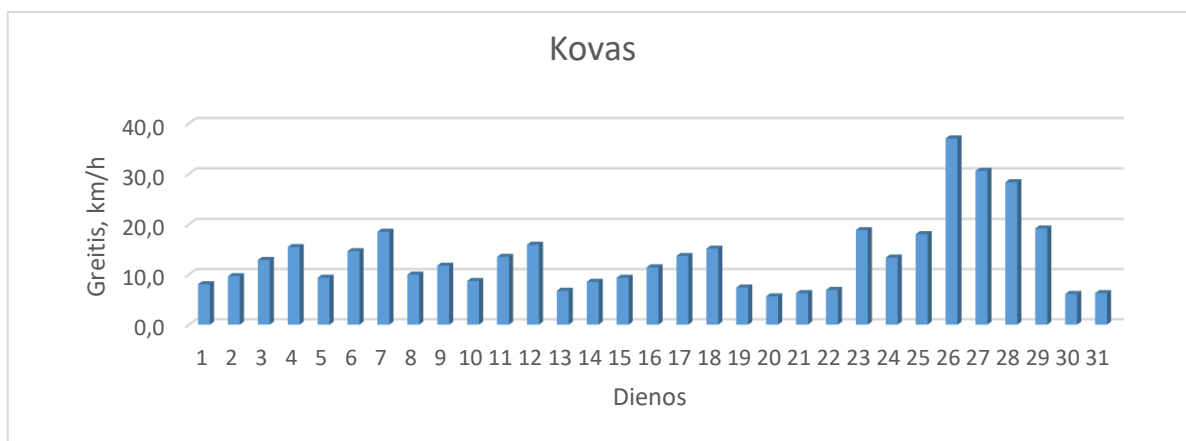


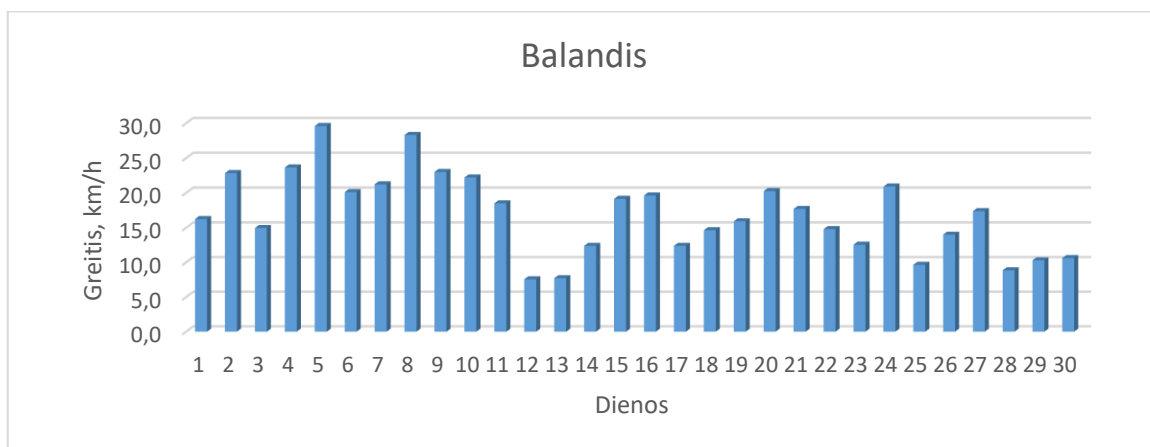
9b pav. Birželio mėnesio vidutinis kritulių kiekis, 2020 m.



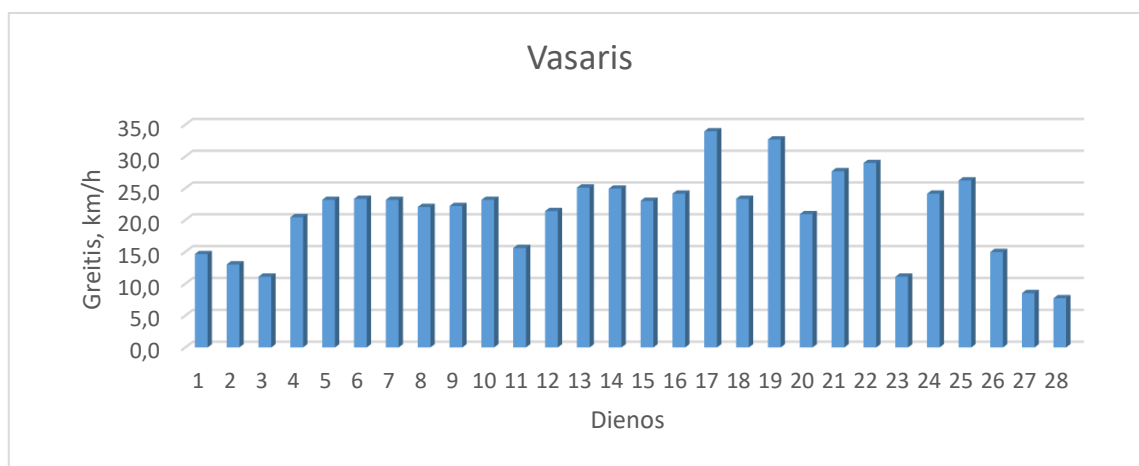
10b pav. Liepos mėnesio vidutinis kritulių kiekis, 2020 m.

Vidutinis vėjo greitis Šiaulių mieste 2022 m. ir 2020 m.

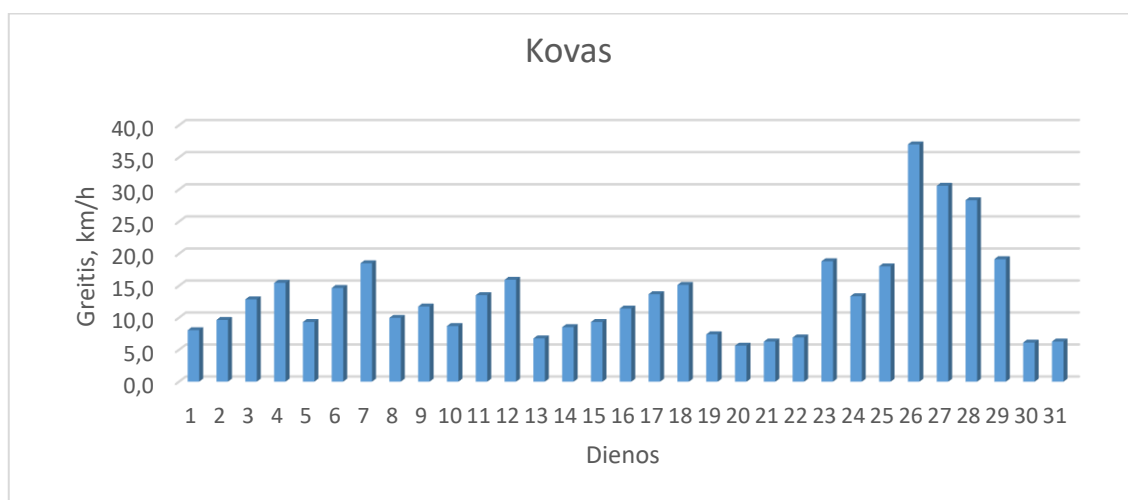
**1c pav.** Sausio mėnesio vidutinis vėjo greitis, 2022 m.**2c pav.** Vasario mėnesio vidutinis vėjo greitis, 2022 m.**3c pav.** Kovo mėnesio vidutinis vėjo greitis, 2022 m.



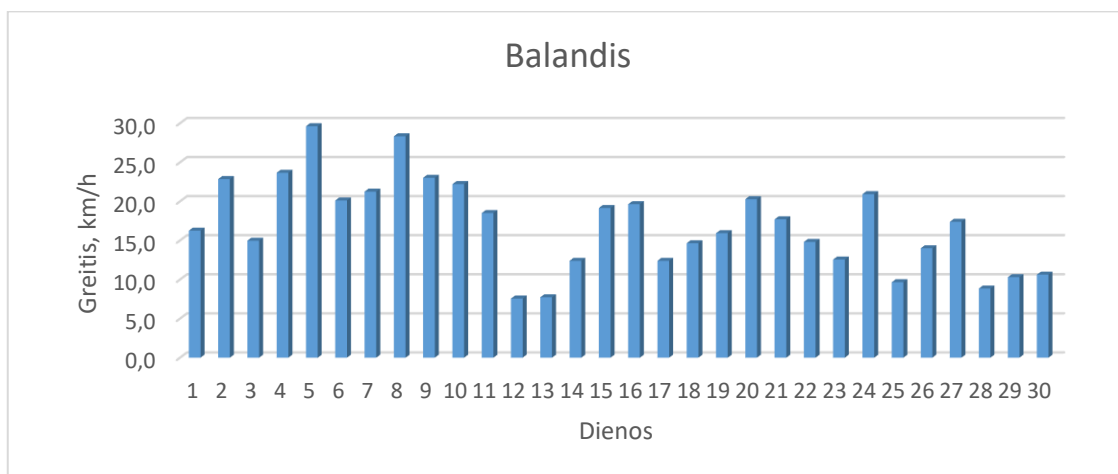
4c pav. Balandžio mėnesio vidutinis vėjo greitis, 2022 m.



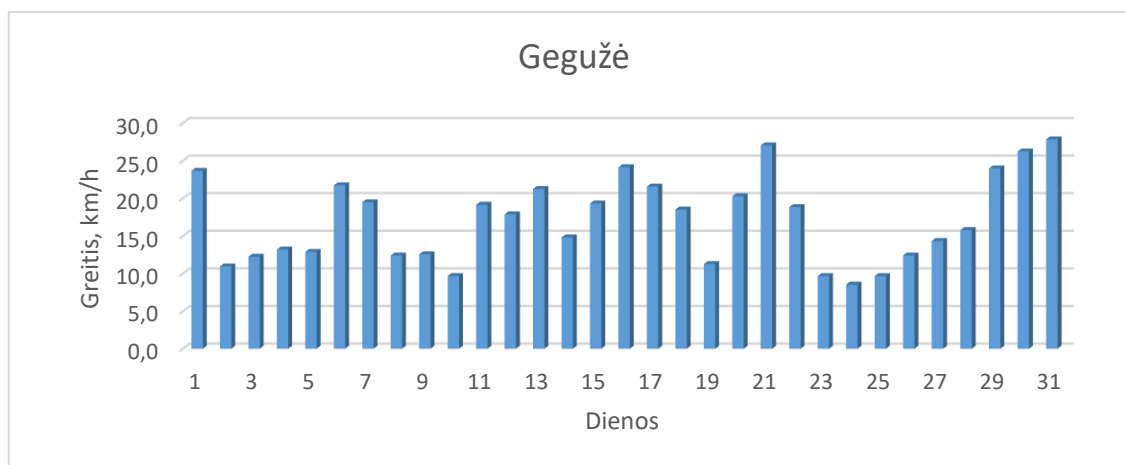
5c pav. Vasario mėnesio vidutinis vėjo greitis, 2020 m.



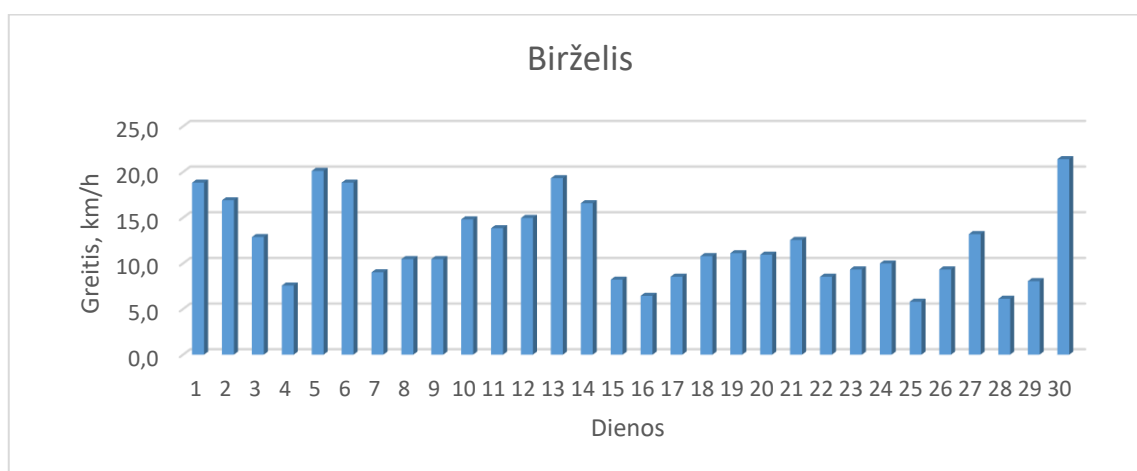
6c pav. Kovoo mėnesio vidutinis vėjo greitis, 2020 m.



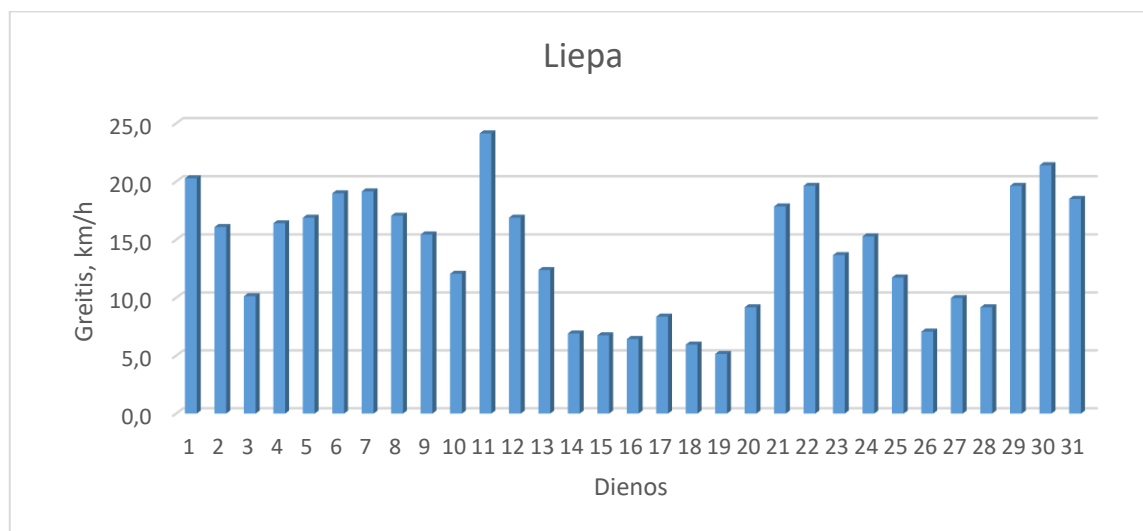
7c pav. Balandžio mėnesio vidutinis vėjo greitis, 2020 m.



8c pav. Gegužės mėnesio vidutinis vėjo greitis, 2020 m.



9c pav. Birželio mėnesio vidutinis vėjo greitis, 2020 m.



10c pav. Liepos mėnesio vidutinis vėjo greitis, 2020 m.