



**VILNIAUS UNIVERSITETAS  
ŠIAULIŲ AKADEMIJA**

**GAMTINIŲ SISTEMŲ VALDYMO MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ PROGRAMA**

**MINDAUGAS VALČIUKAS**

**Magistro darbas**

**PARKŲ POTENCIALO ĮTAKA ORO TERŠALŲ PASKLIDAI ŠIAULIŲ MIESTE**

Darbo vadovė: doc. dr. Ilona Kerienė

Šiauliai, 2024

**PATVIRTINIMAS apie parengto darbo  
savarankiškumą**

**CONFIRMATION**

Vardas, pavardė <i>Name, Surname</i>	<b>Mindaugas Valčiukas</b>
Darbo pavadinimas <i>Thesis topic</i>	<b>Parkų potencialo įtaka oro teršalų pasklidai Šiaulių mieste</b> <b>Impact of the potential of parks on the dispersion of air pollutants in Šiauliai</b>

Patvirtinu, kad įteikiamas darbas yra atliktas mano paties ir nėra pateiktas kitam kursui šiame ar ankstesniuose semestruose; nebuvo naudotas kitoje mokslo ir (ar) studijų įstaigoje Lietuvoje ir užsienyje; nenaudoja šaltinių, kurie nėra nurodyti darbe, ir pateikia visą panaudotos literatūros sąrašą.

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

*I confirm that I am the author of submitted paper, which has been prepared independently and has never been presented for any other course or used in another educational institution, neither in Lithuania, or abroad. I also provide a full bibliographical list which indicates all the sources that were used to prepare this assignment and contains no un-used sources.*

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

**Aš, Mindaugas Valčiukas, pateikdamas (-a) šį darbą, patvirtinu (pažymėti)**



*I, Mindaugas Valčiukas, by submitting this paper confirm (check)*

## TURINYS

ĮVADAS .....	3
1. MOKSLINĖS LITERATŪROS ANALIZĖ .....	5
1.1. Miesto parkų ir oro taršos sąveika .....	5
1.2. Pagrindiniai pavojingiausi oro teršalai mieste .....	10
1.2.1. Azoto dioksidas ir jo poveikis aplinkai .....	13
1.2.2. Kietosios dalelės (KD) ir jų poveikis aplinkai .....	16
1.3. Azoto dioksido ir kietųjų dalelių analizės metodai .....	17
2.1. Tyrimo objektas .....	22
2.2. Tyrimo metodai .....	26
2.2.1. Azoto dioksido tyrimo metodas .....	26
2.2.2. Kietųjų dalelių tyrimo metodas .....	28
2.2.3. Duomenų statistinė analizė .....	29
3. DARBO REZULTATAI IR ANALIZĖ .....	30
3.1. Azoto dioksido koncentracijos tiriamosiose teritorijose analizė .....	30
3.2. Azoto dioksido tyrimų rezultatų palyginimas .....	35
3.3. Kietųjų dalelių koncentracijos tiriamosiose teritorijose analizė .....	38
3.4. Kietųjų dalelių (KD <sub>2,5</sub> ir KD <sub>10</sub> ) tyrimų rezultatų palyginimas su meteorologinėmis sąlygomis .....	41
3.5. Tyrimo objektų kietųjų dalelių (KD <sub>2,5</sub> ir KD <sub>10</sub> ) tyrimų rezultatų palyginimas .....	45
3.6. Tyrimo objekto tiriamųjų teršalų rezultatų palyginimas .....	47
IŠVADOS .....	49
REKOMENDACIJOS .....	50
SANTRAUKA .....	51
SUMMARY .....	52
PADĖKA .....	53
LITERATŪRA .....	54
PRIEDAI .....	63

## IVADAS

Miesto parkai yra svarbi žaliosios infrastruktūros dalis, kurie prisideda prie miesto ekologinės ir socialinės darnos bei tvarumo. Planuojant žaliąją infrastruktūrą miestuose, stengiamasi efektyviai naudoti žemės plotus, kad viešos erdvės būtų prieinamos visiems gyventojams (Monteiro et al. 2020). Miesto statiniai ir kiti aplinkos elementai derinami su augalais pagal vietinių bendruomenių poreikius ir pageidavimus. Gražiai suformuoti parkai, alėjos, gatvės medžiai ir kiti žaliosios infrastruktūros elementai suteikia miestui unikalumo ir pritraukia gyventojų bei turistų dėmesį. Šie sprendiniai pagerina miesto estetiką, teikia gyventojams vietų poilsiui ir rekreacijai (Brzoska et al. 2020; Parker et al., 2018; McKinney et al. 2020, Kumar et al., 2019).

Gyventojams parkai yra ne tik laisvalaikio praleidimo vieta ir galimybė atsikvėpti nuo miesto triukšmo bei nešvaros, bet suteikia ir kitas svarbias ekosistemos paslaugas, tokias kaip fizinės bei cheminės taršos mažinimas. Kai 1872 m. Jungtinių Amerikos Valstijų kraštovaizdžio architektas, žurnalistas Frederickas Law Olmstedas parašė „medžiai – miesto plaučiai“, tai skambėjo labiau kaip filosofinis, o ne mokslinis teiginys. Laikui bėgant mokslininkai išsiaiškino, kad miesto medžiai iš tiesų atlieka svarbias aplinkos funkcijas: absorbuoja žemės paviršiaus teršalus ir kaupia anglies dioksidą, kas padeda kompensuoti visuotinį atšilimą (Fisher et al., 2018). Parkai, tai prieglobstis ne tik gyventojams, bet ir augalams, gyvūnams, paukščiams ir kitiems gyviems organizmams. Taip palaikoma ekosistemų pusiausvyra ir skatinama biologinė įvairovė mieste. Parkai prisideda gerinant miesto mikroklimatą, teikdami pavėsį, sumažindami oro temperatūros svyravimus ir gerindami oro kokybę (Elliott et al., 2020). Tam tikrais atvejais parkai gali būti naudojami kaip svarbios vandens valdymo sistemos dalis, padeda kontroliuoti lietaus vandenį bei mažina potvynių riziką (Elliott et al., 2020).

Europos aplinkos agentūra kasmet skelbia duomenis apie oro taršą, kuri vis dar viršija Europos sąjungos Pasaulio sveikatos organizacijos nustatytas ribas. Europos aplinkos agentūra skelbia, kad žmogaus sveikatai ir aplinkai pavojingiausi teršalai yra kietosios dalelės (KD), azoto dioksidas ( $\text{NO}_2$ ) ir pažemio ozonas ( $\text{O}_3$ ) (EEA, 2019). Nustatyta, kad kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$  ir  $\text{KD}_{10}$ ) pagrindinis taršos šaltinis yra energijos suvartojimas gyvenamosiose bei komercinėse sektoriuose, o azoto oksidų ( $\text{NO}_x$ ) – kelių transportas (EEA, 2022). Norint sumažinti oro taršą, kuriamos technologijos taršos mažinimui pramonės sektoriuje. Vienas iš būdų sumažinti oro taršos kiekį urbanizuotose teritorijose yra integruoti žaliąją infrastruktūrą. Miesto parkuose augantys medžiai geba absorbuoti teršalus, tačiau svarbus faktorius yra jų poveikis teršalų pasiskirstymui bei absorbavimo efektyvumas. Tai ypač aktualu miestuose, kur žalioji infrastruktūra užima mažą

teritorijos dalį. Medžių galimybės efektyviai absorbuoti teršalus priklauso ir nuo augimvietės sąlygų: klimato sąlygos, dirvožemio tipas ir oro taršos intensyvumas. Medžių galimybės absorbuoti teršalus yra ne tik ribotos, bet ir priklauso nuo medžių rūšių. Tam tikros medžių rūšys gali būti geriau pritaikytos absorbuoti teršalus nei kitos. Nors miesto medžiai padeda gerinti oro kokybę, tačiau daugelis medžių pasižymi žiedadulkių gausa ar išskiria dujinių medžiagų, kurios dalyvauja fotocheminėse reakcijose. Visa tai gali ir neigiamai paveikti oro kokybę (Grote et al., 2016). Siekiant sodinti medžius dėl apsaugos nuo teršalų, svarbu turėti žinių, kurios medžių rūšys tam tikromis sąlygomis augimvietėje prisideda prie oro kokybės gerinimo mieste.

**Darbo aktualumas ir naujumas.** Tema aktuali, nes Šiaulių mieste kasmet fiksuojami kietųjų dalelių viršijimai, o azoto dioksidas laikomas kaip pavojingas teršalas žmonių sveikatai bei dalyvauja ozono susidaryme. Nėra žinoma kokį poveikį Šiaulių miesto parkai daro teršalų pasklidai. Šiaulių miesto parkų potencialas mažinant oro taršą mieste gali būti nustatomas įvertinus antropogeninius oro taršos šaltinius ir jų išmetami teršalus, atsižvelgiant į parkų augimvietės sąlygas ir juos supančią aplinką. Šiuo darbu ir siekiama nustatyti kaip pasiskirsto teršalai Šiaulių miesto parkų teritorijose, kur auga skirtingos medžių rūšys. Kaip azoto dioksido ir kietųjų dalelių koncentracijos kinta prie tam tikrų meteorologinių sąlygų. Kokią įtaką teršalų koncentracijoms turi augimvietės sąlygos.

**Praktinė reikšmė.** Vietos savivalda projektuodama žaliąją infrastruktūrą galėtų atsižvelgti į šiame darbe gautus rezultatus bei pateiktas rekomendacijas. Ši informacija būtų naudinga naudojant modelius, kuriais remiantis būtų apskaičiuojamas žaliosios infrastruktūros poveikis teršalų pasklidai apgyvendintose teritorijose. Prieš integruojant žaliąją infrastruktūrą, visuomenei pateikti esamos ir prognozuojamos oro taršos rezultatai, pagrįstai įvertintų planuojamus pokyčius.

**Tikslas** – įvertinti parkų poveikį oro teršalų pasklidai skirtingose Šiaulių miesto teritorijose bei pateikti rekomendacijas taršos valdymui.

**Uždaviniai:**

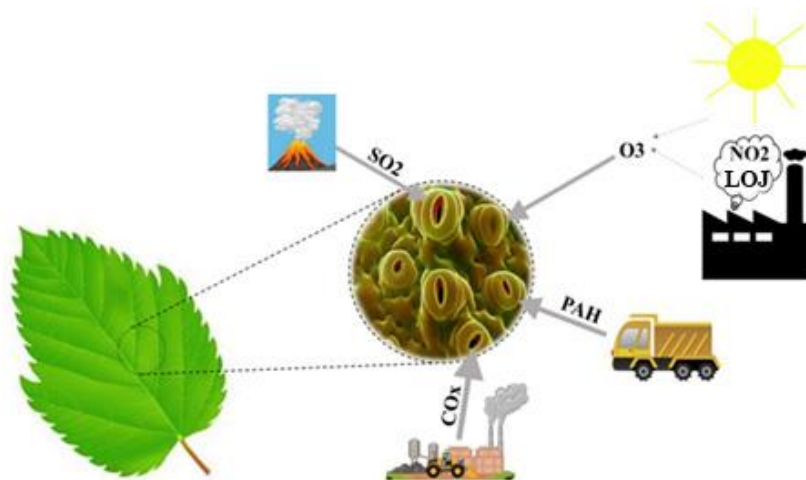
1. Ištirti azoto dioksido ir kietųjų dalelių koncentraciją Šiaulių miesto parkuose, palyginti su augimvietės sąlygomis ir meteorologiniais parametrais.
2. Nustatyti azoto dioksido ir kietųjų dalelių koncentracijos pasklidos apkrovas ir taršos susidarymo priežastis.
3. Pateikti rekomendacijas Šiaulių miesto žaliosios infrastruktūros planavimui atsižvelgiant į miesto medžių potencialą mažinanti oro taršą.

# 1. MOKSLINĖS LITERATŪROS ANALIZĖ

## 1.1. Miesto parkų ir oro taršos sąveika

Norint stebėti ir kontroliuoti oro taršą, labai svarbu suprasti oro taršos problemą ir žaliosios infrastruktūros vaidmenį miesto aplinkoje. Jų tarpusavio sąveika atlieka svarbų vaidmenį mažinant oro taršą ir gerinant aplinkos kokybę mieste. Miesto parkai tai svarbi žaliosios infrastruktūros dalis, kuri prisideda kuriant tvarią miesto aplinką. Todėl svarbu išsaugoti ir tinkamai integruoti parkus į miesto planavimą ir vystymą, siekiant maksimalios naudos aplinkai ir žmonių gerovei. Žmogui sunkiau suvokti kokią neapčiuopiamą naudą teikia miesto parkai. Miesto parkų naudą labiau suvokiama potyriais. Juntami natūralūs kvapai, girdimi gamtos garsai, gražus vaizdas, malonu paliesti ir pajauti natūralias medžiagas. Medžių gebėjimas absorbuoti anglies dvideginį ( $\text{CO}_2$ ) ir jį paversti deguonimi per fotosintezę labai svarbus, bet tuo pačiu nepajaučiamas procesas. Dar mažiau žinoma kaip medžiai geba absorbuoti kitus teršalus. Atliekant literatūros apžvalgą siekiama nustatyti į ką mokslininkai atkreipia dėmesį analizuojant medžių svarbą miestuose, koks ryšys su aplinka bei oro tarša.

Mokslininkai atkreipia dėmesį, kad medžiai mieste turi svarbų poveikį mikroklimatui. Šylant klimatui, didėja aplinkos temperatūra, medžiai sudaro šešėlį ir mažina žemės paviršiaus temperatūrą bei gerina miesto mikroklimatą (Saaroni et al., 2018). Įrodyta, kad medžiai ir gyvatvorės labai naudingi ne tik mažinant lauko temperatūrą, bet ir kontroliuojant radiaciją (Tsoka et al., 2020; Jang et al., 2022). Didėjant stacionariems pramonės ir mobiliems taršos šaltiniams, miesto žalioji infrastruktūra vis labiau vertinama dėl taršos mažinimo. N. K. A. Dwijendra (2023) su bendraautoriais teigia, kad vienas iš medžių privalumų miestuose yra taršos mažinimas (1 pav.), bet tam reikalinga sodinti tinkamas medžių rūšis ir atsižvelgti į augimvietės sąlygas.



1 pav. Augalų nauda teršalų mažinimui (Dwijendra et al., 2023)

Svarbų vaidmenį oro taršos mažinimui, ypač kietosioms dalelėms, atlieka medžių rūšys. Tai aktualu Lietuvoje, kuomet šaltuoju metu antropogeninė tarša padidėja dėl šilumos energijos gamybos. Šaltuoju metų laiku kai teršalų koncentracijos padidėja, didžioji dalis medžių būna be lapų ir neatlieka vienos iš pagrindinių taršos mažinimo funkcijos. Vietose, kur auga visžaliai spygliuočiai medžiai, ši ekologinę paslauga teikiama ištisus metus, ypač kai dėl šildymo būna didesnė tarša kietosiomis dalelėmis (Letter & Jäger, 2020). Yra nustatyta, kad tam tikrais atvejais spygliuočiai medžiai ir šiltuoju metų laiku šią funkciją atlieka geriau nei lapuočiai medžiai. Moksliniai tyrimai rodo, kad esant dideliame vėjo greičiui, mažėja plačialapių medžių poringumas ir padidėja spygliuočių (Tiwary et al., 2005; Barwise et al., 2020).

Kituose moksliniuose straipsniuose raginama atsižvelgti ne tik į taršos mažinimą didinant žalią infrastruktūrą prie taršos šaltinių, bet ir į augimvietę, augalų aukštį ar medžių vainikų dydį. Grylls, ir van Reeuwijk (2022) pabrėžia, kad nors medžiai šalina teršalus iš miesto atmosferos, jie taip pat daro įtaką teršalų sklaidai. Gausi medžių lapija slopina teršalų sklaidą, kurie koncentruojasi išsiskyrimo vietoje (Xing, Brimblecombe, 2020). Kai medžiai abiejose gatvės pusėse, o lajos auga ir liečiasi viena su kita, susidaro dangos efektas, sulaikantis taršą (Royal Society of Chemistry, 2020). Miesto žaliosios infrastruktūros projektavimas yra svarbus, naudojant augaliją kaip ekosistemos paslaugą oro kokybei gerinti. Filtravimo augmenijos barjerai turi būti pakankamai tankūs, kad sudarytų didelį paviršiaus plotą dalelių nusėdimui, ir turėti pakankamai porų, pro kurias galėtų prasiskverbti, o ne būti nukreiptas oro srautas su teršalais virš barjero. Aukštos ar žemos ir tankios ar retos augmenijos daro poveikį oro taršai iš įvairių šaltinių ir skirtingų dydžių dalelių nusėdimui (Janhäll, 2015).

Svarbus faktorius siejantis oro taršą ir miesto medžius, tai lapų savybės. Mokslininkai aprašo ne tik apie žaliosios infrastruktūros svarbą mažinant oro taršą, bet ir apie medžių lapų savybes absorbuojant teršalus. Lapų morfologija, paviršius, forma, dydis bei gausa gali turėti įtakos taršos absorbavimui. K. Corada (2021) su bendraautoriais aprašo apie lapų savybes, kurios geriausiai absorbuoja kietąsias daleles: spygliuočių medžių lapai; maži, šiurkštūs ir raukšlėti plačialapių medžių lapai; lancetiškos ir ovalios formos lapai; vaškinės dangos ar su didelio tankio plaukeliais lapai (2 pav.). Šie medžių lapai atsparūs sausrui, maksimaliai padidina dulkių kilmės kietųjų dalelių surinkimą.

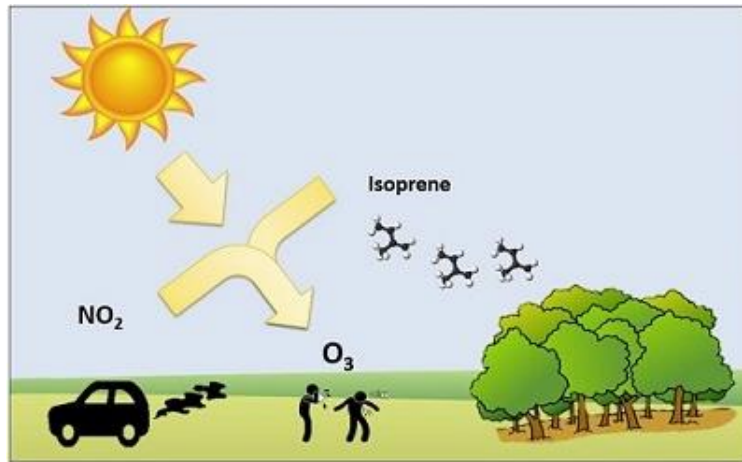


2 pav. Stiprio ir silpnos lapų savybės absorbuojant teršalus (Corada et al., 2021)

Reikėtų pažymėti, kad yra mokslinės literatūros, kurioje įrodyta, kad medžių veiksmingumas absorbuojant oro teršalus, ypač azoto dioksidą, nėra reikšmingas (Viippolaa, 2018). Straipsnyje pateikti tyrimo rezultatai rodo, kad šalia kelių esantys miškai, kuriuose vyrauja visžaliai medžiai, oro kokybė gali šiek tiek pablogėti dėl taršos azoto dioksidu ir kietosiomis dalelėmis ( $KD_{2,5}$ ), tačiau tokia miško augmenija gali sumažinti taršą stambesnėmis dalelėmis. Kiti tyrimai rodo, kad kelių rūšių žaliosios infrastruktūros taikymas yra naudingas mažinant oro taršą ozonu ir azoto dioksidu, ir neapsiriboja vien tik tam tikromis priemonėmis, pvz., apželdintais stogais, žaliosiomis sienomis ar medžiais, ar specifiniais žemės naudojimo būdais (Anderson et al., 2020).

Naujausiuose moksliniuose straipsniuose vis labiau populiarėja nuomonė, kad augalai gali pabloginti oro kokybę išskiriant lakiuosius organinius junginius. Michigan State University (2023) pateikė informaciją, kurioje teigia, kad šylančioje planetoje augalai, tokie kaip ąžuolai (*Quercus*) ir tuopos (*Populus*), išskiria daugiau junginio - izopreno, kuris pablogina oro kokybę ir prisideda prie probleminių kietųjų dalelių ir pažemio sluoksnio ozono susidarymo. Esant aukštesnei temperatūrai izoprenas sąveikauja su orą teršiančiais azoto oksido junginiais, kuriuos išskiria iškastiniu kuru kūrenamos elektrinės ir transporto priemonių vidaus degimo varikliai. Šios reakcijos sukuria ozoną, aerozolių ir kitus šalutinius produktus, kurie kenkia tiek žmonėms, tiek augalams. Aukštesnė temperatūra išskiria daugiau izopreno (3 pav.).

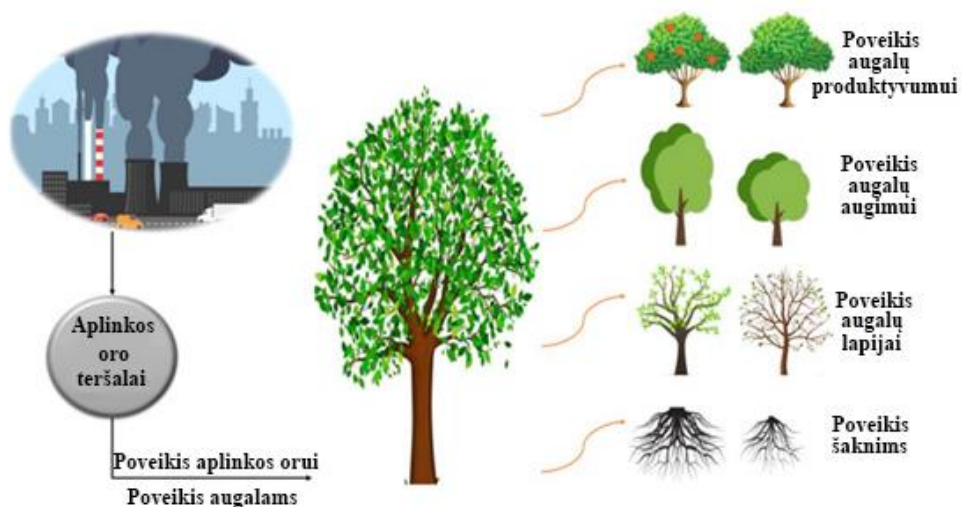




3 pav. Izopreno sąveika su azoto dioksidu (Royal Belgian Institute for Space Aeronomy, 2021)

Kai nėra antropogeninės kilmės lakiųjų teršalų, tokių kaip azoto oksidai, izoprenas valo atmosferą nuo ozono. Tačiau esant azoto oksidui, izoprenas dalyvauja reakcijose, kurių metu ore didėja ozono koncentracija (Bellucci et al., 2023).

Taršos mažinimas didinant žaliąją infrastruktūrą miestuose sudaro prielaidas mokslininkų diskusijoms ir dėl biologinės įvairovės išsaugojimo. Augalų dėka gyventojai yra apsaugomi nuo oro taršos, bet tarša kenkia augalams. N. K. A. Dwijendra, (2023) su bendraautoriais teigia, kad oro tarša daro tiesioginį poveikį augalų produktyvumui, dydžiui, šaknų sistemai (4 pav.). Miesto medžiai yra labiau pažeidžiami klimato kaitos. Aukšta temperatūra ir ilgalaikė sausra gali turėti įtakos medžių augimui, medžių sveikatos būklei, mirtingumui ir anglies pasisavinimo apribojimui (Jang et al., 2022). Nors augalai gali potencialiai sumažinti užterštumą, tačiau teršalai juos veikia morfologiškai, anatomiškai ir fiziologiškai (Roy et al., 2024).



4 pav. Taršos poveikis augalams (Dwijendra et al., 2023)

Dar vienas svarbus aspektas, kuris reikalauja atsakingų sprendimų planuojant žaliąją infrastruktūrą mieste yra alerginiai susirgimai. V. Patella (2018) su bendraautoriais pateikia keletą paprastų rekomendacijų dėl žaliosios infrastruktūros eksploatacijos, kurių laikantis būtų galima gyventojams apsisaugoti nuo alerginių susirgimų. Pirmenybė teikiama entomofiliniams augalams, kuriuos apdulkina vabzdžiai ir gamina mažesnę žiedadulkių kiekį, o ne anemofiliniams augalams, kurių žiedadulkių sklaida priklauso nuo vėjo. Rekomenduojama sodinti vasarą arba žiemą žydinčius medžius ir krūmus bei vengti žydinčių pavasari, genėti gyvatvores bei pjauti veją prieš žydėjimą ir prieš žiedadulkių išsiskyrimą, organizuoti šienavimą ir želdynų tvarkymą naktį ir nevėjuotomis dienomis bei kt.

Siekiant gauti įvairiapusės miesto parkų naudos miestuose mokslininkai atkreipė dėmesį į daug faktorių. Kiekvienas jų svarbus ir turi būti derinamas tarpusavyje. Neatsakingai suformuota žaliaji infrastruktūra gali pakenkti augalams ir biologinei įvairovei. Pasodintos augalų rūšys gali neprisitaikyti prie aplinkos, o biologinės įvairovės gausa mažės. Tam, kad įvertinti planuojamos žaliosios infrastruktūros efektą, būtina taikyti specialias modeliavimo programas, kurios leistų taip suplanuoti želdinius, kad jie suteiktų maksimalią naudą, neleistų teršalams lokalizuotis. Modeliavimo programos, skirtos miesto medžių įtakos oro taršai įvertinti, padeda suprasti, kaip želdiniai gali sumažinti taršą ir pagerinti aplinkos kokybę. Tokios programos naudojamos planuojant miesto žaliąją infrastruktūrą. Tam, kad suprasti modeliavimo programų principą, pateikiamos keletas žinomų modeliavimo programos, kurios gali būti naudojamos norint modeliuoti miesto medžių poveikį oro taršai:

- „i-Tree Eco: tai lanksti programinė įranga, skirta naudoti duomenis, surinktus lauke iš pavienių medžių, sklypų visoje tyrimo teritorijoje ir kartu su vietine valandine oro tarša ir meteorologiniais duomenimis kiekybiškai įvertinti miško struktūrą bei poveikį aplinkai. „i-Tree Eco“ programa sukurta taip, kad būtų galima įvertinti miesto miško struktūrą (rūšinė sudėtis, medžių skaičius, medžių tankumas, medžių sveikata ir kt.), taršos mažinimą (miesto miško pašalinamas taršos kiekis ir su tuo susijęs procentinis oro kokybės pagerėjimas per metus), taršos pašalinimas (ozono (O<sub>3</sub>), sieros dioksido (SO<sub>2</sub>), azoto dioksido (NO<sub>2</sub>), anglies monoksido (CO) ir kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) ir kt. (i-TREE, 2024).
- UFORE (Urban Forest Effects Model): UFORE yra modeliavimo sistema, skirta įvertinti miesto medžių poveikį įvairiems aplinkos aspektams, įskaitant oro kokybę. Ji buvo viena iš i-Tree pagrindinių programų, leidžianti analizuoti, kaip miesto miškai ir medžiai prisideda prie oro taršos mažinimo. Šiuo metu yra penki modelio komponentai: UFORE-A: Miesto miško anatomija – kiekybiškai įvertina miesto miško struktūrą (pvz., rūšis

sudėtis, medžių tankis, medžių sveikata, lapų plotas, lapų ir medžių biomasė), remiantis lauko duomenimis. UFORE-B: Lakiųjų organinių junginių (LOJ) emisija. UFORE-C: anglies saugojimas ir sekvestravimas – apskaičiuoja bendrą sukauptą anglį. UFORE-D: oro taršos sausasis nusodinimas – kiekybiškai įvertina valandinį taršos kiekį absorbuotą miesto miško ir su tuo susijęs procentinis oro kokybės pagerėjimas per visus metus. UFORE-E: įvertina medžių poveikį pastato energijos naudojimui (UFORE Methods, 2024).

Apibendrinant, mokslininkai pateikia tyrimų rezultatus, paremtus ne tik empiriniais matavimais, bet ir taikant įvairius modelius. Modeliai padeda prognozuoti žaliosios infrastruktūros poveikį ir planuoti miestų erdves. Modeliavimo programos gali žymiai paspartinti rezultatų gavimo procesą, ypač kai kalbama apie sudėtingus miesto planavimo ir aplinkosaugos projektus. Tokiu būdu didėja rezultatų gavimo sparta, sutaupomas laikas ir sąnaudos. Modeliavimo programos gali apdoroti didelius duomenų kiekius, leidžiant analizuoti ir vizualizuoti sudėtingus procesus, tokius kaip miesto medžių poveikį taršai. Modeliavimo programos leidžia lengvai kurti ir analizuoti įvairius taršos scenarijus. Tai leidžia miestų planuotojams ir ekologams išbandyti įvairias strategijas ir priimti pagrįstus sprendimus.

## **1.2. Pagrindiniai pavojingiausi oro teršalai mieste**

Užterštumo lygis pasaulyje yra problema, kuri nuolat auga, veikia gyvus organizmus, augmeniją, vandenį, dirvožemį. Tarša sklinda dideliais atstumais, daro neigiamą poveikį ozono sluoksniui ir prisideda prie šiltnamio efekto. Siekiant nustatyti ir kontroliuoti taršos kiekį, visame pasaulyje įvairios organizacijos, aplinkos apsaugos kontrolės institucijas, mokslinius tyrimų centrai imasi įvairių veiksmų. Vykdoma oro kokybės stebėseną, leidžiami teisės aktai ribojantys išsiskyrimo kiekius iš pramonės sektoriaus, kontroliuojami mobilūs taršos šaltiniai, diegiamos pažangios taršos valymo technologijos, šviečiama visuomenė, vyksta bendradarbiavimas tarp suinteresuotų šalių.

Ali (2020) kartu su bendraautoriais teigia, kad ilgalaikis oro taršos poveikis yra susijęs su padidėjusiu kvėpavimo takų ligų ir mirčių paplitimu. Smulkios kietosios dalelės, kurių dydis  $<2,5 \mu\text{m}$ , priskyrė prie didžiausių rizikos sveikatai veiksnių. Azoto dioksidas yra dar vienas svarbus oro teršalas, kuris yra toksiškas žmonių kvėpavimo sistemoms, kai atmosferoje yra didesnėmis koncentracijomis. COVID-19 pandemija parodė ligos paplitimo greitį susijusį su oro taršos padidėjimu (Marčenko et al., 2022; Urrutia-Pereira et al., 2020). Ši pandemija neaplenkė ir Lietuvos, kuri prasidėjo 2020 m. ir tęsėsi daugiau nei dvejus metus iki 2022 m. gegužės 1 d. Oficialios statistikos portalas vis dar skelbia apie šios ligos susirgimo atvejus. Mokslininkai ištyrė, kad pavojingiausi aplinkos ore išsiskiriantys teršalai yra azoto dioksido ir kietosios dalelės.

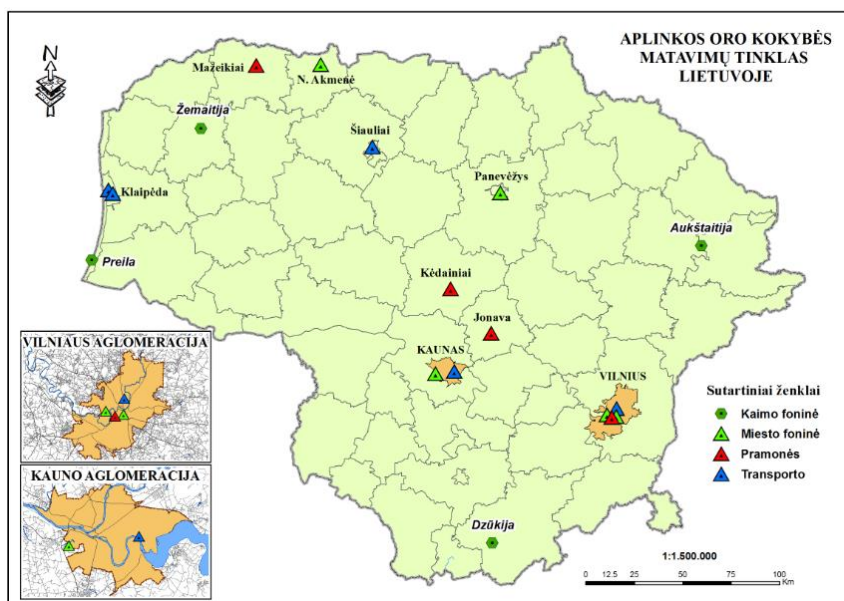
Jungtinių Tautų aplinkos apsaugos programa (UNEP, 2021) patvirtino 5 pavojingiausių teršalus:

1. Kietosios dalelės (KD<sub>2,5</sub>): smulkios dalelės, kurių skersmuo yra 2,5 μm arba mažesnis. Jos nematomos plika akimi, bet pastebimi kaip dalelių smogas labai užterštose vietose tiek patalpose, tiek lauke. Susidaro deginant įvairių rūšių kurą, skirtą maisto ruošimui ar šildymui, pramoninėje veikloje, transportuojant iš gretimų teritorijų (UNEP, 2021). Kietosios dalelės (KD<sub>2,5</sub>) daugiausia absorbuojamas per kvėpavimo sistemą, kur gali prasiskverbti į plaučių alveoles ir patekti į kraują (Thangavel, 2022). Šios dalelės gali būti išmetamos tiesiogiai arba susidaro atmosferoje iš kelių skirtingų išmetamų teršalų.
2. Pažemio ozonas arba troposferos ozonas yra trumpalaikis klimato teršalas ir nors egzistuoja tik nuo kelių dienų iki kelių savaičių, jis yra stiprios šiltnamio efektą sukeliančios dujos. Jis susidaro teršalams sąveikaujant saulės šviesoje (Zhang, 2019). Tai prisideda prie smogo susidarymo, pablogina bronchitą, sukelia astmą, pažeidžia plaučių audinį ir mažina pasėlių produktyvumą (UNEP, 2021).
3. Azoto dioksidas (NO<sub>2</sub>). Azoto oksidai (NO<sub>x</sub>) yra orą teršiančių cheminių junginių grupė, įskaitant azoto dioksidą (NO<sub>2</sub>) ir azoto oksidą (NO). Azoto dioksidas yra kenksmingiausias iš šių junginių ir susidaro deginant kurą, pramonėje, iš transporto. Šis teršalas gali pakenkti žmogaus širdžiai ir plaučiams, o esant didelei koncentracijai sumažinti atmosferos matomumą. Galiausiai, tai yra esminis pažemio ozono susidarymo pirmtakas (UNEP, 2021).
4. Juodoji anglis arba suodžiai yra kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) komponentas ir trumpalaikis klimato teršalas. Pievų deginimas ir kartais kylantys gaisrai yra didžiausi juodosios anglies šaltiniai pasaulyje. Taip pat išsiskiria eksploatuojant dyzelinius variklius, deginant atliekas. Šis teršalas sukelia blogą sveikatą ir ankstyvą mirtį. Gali būti skirstomi į aplinkos suodžius ir suodžius. Abu susidaro po nepilno angliavandenilių sudegimo, tačiau skiriasi savo sudedamosiomis dalimis ir procentiniu anglies kiekiu (Niranjan ir Thakur, 2017).
5. Metanas (CH<sub>4</sub>). Išsiskiria iš žemės ūkio, ypač gyvulių, nuotekų ir kietųjų atliekų bei naftos ir dujų gamybos. Prisideda prie lėtinių kvėpavimo takų ligų ir ankstyvos mirties. Tarpvyriausybinės klimato kaitos komisijos tyrimai rodo, kad metanas – pagrindinis trumpalaikis klimato teršalas – yra atsakingas už mažiausiai ketvirtadalį šiandieninio pasaulinio atšilimo, o žmogaus sukulto metano kiekis sudaro daugiau nei pusę visų išmetamo metano kiekio (UNEP, 2021).

Siekiant nustatyti oro teršalų koncentraciją ir paplitimą miestuose, vykdoma stebėseną. Tai svarbus procesas, padedantis suprasti oro taršos lygį, nustatyti teršalų šaltinius ir įvertinti jų

poveikį žmonių sveikatai bei aplinkai. Naudojami įvairius būdai, galintys kontroliuoti teršalų lygį. Tai gali būti stacionarus stebėjimo punktas (oro kokybės stebėjimo stotys), mobilios stebėjimo stotys (prietaisai ar transporto priemonės su oro kokybės stebėjimo įranga), dronai ir bepiločiai orlaiviai (naudojami oro taršos stebėsenai virš miesto iš įvairių aukščių ir teritorijų, pasiekia sunkiai prieinamas vietas), pasyvūs stebėsenos prietaisai (naudojant pasyviuosius sorbentus), palydovinė stebėseną (oro taršos stebėseną iš kosmoso), mokslo projektai ir kt.

Lietuvoje aplinkos oro kokybės stebėseną atlieka Aplinkos apsaugos agentūros įrengtos oro kokybės tyrimų stotys. Aplinkos oro monitoringo tinklą sudaro 17 automatinio oro kokybės tyrimų stočių (5 pav.).



5 pav. Aplinkos oro kokybės matavimų stočių tinklo Lietuvoje žemėlapis  
(Aplinkos apsaugos agentūra, 2024)

Aplinkos oro kokybės stočių duomenys padeda vertinti aplinkos oro užterštumo lygį aglomeracijose ir zonose (labiausiai urbanizuotose zonos teritorijose), prognozuoti aplinkos oro kokybę (Valstybinis aplinkos oro monitoringas, 2023). Tokia oro kokybės tyrimų stotis yra ir Šiaulių mieste, apsupta trijų Šiaulių miesto gatvių (Žemaitės g., Basanavičiaus g. ir Aušros al.).

Aplinkos apsaugos agentūra kasmet fiksuoja išmetamų teršalų viršijimus esant nepalankioms meteorologinėms sąlygoms ir šaltuoju metų laiku. Daugiausiai fiksuojami kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>) ir ozono koncentracijos viršijimai (1 priedas). Šiaulių mieste 2023 m. buvo fiksuoti tik kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>) viršijimai. Viso buvo nustatyti 4 kartai kai viršyta didžiausia paros leistina koncentracija – 50 µg/m<sup>3</sup>. Tai didžiausias kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>) viršijimų skaičius Lietuvoje. Toks pat viršijimų kiekis kartais buvo nustatytas dar Kauno Noreikiškių oro kokybės

tyrimų stotyje. Kitos oro kokybės tyrimų stotyse buvo fiksuotas du kartus mažesnis viršijimų skaičius (Kauno, Klaipėdos ir Mažeikių miestuose). Daugelyje oro kokybės tyrimų stotyse viršijimų nebuvo nustatyta vos vieną kartą arba visai nebuvo nustatyta. Palyginus su kitais didžiaisiais Lietuvos miestais Šiaulių mieste netiriamos kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>). Kiek sudėtingesnė situacija su ozono koncentracijos viršijimais. Nors Šiaulių mieste ozono koncentracija 2023 m. nebuvo viršyta, bet didžiausia koncentracija nustatyta arti ribinės vertės (leistina koncentracija – 120 µg/m<sup>3</sup>, nustatyta didžiausia koncentracija – 117 µg/m<sup>3</sup>). Kitų miestų oro kokybės stotyse kai kur buvo užfiksuoti net 9 viršijimai (Jonavos ir Kėdainių miestuose). Aplinkos apsaugos agentūra Lietuvoje oro taršos tyrimams naudoja ir mobilią laboratoriją yra skirta automatiškai matuoti aplinkos oro teršalus, kurių koncentracijos ribojamos pagal Europos Sąjungos kriterijus.

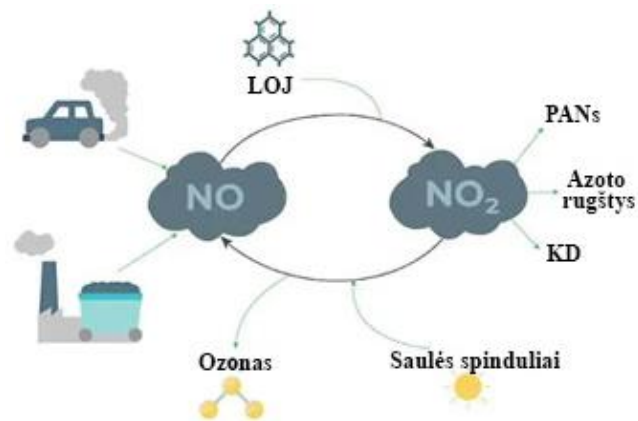
Aplinkos apsaugos agentūra iš Taršos prevencijos nuotolinių skyrių, inventorizacijos dokumentų bei Aplinkos informacijos valdymo integruotos kompiuterinės sistemos (AIVIKS) portalo sistemina stacionarių oro taršos šaltinių fizinius parametrus bei ataskaitinių metų išmetamų teršalų į aplinkos orą kiekius. Duomenys naudojami rengiant modeliavimo bei aplinkos oro taršos sklaidos žemėlapius. Atlikus skaičiavimus, modeliavimo rezultatai papildomai verifikuojami remiantis valstybinio monitoringo oro kokybės tyrimo stočių realiais matavimų duomenimis (Aplinkos apsaugos agentūra, 2024).

Toliau šiame darbe analizuojami du pagrindiniai teršalai, kurie buvo tiriami tyrimo objektuose. tai azoto dioksidas ir kietosios dalelės. Kaip jau buvo minėta įvade, Europos aplinkos agentūrą šiems teršalams skiria ypatingą dėmesį, nes yra pavojingiausi teršalai žmogaus sveikatai ir aplinkai.

### **1.2.1. Azoto dioksidas ir jo poveikis aplinkai**

Azoto dioksidas (NO<sub>2</sub>) yra nemalonaus kvapo dujos, kurios susidaro atmosferoje azoto oksidams (NO<sub>x</sub>) reaguojant su kitomis cheminėmis medžiagomis. Azotas sudaro labai daug skirtingų oksidų (N<sub>2</sub>O, NO, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Azoto oksidas ir azoto dioksidas yra labai nuodingi. Šie oksidai atmosferoje yra rūgščių lietų susidarymo priežastis (Kareiva, 2021). Azoto dioksidas susidaro dėl žmogaus veiklos deginant iškastinį kurą (anglį, dujas ir naftą), eksploatuojant transporto priemones su vidaus degimo varikliais. Azoto dioksidas pramonėje susidarot gaminant azoto rūgštį, suvirinant ir naudojant sprogmenis arba gryninant benzina ir metalus, komercinėje gamyboje ir maisto gamyboje (Goldstein et al., 2024). Azoto dioksido vienas iš susidarymo šaltinių yra troposferoje reaguojant azoto oksidui su ozonu (1 reakcija, 6 pav.).





6 pav. Azoto oksidų (NO<sub>x</sub>) reakcijos su aplinka (Davda, 2020)

Pasaulinė sveikatos organizacija, remiantis ilgalaikiais eksperimentais su gyvūnais ir tuo metu atliktais populiacijos tyrimais 2005 m. nustatė ribinę azoto dioksido vertę aplinkos ore - 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tačiau naujesni tyrimai rodo, kad jaučiamas neigiamas poveikis, kai koncentracija mažesnė nei 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , todėl Europos Sąjunga (ES) 2013 m. atnaujino atliktų tyrimų peržiūrą ir nustatė, kad azoto dioksido atveju, poveikis sveikatai gali būti laikomas patvirtintu kai viršijama - 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  riba. Dėl politinių sprendimų ši ribinė vertė vis dar nesumažinta, nors Šveicarija savo šalyje sumažino iki 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Ritz et al., 2019).

Moksliniuose straipsniuose aprašomas azoto dioksido poveikis sveikatai. M. C. Turner (2017) su bendraautorais pažymi, kad azoto dioksidas tai pavojingos dujos, kurios sukelia oksidacinį stresą, o G. Cesaroni (2013) su bendraautorais aprašo šio teršalo sukeltas uždegimines reakcijas plaučiuose. Ilgalaikis poveikis prisideda prie su kvėpavimo takais susijusio mirtingumo ir astmos pablogėjimo. Tyrimai ir apžvalgos rodo, kad didėja mirtingumas nuo širdies ir kraujagyslių ligų (Carey et al., 2013).

Europos aplinkos agentūra aprašė azoto emisijas iš variklinių transporto priemonių. Azoto oksidai susidaro deginant degalus variklyje. Azoto oksidus sudaro azoto oksido ir azoto dioksido mišinys. Azoto oksidas nekenkia sveikatai tokiomis koncentracijomis, kurios paprastai būna atmosferoje. Tačiau, priešingai, azoto dioksidas yra susijęs su įvairiomis aplinkos ir sveikatos problemomis. Kenksmingo azoto dioksido dalis dyzelinių transporto priemonių azoto oksidų emisijose yra daug didesnė nei įprastų benzininių transporto priemonių išmetamųjų teršalų dalis. Senesniuose dyzeliniuose varikliuose maždaug 95 % azoto oksidų emisijų buvo azoto oksidai ir tik 5 % azoto dioksido. Naujuose dyzeliniuose lengvuosiuose automobiliuose tiek variklio dydis, tiek papildomas išmetamųjų dujų apdorojimas (pvz., katalizatoriai) turi įtakos azoto dioksido emisijų lygiui: azoto dioksido ir azoto oksidų santykis gali svyruoti nuo 12 % iki 70 % (EEA, 2016). Taigi, nors naujesni dyzeliniai varikliai išlieka ekonomiškėsi nei benzininiai, jų poveikis

oro taršai yra blogesnis dėl didesnių azoto oksidų ir kietųjų dalelių koncentracijų, kurį jie išskiria. Covid-19 pandemija parodė, kad transporto priemonių pokyčiai daro didžiausią įtaką azoto dioksido koncentracijai (Collivignarelli et al., 2021).

Azoto dioksido koncentracijos aplinkoje pokyčiai negali būti siejami tik su transporto ir pramonės veiklos pokyčiais. Meteorologiniai parametrai turi įtakos azoto dioksido koncentracijos pasiskirstymui miesto aplinkoje. Augmenija taip pat gali turėti neigiamą poveikį oro kokybei, nes išskiria lakiuosius organinius junginius, kurie kartu su azoto oksidais atlieka pagrindinį vaidmenį formuojant ozoną troposferoje (Calfapietra et al., 2013). R. Steinbrecher, (2009) kartu su bendraautorais remdamiesi kitų mokslininkų tyrimais teigia, kad iš augalų išskiria lakieji organiniai junginiai, o jų kiekis tiesiogiai priklauso nuo temperatūros bei šviesos. Dominuojantis išskiriamas junginys yra izoprenas (Simpson et al., 1999). Priešingai nei antropogeniniai lakieji organiniai junginiai, augalų išskiriami lakieji organiniai junginiai yra labiau reaktyvūs atmosferoje (Atkinson, 2000) ir labiau išryškėja vasarą. R. Steinbrecher, (2009) kartu su bendraautorais teigia, kad esant aukštam atmosferos slėgiui ir mažam vėjo greičiui, birželį, liepą ir rugpjūtį, kartu su didelėmis azoto oksidų koncentracijomis, paviršiaus ozonas dažnai viršija aplinkos ore nustatytas normas. Norint įvertinti galimą bet kokios išmetamų teršalų mažinimo priemonės naudą oro kokybei, išmetamų teršalų koncentracijos ir kiekis turi būti įvertintas kuo tiksliau. Mokslininkai pažymi, kad augalų lakiųjų organinių junginių emisija pievose yra labai maža, bet ažuolų miške – ženkliai didesnė (Simpson et al., 1999). Pavyzdžiui, kuomet ažuolo (*Quercus*) biomasės tankis  $320 \text{ g/m}^2$ , izopreno išskyrimo kiekis lygus 60 l. Tuo tarpu eglės (*Picea*) kai biomasės tankis  $1400 \text{ g/m}^2$ , izopreno išskyrimo kiekis lygus 0,1 l.

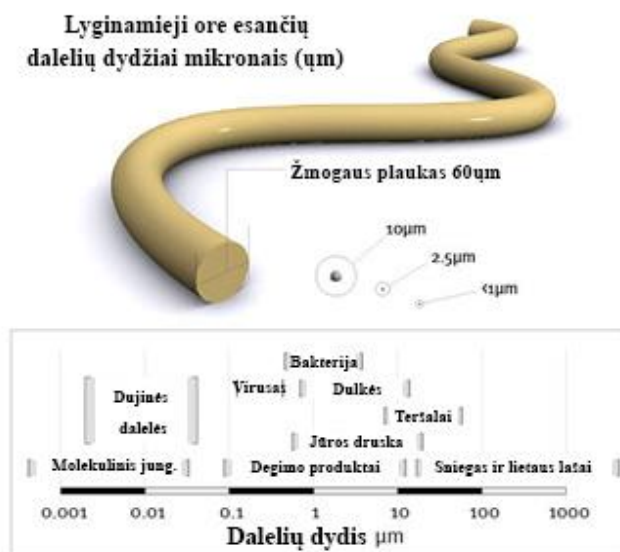
Azotas yra būtina maistinė medžiaga visiems gyviems organizmams. Nitrifikacijos ir denitrifikacijos metu azoto oksidas gali išsiskirti, oksiduotis iki azoto dioksido. Tai dar viena terpė iš kur gali susidaryti azoto dioksidas. Nitrifikacija yra biologinė procesas, vykstantis gamtoje ir yra svarbus dalis azoto ciklo - biocheminio proceso, kurio metu azotas cirkuliuoja tarp atmosferos, dirvožemio ir gyvų organizmų. O. N. Domina (2020) aprašė, kad dirvožemio drėgmė kartu su temperatūros rodikliais yra svarbus dirvožemio formavimosi, azoto kaupimosi ir biologinių procesų aktyvumo aspektas. Nitrifikuojančios bakterijos pradeda veikti jau esant 5% dirvožemio drėgnumui. Nitratinis azotas susikaupia iki 20–25 % dirvožemio drėgmės, tačiau pastebimas sumažėjimas, kai drėgmė viršija 25%. Dar vienas svarbus veiksnys skatinantis nitrifikaciją yra dirvožemio temperatūra. Nitrifikacijos greitis padidėja nuo 10 iki 30°C, o nuo 35° C - mažėja, nes nitrifikuojančios bakterijos negali toleruoti aukštos temperatūros.



Remiantis aukščiau peržiūrėtos literatūros apžvalgoje pateiktais duomenimis, galime teigti, kad miesto parkų ir oro taršos sąveika atlieka svarbu vaidmenį teršalų susidarymui ir pasklidimui. Ne visais atvejais miesto medžiai teigiamai veikia teršalų susidarymą, todėl planuojant žaliąją infrastruktūrą, svarbu įvertinti augimvietės sąlygas, taršos lygį bei ateities perspektyvas.

### 1.2.2. Kietosios dalelės (KD) ir jų poveikis aplinkai

Kietosios dalelės – tai ore esančių dalelių ir skysčio lašelių mišinys, kuriame gali būti įvairių komponentų – rūgščių, sulfatų, nitratų, kitų druskų mišinių, organinių junginių, metalų, dirvožemio dalelių, suodžių, gatvių, šaligatvių dangos dulkių ir kt. Be to, kietosios dalelės gerai absorbuoja toksines medžiagas ir mikroorganizmus. Kietosios dalelės gali būti įvairių dydžių, bet labiausiai tiriamos kietosios dalelės (KD<sub>10</sub>), nes jos yra mažesnės nei 10 μm (mikronų) ir gali prasiskverbti giliai į plaučius ir sukelti didelę grėsmę žmogaus sveikatai, bei kietosios dalelės (KD<sub>2,5</sub>), kurios yra laikomos ypač pavojingomis, nes gali prasiskverbti į gilesnius kvėpavimo takus ir patekti į kraujotakos sistemą (Sinkevičius, 2011). Kietųjų dalelių esančių aplinkos ore frakcijos dydis pavaizduota 7 pav.



7 pav. Kietųjų dalelių aplinkos ore dydžiai (Queensland Government, 2023)

Aplinkos apsaugos agentūra (2023) rekomendacijose aprašė, kad kietųjų dalelių dydis ir cheminė sudėtis priklauso nuo taršos šaltinių bei meteorologinių sąlygų, o didžioji jų dalis patenka į orą dėl kuro deginimo energetikoje, pramonėje, transporte, namų ūkiuose, žemės ūkio veiklų metu. Tame pačiame šaltinyje teigiama, kad kietosios dalelės atnešamos į Lietuvą iš kitų šalių kartu su oro pernašomis, o mūsų šalyje išmesti teršalai pernešami į kitas valstybes. Visame

pasaulyje 25 % miestų aplinkos oro taršos kietųjų dalelių ( $KD_{2,5}$ ) sudaro eismas, 15 % – pramoninė veikla, 20 % – buitinis kuro deginimas, 22 % – nenurodytų žmogaus kilmės šaltinių, 18 % – natūralios kilmės (Karagulian et al., 2015 ).T. Li (2022) su bendraautoriais kartu su epidemiologiniais ir laboratoriniais įrodymais atliko apžvalgą, kurioje išsamiai iliustravo galimus molekulinis sveikatos sužalojimo mechanizmus, kuriuos sukelia kietosios dalelės ir jų komponentai įvairiose sistemose. Apibendrintos pagrindinės išvados ir naujos įžvalgos apie ryšį tarp visuomenės sveikatos ir kietosiomis dalelėmis.

Aukščiau minėtoje literatūros šaltiniuose ypač akcentuojamas kietųjų dalelių ( $KD_{2,5}$ ) poveikis sveikatai. Lietuvoje kai kuriose oro kokybės matavimų stotyse atliekami kietųjų dalelių ( $KD_{2,5}$ ) tyrimai, bet leistina norma įsigalios nuo 2025 m. sausio 1 d., kuri sieks  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . 2023 m. oro kokybės stočių matavimo duomenimis (3 priedas) ši leistina riba dar nebuvo pasiekta. Didžiausias užfiksuota koncentracija buvo Kauno oro kokybės matavimo stotyje ( $10,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Nors žiūrint į rezultatus ši problema neatrodo aktuali, bet reikia įvertinti, kad oro kokybės matavimo stotys negali apibrėžti taršos paplitimo visoje vietos aglomeracijos zonoje. Teršalų koncentracijos tam tikrose vietose gali būti skirtingas. Aplinkos apsaugos agentūra (2023) pateikė specialius reikalavimus matavimo vietos parinkimui, tokius kaip: ėminių ėmimo vieta turi būti tokioje vietoje, kad būtų imami ne mažesnėje kaip 100 m ilgio gatvės atkarpoje (transporto taršos poveikiui vertinti) ir bent  $250 \text{ m} \times 250 \text{ m}$  plote; atsižvelgiant į vėjo kryptį nuo pramonės šaltinių; ėminių ėmikliai įrengiami bent 25 m atstumu nuo didelių sankryžų pakraščio ir ne didesniu nei 10 m atstumu nuo kelkraščio ir kt. Išlaikant kuo vienodesnes sąlygas, būtų galima lyginti teršalų koncentracijas tarp skirtingų oro kokybės matavimo stočių.

### **1.3. Azoto dioksido ir kietųjų dalelių analizės metodai**

Yra daug skirtingų azoto dioksido ir kietųjų dalelių analizės metodų. Kiekvienas jų turi savo privalumus ir trūkumus bei skirti konkrečioms situacijoms. Aplinkos oro teršalų matavimams labai svarbus tikslumas ir jautrumas dėl labai mažos teršalų koncentracijos aptikimo ribos. Tam reikalinga įranga skirta aptikti mažas koncentracijas. Kitas svarbus faktorius – kaina ir prieinamumas. Naudojant pigesnę ir paprastesnę įrangą galima atlikti daugiau tyrimų nepatiriant didesnių finansinių išteklių. Mėginių paėmimo ar paėmimo ir matavimo įranga gali būti skirstoma į mobilią ir stacionarią. Su mobilią įrangą galima atlikti tyrimus skirtingose vietose, nustatyti taršos židinius, paplitimą. Yra prietaisai, kurie turi elektrocheminius infraraudonųjų, optinius ar kt. jutiklius, kurie geba rodyti rezultatą realiu laiku. Kiti prietaisai skirti paimti mėginį, o tyrimai atliekami laboratorijoje su analitine įranga. Stacionari matavimo įranga pasižymi ilgalaičiu matavimo principu, dėl įrangos sudėtingumo gaunami tikslesni rezultatai. Trūkumas – labai

priklauso nuo aplinkos veiksnių, galinčių paveikti tyrimo rezultata. Nėra galimybės greitai pakeisti matavimo vietas ir taip išvengti neatitikčių. Tokia įranga montuojama automatinėse oro kokybės stebėjimo stotyse. Jos išlaikymas brangus ir ne visiems prieinamas. Kaip alternatyva tokiems matavimams yra pasyvūs matavimo metodai, kurie nereikalauja nuolatinio energijos šaltinio ir jie gali būti naudojami ilgalaikiam stebėjimui.

Kiekvienas metodas turi savo privalumų ir apribojimų, o metodo pasirinkimas priklauso nuo tokių veiksnių kaip konkretūs dominantys teršalai, matavimo reikalavimai ir turimi išteklių.

#### **Aplinkos ore naudojami azoto dioksido tyrimo metodai:**

- Chemiliuminescencijos metodas. Tai vienas dažniausiai naudojamas metodas azoto dioksido koncentracijos aplinkos ore nustatymui. Šiuo metodu azoto dioksidas konvertuojamas į azoto monoksidą. Konvertuotas azoto monoksidas sąveikauja su ozonu, kuris yra išskiriantis šviesą reagentas, reaguojantis su azoto monoksidu. Šviesos intensyvumas yra tiesiogiai proporcingas azoto dioksido koncentracijai. Šis matavimo metodas naudojamas ir Lietuvos oro kokybės matavimo stotyse (Horiba Process and Environmental, 2024).

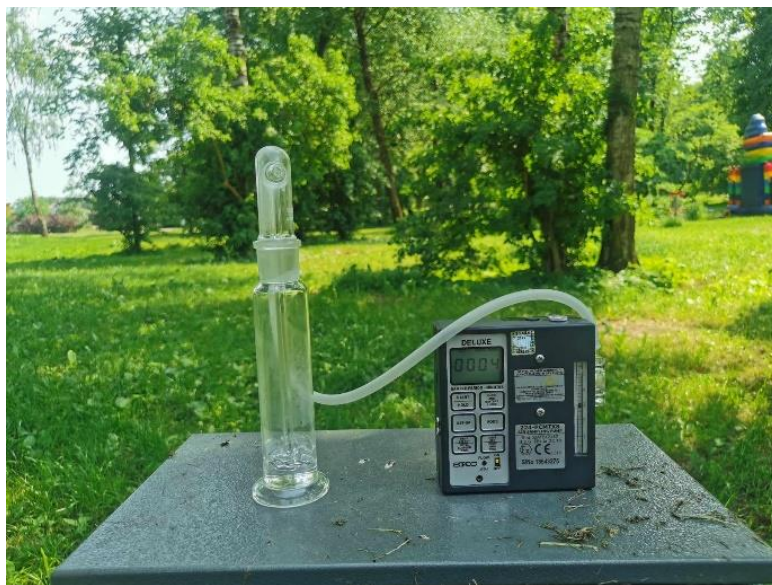
- Difuziniai vamzdeliai. Difuziniai vamzdeliai skirti pasyviam mėginio paėmimui. Tai įrenginys, kuris naudoja cheminę reakciją, kad surinktų azoto dioksidą per tam tikrą laiko tarpą. Šis metodas dažnai naudojamas atliekant savivaldybių aplinkos monitoringą. Tokia šiuo metu naudojama ir Šiaulių mieste pagal parengtą Šiaulių miesto savivaldybės 2021–2026 m. aplinkos monitoringo programą (UAB „Geomina“, 2020)

- Elektrocheminis metodas. Tai nešiojami analizatoriai gebantis nustatyti azoto dioksido koncentraciją. Elektrocheminiai jutikliai yra prietaisai, paverčiantys cheminę informaciją elektriniu signalu. Elektrocheminio jutiklio veikimo principas apima tris pagrindinius veiksmus: difuziją (tikslinės dujos arba medžiaga difunduoja per membraną ir pasiekia elektrodo paviršių), reakciją (prie elektrodo vyksta elektrocheminė reakcija. Ši reakcija būdinga aptinkamai medžiagai), signalo generavimą (reakcija sukuria elektros srovę, proporcingą tikslinės medžiagos koncentracijai). Vyksta dviejų tipų reakcija: oksidacija (kai medžiaga praranda elektronus) ir redukcija (kai medžiaga įgyja elektronus) (Cretescu et al., 2017).

- UV absorbcijos spektroskopija. UV spektroskopija naudoja šviesą tam tikrame UV bangos ilgio diapazone, kad išmatuotų, kiek šviesos mėginys sugeria arba atspindi, ir nustato azoto dioksido koncentraciją mėginyje. Naudojamas spektrometras, tai prietaisas matuojantis nuolatinį kintamąjį, kuriame spektro komponentai yra atskirti nuo pradinio mišinio. Yra keletas spektrometrų variantų, o kai kurie iš labiausiai paplitusių yra branduolinio magnetinio rezonanso (BMR) spektrometras, masės spektrometras ir optinis spektrometras. BMR

spektrometras stebi ir matuoja branduolių sukimosi sąveiką, kai mėginys dedamas į stiprų pastovų magnetinį lauką. Masės spektrometras matuoja jonų masės ir krūvio santykį ir nustato mėginyje esančių elementų sudėtį. Optinis spektrometras matuoja šviesos savybes, dažniausiai netoli elektromagnetinio spektro optinės srities, ty ultravioletinės, matomosios ir infraraudonosios šviesos (Wavelength Opto-Electronic, 2024).

- Azoto dioksidas gali būti surenkamas absorbciniu būdu praleidžiant azodažą sudarantį reagentą per nurodytą periodą. Mėginio paėmimas absorbciniu metodu pavaizduotas 8 pav. Vėliau mėginio tirpalo absorbcija nustatoma naudojant spektrofotometrą. Atitinkama azoto dioksido masės koncentracija nustatoma iš sugerties ir koncentracijos kalibravimo grafiko, paruošto naudojant žinomos koncentracijos natrio nitrito tirpalus. Azoto dioksido aplinkos ore tyrimams pasirinktas azoto dioksido masės koncentracijos nustatymo – modifikuotas Griess-Saltzman metodas. Šis tarptautinis standartas nurodo modifikuotą Griess-Saltzman metodą masei nustatyti azoto dioksido koncentracija aplinkos ore. Metodas taikomas azoto dioksido masės koncentracijai nustatyti aplinkos ore nuo  $0,003 \text{ mg/m}^3$  iki  $2 \text{ mg/m}^3$  diapazone.



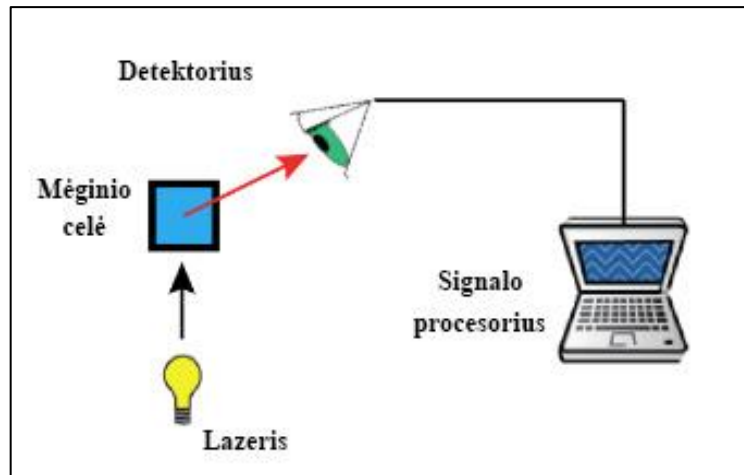
8 pav. Mėginio paėmimas absorbciniu

Šiame darbe pasirinktis paskutinis aprašytas metodas azoto dioksido koncentracijai aplinkos ore nustatyti. Galutiniam rezultatui gauti šis metodas reikalauja daug pasiruošimo, naudojami cheminiai reagentai, koncentracijos nustatomos laboratorijoje, o rezultatai gaunami atlikus papildomus skaičiavimus. Tačiau mėginių paėmimas nesudėtingas ir patogus norint atlikti matavimu bet kurioje suplanuotoje vietoje.

### **Aplinkos ore naudojami kietųjų dalelių tyrimo metodai:**

Kietųjų dalelių tyrimo metodai skiriasi sudėtingumu, tikslumu ir dalelių, kurias jie gali aptikti, dydžio diapazonu:

- Beta spinduliuotės absorbcijos metodas: Šis metodas taikomas koncentracijoms, kurios svyruoja nuo kelių mikrogramų iki kelių miligramų kubiniame metre kubiniame metre miesto, kaimo ar pramonės zonų atmosferoje, nustatyti (LST ISO 10473:2000). Kietųjų dalelių koncentracija apskaičiuojama ant filtro juostos arba atskiro filtro nusėdusią masę padalijus iš žinomo paimto oro tūrio. Kietųjų dalelių koncentracija priklauso nuo naudojamos mėginių ėmimo technikos, pavyzdžiui, nuo mėginių ėmimo angos konstrukcijos. Imant aplinkos oro dalelių mėginius didelės dalelės išfiltruojamos per pasirinkamą dydį. Šis metodas taikomas automatizuotiems prietaisams ir užtikrina nuolatinį matavimą realiu laiku ir yra plačiai naudojamas oro kokybės stebėjimo tinkluose.
- Kūginių elementų virpesių mikrobalsų technologija: Tai dar vienas metodas taikomas kietųjų dalelių koncentracijos nustatymui realiu laiku. Naudojami gravimetriniai instrumentai, kurie pastoviu srauto greičiu traukia aplinkos orą per filtrą. Bet koks ant filtro susikaupęs dalelių svoris keičia vamzdelio virpesių dažnį. Elektroninė grandinė pagal dažnio pokyčio dydį nustato kietųjų dalelių masės greitį. Nuo didelio tūrio mėginių ėmimo analizatorių skiriasi tuom, kad nereikia dažnai keisti filtrų.
- Gravimetrinis metodas: naudojant šį metodą oro mėginiai paimami ant filtrų per tam tikrą laikotarpį. Kietųjų dalelių masė nustatoma svėrimo būdu. Šis mėginių paėmimo metodas aprašytas LST EN 12341:2023. Metodo principas pagrįstas kietųjų dalelių mėginių ėmimu ant filtrų ir jas sveriant svarstyklėmis. Šio Europos standarto taikymo sritis yra 24 valandų matavimai nuo  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  iki  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  KD10 ir  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  KD2,5.
- Optiniai dalelių skaitikliai: prietaisai naudoja šviesos sklaidą, kad suskaičiuotų daleles. Jie gali išmatuoti platų dalelių dydžių diapazoną ir pateikti realaus laiko duomenis apie dalelių skaičiaus koncentraciją ir dydžio pasiskirstymą. Optinio dalelių skaitiklio matavimo principinė schema pavaizduotas 9 pav.



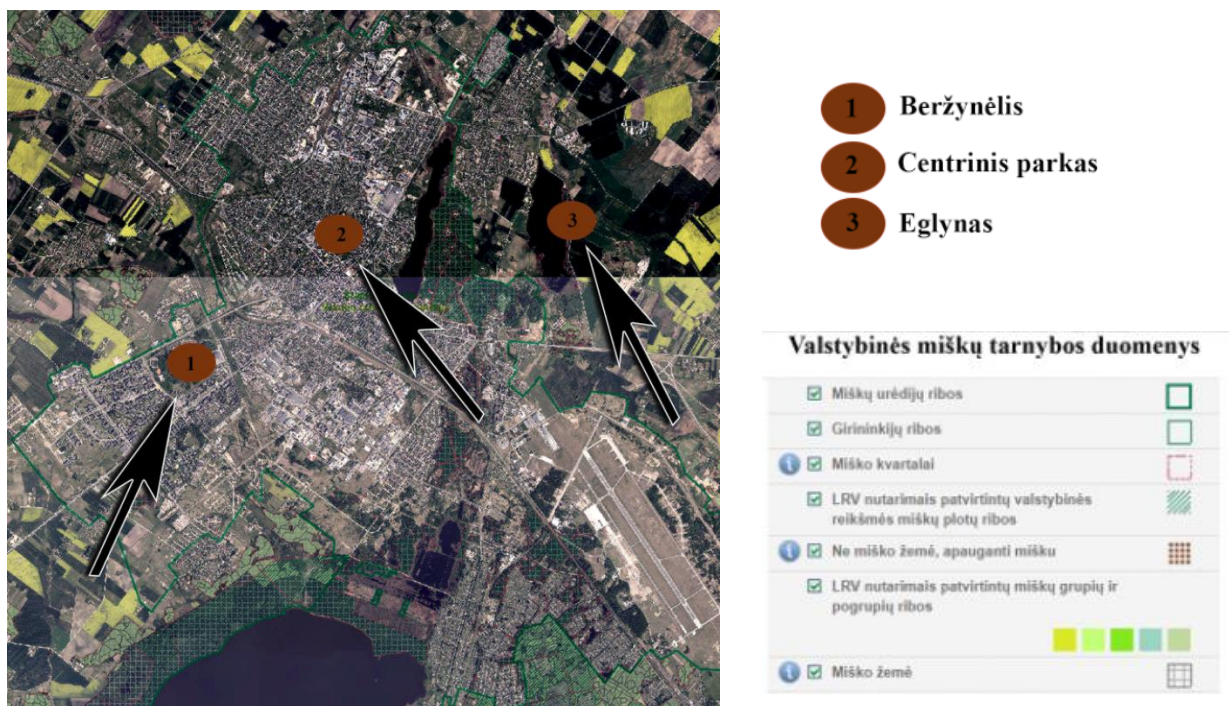
9 pav. Optinio dalelių skaitiklio matavimo principinė schema

Šiame darbe pasirinktis paskutinis aprašytas metodas kietųjų dalelių koncentracijai aplinkos ore nustatyti. Šis metodas patogus norint realiu laiku nustatyti kietųjų dalelių koncentraciją. Mėginių paėmimas nesudėtingas ir patogus norint atlikti matavimu bet kurioje suplanuotoje vietoje.

## 2. TYRIMO OBJEKTAS IR METODAI

### 2.1. Tyrimo objektas

Tyrimo objektas – tai medžiais apželdintos teritorijos, išsiskiriančios savo medžių rūšių įvairove, vieta ir naudojimo būdu. Buvo siekiama, kad kiekvienoje medžiais apželdintoje teritorijoje gauti rezultatai atspindėtų tam tikrų vyraujančių medžių rūšių įtaką teršalų pasiskirstymui, kaip kinta teršalų koncentracijos, kokią įtaką turi augimvietės sąlygos bei skirtingi metų laikai. Aplinkos oro mėginiai paimti dvejuose Šiaulių miesto parkų („Beržynėlio“ (toliau - Beržynėlis) ir „Centrinio parko“ (toliau - Centrinis parkas)) teritorijose ir šalia Šiaulių miesto esančio eglėmis apsodintoje teritorijoje (toliau - Eglėlynas) (10 pav.).



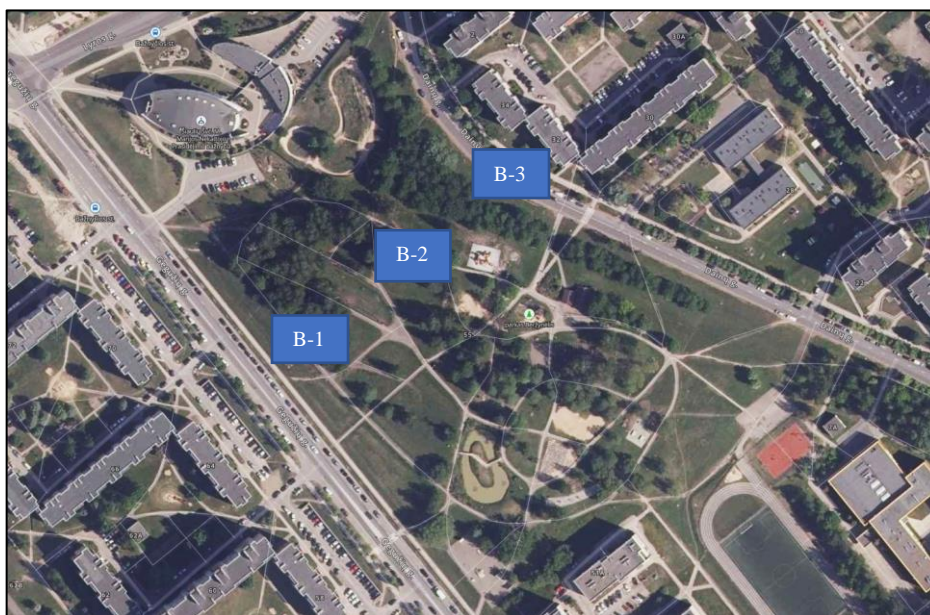
10 pav. Vietovės, kurioje pažymėtos tiriamosios teritorijos, schema (Regia.lt, 2022).

Kiekvienoje teritorijoje buvo pasirinktos po tris aplinkos oro mėginio paėmimo vietas. Kiekvienos tiriamosios teritorijos objekte pirma mėginių paėmimo vieta pasirinkta arčiausiai antropogeninio oro taršos šaltinio, antra vieta tyrimo objekto centrinėje dalyje ir trečia – už medžiais apželdintos teritorijos.

#### Beržynėlis

Tiriamoji teritorija yra vienoje iš judriausių Šiaulių miesto zonų pietinėje miesto dalyje (11 pav.). Teritorijos plotas užima apie 5 ha. Čia įrengti pėsčiųjų ir dviračių takai, vaikų žaidimo aikštelės. Tiriamuoju laikotarpiu buvo nuolat sutinkami gyventojai leidžiant laiką su vaikais, sportuojant, vedžiodant augintinius. Aplink Beržynėlį supa gyvenamieji daugiabučiai namai, rytų

kryptimi ribojasi su švietimo įstaiga (Šiaulių Romuvos gimnazija), šiaurės kryptimi šalia daugiabučių namų yra lopšelis-daželis, šiaurės vakarų kryptimi ribojasi su Šiaulių Švč. Mergelės Marijos Nekaltojo Prasidėjimo bažnyčia. Šalia tiriamosios teritorijos nėra pramonės paskirties objektų ar individualių namų. Vienintelis ir pagrindinis antropogeninis oro taršos šaltinis yra transportas.



11 pav. Beržynėlio tiriamosios teritorijos oro mėginių paėmimo vietų žymėjimo schema (Maps.lt, 2024)

**Pirmoji mėginių paėmimo vieta (B-1)** pasirinkta šalia Gegužių g., kuri yra viena pagrindinių susisiekimo su miesto centru gatvė. Čia pagrindiniai teršalai išsiskiria iš mobilių oro taršos šaltinių. Kitų aplinkos oro taršos šaltinių nėra. Už gatvės pastatyti daugiabučių namų kvartalai. Remiantis Aplinkos apsaugos agentūros duomenimis (1 ir 2 priedai) čia 2022 m. užfiksuotos didžiausios maksimalios 24 val. kietųjų dalelių ( $KD_{10}$ ) ir 1 val. azoto dioksido koncentracija.

**Antra mėginių paėmimo vieta (B-2)** pasirinkta parko centrinėje dalyje, nutolusi 80 m atstumu šiaurės rytų kryptimi nuo pirmos mėginių paėmimo vietos (B-1). Čia vyrauja lapuočiai medžiai: daugiausiai beržai (*Betula*), auga ir liepos (*Tilia*). Centrinė parko dalis nuo pagrindinės Gegužių g. nėra atskirta tankiai apsodintais medžiais. Tankiau medžiais apželdintos teritorijos yra tik iš šiaurės vakarų, šiaurės ir šiaurės rytų pusių.

**Trečia mėginių paėmimo vieta (B-3)** už parko ties Dainų g., nutolusi 80 m atstumu šiaurės rytų kryptimi nuo antros mėginių paėmimo vietos (B-2). Gyventojai Dainų g. pasiekia pagrindines



susisiekimo su miestu gatves. Didelis eismas vyksta rytais (7-8 val.) ir pavakary (16-18 val.). Šioje matavimo vietoje tyrimai buvo atliekami esant mažesniai eismo srautui.

### Centrinis parkas

Tai viena didžiausių Šiaulių miesto rekreacinių zonų, esanti miesto centrinėje dalyje (12 pav.). Šiaulių miesto centrinio parko plotas užima apie 12 ha. Parke įrengta vasaros estrada, sporto aikštynai, plačios alėjos ir kt. Daugelis medžių pasiekę gyvenimo brandą. Parke vyrauja lapuočiai medžiai: mažalapės liepos (*Tilia cordata*), karpotieji beržai (*Betula pendula*), paprastieji ąžuolai (*Quercus robur*), paprastieji kaštonai (*Aesculus hippocastanum*), paprastieji klevai (*Acer platanoides*) ir kt. Parkas beveik aplink visą teritoriją ribojasi su nuosavais gyvenamaisiais pastatais. Pagrindinis antropogeninis aplinkos oro taršos šaltinis tai transportas ir namų ūkiai.



12 pav. Centrinio parko tiriamosios teritorijos oro mėginių paėmimo vietų žymėjimo schema (Maps.lt, 2024)

**Pirmoji mėginių paėmimo vieta (CP-1)** ribojasi su viena pagrindinių Šiaulių miesto gatvių (Žemaitės g.). Čia pagrindiniai teršalai išsiskiria iš mobilių oro taršos šaltinių. Šaltuoju metų laiku, kai prasideda šildymo sezonas, prie aplinkos teršimo prisideda ir nuosavų namų išmetami teršalai iš katilinių.

**Antroji mėginių paėmimo vieta (CP-2)** pasirinkta parko centrinėje dalyje 130 m atstumu rytų kryptimi nuo pirmos matavimo vietos (CP-1). Aplink supa tankiai apsodinti medžiai. Vieta lengvai pasiekama čia laiką leidžiantiems gyventojams.

**Trečioji mėginių paėmimo vieta (CP-3)** pasirinkta už parko šalia gyvenamųjų namų 210 m rytų kryptimi nuo antros matavimo vietos (CP-2). Šalia matavimo vietos įsikūrę namų ūkiai, kuriuos nuo parko skiria Vaisių gatvė.

### Eglynas

Tiriamoji teritorija yra šalia Šiaulių miesto rytų kryptimi (13 pav.). Tiriamasis plotas užima apie 5 ha. Ši miškinga vietovė iš rytų pusės ribojasi su kelių Ginkūnai-Aleksandrija, kurio paskirti apvažiuoti miestą. Toliau už kelio yra žemės ūkio paskirties dirbami laukai. Vakarų kryptimi ribojasi su Švedės tvenkiniu, kuris susidarė išekspluatuoto durpyno vietoje. Vieta nėra lankoma gyventojų ir yra toliau nuo gyvenamųjų namų rajonų, o pakrantė natūraliai apaugusi vandens augalais. Pagrindinis antropogeninis oro taršos šaltinis yra transportas ir dirbami laukai.



13 pav. Eglynos tiriamosios teritorijos oro mėginių paėmimo vietų žymėjimo schema (Maps.lt, 2024)

**Pirmoji mėginių paėmimo vieta (E-1)** yra šalia kelio, nuo kurios už 1,5 km pietryčių kryptimi įsikūrusi asfaltbetonio gamyklos. Mėginių paėmimo metu gamykla neveikė. Kiek toliau ta pačia kryptimi už 1,8 km yra neeksploatuojamas Kairių sąvartynas ir šalia esantys filtrato tvenkiniai. Už kelio ta pačia kryptimi yra žemės ūkio paskirties dirbami laukai.

**Antra mėginių paėmimo vieta (E-2)** objekto centrinėje dalyje nutolusi 70 m atstumu pietvakarių kryptimi nuo pirmos mėginių paėmimo vietos (E-1). Aplink supa tankiai apželdinti medžiai (eglės (*Picea*)), žemę dengia samanota paklotė su nuo medžių nukritusiais spygliais.

Tiriamuoju laikotarpiu nebuvo pastebėta, kad būtų atliekami miško priežiūros darbai. Palikti nudžiūvę ir išvirtę medžiai.

**Trečia mėginių paėmimo vieta (E-3)** tarp tvenkinio ir Eglyno, 70 m atstumu nutolusi pietvakarių kryptimi nuo antros mėginių apėmimo vietos (E-2). Tvenkinio pakrantė užpelkėjusi ir tankiai prižėlusis vandens augmenijos. Tarpe tarp tvenkinio ir miškingos teritorijos tvyro natūrali nešienaujama pieva su drėgnu dirvožemiu.

## 2.2. Tyrimo metodai

Azoto dioksido (NO<sub>2</sub>) ir kietųjų dalelių tyrimai pradėti 2023 m. kovo 22 d. ir baigti 2023 m. rugsėjo 22 d. Viso atlikti 72 azoto dioksido ir kietųjų dalelių (KD<sub>0,3</sub>, KD<sub>0,5</sub>, KD<sub>1</sub>, KD<sub>2</sub>, KD<sub>5</sub> ir KD<sub>10</sub>) tyrimai: kiekvieno tyrimo objekto trijose matavimo vietose po 8 tyrimus per tiriamąjį laikotarpį. Atliekant tyrimus remiantis Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos duomenimis buvo fiksuojami meteorologiniai parametrai (temperatūra ir atmosferos slėgis) bei Šiaulių Oro kokybės tyrimo stotyje tiriamųjų teršalų koncentracijos (azoto dioksido 1 valandos, ozono 8 valandų, ozono 1 valandos, kietųjų dalelių (KD10) 24 valandų slenkantys koncentracijos vidurkiai).

Azoto dioksido aplinkos ore tyrimams pasirinktas azoto dioksido masės koncentracijos nustatymo – modifikuotas Griess-Saltzman metodas (ISO 6768:1998). Mėginiai surinkti rankiniu būdu ir pervežti į laboratoriją tolimesniems tyrimams. Kietųjų dalelių matavimas atliekamas aspiraciniu būdu paimant nedidelį oro kiekį per tam tikrą laiką. Tyrimų rezultatai nustatomi vietoje, kurie iškart registruojami mėginių paėmimo protokole.

### 2.2.1. Azoto dioksido tyrimo metodas

Azoto dioksido aplinkos ore tyrimams pasirinktas azoto dioksido masės koncentracijos nustatymo – modifikuotas Griess-Saltzman metodas. Šis tarptautinis standartas nurodo modifikuotą Griess-Saltzman metodą masei nustatyti azoto dioksido koncentracija aplinkos ore. Metodas taikomas azoto dioksido masės koncentracijai nustatyti aplinkos ore nuo 0,003 mg/m<sup>3</sup> iki 2 mg/m<sup>3</sup> diapazone ir mėginių ėmimo laikas nuo 10 min. iki 2 val.

Azoto dioksido tyrimams paruoštas absorbcinis tirpalas, kurio paruošimui naudotos medžiagos: absorbcinis N-(1-naftil)etilendiamino dihidrochlorido tirpalas (C<sub>10</sub>H<sub>7</sub>NH(CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>NH<sub>2</sub> • 2HCl), sulfanilo rūgšties tirpalas (C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>SO<sub>3</sub>HNH<sub>2</sub>), acto rūgšties tirpalas (CH<sub>3</sub>COOH), natrio nitrito tirpalas (NaNO<sub>2</sub>) ir demineralizuotas vanduo. Birių reagentų svėrimui naudotos analitinės svarstyklės AGN100C (matavimo ribos – (0,01...100) g, tikslumas – 0,001 g), skystų reagentų dozavimui naudoto automatinės pipetės Eppendorf (10 ml) ir Easy 40 Elite (100...1000) µl. Paruoštas absorbento tirpalas automatine pipete buvo supilamas į kiekvieną absorberį po 20 ml.

Nepanaudotas absorbento tirpalas laikomas gerai užkimštame rudo stiklo buteliuke, žemesnėje kaip 5°C temperatūroje ir buvo naudojamas kitą kartą imant mėginius.

Azoto dioksido mėginių ėmimui buvo sumontuojama oro mėginių paėmimo sistema (14 pav. a). Prie aspiratoriaus SKC 224-PCTX8 (siurbimo greitis (0,5...5,5) mm, tikslumas -  $\pm 5\%$ ) prijungiamas absorberis ir zondas. Suregulius oro paėmimo srautą imami mėginiai 2 l/min siurbimo greičių 15 min kiekvieno mėginio paėmimo metu. Mėginių paėmimo aukštis apie 1,5 metro. Kiekvienoje tiriamojo objekto teritorijoje buvo imami 3 oro mėginiai. Po mėginių ėmimo atjungiamas absorberis ir patalpinamas į specialiai tam skirtą mobilų šaldiklį (14 pav. b) su įmontuotu elektriniu šaldymo elementu, tam, kad užtikrinti mėginių transportavimo sąlygas žemesnėje kaip 5 °C temperatūroje. Mėginio tirpalas buvo saugojamas nuo šviesos iki koncentracijos matavimų laboratorijoje, kuriuos metodas rekomenduoja atlikti per 20 val. nuo mėginio paėmimo.

a)



b)



14 pav. Mėginių paėmimo (a) ir transportavimo (b) įranga.

Azoto dioksido mėginių analizei buvo naudojamas spektrofotometras Genesys 20 (spekto ribos – (325...110) nm), bangos ilgio tikslumas  $\pm 2,0$  nm). Nustatytas bangos ilgis į 545 nm. Iš kiekvieno absorberio su mėginiais į optinę kiuvetę buvo įpilamas reikiamas kiekis mėginio ir įstatoma į prietaisą, kur nustatoma optinio tankio absorbcija. Gauti duomenys buvo panaudoti atliekant azoto dioksido (NO<sub>2</sub>) koncentracijos skaičiavimus. Priemonės ir medžiagos reagentams paruošti ir azoto dioksido koncentracijai nustatyti pavaizduoti 15 pav.



15 pav. Priemonės ir medžiagos.

Atlikti tyrimai rodo, kad nustatytos koncentracijos yra kalibracinės kreivės diapazone. Kalibracinė kreivė azoto dioksido koncentracijos nustatymui pasirinkti 4 skirtingi koncentracijos tirpalai sudarė grafiką, kurio determinacijos koeficientas siekė 0,9994. Ši reikšmė reiškia, kad tiesinis regresijos modelis beveik idealiai atitinka duomenis.

### 2.2.2. Kietųjų dalelių tyrimo metodas

Kietųjų dalelių tyrimams naudotas prietaisas „Fluke 983“ (16 pav.), turintis 6 kanalus 0,3, 0,5, 1,0, 2,0, 5,0, 10,0  $\mu\text{m}$  dydžio kietųjų dalelių matavimui. Matavimo principas pagrįstas aspiraciniu būdu paimant nedidelį oro kiekį per tam tikrą laiką (10 s). Šviesos spindulys fiksuoja dalelių dydį ir kiekį. Esant didelei koncentracijai gali būti užfiksuotos dvi vieno dydžio dalelės vienu metu. Remiantis technine prietaiso specifikacija, tokių atvejų pasitaiko iki 10%.

Fluke 983 dalelių skaitiklis veikia siurbiant žinomo tūrio oro mėginį pro lazerio spindulį. Dulkių dalelės pereidamos per spindulį išsklaido lazerio šviesą. Fotodetektoriaus jutiklio išsklaidyta šviesą generuoja analoginis elektrinis signalas. Didesnis dalelės išsklaido daugiau šviesos ir sukuria aukštesnę įtampą. Borto elektronikos suskaičiuoja daleles pradedant nuo 0,3 mikronų iki 10 mikronų.



### 16 pav. Kietųjų dalelių matavimo prietaisas (MyFlukeStore)

Viso kiekvieno tiriamojo objekto teritorijoje buvo atlikta po tris 0,3, 0,5, 1,0, 2,0, 5,0, 10,0  $\mu\text{m}$  dydžio kietųjų dalelių matavimus. Kietųjų dalelių analizės rezultatų pateikimui perskaičiuotos visų dydžių kietųjų dalelių koncentracija į  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Centrinėse parkų vietose gauti rezultatai perskaičiuoti įvertintus bioaerolių dalelių tankį. Pagal Markowicz et al. (2014), bioaerolių dalelių tankis taikytas  $1,5 \text{ g}/\text{cm}^3$  ( $1,5 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Kraštinėse matavimo vietose prie parkų taikytas mišrus aerolių tankis  $1,8 \text{ g}/\text{cm}^3$  ( $1,8 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Wang et al., 2021). Gauti kietųjų dalelių koncentracijos kiekiai susumuoti į kietąsias daleles ( $\text{KD}_{2,5}$ ) (apimant 0,3, 0,5, 1,0 ir 2,0  $\mu\text{m}$  dydžio daleles) ir kietąsias daleles ( $\text{KD}_{10}$ ) (apimant 5,0 ir 10,0  $\mu\text{m}$  dydžio daleles).

#### 2.2.3. Duomenų statistinė analizė

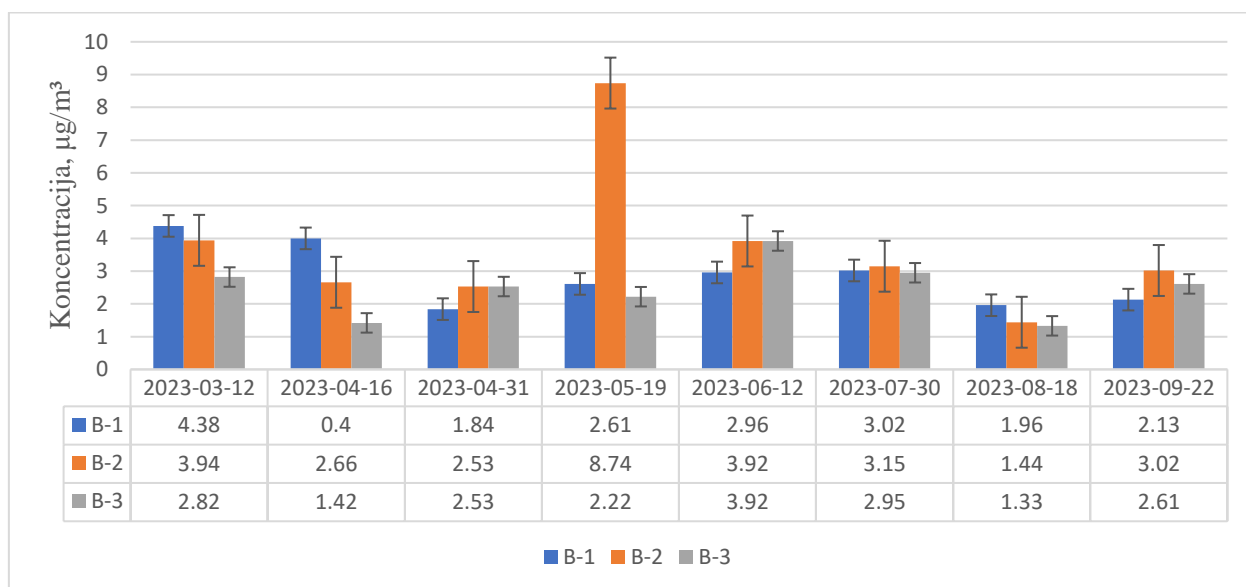
Šiame darbe statistinė duomenų analizė atlikta su SPSS programa. SPSS programinis paketas (angl. – Statistical Package for the Social Sciences) – vienas labiausiai paplitusių statistinės informacijos apdorojimo programinių paketų, tinkamų ir pradedančiajam, ir patyrusiam vartotojui (Pukėnas, 2009). Tyrimų duomenys buvo kaupiami Excel programoje, kurioje įdiegtas filtras leidžiantis perkelti reikalingus duomenis į SPSS programą analizei. Tyrimo tikslas buvo nustatyti ar teršalų koncentracijos priklausomos vienos nuo kito, ar kiekvieno teršalo koncentracija priklausoma nuo meteorologinių sąlygų. Analizei pasirinkta Pearson koreliacija, nes buvo atliekamas dviejų kintamųjų priklausomybės vertinimas. Gautas koreliacijos koeficientas parodo tiesinio ryšio tarp kintamųjų stiprumą. Koreliacija buvo laikoma statistiškai reikšminga, kai p reikšmė yra mažesnė už  $\alpha$  (kai  $\alpha = 0,01$  arba  $\alpha = 0,05$ ). Pearson koreliacijos vertinimas buvo lyginamas su koreliacijos koeficientu nuo 0 iki 1 skalėje. Kuo koreliacijos koeficiento reikšmė buvo arčiau 1, tuo ryšis tarp kintamųjų laikomas stipresniu. Gauti analizės rezultatai susisteminti lentelėse.

### 3. DARBO REZULTATAI IR ANALIZĖ

#### 3.1. Azoto dioksido koncentracijos tiriamosiose teritorijose analizė

##### Azoto dioksido koncentracijos analizė Beržynėlyje

Beržynėlyje tiriamuoju laikotarpiu (nuo 2023 m. kovo mėn. 12 d. iki 2023 m. rugsėjo mėn. 22 d.) azoto dioksido koncentracija kiekvienoje matavimo vietoje kito nevienodai (17 pav.). Didesnės ir mažesnės koncentracijos kito nepriklausomai nuo matavimo vietos.



17 pav. Beržynėlyje nustatyta azoto dioksido koncentracija arčiau antropogeninio taršos šaltinio (B-1), centrinėje parko dalyje (B-2) ir už parko (B-3)

Pirmoje matavimo vietoje (B-1), arčiau antropogeninio mobilaus taršos šaltinio tyrimo laikotarpio pradžioje buvo užfiksuota didesnė koncentracija, kuri ženkliai mažėjo iki 2023 m. balandžio mėn. 31 d. ir vėliau kito nežymiai. Didesnė azoto dioksido koncentracija tiriamojo laikotarpio pradžioje siejama su teršalais išsiskiriančiais iš mobilaus oro taršos šaltinio šaltuoju metų laiku, kai transporto priemonės su vidaus degimo varikliais sunkiau pasiekia darbinę temperatūrą ir išmeta daugiau oro teršalų.

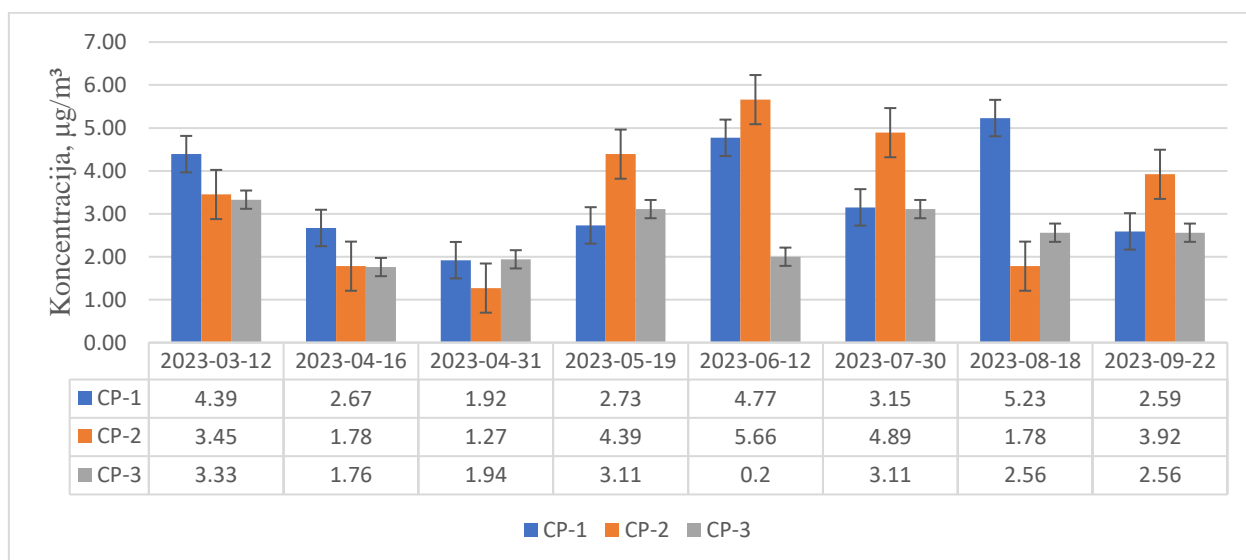
Analizuojant Beržynėlio centrinę matavimo vietą (B-2) kaip ir pirmoje matavimo vietoje tyrimo laikotarpio pradžioje buvo užfiksuota didesnė azoto dioksido koncentracija, kuri taip pat mažėjo iki 2023 m. balandžio 31 d. Išskirtis nustatyta 2023 m. gegužės mėn. 19 d., kuomet azoto dioksido koncentracija, palyginus su kitomis tiriamosios teritorijos azoto dioksido koncentracija, buvo didesnė beveik 4 kartus (nuo 2,95  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  iki 8,74  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Toks ženklus padidėjimas siejamas su augalijos vegetacijos metu išskiriamais junginiais, kurie atmosferoje virsta azoto dioksidu. Centrinės matavimo vietos (B-2) išskirtis negali būti siejama su antropogeninės taršos poveikiu,

nes tą pačią dieną matavimo vietoje B-1, kuris yra arčiau antropogeninio mobilaus oro taršos šaltinio ir matavimo vietoje B-3 azoto dioksido koncentracija buvo ženkliai mažesnė (atitinkamai  $2,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ir  $2,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Beržynėlio trečioje matavimo vietoje (B-3) azoto dioksido koncentracija kito panašiai kaip ir centrinėje parko vietoje. Šioje mėginių paėmimo vietoje, tikėtina, mažiau įtakos turi antropogeninė oro tarša, tačiau didesnei azoto dioksido koncentracijai šiltuoju metų laiku turi šalia matavimo vietos tankiai pasodintos liepos, kuriuos kaip ir centrinėje parko vietoje augalų vegetacijos laikotarpiu išskiria junginius, kurie vėliau galimai virsta azoto dioksidu.

### Azoto dioksido koncentracijos analizė Centriniam parke

Centriniam parke, kaip ir Beržynėlyje, tyrimų laikotarpiu azoto dioksido koncentracija kiekvienoje matavimo vietoje kito nevienodai (18 pav.). Didesnės ir mažesnės azoto dioksido koncentracijos taip pat kito nepriklausomai nuo matavimo vietos.



18 pav. Centriniam parke nustatyta azoto dioksido koncentracija arčiau antropogeninio taršos šaltinio (CP-1), centrinėje parko dalyje (CP-2) ir už parko (CP-3)

Pirmoje matavimo vietoje (CP-1), kuri yra arčiau antropogeninio mobilaus taršos šaltinio, tyrimo laikotarpio pradžioje buvo užfiksuota didesnė azoto dioksido koncentracija, kuri taip pat ženkliai mažėjo iki 2023 m. balandžio 31 d. Didesnei azoto dioksido koncentracijai tyrimų laikotarpio pradžioje tikėtina įtakos turėjo šaltuoju metų laiku vykstantis šildymo sezonas, kuomet teršalai išsiskiria ne tik iš mobilaus oro taršos šaltinio, bet ir iš namų ūkių, kurie gamina šilumos energiją deginant įvairių rūšių kurą katilinėse. Toliau, skirtingai nei Beržynėlyje, azoto dioksido koncentracijos pradėjo didėti iki birželio mėn. ir vėliau labai svyravo. Užfiksuoti du pikai birželio



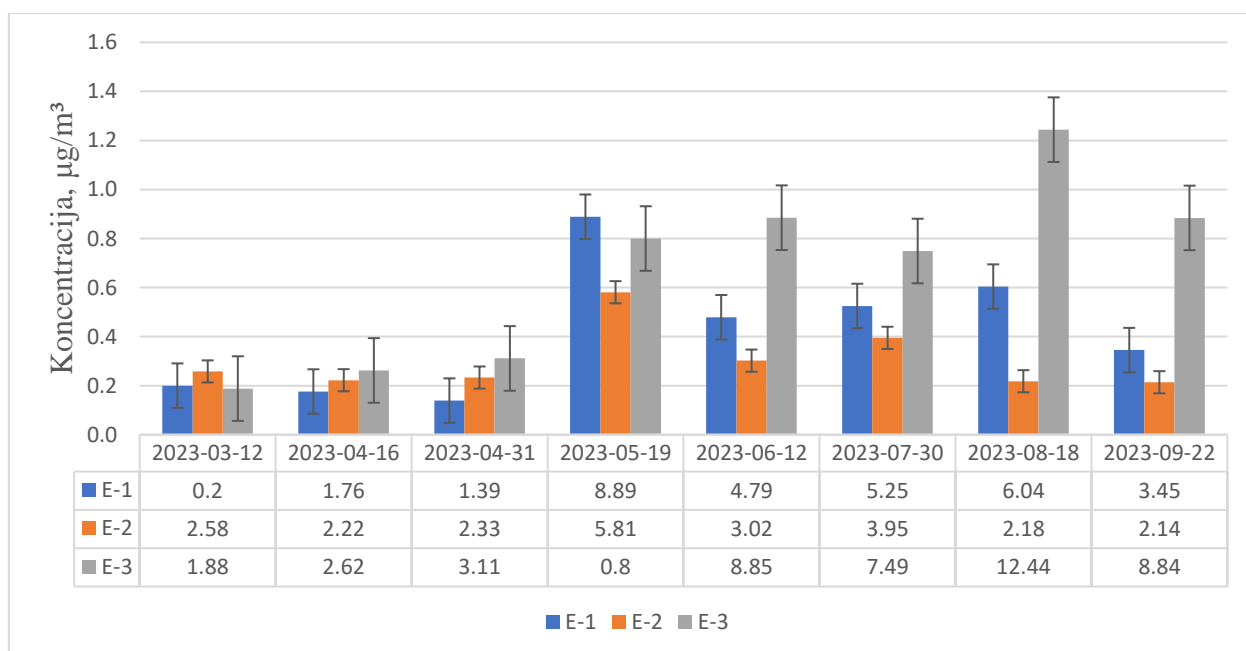
ir rugpjūčio mėnesiais (atitinkamai  $4,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ir  $5,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Azoto dioksido koncentracijos pikai galėjo susidaryti galimai dėl mobilių oro taršos šaltinių išmetamų teršalų.

Analizuojant Centrinio parko centrinę matavimo vietą (CP-2), kaip ir pirmoje matavimo vietoje, tyrimo laikotarpio pradžioje buvo užfiksuota didesnė azoto dioksido koncentracija, kuri taip pat mažėjo iki birželio mėnesio. Gegužės birželio ir liepos mėnesiais atliekant matavimus nustatyta, kad azoto dioksido koncentracija buvo didesnė nei kitose tiriamosios teritorijos matavimo vietose. Toks padidėjimas centrinėje matavimo vietoje CP-2 siejamas taip pat su augalijos vegetacijos metu išskiriamais junginiais.

Trečioje matavimo vietoje (CP-3) azoto dioksido koncentracija kito nežymiai. Šioje matavimo vietoje mažai įtakos galėjo turėti antropogeninė oro tarša, o šiltuoju metų laiku didesnė koncentracija nei šaltuoju metų laiku taip pat gali būti siejama su augalijos išskiriamais junginiais vegetacijos laikotarpiu, kurie vėliau virsta azoto dioksidu.

### Azoto dioksido koncentracijos analizė Eglyne

Eglyne, kaip ir kitose tiriamosiose teritorijose, tyrimų laikotarpiu azoto dioksido koncentracija kiekvienoje matavimo vietoje taip pat kito nevienodai (19 pav.). Kiek labiau išryškėjo trečioje matavimo vietoje birželio mėnesį nustatyta didesnė azoto dioksido koncentracija nei kitose matavimo vietose.

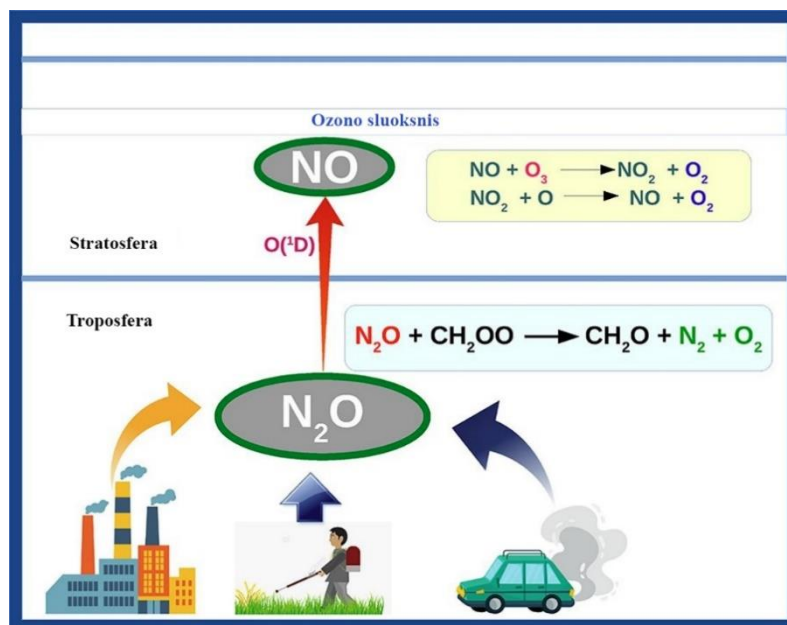


19 pav. Eglyne nustatytos azoto dioksido koncentracijos arčiau antropogeninio taršos šaltinio (E-1), centrinėje parko dalyje (E-2) ir prie vandens telkinio (E-3)

Pirmoje matavimo vietoje (E-1), tyrimo laikotarpio pradžioje azoto dioksido koncentracija iki balandžio mėnesio pabaigos buvo mažesnė palyginus su Beržynėlyje ir Centriniam parke nustatyta azoto dioksido koncentracija. Tiriamojo laikotarpio pradžioje azoto dioksido koncentracija siekė  $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kai Eglyno ir Centrinio parko pirmose matavimo vietose (B-1 ir CP-1) atitinkamai  $4,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ir  $4,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Toks skirtumas palyginus su kitais tyrimų objektais lėmė mažesnę taršą iš mobilaus oro taršos šaltinio, nes transportas juda didesniu greičiu be sustojimų, kas daro įtaką mažesnei teršalų emisijai ir šalia nebuvo veikiančių pramonės subjektų, o namų ūkiai nutolę  $1,5 \text{ km}$  atstumu. Ženklaus azoto dioksido koncentracija padidėjimas užfiksuotas gegužės mėnesio viduryje ( $8,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), kuris siejamas su šalia esančiuose dirbamuose laukuose pasodintais rapsais. Didžioji dalis azoto oksido koncentracijų padidėjimas siejamas su azoto trąšų įterpimu į pasėlių dirvožemį (Glenn et al., 2021, Almaraz et al., 2018). Vėliau koncentracijos sumažėjo ir kito nežymiai.

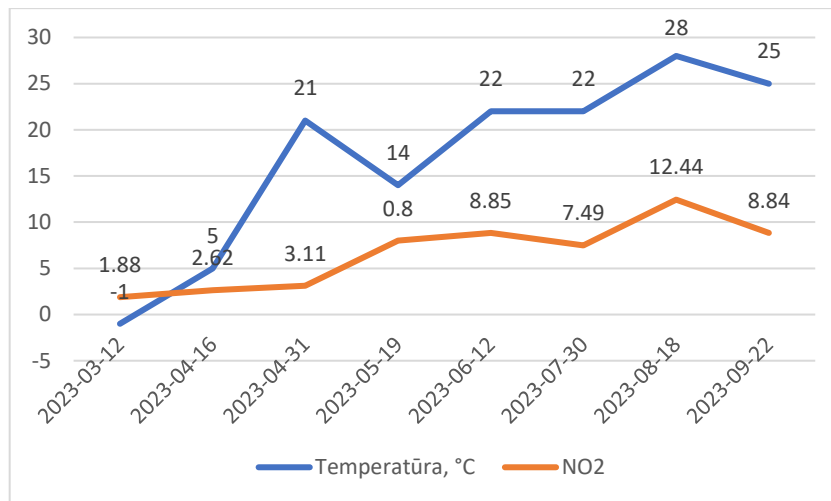
Centrinėje matavimo vietoje (E-3) azoto dioksido koncentracija kito nežymiai per visą tiriamąjį laikotarpį. Tam įtakos turėjo augantys visžaliai medžiai (eglės). Kaip ir kitose matavimo vietose gegužės mėnesio viduryje azoto dioksido koncentracija šiek tiek padidėjo, o vėliau sumažėjo ir keitėsi nežymiai. Pastebima, kad nuo gegužės iki rugsėjo mėnesio azoto dioksido koncentracija buvo ženkliai mažesnė, nei kitose tiriamosios teritorijos matavimo vietose, kuomet Beržynėlyje ir Centriniam parke didesnė koncentracija buvo fiksuojama būtent centrinėse parkų vietose.

Daugiau dėmesio buvo atkreipta į Eglyno trečią matavimo vietą (E-3), nes šioje vietoje nuo balandžio mėnesio pabaigos azoto dioksido koncentracija pastebimai pradėjo didėti, o 2023 m. rugpjūčio 18 d. užfiksuota didžiausia momentinė azoto dioksido koncentracija -  $12,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kaip buvo minėta Eglyno tyrimo objekto aprašyme, trečia vieta pasirinkta šalia Švedės tvenkinio, kuris susidarė iš eksploatuoto durpyno vietoje. Analizuojant mokslinę literatūrą, nėra informacijos konkrečiai apie azoto dioksido išsiskyrimą durpynuose, tačiau pastarojo teršalo išsiskyrimas iš durpynų susijęs su įvairiais procesais ir sąlygomis, kurios lemia azoto ciklą durpynuose. Tai azoto ciklas, kurio metu vyksta nitrifikacija ir denitrifikacija. Denitrifikacijos metu azoto junginiai ( $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  ir  $\text{NO}$ ) grąžinami į atmosferą (Bakken et al., 2012). Nors mokslinėje literatūroje kaip pagrindinis teršalas minimas diazoto oksidas ( $\text{N}_2\text{O}$ ), tačiau jo išsiskyrimas kai kuriuose straipsniuose siejamas su azoto oksidu ( $\text{NO}$ ). Azoto oksidas ( $\text{NO}$ ) patekęs į atmosferą oksiduojasi sąveikaujant su oru sudarant azoto dioksidą ( $\text{NO}_2$ ) (Kimbrough et al., 2017). Mallick ir Kumar (2020) pavaizdavo diazoto oksido ( $\text{NO}_2$ ) reakcijas atmosferoje (20 pav.).



20 pav. Diazoto oksido reakcijos atmosferoje (Mallick ir Kumar, 2020).

M. Kesik (2005) su bendraautoriais ištyrė, kad miško dirvožemiai yra svarbus šiltnamio efektą sukeliančių dujų ( $N_2O$  ir  $NO$ ) šaltinis. Liimatainen (2018) kartu su bendraautoriais aprašė, kad natūralūs durpynai išskiria azoto junginius. Durpynai turi daug organinių medžiagų, kurios gali sudaryti specifines sąlygas azoto junginių transformacijoms. Dar vienas veiksnys, galėjęs turėti įtakos azoto dioksido koncentracijos padidėjimą Eglyno trečioje matavimo vietoje (E-3), tai augalais apaugusi ir užpelkėjusi pakrantė, kurioje yra drėgnas dirvožemis. O. N. Domina (2020) aprašė, kad dirvožemio drėgmė kartu su temperatūros rodikliais yra svarbus dirvožemio formavimosi, azoto kaupimosi ir biologinių procesų aktyvumo aspektas. Nitrifikuojančios bakterijos pradeda veikti jau esant 5% dirvožemio drėgnumui. Nitratinis azotas susikaupia iki 20–25 % dirvožemio drėgmės, tačiau pastebimas sumažėjimas, kai drėgmė viršija 25%. Dar vienas svarbus veiksnys skatinantis nitrifikaciją yra dirvožemio temperatūrai. Nitrifikacijos greitis padidėja nuo 10 iki 30°C, o nuo 35° C laipsnių yra pažymėtas mažėja, nes nitrifikuojančios bakterijos negali toleruoti aukštos temperatūros. Tai galime pastebėti ir 21 pav. pavaizduotame grafike, kuomet kylant temperatūrai, didėja ir azoto dioksido koncentracija. Tai ypač matosi nuo gegužės mėnesio iki tiriamojo laikotarpio pabaigos.



21 pav. Temperatūros ir azoto dioksido kitimo grafikas Eglyno trečioje matavimo vietoje šalia vandens telkinio (E-3).

21 pav. pavaizduotame grafike pastebimas azoto dioksido koncentracija ir temperatūros ryšio išskirtis 2023 m. balandžio mėn. 31 d. ir 2023 m. gegužės mėn. 19 d., reikia paminėti, kad tomis dienomis užfiksuota neįprasta temperatūra, kuri neatspindi to mėnesio vidutinės temperatūros. 2023 m. balandžio mėn. 31 d. užfiksuota +21°C temperatūra, o 2023 m. gegužės mėn. 19 d. mažiau - +14°C. Paprastai balandžio mėnesį temperatūra būna žemesnė nei gegužės mėnesį. 2023 m. balandžio mėnesio vidurkis Lietuvos hidrometeorologijos duomenimis buvo +8,1°C, o 2023 m. gegužės mėnesio - +12,3°C. Staigus temperatūros pakilimas gali skatinti nitrifikacijos ir denitrifikacijos greitį, tačiau tikėtina, kad šių procesų greitis didesnis esant stabiliai aukštesnei temperatūrai. Tam reiktų atlikti daugiau tyrimų, kuriuos lyginti su ne momentine tos dienos aplinkos temperatūra, o apimant ilgesnio laikotarpio temperatūros vidurkį.

### 3.2. Azoto dioksido tyrimų rezultatų palyginimas

Su SPSS programa buvo atlikta statistinė duomenų analizė siekiant nustatyti azoto dioksido (NO<sub>2</sub>) ryšį su meteorologinėmis sąlygomis (aplinkos temperatūra ir atmosferos slėgiu). Atlikus analizę nustatyta, kad tik Eglyno trečioje matavimo vietoje (E-3) azoto dioksido koncentracijos didėjimas tiesiogiai priklauso nuo temperatūros. Rezultatas parodė stiprų tiesioginį ryšį (Pearson koreliacijos koeficientas – 0,798,  $p = 0,017$ , kai  $\alpha = 0,05$ ). Koncentracijos ir temperatūros ryšio stiprumą lėmė aukščiau aprašytos augimvietės sąlygos.

2023 m. gegužės mėn. 19 d. įvertinus visas azoto dioksido koncentracijas, palyginus su kitais tyrimais, pastebimas ženklus padidėjimas visų tiriamųjų teritorijų centrinėse matavimo vietose. Pavyzdžiui, Beržynėlio ir Centrinio parko antrose matavimo vietose azoto dioksido koncentracija buvo daug didesnė nei pirmose matavimo vietose, kur vyrauja antropogeninė tarša.

Beržynėlio antroje matavimo vietoje (B-2) buvo užfiksuota  $8,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kai pirmoje ir trečioje matavimo vietose (B-1 ir B-3) atitinkamai  $2,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ir  $2,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Centrinio parko antroje matavimo vietoje (CP-2) buvo užfiksuota  $4,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kai pirmoje ir trečioje matavimo vietose (CP-1 ir CP-3) atitinkamai  $2,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ir  $3,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . M. Grundström (2014) su bendraautorais ištyrė, kad miesto augmenijos įtaka oro taršos koncentracijai yra nedidelė. Tačiau šiame tyrime nustatytas toks didelis pokytis galėjo būti dėl augalijos vegetacijos laikotarpio. A. Dai (2023) su bendraautorais ištyrė augalų bendrijų miesto gatvėse poveikį azoto dioksido koncentracijai atmosferoje. Rezultatai parodė, kad temperatūra, oro slėgis ir triukšmas reikšmingai koreliavo su sezoniniais pokyčiais, o vidutinė azoto dioksido koncentracija vasarą paprastai buvo didesnė nei žiemą. Taip pat nustatė, kad augalų bendrijų struktūra su krūmais ir žolėmis sumažino taršą, o visžalių augalų įtaka taršos mažėjimui buvo dar didesnė. Palyginant pastarojo straipsnio teiginius su šio tyrimo azoto dioksido rezultatais ir jų analize, kaip jau buvo minėta aukščiau, azoto dioksido rezultatai nekoreliuoja su meteorologiniais parametrais. Jei tiesiogiai palyginti Beržynėlio ir Centrinio parko tyrimų rezultatus kai medžiai buvo iki augalijos vegetacijos laikotarpio pradžios ir aktyvios augalijos vegetacijos metu, pastebime, kad nuo kovo mėnesio pradžios iki balandžio mėnesio pabaigos centrinėse parkų matavimo vietose buvo mažesnė azoto dioksido koncentracija, nei šalia parkų, o nuo gegužės mėnesio vidurio iki rugsėjo mėnesio pabaigos – didesnė. Išimtis buvo tik 2023 m. rugpjūčio mėn. 18 d., kur didesnė azoto dioksido koncentracija vyravo arčiau antropogeninio taršos šaltinio. Eglyne, kur vyrauja visžaliai medžiai, tokia tendencija nebuvo pastebima. Čia azoto dioksido koncentracija tiriamuoju laikotarpiu kito nežymiai ir buvo ženkliai mažesnė, nei kitose tiriamosios teritorijos matavimo vietose.

Prieš atliekant tyrimus buvo daryta prielaida, kad tiriamųjų teritorijų pakraščiuose azoto dioksido koncentracija bus didesnė nei centrinėse parkų matavimo vietose. Tačiau Šiaulių miesto parkų (Beržynėlio ir Centrinio parkų) rezultatai išryškino didesnę azoto dioksido koncentraciją centrinėse parkų vietose šiltuoju metų laiku. Tik Eglyne azoto dioksido koncentracija šiltuoju metų laiku buvo mažesnė centrinėje tiriamosios teritorijos dalyje nei arčiau antropogeninio oro taršos šaltinio. Toks pokytis patvirtina, kad parkų potencialas mažinant oro taršą susijęs ne su visais teršalais, o taip pat priklauso nuo medžių rūšių bei augimvietės sąlygų.

Buvo atliktas azoto dioksido koncentracijų vidurkių analizė. Nustatytas didžiausias ir mažiausias koncentracijos vidurkis kiekvienoje tiriamoje teritorijoje bei paliginti tarpusavyje. Apskaičiuotas standartinis ir santykinis standartinis nuokrypis (1 lentelė).

1 lentelė. Azoto dioksido koncentracijos vidurkių aplinkos ore lentelė.

Objektas	Mėginio identifikacinis Nr.	Koncentracija, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Standartinis nuokrypis, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Santykinis standartinis nuokrypis
Beržynėlis	B-1	2,86	0,93	32,5
	B-2	3,68	2,20	59,8
	B-3	2,48	0,84	33,9
Centrinis parkas	CP-1	3,43	1,20	35,0
	CP-2	3,39	1,62	47,8
	CP-3	2,55	0,60	23,5
Eglynas	E-1	4,20	2,57	61,2
	E-2	3,03	1,28	42,2
	E-3	6,65	3,73	56,1

X – didžiausios skaitinės reikšmės žymėjimas

X – mažiausios skaitinės reikšmės žymėjimas

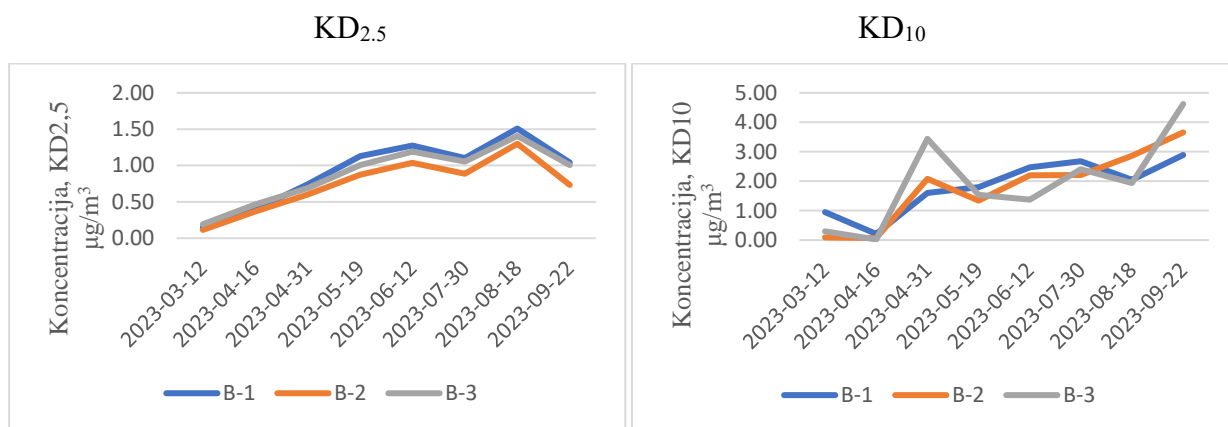
Mažesni azoto dioksido koncentracijos vidurkiai nustatyti Beržynėlyje. Nors Beržynėlio B-1 matavimo vietoje buvo daryta prielaida, kad azoto dioksido koncentracijos vidurkis bus didesnis, tačiau didesnis azoto dioksido koncentracijos vidurkis buvo nustatytas B-2 mėginio paėmimo vietoje (B-1 -  $2,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , o B-2 zonoje –  $3,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Centriniam parke nustatytas didesni azoto dioksido koncentracijos vidurkiai visose matavimo vietose nei Beržynėlyje. CP-1 ir CP-2 mėginio paėmimo vietose nustatyti panašūs azoto dioksido koncentracijos vidurkiai (atitinkamai  $3,43$  ir  $3,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), o CP-3 mėginio paėmimo vietoje, taip pat kaip ir Beržynėlyje, užfiksuotas mažesnis azoto dioksido koncentracijos vidurkis ( $2,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Eglyne, matavimo vietose E-1 ir E-3, buvo užfiksuotas didžiausias tiriamojo laikotarpio azoto dioksido koncentracijos vidurkis (atitinkamai  $4,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ir  $6,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Ženkliai mažesnis azoto dioksido koncentracijos vidurkis užfiksuotas E-2 matavimo zonoje –  $3,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Rezultatų pakartojamumas, išreikštas standartiniu nuokrypiu, kiekvienoje tiriamojoje teritorijoje buvo nevienodas. Beržynėlyje buvo panašūs: B-1 ir B-3 matavimo vietose panašūs (atitinkamai  $0,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ir  $0,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), B-2 matavimo vietoje ženkliai didesnis  $2,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Centriniam parke standartinis nuokrypis ženkliai svyravo. CP-1 matavimo vietoje –  $1,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , CP-2 matavimo vietoje –  $1,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , o CP-3 matavimo vietoje mažiausiai iš visų objektų matavimo vietų –  $0,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tokie skirtumai atspindi rezultatų svyravimą skirtingais metų laikais. Eglyne E-3 matavimo vietoje nustatytas didžiausias standartinis nuokrypis –  $3,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ženkliai mažesnis E-2 matavimo vietoje –  $1,28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ir E-1 matavimo vietoje –  $0,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kadangi skirtumas didelis, galime teigti, kad rezultatams įtakos turėjo sezoniškumas.

### 3.3. Kietųjų dalelių koncentracijos tiriamosiose teritorijose analizė

#### Kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) koncentracijos analizė Beržynėlyje

Kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) rezultatai Beržynėlyje parodė, kad kietųjų dalelių koncentracijos pagal dalelių frakcijos dydį kinta ne vienodai. 22 pav. pavaizduotuose grafikuose galime pastebėti staigų kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) koncentracijos padidėjimą iki birželio mėnesio vidurio, kuris vėliau kinta nepastoviai. Kiek labiau išsiskiria 2023 m. rugpjūčio mėn. 18 d., kur visose matavimo vietose užfiksuotas didžiausias kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) koncentracijos. Kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>) koncentracijos tarp matavimo vietų ženkliai skiriasi. Nebuvo nustatyta, kad vienoje ar kitoje matavimo vietoje kietųjų dalelių koncentracija būtų didesnė ar mažesnė.



22 pav. Beržynėlio matavimo vietose arčiau antropogeninio taršos šaltinio (B-1), centrinėje parko dalyje (B-2) ir už parko (B-3) kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) tyrimų rezultatų grafikai

Pirmoje matavimo vietoje (B-1) kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) koncentracija padidėjimas išryškėjo nuo balandžio mėnesio pabaigos. Iki tol visose matavimo vietose skyrėsi nežymiai. Ši tendencija galėjo atsirasti dėl aerozolių išsiskiriančių iš antropogeninio mobilaus oro taršos šaltinio ir augalijos vegetacijos metu susidarančių bioaerozolių. Kitokia tendencija pastebima analizuojant kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>) koncentraciją. Tiriamojo laikotarpio pradžioje palyginus su kitomis matavimo vietomis buvo užfiksuota didžiausia kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>) koncentracija (0,95 µg/m<sup>3</sup>), vėliau sumažėjo ir pradėjo didėti tolygiai kaip ir kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>).

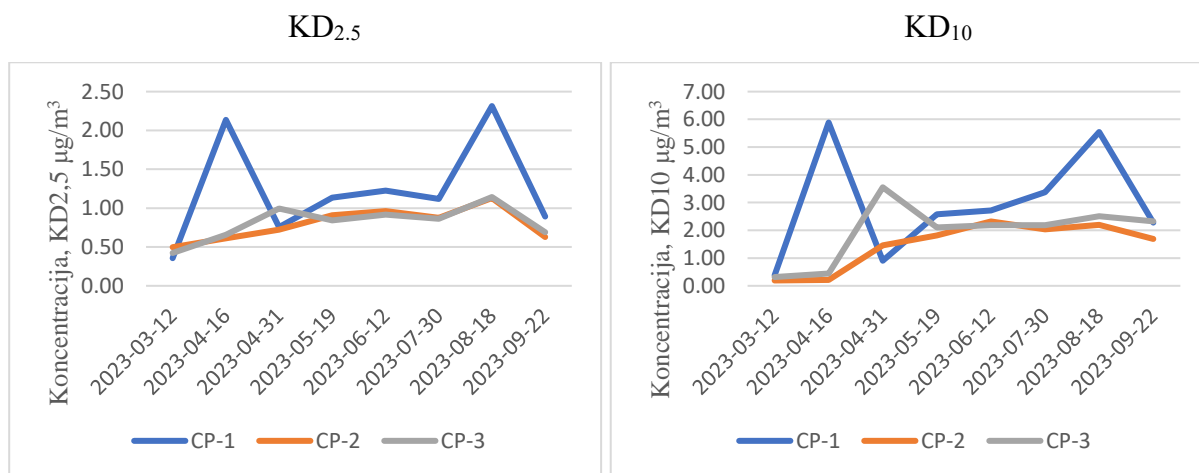
Centrinėje matavimo vietoje (B-2) buvo fiksuojama mažiausia kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) koncentracija viso tiriamojo laikotarpio metu palyginus su kitomis matavimo vietomis. Kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) koncentracija didėjo tolygiai nuo tiriamojo laikotarpio pradžios iki birželio mėnesio vidurio, o vėliau kito nepastoviai. Ši tendencija siejama su bendru taršos lygio fonu, nes visose matavimo vietose koncentracija padidėjo. Analizuojant kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>)

koncentraciją, pastebėtas pikas gegužės mėnesio viduryje, kuris siejamas su augalijos vegetacijos pradžios metu susidaranciais bioaerozoliais. Vėliau kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>) koncentracija šiek tiek sumažėjo ir pradėjo tendencingai didėti iki tiriamojo laikotarpio pabaigos.

Trečioje matavimo vietoje (B-3) kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) koncentracija kito panašiai kaip ir kitose matavimo vietose, tik buvo mažesnė nei pirmoje matavimo vietoje (B-1) ir didesnė nei centrinėje matavimo vietoje (B-2). Kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) koncentracija, kaip ir centrinėje matavimo vietoje (B-2), tolygiai didėjo nuo tiriamojo laikotarpio pradžios iki birželio mėnesio vidurio, o vėliau kito nepastoviai. Analizuojant kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>) koncentraciją, balandžio mėnesio pabaigoje ir rugsėjo mėnesio pabaigoje buvo didesnė, kuomet kitose matavimo vietose buvo ženkliai mažesnė. Nepaisant kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>) koncentracijos pikų 2023 m. balandžio mėn. 31 d ir 2023 m. rugsėjo mėn. 22 d., kitomis datomis kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>) koncentracija buvo mažesnė nei kitose matavimo vietose. Kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>) koncentracijų pikai galėjo susidaryti dėl transporto priemonių emisijų ir jų suskeliamos kietųjų dalelių taršos nuo kelio dangos.

#### Kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) koncentracijos analizė Centriniam parke

Kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) rezultatai Centriniam parke parodė, kad koncentracijos per tiriamąjį laikotarpį labai skyrėsi. 23 pav. pavaizduotuose grafikuose galime pastebėti kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) koncentracijų skirtumus tarp matavimo vietų.



23 pav. Centrinio parko matavimo vietose arčiau antropogeninio taršos šaltinio (CP-1), centrinėje parko dalyje (CP-2) ir už parko (CP-3) kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) tyrimų rezultataų grafikai.

Pirmoje matavimo vietoje (CP-1) kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) koncentracija pastebimai didesnė nei kitose matavimo vietose. Ypač išryškėjo kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) koncentracijos pikai 2023 m.



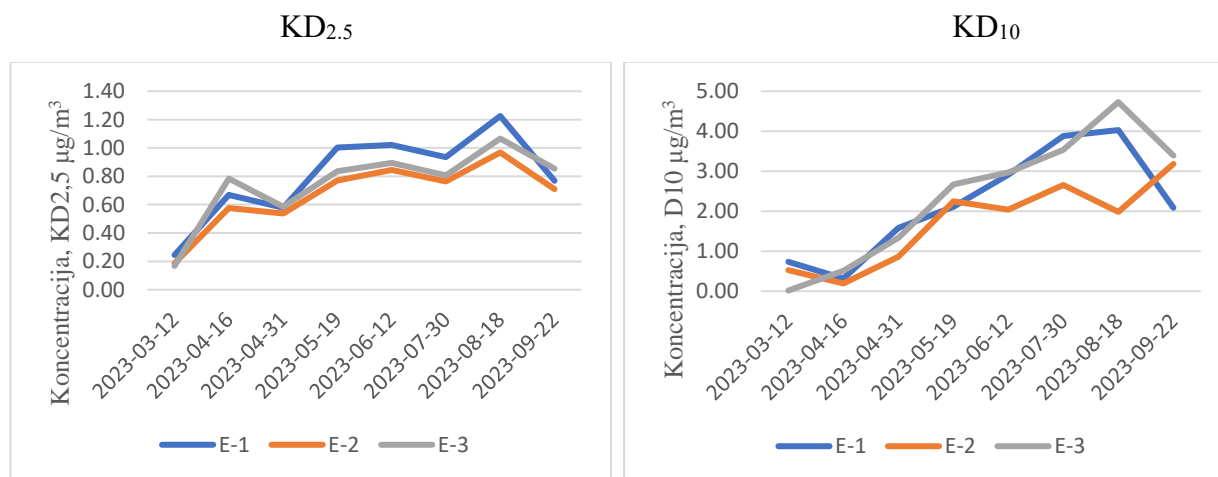
balandžio mėn. 16 d. ir 2023 m. rugpjūčio mėn. 18 d. (atitinkamai  $2,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ir  $2,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Koncentracijų pikai galėjo susidaryti dėl aerozolių išsiskiriančių iš antropogeninio mobilaus oro taršos šaltinio. Transporto priemonių srautas šalia matavimo vietos nėra pastovus, todėl koncentracija skiriasi. Panaši tendencija pastebima analizuojant kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{10}$ ) koncentraciją. Tomis pačiomis datomis kaip ir kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$ ) buvo užfiksuoti koncentracijos padidėjimo pikai. Kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{10}$ ) koncentracija taip pat buvo didesnė nei kitose matavimo vietose.

Centrinėje matavimo vietoje (CP-2) buvo fiksuojama mažesnė kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$ ) koncentracija viso tiriamojo laikotarpio metu palyginus su kitomis matavimo vietomis. Koncentracijos nuo tiriamojo laikotarpio pradžios iki pabaigos nežymiai didėjo. Tokia pat situacija ir su kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{10}$ ) koncentracijomis.

Trečioje matavimo vietoje (CP-3) kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$ ) koncentracijos kito panašiai kaip ir centrinėje matavimo vietoje. Išskirtis buvo 2023 m. balandžio mėn. 31 d., kuomet koncentracija buvo didesnė nei kitose matavimo vietose. Tikėtina, kad koncentracijos pikas galėjo susidaryti dėl antropogeninio stacionaraus taršos šaltinio, nes šalia įsikūrę namų ūkiai, kurie eksploatuoja katilines. Ypač eksploatuojant kieto kuro katilus susidaro suodžiai, kurie gali būti siejami su kietųjų dalelių koncentracijomis aplinkos ore.

### Kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$ ir $\text{KD}_{10}$ ) koncentracijos analizė Eglyne

Kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$  ir  $\text{KD}_{10}$ ) rezultatai Eglyne parodė, kad koncentracijos per tiriamąjį kito tendencingai. 24 pav. pavaizduotuose grafikuose galime pastebėti kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$  ir  $\text{KD}_{10}$ ) koncentracijų panašias kitimo tendencijas.



24 pav. Eglyno matavimo vietose arčiau antropogeninio taršos šaltinio (E-1), centrinėje parko dalyje (E-2) ir prie vandens telkinio (E-3) kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$  ir  $\text{KD}_{10}$ ) tyrimų rezultatų grafikai.

Pirmoje matavimo vietoje (E-1) kietųjų dalelių ( $KD_{2,5}$ ) išryškėjo didesnės koncentracijos nei kitose matavimo vietose nuo balandžio mėnesio vidurio. Didesnė koncentracija susidarė dėl aerozolių išsiskiriančių iš antropogeninio mobilaus oro taršos šaltinio. Panaši tendencija pastebima analizuojant kietųjų dalelių ( $KD_{10}$ ) koncentraciją. Tik palyginus su kitomis matavimo vietomis nebuvo pastebimai didesnė, o rugsėjo mėnesio pabaigoje pastebimai mažesnė. Kietųjų dalelių ( $KD_{10}$ ) koncentracija taip pat buvo didesnė nei kitose matavimo vietose.

Centrinėje matavimo vietoje (CP-2) buvo fiksuojama mažesnė kietųjų dalelių ( $KD_{2,5}$ ) koncentracija viso tiriamojo laikotarpio metu palyginus su kitomis matavimo vietomis. Koncentracija nuo tiriamojo laikotarpio pradžios iki pabaigos nežymiai didėjo. Tokia pat situacija ir su kietųjų dalelių ( $KD_{10}$ ) koncentracija.

Trečioje matavimo vietoje (CP-3) kietųjų dalelių ( $KD_{2,5}$ ) koncentracija kito panašiai kaip ir centrinėje matavimo vietoje. Tuo tarpu kietųjų dalelių ( $KD_{10}$ ) koncentracija dažnai buvo didesnė nei kitose tiriamosios teritorijos matavimo vietos. Tai išryškėjo ypatingai šiltuoju metų laiku ir siejama su padidėjusiu bioaerozolių kiekiu.

### 3.4. Kietųjų dalelių ( $KD_{2,5}$ ir $KD_{10}$ ) tyrimų rezultatų palyginimas su meteorologinėmis sąlygomis

Su SPSS programa buvo atlikta statistinė duomenų analizė siekiant nustatyti ar yra kietųjų dalelių ( $KD_{2,5}$  ir  $KD_{10}$ ) koncentracijų tiesioginis ryšys su aplinkos temperatūra ir atmosferos slėgiu. Koreliacija statistiškai reikšminga, kai SPSS apskaičiuota p reikšmė mažesnė už  $\alpha$ , kai  $\alpha = 0,01$  arba  $0,05$ .

**Beržynėlio** visose matavimo vietose nustatytas stiprus kietųjų dalelių ( $KD_{2,5}$ ) ryšys su aplinkos temperatūra, o kietųjų dalelių ( $KD_{10}$ ) B-1 matavimo vietoje vidutinis, B-2 matavimo vietoje – stiprus ir B-3 matavimo vietoje nenustatytas (2 lentelė). Analizės rezultatai parodė, kad Beržynėlyje kietųjų dalelių koncentracija tiesiogiai priklauso nuo aplinkos temperatūros. Išskirtis tik kietosios dalelės ( $KD_{10}$ ) trečioje matavimo vietoje. Išskirtį lėmė koncentracijų pikai 2023 m. balandžio mėn. 31 d. ir 2023 m. rugsėjo mėn. 22 d.

2 lentelė. Vidutinių kietųjų dalelių ( $KD_{2,5}$  ir  $KD_{10}$ ) koncentracijų tiesioginis ryšio su aplinkos temperatūra atliktos analizės rezultatai Beržynėlyje.

Teršalas	Pearson koreliacijos koeficientas (r)	Koreliacijos reikšmingumas (p)	Reikšmingumo lygmuo ( $\alpha$ )
<i>B-1</i>			
$KD_{2,5}$	0,95	0,00...	0,01

KD <sub>10</sub>	0,80	0,02	0,05
<i>B-2</i>			
KD <sub>2,5</sub>	0,94	0,001	0,01
KD <sub>10</sub>	0,87	0,005	0,01
<i>B-3</i>			
KD <sub>2,5</sub>	0,95	0,00...	0,01
KD <sub>10</sub>	0,58	0,13	0,01

Analizuojant Beržynėlio matavimo vietose nustatytų kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) ryšį su atmosferos slėgiu, koreliacijos reikšmingumo koeficientas visais atvejais buvo didesnis už reikšmingumo lygmenį, todėl šių teršalų ir atmosferos slėgio ryšys nenustatytas (3 lentelė).

3 lentelė. Vidutinių kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) koncentracijų tiesioginis ryšio su atmosferos slėgiu atliktos analizės rezultatai Beržynėlyje.

Teršalas	Pearson koreliacijos koeficientas (r)	Koreliacijos reikšmingumas (p)	Reikšmingumo lygmuo (α)
<i>B-1</i>			
KD <sub>2,5</sub>	0,57	0,14	0,01
KD <sub>10</sub>	0,05	0,92	0,01
<i>B-2</i>			
KD <sub>2,5</sub>	0,59	0,12	0,01
KD <sub>10</sub>	0,23	0,58	0,01
<i>B-3</i>			
KD <sub>2,5</sub>	0,57	0,14	0,01
KD <sub>10</sub>	0,09	0,84	0,01

**Centrinio parko** pirmoje matavimo vietoje kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) ryšys su aplinkos temperatūra nebuvo nustatytas. Tikėtina, kad tam įtakos turėjo koncentracijos pikai 2023 m. balandžio mėn. 16 d. ir 2023 m. rugpjūčio mėn. 18 d., kurie susidarė dėl aerozolių išsiskiriančių iš antropogeninio mobilaus oro taršos šaltinio. Kitose matavimo vietose egzistavo stiprus analizuojamų teršalų ryšys su aplinkos temperatūra, tik išskyrus centrinėje matavimo vietoje (CP-2), kur nustatytas vidutinė koreliacija su atmosferos slėgiu.

4 lentelė. Vidutinių kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) koncentracijų tiesioginis ryšio su aplinkos temperatūra atliktos analizės rezultatai Centriniam parke.

Teršalas	Pearson koreliacijos koeficientas (r)	Koreliacijos reikšmingumas (p)	Reikšmingumo lygmuo (α)
<i>CP-1</i>			
KD <sub>2,5</sub>	0,20	0,64	0,01
KD <sub>10</sub>	0,13	0,76	0,01
<i>CP-2</i>			
KD <sub>2,5</sub>	0,72	0,046	0,05
KD <sub>10</sub>	0,93	0,001	0,01
<i>CP-3</i>			
KD <sub>2,5</sub>	0,83	0,01	0,05
KD <sub>10</sub>	0,87	0,005	0,01

Analizuojant Centrinio parko matavimo vietose nustatytų kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) ryšį su atmosferos slėgiu, koreliacijos reikšmingumo koeficientas, kaip ir Beržynėlyje, visais atvejais buvo didesnis už reikšmingumo lygmenį, todėl šių teršalų ir atmosferos slėgio ryšys nenustatytas (5 lentelė).

5 lentelė. Vidutinių kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) koncentracijų tiesioginis ryšio su atmosferos slėgiu atliktos analizės rezultatai Centriniam parke.

Teršalas	Pearson koreliacijos koeficientas (r)	Koreliacijos reikšmingumas (p)	Reikšmingumo lygmuo (α)
<i>CP-1</i>			
KD <sub>2,5</sub>	0,20	0,64	0,01
KD <sub>10</sub>	0,60	0,11	0,01
<i>CP-2</i>			
KD <sub>2,5</sub>	0,60	0,12	0,01
KD <sub>10</sub>	0,43	0,29	0,01
<i>CP-3</i>			
KD <sub>2,5</sub>	0,63	0,10	0,01
KD <sub>10</sub>	0,36	0,38	0,01

**Eglyno** visose matavimo vietose nustatyta kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) koreliacija su aplinkos temperatūra: kraštinėse matavimo vietose (E-1 ir E-3) vidutinė, o centrinėje matavimo vietoje –

stipri. Kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>) atvirkščiai: kraštinėse matavimo vietose (E-1 ir E-3) stipri, o centrinėje matavimo vietoje – vidutinė. Analizės rezultatai parodė, kad Eglyne, kur vyrauja visžaliai medžiai, kietųjų dalelių koncentracija tiesiogiai priklauso nuo aplinkos temperatūros.

6 lentelė. Vidutinių kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) koncentracijų tiesioginis ryšio su aplinkos temperatūra atliktos analizės rezultatai Eglyne.

Teršalas	Pearson koreliacijos koeficientas (r)	Koreliacijos reikšmingumas (p)	Reikšmingumo lygmuo (α)
<i>E-1</i>			
KD <sub>2,5</sub>	0,74	0,04	0,05
KD <sub>10</sub>	0,81	0,02	0,01
<i>E-2</i>			
KD <sub>2,5</sub>	0,82	0,01	0,05
KD <sub>10</sub>	0,73	0,04	0,05
<i>E-3</i>			
KD <sub>2,5</sub>	0,75	0,03	0,05
KD <sub>10</sub>	0,89	0,004	0,01

Eglynos visose matavimo vietose nustatytas vidutinis kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) ryšis su atmosferos slėgiu, o kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>) – nenustatytas (7 lentelė).

7 lentelė. Vidutinių kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) koncentracijų tiesioginis ryšio su atmosferos slėgiu atliktos analizės rezultatai Eglyne.

Teršalas	Pearson koreliacijos koeficientas (r)	Koreliacijos reikšmingumas (p)	Reikšmingumo lygmuo (α)
<i>E-1</i>			
KD <sub>2,5</sub>	0,73	0,04	0,05
KD <sub>10</sub>	0,23	0,58	0,01
<i>E-2</i>			
KD <sub>2,5</sub>	0,74	0,04	0,05
KD <sub>10</sub>	0,21	0,62	0,01
<i>E-3</i>			
KD <sub>2,5</sub>	0,79	0,02	0,05
KD <sub>10</sub>	0,42	0,30	0,01

Apibendrinant galime teigti, kad visais atvejais egzistuoja kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) ryšys su aplinkos temperatūra, išskyrus kai susidaro ženklūs kietųjų dalelių koncentracijos pikai. Esant netolygiam teršalų išsiskyrimui kietųjų dalelių koreliacija su aplinkos temperatūra silpnėja. Analizuojant kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) ryšį su atmosferos slėgiu, koreliacija nustatyta tik kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) Eglyno matavimo vietose (koreliacijos koeficiento ryšio stiprumas - vidutinis). Kituose tyrimo objektuose kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) koncentracijos ryšys su atmosferos slėgiu nenustatytas. Liu et al. (2020) taip pat nustatė, kad didėjant atmosferos slėgiui ir temperatūrai didėja ir kietųjų dalelių koncentracija. Atlikta tyrimų analizė Beržynėlio ir Centrinio parko objektuose parodė kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) koncentracijos ryšys tik su aplinkos temperatūra. Abu tyrimo objektai yra mieste, kur vyrauja antropogeninė tarša. Dėl koncentracijų pikų silpnėja koreliacija, ypač su atmosferos slėgiu. Eglyne, kur užfiksuoti mažiausi kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) koncentracijų svyravimai, visose matavimo vietose kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) koncentracijos koreliuoja tiek su aplinkos temperatūra, tiek su atmosferos slėgiu.

### 3.5. Tyrimo objektų kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) tyrimų rezultatų palyginimas

Buvo atliktas kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) koncentracijos vidurkio analizė. Nustatytas didžiausias ir mažiausias koncentracijos vidurkis kiekvienoje tiriamoje teritorijoje bei paliginti tarpusavyje. Apskaičiuotas standartinis ir santykinis standartinis nuokrypis (8 ir 9 lentelės).

8 lentelė. Vidutinės kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) koncentracijos aplinkos ore lentelė.

Objektas	Mėginio ident. Nr.	KD <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	Stdev	Sant. Stdev
Beržynėlis	B-1	0,92	0,46	50,0
	B-2	0,74	0,38	51,4
	B-3	0,88	0,40	45,5
Centrinis parkas	CP-1	1,24	0,67	54,0
	CP-2	0,79	0,21	26,6
	CP-3	0,82	0,22	26,8
Eglynas	E-1	0,81	0,31	38,3
	E-2	0,67	0,24	35,8
	E-3	0,75	0,27	36,0

**X** – didžiausios skaitinės reikšmės žymėjimas

**X** – mažiausios skaitinės reikšmės žymėjimas

9 lentelė. Vidutinės kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>) koncentracijos aplinkos ore lentelė.

Objektas	Mėginio ident. Nr.	KD <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	Stdev	Sant. Stdev
Beržynėlis	B-1	1,83	0,91	49,7
	B-2	1,81	1,26	69,6
	B-3	1,95	1,54	79,0
Centrinis parkas	CP-1	2,96	1,96	66,2
	CP-2	1,49	0,84	56,4
	CP-3	1,95	1,08	55,4
Eglynas	E-1	2,21	1,35	61,1
	E-2	1,71	1,07	62,6
	E-3	2,40	1,62	67,5

**X** – didžiausios skaitinės reikšmės žymėjimas

**X** – mažiausios skaitinės reikšmės žymėjimas

**Beržynėlio** tiriamojoje teritorijoje didžiausia vidutinė kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) koncentracija per tiriamąjį laikotarpį buvo pirmoje matavimo vietoje (B-1) (0,92 μg/m<sup>3</sup>), arčiau antropogeninio mobilaus taršos šaltinio, o mažiausia centrinėje parko dalyje (B-2) (0,74 μg/m<sup>3</sup>). Kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>) didžiausia vidutinė koncentracija buvo trečioje matavimo vietoje (B-3) (1,95 μg/m<sup>3</sup>), o mažiausia taip pat centrinėje parko dalyje (B-2) (1,81 μg/m<sup>3</sup>). Prielaida, kad teršalų emisija didesnė arčiau antropogeninio taršos šaltinio iš dalies pasitvirtino, nes kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) koncentracijos vidurkis buvo mažesnis centrinėje matavimo vietoje (B-2). Tai, kad kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>) vidutinė koncentracija buvo didesnė trečioje matavimo vietoje (B-3), o ne pirmoje matavimo vietoje (B-1) galėjo turėti įtakos tankiai pasodintos liepos šalia matavimo vietos, dėl kurių šiltuoju metų laiku, ypač dėl žydėjimo laikotarpio, susidaro daugiau bioaerozolių. Kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) koncentracija centrinėje parko dalyje buvo šiek tiek mažesnė už didžiausią tyrimo objekte nustatytą vidutinę koncentraciją (atitinkamai 19,6 % ir 7,2 %).

**Centrinio parko** tiriamojoje teritorijoje didžiausia vidutinė kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) koncentracija per tiriamąjį laikotarpį, kaip ir Beržynėlyje, buvo pirmoje matavimo vietoje (CP-1) (atitinkamai 1,24 μg/m<sup>3</sup> ir 2,96 μg/m<sup>3</sup>), arčiau antropogeninio mobilaus oro taršos šaltinio, o mažiausia centrinėje parko dalyje (CP-2) (0,79 μg/m<sup>3</sup>). Mažiausia vidutinė kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) koncentracija nustatyta taip pat centrinėje parko dalyje (CP-2) (atitinkamai 0,79 μg/m<sup>3</sup> ir 1,49 μg/m<sup>3</sup>). Prielaida, kad teršalų emisija didesnė arčiau antropogeninio taršos šaltinio pasitvirtino. Kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub> ir KD<sub>10</sub>) koncentracijos centrinėje parko dalyje buvo ženkliai mažesnės (atitinkamai 36,3 % ir 49,7 %).

**Eglynos** tiriamojoje teritorijoje didžiausia vidutinė kietųjų dalelių (KD<sub>2,5</sub>) koncentracija per tiriamąjį laikotarpį buvo taip pat pirmoje matavimo vietoje (E-1) (0,81 μg/m<sup>3</sup>), o vidutinė kietųjų dalelių (KD<sub>10</sub>) trečioje matavimo vietoje (E-3) (2,40 μg/m<sup>3</sup>). Mažiausia Eglynos centrinėje dalyje

(E-2) (atitinkamai  $0,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ir  $1,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Prielaida, kad teršalų emisija didesnė arčiau antropogeninio taršos šaltinio pasitvirtino. Kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$  ir  $\text{KD}_{10}$ ) koncentracija centrinėje parko dalyje buvo ženkliai mažesnė (atitinkamai 36,3% ir 49,7%). Tai, kad kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{10}$ ) didesnė vidutinė koncentracija buvo trečioje matavimo vietoje (B-3), o ne pirmoje matavimo vietoje (B-1) galėjo turėti įtakos mažesnis ir ne toks intensyvus transporto priemonių srautas pirmoje matavimo vietoje (B-1). Kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$  ir  $\text{KD}_{10}$ ) koncentracija centrinėje parko dalyje buvo mažesnė už didžiausią tiriamojoje vietoje nustatytą vidutinę koncentraciją (atitinkamai 17,3 % ir 28,75 %).

Nustatyta, kad visuose tyrimo objektuose vidutinės kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$  ir  $\text{KD}_{10}$ ) koncentracijos buvo mažesnės centrinėse parkų vietose. Didžiausias skirtumas nustatytas Centriniam parke, kur kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$  ir  $\text{KD}_{10}$ ) koncentracijos palyginus su pirma matavimo vieta sumažėjo atitinkamai 36,3 % ir 49,7 %. Palyginus su kitais parkais centrinė matavimo vieta Centriniam parke nuo Taršiausios matavimo vietos yra toliausiai – 130 metrų atstumu. Beržynėlyje, kur vidutinės kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$  ir  $\text{KD}_{10}$ ) koncentracijos centrinėje parko dalyje skyrėsi nuo taršesnių matavimo vietų atitinkamai 19,6 % ir 7,2 %, atstumas siekė 80 metrų tarp matavimo vietų. Teršalų pasklidos susijęs su parko plotu. Kuo tankesnė augmenija ir kuo didesnis parko plotas, kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$  ir  $\text{KD}_{10}$ ) koncentracijos pastebimai mažėja.

### **3.6. Tyrimo objekto tiriamųjų teršalų rezultatų palyginimas**

Tyrimų rezultatai rodo, kad azoto dioksido ir kietųjų dalelių koncentracijos priklauso nuo augimvietės sąlygų ir jos ryšio su antropogeniniu oro taršos šaltiniu. Pavyzdžiui, Beržynėlyje susidaro tik mobilūs oro taršos šaltiniai, Centriniam parke šaltuoju metų laiku prie mobilių aplinkos oro taršos šaltinių prisideda stacionarūs aplinkos oro taršos šaltiniai, t.y. namų ūkiai eksploatuojantys katilines. Miestuose ribojant transporto eismą, susidaro didesnės transporto priemonių spūstys, dėl ko susidaro daugiau teršalų iš transporto. Prie Eglyno transporto eismas vyksta užmiesčio keliu, kai transporto priemonės juda be sustojimų ir išmeta mažiau teršalų, tačiau šalia eksploatuojami žemės ūkio dirbami laukai, kur teršalai išsiskiria tręšiant laukus ir apdirbant laukus. Tam tikros medžių rūšys taip pat skirtingai geba absorbuoti teršalus. Todėl vertinant parkų potencialo poveikį teršalų absorbcijai ir pasklidai, kiekvienoje tiriamojoje teritorija gauti skirtingi rezultatai.

Azoto dioksido koncentracija tiesiogiai priklauso ne tik nuo augimvietės sąlygų, bet ir nuo sezoniskumo bei medžių rūšių. Nors šaltuoju metų laiku azoto dioksido koncentracija didesnė arčiau antropogeninio oro taršos šaltinio, šiltuoju metų laiku didesnė teršalų koncentracija buvo fiksuojama centrinėse parkų dalyse, toliau nuo antropogeninio aplinkos taršos šaltinio. Augalijos



vegetacijos, dirvožemio nitrifikacijos bei denitrifikacijos ir kitų gamtinės kilmės procesų metu taip pat išskiria junginiai, kurie atmosferoje virsta azoto dioksidu. Augalų vegetacijos laikotarpiu Šiaulių miesto parkų centrinėse dalyse, kur vyrauja lapuočiai medžiai, azoto dioksido koncentracija buvo didesnė nei arčiau antropogeninio aplinkos oro taršos šaltinio. Miškingoje teritorijoje, kur vyrauja visžaliai spygliuočiai medžiai, azoto dioksido koncentracija kito nežymiai ir buvo mažesnė nei arčiau antropogeninio oro taršos šaltinio.

Mokslininkai nustatė, kad medžiai labiau absorbuoja stambesnes kietąsias daleles, nei mažesnes. O tam tikros medžių rūšys, pavyzdžiui spygliuočiai visžaliai medžiai, geba absorbuoti daugiau kietųjų dalelių. Šiame tyrime tendencija dėl parkų potencialo absorbuoti kietąsias daleles išryškėjo visose tiriamosiose teritorijose. Absorbavimo efektyvumas labai priklauso nuo medžių rūšių bei lapijos tankio. Pavyzdžiui, Beržynėlio parko medžių tankumas mažesnis, mažesnis ir lapijos plotas. o Centrinio parko teritorija daugiau nei du kartus didesnė nei Beržynėlio. Tu tarpu Eglyne vyrauja visžaliai medžiai, kurie geba kietąsias daleles absorbuoti visus metus.

Šio darbo tęstinumas galėtų būti susijęs siekiant efektyviai panaudoti miesto parkus kaip biologinę oro taršos mažinimo priemonę, apsaugant gyventojus nuo taršos, sukuriant mikroklimatą bei pritaikant rekreacijai. Empirinių matavimų rezultatus galima naudoti modeliuose, prognozuojančiuose žaliosios infrastruktūros įtaką teršalų mažinimui apgyvendintose teritorijose. Pasitelkus gamtotyros specialistais bei naujausiomis kompiuterinėmis technologijomis būtų galima sukurti efektyvią oro taršą mažinančią žaliąją infrastruktūrą. Turint tokius pagrindus, būtų galima pagrįstai šviesti visuomenę apie planuojamos žaliosios infrastruktūros naudą mažinant oro taršą ir prisidedant prie vietos gyventojų sveikatos apsaugos. Tai sumažintų gyventojų prieštaravimus dėl žaliosios infrastruktūros pokyčių mieste.

Planuojant žaliąją infrastruktūrą mieste svarbu atkreipti dėmesį ne tik į taršos mažinimą, bet ir į biologinę įvairovę. Reikia atlikti daugiau tyrimų, kurie atskleistų miestų žaliosios infrastruktūros pokyčių įtaką gyviems organizmams, prisidedantiems prie klimato kaitos mažinimo, išsaugant retas, istorines augalų ir gyvūnų rūšis. Tokia visuma sprendimų reikalauja atsakingų ir kompetentingų atstovų dalyvavimo šiame procese, kurių bendras tikslas būtų pagerinti aplinkos kokybę, išsaugoti bei padidinti biologinę įvairovę ir kurti ateities žaliąją infrastruktūrą. Oro taršos mažinimo strategijos neturi apsiriboti vien biologiniais valymo būdais, kartu turi būti taikoma prevencija, tvarūs sprendimai, teisės aktų reguliavimas, švietimas bei visuomenės informavimas, technologiniai sprendimai.

## IŠVADOS

1. Azoto dioksido koncentracija tiesiogiai priklauso nuo medžių rūšių ir sezoniškumo. Augalijos vegetacijos laikotarpiu centrinėse miesto parkų dalyse, kur vyrauja lapuočiai medžiai, azoto dioksido koncentracija buvo didesnė nei parkų pakraščiuose, kai šaltuoju metų laiku buvo ženkliai mažesnė. Centrinėje Beržynėlio parko dalyje gegužės mėnesį azoto dioksido koncentracija buvo užfiksuota  $8,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kai pakraščiuose koncentracija buvo  $2,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ir  $2,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Eglyne, kur vyrauja spygliuočiai visžaliai medžiai, visus metus azoto dioksido koncentracija kito nežymiai ir buvo mažesnė nei arčiau antropogeninio oro taršos šaltinio.
2. Azoto dioksido koncentracijos koreliuoja su aplinkos temperatūra tik tam tikromis augimvietės sąlygomis. Azoto ciklo pokyčiai gali turėti įtakos didesnėms azoto junginių emisijoms nitrifikacijos ir denitrifikacijos metu. Eglyne šalia vietoj išeksploatuoto durpyno esančio Švedės tvenkinio kylant aplinkos temperatūrai nustatytas stiprus tiesioginis ryšys su azoto dioksido ( $\text{NO}_2$ ) koncentracija (Pearson koreliacijos koeficientas  $-0,798$ ,  $p = 0,017$ , kai  $\alpha = 0,05$ ).
3. Kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$  ir  $\text{KD}_{10}$ ) koncentracija kinta priklausomai nuo aplinkos temperatūros, medžių rūšių ir augimvietės sąlygų. Šis tyrimas parodė, kad kietųjų dalelių koncentracija centrinėse miesto parkų dalyse buvo mažesnė nei parkų pakraščiuose. Ypač tai išryškėjo didžiausioje tyrimo objekto teritorijoje - Centriniam parke, kur kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$  ir  $\text{KD}_{10}$ ) vidutinė koncentracija centrinėje parko dalyje buvo atitinkamai  $36,3 \%$  ir  $49,7 \%$  mažesnė nei arčiau antropogeninio oro taršos šaltinio. Eglyne, kur vyrauja visžaliai medžiai, kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$  ir  $\text{KD}_{10}$ ) koncentracija centrinėje dalyje buvo mažesnė ne tik augalijos vegetacijos laikotarpiu, bet ir šaltuoju metų laiku.

## REKOMENDACIJOS

Žalioji infrastruktūra gali būti kaip priemonė absorbuojant kietąsias daleles susidarancias dėl antropogeninės oro taršos emisijų. Beržynėlio ir Centrinio parkų kietųjų dalelių ( $KD_{2,5}$  ir  $KD_{10}$ ) tyrimų rezultatai parodė, kad šalia antropogeninio taršos šaltinio koncentracija buvo didesnė nei parkų centrinėse dalyse.

Miesto parkuose integruojant daugiau visžalių medžių, padidėtų kietųjų dalelių absorbcija šaltuoju metų laiku, kai antropogeninė oro tarša kietosiomis dalelėmis yra didžiausia. Eglyne kietųjų dalelių sumažėjimas pastebimas ir šaltuoju metų laiku, o kituose parkuose, kur vyrauja lapuočiai medžiai, kietosios dalelės centrinėse parkų vietose labiau sumažėja tik augalijos vegetacijos laikotarpiu.

Renkantis augalus kaip užtvarytas pakelėse ar integruojant žaliąją infrastruktūrą mieste, reikia atidžiai pasirinkti augalų rūšis išskiriančius junginius, galinčius padidinti oro taršą ir alergines reakcijas. Junginiuose, kuriuos išskiria medžiai yra lakiųjų organinių junginių, kurie sąveikaujant su azoto dioksidu prisideda prie pažemio ozono sluoksnio susidarymo, o žiedadulkėse esantys alergenai gali sukelti sveikatos sutrikimus.

Remiantis kitų šalių praktika, planuojant miesto žaliąją infrastruktūrą reikia atsižvelgti į oro taršos mažinimą, mikroklimato kūrimą ir visuomenės švietimą. Formuojant esamus ar kuriant naujus miesto parkus, rekomenduojama nuolat atlikti empirinius matavimus parkuose ir šalia jų, siekiant nustatyti teršalų pasklidą. Prieš integruojant žaliąją infrastruktūrą miestuose naudoti modeliavimo programas, kurios padėtų prognozuoti ir valdyti oro taršą mieste.

Mindaugas Valčiukas

Parkų potencialo įtaka oro teršalų pasklidai Šiaulių mieste

## SANTRAUKA

Miesto parkai teikia svarbias ekosistemos paslaugas, tokias kaip fizikinės bei cheminės taršos mažinimas. Tai aktualu, kai oro tarša vis dar viršija nustatytas ribas. Žmogaus sveikatai ir aplinkai vieni pavojingiausių teršalų yra azoto dioksidas ir kietosios dalelės. Miesto parkuose augantys medžiai geba absorbuoti teršalus, tačiau svarbus faktorius yra jų poveikis teršalų pasiskirstymui bei absorbavimo efektyvumas. Naujos žinios galėtų būti naudingos įtraukiant žaliąją infrastruktūrą kaip potencialią priemonę oro taršos mažinimui urbanizuotose teritorijose.

Šio darbo tikslas buvo nustatyti Šiaulių miesto parkų poveikį teršalų absorbavimui ir pasklidai bei pateikti rekomendacijas taršos valdymui. Tikslui pasiekti buvo iširtos azoto dioksido ir kietųjų dalelių koncentracijos Šiaulių miesto parkuose, kurių kiekviename vyrauja skirtingos medžių rūšys. Gauti duomenys palyginti su augimvietės sąlygomis ir meteorologiniais parametrais, nustatytos teršalų pasklidos apkrovos bei aprašytos taršos susidarymo priežastys. Azoto dioksido tyrimams pasirinktas azoto dioksido masės koncentracijos nustatymo – modifikuotas Griess-Saltzman metodas. Kietųjų dalelių tyrimo principas pagrįstas aspiraciniu būdu paimant nedidelį oro kiekį per tam tikrą laiką. Gautų duomenų analizei naudotos Excel ir SPSS programos.

Gauti rezultatai parodė, kad azoto dioksido koncentracija parkuose kur vyrauja lapuočiai medžiai buvo didesnė augalų vegetacijos laikotarpiu, o visžalių medžių apželdintoje teritorijoje azoto dioksido koncentracija kito nežymiai. Azoto dioksido koncentracija tiesiogiai priklauso nuo medžių rūšių ir sezoniškumo. Augalijos vegetacijos laikotarpiu centrinėse miesto parkų dalyse, kur vyrauja lapuočiai medžiai, azoto dioksido koncentracija buvo didesnė nei pakraščiuose. Kai Centrinėje Beržynėlio parko dalyje gegužės mėnesį azoto dioksido koncentracija siekė  $8,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , pakraščiuose koncentracija buvo  $2,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ir  $2,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Eglyne, kur vyrauja spygliuočiai visžaliai medžiai, visus metus azoto dioksido koncentracija buvo mažesnė nei arčiau antropogeninio oro taršos šaltinio. Kietųjų dalelių koncentracija kinta priklausomai nuo aplinkos temperatūros ir medžių rūšių. Šis tyrimas parodė, kad kietųjų dalelių koncentracija centrinėse miesto parkų dalyse buvo mažesnė nei parkų pakraščiuose. Centrinio parko centrinėje dalyje vidutinė kietųjų dalelių ( $\text{KD}_{2,5}$  ir  $\text{KD}_{10}$ ) koncentracija buvo atitinkamai 36,3 % ir 49,7 % mažesnė nei arčiau antropogeninio oro taršos šaltinio. Eglyne, kur vyrauja visžaliai medžiai, kietųjų dalelių koncentracija buvo mažesnė ne tik augalijos vegetacijos laikotarpiu, bet ir šaltuoju metų laiku.

### SUMMARY

Urban parks provide important ecosystem services such as reducing physical and chemical pollution. This is relevant when air pollution is still above regulatory limits. Nitrogen dioxide and particulate matter are among the most dangerous pollutants for human health and the environment. Trees in urban parks have the capacity to absorb pollutants, but their impact on the distribution of pollutants and their absorption efficiency are important factors. New knowledge could be useful for including green infrastructure as a potential tool for reducing air pollution in urban areas.

The aim of this work was to determine the impact of parks in Šiauliai on the absorption and dispersion of pollutants and to provide recommendations for pollution management. To achieve this goal, nitrogen dioxide and particulate matter concentrations were investigated in parks in Šiauliai, each of which is dominated by different tree species. The data obtained were compared with site conditions and meteorological parameters, pollutant loads were determined and the causes of pollution were described. For nitrogen dioxide studies, the modified Griess-Saltzman method was chosen for the determination of nitrogen dioxide mass concentration. The principle for particulate matter is based on the aspiration of a small amount of air over a period of time. Excel and SPSS were used to analyse the data obtained.

The results showed that nitrogen dioxide concentrations were higher in parks dominated by deciduous trees during the growing season, while nitrogen dioxide concentrations varied only slightly in the area planted with evergreen trees. Nitrogen dioxide concentrations depend directly on tree species and seasonality. During the growing season, nitrogen dioxide concentrations were higher in the central parts of urban parks, where deciduous trees predominate, than in the periphery. In May, in the central part of Berzynelis Park, the nitrogen dioxide concentration was  $8,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , while in the periphery the concentrations were  $2,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $2,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In the spruce forest, dominated by coniferous evergreen trees, nitrogen dioxide concentrations were lower throughout the year closer to the anthropogenic source of air pollution. Particulate matter concentrations vary with ambient temperature and tree species. This study showed that particulate matter concentrations were lower in the central parts of urban parks than in the periphery of parks. In the central part of the central park, the average concentrations of particulate matter ( $\text{PM}_{2,5}$  and  $\text{PM}_{10}$ ) were 36,3% and 49,7% lower, respectively, than those closer to the anthropogenic air pollution source. Where evergreen trees predominate, particulate matter concentrations were lower not only during the growing season but also during the cold season.

## **PADĖKA**

Nuoširdžiai dėkoju savo darbo vadovei doc. dr. Ilonai Kerienei už suteiktas žinias ir patirtį atliekant šį tyrimą. Gauti patarimai padėjo įgyti ne tik teorinių, bet ir praktinių įgūdžių. Dėkoju visiems dėstytojams, kurių atsidavimas ir pastangos skatino tobulėti ir siekti aukščiausių rezultatų. Dėkoju ir savo kolegoms, kurių draugija, pagalba ir bendradarbiavimas padėjo įveikti iššūkius. Taip pat noriu padėkoti savo šeimai už supratimą ir palaikymą per visą mokymosi laikotarpį.

## LITERATŪRA

1. Ali, N., & Islam, F. (2020). The effects of air pollution on COVID-19 infection and mortality—A review on recent evidence. *Frontiers in public health*, 8, 580057. DOI: <https://doi.org/10.3389%2Fpubh.2020.580057>
2. Almaraz, M., Bai, E., Wang, C., Trousdell, J., Conley, S., Faloona, I., & Houlton, B. Z. (2018). Agriculture is a major source of NO<sub>x</sub> pollution in California. *Science advances*, 4(1), eaao3477. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aao3477>
3. Anderson, V., & Gough, W. A. (2020). Evaluating the potential of nature-based solutions to reduce ozone, nitrogen dioxide, and carbon dioxide through a multi-type green infrastructure study in Ontario, Canada. *City and Environment Interactions*, 6, 100043. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2020.100043>
4. Aplinkos apsaugos agentūra. (2024). Kiti oro užterštumo sklaidos žemėlapiai. [žiūrėta: 2024 m. balandžio 27 d.]. Šaltinis: <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/oras/kiti-oro-uzterstumom-sklaidos-zemelapiai/>
5. Aplinkos apsaugos agentūra. Stotelių tinklas Lietuvoje. [žiūrėta: 2024 m. balandžio 27 d.]. Šaltinis: <https://gamta.lt/veiklos-sritys/oras/93>.
6. Asbach, C. (2004). Development and evaluation of a highly effective gas particle partitioner with minimal effect on the gas composition (Doctoral dissertation, Duisburg, Essen, Univ., Diss., 2004). Šaltinis: [https://www.researchgate.net/publication/29799858\\_Development\\_and\\_Evaluation\\_of\\_a\\_Highly\\_Effective\\_Gas\\_Particle\\_Partitioner\\_with\\_Minimal\\_Effect\\_on\\_the\\_Gas\\_Composition](https://www.researchgate.net/publication/29799858_Development_and_Evaluation_of_a_Highly_Effective_Gas_Particle_Partitioner_with_Minimal_Effect_on_the_Gas_Composition)
7. Atkinson, R. (2000). Atmospheric chemistry of VOCs and NO<sub>x</sub>. *Atmospheric environment*, 34(12-14), 2063-2101. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00460-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00460-4)
8. Bakken, L. R., Bergaust, L., Liu, B., & Frostegård, Å. (2012). Regulation of denitrification at the cellular level: a clue to the understanding of N<sub>2</sub>O emissions from soils. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1593), 1226-1234. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0321>
9. Barwise, Y., & Kumar, P. (2020). Designing vegetation barriers for urban air pollution abatement: A practical review for appropriate plant species selection. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 3(1), 12. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41612-020-0115-3>
10. Bellucci, M., Locato, V., Sharkey, T. D., De Gara, L., & Loreto, F. (2023). Isoprene emission by plants in polluted environments. *Journal of Plant Interactions*, 18(1), 2266463. DOI: <https://doi.org/10.1080/17429145.2023.2266463>

11. Berthouex, P. M., & Brown, L. C. (2014). Pollution Prevention and Control: Part II: Material and Energy Balances-eBooks and textbooks from bookboon. com. Šaltinis: <https://www.arma.org.au/wp-content/uploads/2017/03/pollution-prevention-and-control-material-energy.pdf>
12. Brzoska, P., & Spāģe, A. (2020). From city-to site-dimension: Assessing the urban ecosystem services of different types of green infrastructure. *Land*, 9(5), 150. DOI: <https://doi.org/10.3390/land9050150>
13. Calfapietra, C., Fares, S., Manes, F., Morani, A., Sgrigna, G., & Loreto, F. (2013). Role of Biogenic Volatile Organic Compounds (BVOC) emitted by urban trees on ozone concentration in cities: A review. *Environmental pollution*, 183, 71-80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.012>
14. Carey, I. M., Atkinson, R. W., Kent, A. J., Van Staa, T., Cook, D. G., & Anderson, H. R. (2013). Mortality associations with long-term exposure to outdoor air pollution in a national English cohort. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 187(11), 1226-1233. DOI: <https://doi.org/10.1164/rccm.201210-1758oc>
15. Cesaroni, G., Badaloni, C., Gariazzo, C., Stafoggia, M., Sozzi, R., Davoli, M., & Forastiere, F. (2013). Long-term exposure to urban air pollution and mortality in a cohort of more than a million adults in Rome. *Environmental health perspectives*, 121(3), 324-331. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.1205862>
16. Corada, K., Woodward, H., Alaraj, H., Collins, C. M., & de Nazelle, A. (2021). A systematic review of the leaf traits considered to contribute to removal of airborne particulate matter pollution in urban areas. *Environmental Pollution*, 269, 116104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116104>
17. Collivignarelli, M. C., De Rose, C., Abbà, A., Baldi, M., Bertanza, G., Pedrazzani, R., et al. Analysis of Lockdown for CoViD-19 Impact on NO<sub>2</sub> in London, Milan and Paris: What Lesson Can Be Learnt? *Process Saf. Environ.* 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016%2Fj.psep.2020.12.029>
18. Cretescu, I, Lutic, D & Manea, L.R. (2017) Electrochemical Sensors for Monitoring of Indoor and Outdoor Air Pollution. DOI: 10.5772/intechopen.68512.
19. Dai, A., Liu, C., Ji, Y., Sheng, Q., & Zhu, Z. (2023). Effect of different plant communities on NO<sub>2</sub> in an urban road greenbelt in Nanjing, China. *Scientific Reports*, 13(1), 3424. Šaltinis: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-30488-0>



20. Davda, K. (2020). NO<sub>x</sub> monitoring. [žiūrėta: 2024 m. balandžio 27 d.]. Šaltinis: <https://oizom.com/knowledgege-bank/nox-monitoring/>
21. Dėl savivaldybių aplinkos monitoringo programų plėtros: kietųjų dalelių KD<sub>2,5</sub> koncentracijos aplinkos ore matavimai ir vertinimas (2023). Rekomendacijos. Parengė Aplinkos apsaugos agentūra. Vilnius.
22. Domina, O. N. (2020). Nitrifikatsionnaya sposobnost' pakhotnykh pochv (analiticheskiy obzor). Universitetskaya nauka: Aktual'nyye voprosy, dostizheniya i innovatsii, 25-27. Šaltinis: <https://naukaip.ru/wp-content/uploads/2020/10/%D0%A3%D0%9D-001.pdf>
23. Dwijendra, N. K. A., Mohammadi, M. J., Aravindhan, S., Jalil, A. T., Taherian, M., Iswanto, A. H., ... & Mousavion, K. (2023). Investigating the Effects of Air Pollution on Plant Species Resistance in Urban Areas. *Health Scope*, 12(1). DOI: <https://doi.org/10.5812/jhealthscope-129786>
24. Elliott, H., Eon, C., & Breadsell, J. K. (2020). Improving City vitality through urban heat reduction with green infrastructure and design solutions: A systematic literature review. *Buildings*, 10(12), 219. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings10120219>
25. European Environment Agency (EEA). Air pollution still to high across Europe. 2019. Šaltinis: <https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/news/health-impacts-from-air-pollution>
26. European Environment Agency (EEA). Explaining road transport emissions A non-technical guide. Copenhagen. 2016. Šaltinis: <https://www.eea.europa.eu/publications/explaining-road-transport-emissions>
27. Fischer, L. K., Honold, J., Botzat, A., Brinkmeyer, D., Cvejić, R., Delshammar, T., ... & Kowarik, I. (2018). Recreational ecosystem services in European cities: Sociocultural and geographical contexts matter for park use. *Ecosystem services*, 31, 455-467. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.01.015>
28. Gerosa, G., Mazzali, C., & Ballarin-Denti, A. (2001). Techniques of ozone monitoring in a mountain forest region: passive and continuous sampling, vertical and canopy profiles. *The Scientific World Journal*, 1, 612-626. DOI: <https://doi.org/10.1100/tsw.2001.84>
29. Glenn, A. J., Moulin, A. P., Roy, A. K., & Wilson, H. F. (2021). Soil nitrous oxide emissions from no-till canola production under variable rate nitrogen fertilizer management. *Geoderma*, 385, 114857. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114857>
30. Goldstein, S., & Samuni, A. (2024). Chemistry of nitrogen dioxide and its biological implicatios. *Redox Biochemistry and Chemistry*, 100020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rbc.2024.100020>

31. Grote, R., Samson, R., Alonso, R., Amorim, J. H., Cariñanos, P., Churkina, G., ... & Calfapietra, C. (2016). Functional traits of urban trees: air pollution mitigation potential. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(10), 543-550. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/fee.1426>
32. Grylls, T., & van Reeuwijk, M. (2022). How trees affect urban air quality: It depends on the source. *Atmospheric Environment*, 290, 119275. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119275>
33. Grundström, M., & Pleijel, H. (2014). Limited effect of urban tree vegetation on NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> concentrations near a traffic route. *Environmental Pollution*, 189, 73-76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.026>
34. Horiba Process and Environmental. Chemiluminescence Method. [žiūrėta: 2024 m. balandžio 21 d.]. Šaltinis: <https://www.horiba.com/int/process-and-environmental/measuring-principles/chemiluminescence/>
35. i-TREE. i-TREE Eco. [žiūrėta: 2024 m. balandžio 21 d.]. Šaltinis: <https://www.itreetools.org/tools/i-tree-eco>
36. Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution—Deposition and dispersion. *Atmospheric environment*, 105, 130-137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.052>
37. ISO 6768:1998 Ambient air — Determination of mass concentration of nitrogen dioxide—Modified Griess-Saltzman method
38. Jacob, D. J. (1999). Introduction to atmospheric chemistry. Princeton university press. Šaltinis: <https://acmg.seas.harvard.edu/education/introduction-atmospheric-chemistry>.
39. Jang, J., & Leung, D. W. (2022). The Morpho-Physio-Biochemical Attributes of Urban Trees for Resilience in Regional Ecosystems in Cities: A Mini-Review. *Urban Science*, 6(2), 37. DOI: <https://doi.org/10.3390/urbansci6020037>
40. Jungtinių Tautų aplinkos apsaugos programa (UNEP).(2021). 5 dangerous pollutants you're breathing in every day. [žiūrėta: 2024 m. balandžio 26 d.] Šaltinis: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/5-dangerous-pollutants-youre-breathing-every-day>
41. Xing, Y., & Brimblecombe, P. (2020). Trees and parks as “the lungs of cities”. *Urban Forestry & Urban Greening*, 48, 126552. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126552>
42. Karagulian, F., Belis, C. A., Dora, C. F. C., Prüss-Ustün, A. M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H., & Amann, M. (2015). Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A

- systematic review of local source contributions at global level. *Atmospheric environment*, 120, 475-483. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.087>
43. Kareiva A., (2021). Nuostabasis cheminių elementų pasaulis. Lietuvos mokslų akademija, 021. – 552 p.: iliustr.  
Šaltinis: <https://www.lma.lt/uploads/LMA%20leidyba/Kareiva%20internetui1.pdf>
44. Kesik, M., Ambus, P., Baritz, R., Brüggemann, N., Butterbach-Bahl, K., Damm, M., ... & Zechmeister-Boltenstern, S. (2005). Inventories of N<sub>2</sub>O and NO emissions from European forest soils. *Biogeosciences*, 2(4), 353-375. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-2-353-2005>
45. Kimbrough, S., Owen, R. C., Snyder, M., & Richmond-Bryant, J. (2017). NO to NO<sub>2</sub> conversion rate analysis and implications for dispersion model chemistry methods using Las Vegas, Nevada near-road field measurements. *Atmospheric environment*, 165, 23-34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.06.027>
46. Kumar, P., Druckman, A., Gallagher, J., Gatersleben, B., Allison, S., Eisenman, T. S., ... & Morawska, L. (2019). The nexus between air pollution, green infrastructure and human health. *Environment international*, 133, 105181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105181>
47. Letter, C., & Jäger, G. (2020). Simulating the potential of trees to reduce particulate matter pollution in urban areas throughout the year. *Environment, development and sustainability*, 22(5), 4311-4321. Šaltinis: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-019-00385-6>
48. Li, T., Yu, Y., Sun, Z., & Duan, J. (2022). A comprehensive understanding of ambient particulate matter and its components on the adverse health effects based from epidemiological and laboratory evidence. *Particle and fibre toxicology*, 19(1), 67. Doi: <https://doi.org/10.1186/s12989-022-00507-5>
49. Liimatainen, M., Voigt, C., Martikainen, P. J., Hytönen, J., Regina, K., Óskarsson, H., & Maljanen, M. (2018). Factors controlling nitrous oxide emissions from managed northern peat soils with low carbon to nitrogen ratio. *Soil Biology and Biochemistry*, 122, 186-195. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.04.006>
50. Libretec chemistry. Measuring Particle Size Using Light Scattering. [žiūrėta: 2024 m. balandžio 21 d.]. Šaltinis: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical\\_Chemistry/Instrumental\\_Analysis\\_\(LibreTexts\)/34%3A\\_Particle\\_Size\\_Determination/34.05%3A\\_Measuring\\_Particle\\_Size\\_Using\\_Light\\_Scattering](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Instrumental_Analysis_(LibreTexts)/34%3A_Particle_Size_Determination/34.05%3A_Measuring_Particle_Size_Using_Light_Scattering))

51. Liu, J., Zhu, L., Wang, H., Yang, Y., Liu, J., Qiu, D., ... & Liu, J. (2016). Dry deposition of particulate matter at an urban forest, wetland and lake surface in Beijing. *Atmospheric Environment*, 125, 178-187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.11.023>
52. Liu, Y., Zhou, Y., & Lu, J. (2020). Exploring the relationship between air pollution and meteorological conditions in China under environmental governance. *Scientific reports*, 10 (1), 14518. DOI: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-71338-7>
53. LST ISO 10473:2000. Aplinkos oras. Kietųjų dalelių masės nustatymas ant filtro. Beta spinduliuotės absorbcijos metodas.
54. LST EN 12341:2023. Aplinkos oras. Aplinkos oras. Standartinis gravimetrinis matavimo metodas tyrančių kietųjų dalelių KD10 arba KD2,5 masės koncentracijai nustatyti
55. Mallick, S., & Kumar, P. (2020). The reaction of N<sub>2</sub>O with the Criegee intermediate: A theoretical study. *Computational and Theoretical Chemistry*, 1191, 113023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comptc.2020.113023>
56. Marčenko, E., Lampret, Ž., & Prek, M. (2022). Correlation between Air Pollution and the Spread and Development of COVID-19 Related Disease. *Strojniški vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 68(4), 272-280. DOI: <https://doi.org/10.5545/sv-jme.2022.57>
57. McKinney, M. L., & VerBerkmoes, A. (2020). Beneficial health outcomes of natural green infrastructure in cities. *Current Landscape Ecology Reports*, 5, 35-44. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40823-020-00051-y>
58. Michigan State University (2023). Plants could make air pollution worse on a warming planet. [žiūrėta: 2024 m. balandžio 21 d.]. Šaltinis: <https://msutoday.msu.edu/news/2023/plants-could-make-air-pollution-worse>
59. MyFlukeStore. Fluke 983 Particle Counter. [žiūrėta: 2024 m. balandžio 21 d.]. Šaltinis: [https://www.myflakestore.com/p3510/fluke\\_983.php](https://www.myflakestore.com/p3510/fluke_983.php)
60. Monteiro, R., Ferreira, J. C., & Antunes, P. (2020). Green infrastructure planning principles: An integrated literature review. *Land*, 9(12), 525
61. Niranjana, R., & Thakur, A. K. (2017). The toxicological mechanisms of environmental soot (black carbon) and carbon black: focus on oxidative stress and inflammatory pathways. *Frontiers in immunology*, 8, 276079. DOI: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.00763>
62. Oficialiosios statistikos portalas. Covid-19 Lietuvoje. [žiūrėta: 2024 m. balandžio 27 d.]. Šaltinis: <https://osp.stat.gov.lt/covid-dashboards>

63. Queensland Government. (2023). Particles. [žiūrėta: 2024 m. balandžio 21 d.] Šaltinis: <https://www.qld.gov.au/environment/management/monitoring/air/air-pollution/pollutants/particles#gallery-67834>
64. Queensland Government. Tapered element oscillating microbalance. [žiūrėta: 2024 m. balandžio 21 d.]. Šaltinis: <https://www.qld.gov.au/environment/management/monitoring/air/air-monitoring/measuring/oscillating-microbalance>
65. Parker, J., & Simpson, G. D. (2018). Public green infrastructure contributes to city livability: A systematic quantitative review. *Land*, 7(4), 161. DOI: <https://doi.org/10.3390/land7040161>.
66. Patella, V., Florio, G., Magliacane, D., Giuliano, A., Crivellaro, M. A., Di Bartolomeo, D., ... & Air Pollution and Climate Change Task Force of the Italian Society of Allergology, Asthma and Clinical Immunology (SIAAIC). (2018). Urban air pollution and climate change: "The Decalogue: Allergy Safe Tree" for allergic and respiratory diseases care. *Clinical and Molecular Allergy*, 16, 1-11.. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12948-018-0098-3>
67. Pukėnas, K. (2009). Kokybinė duomenų analizė SPSS programa. Lietuvos kūno kultūros akademija. Kaunas. p. 93. Šaltinis: [https://www.spssanalize.lt/wp-content/uploads/2014/03/KnygaSPSS\\_Pukeno.pdf](https://www.spssanalize.lt/wp-content/uploads/2014/03/KnygaSPSS_Pukeno.pdf)
68. Ritz, B., Hoffmann, B., Peters., A. The Effects of Fine Dust, Ozone, and Nitrogen Dioxide on Health. *Deutsches Ärzteblatt International*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3238%2Farztebl.2019.0881>
69. Roy, A., Mandal, M., Das, S., Popek, R., Rakwal, R., Agrawal, G. K., ... & Sarkar, A. (2024). The cellular consequences of particulate matter pollutants in plants: Safeguarding the harmonious integration of structure and function. *Science of The Total Environment*, 169763. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169763>
70. Royal Belgian Institute for Space Aeronomy, (2021). How do trees affect the Earth's atmosphere and climate? [žiūrėta: 2024 m. gegužės mėn. 21 d.]. Šaltinis: <https://www.aeronomie.be/en/news/2021/how-do-trees-affect-earths-atmosphere-and-climate>
71. Royal Society of Chemistry .(2020). How do trees clean our air? [žiūrėta: 2024 m. balandžio mėn. 26 d.]. Šaltinis: <https://edu.rsc.org/feature/how-do-trees-clean-our-air/4010864.article>
72. Saaroni, H., Amorim, J. H., Hiemstra, J. A., & Pearlmutter, D. (2018). Urban Green Infrastructure as a tool for urban heat mitigation: Survey of research methodologies and

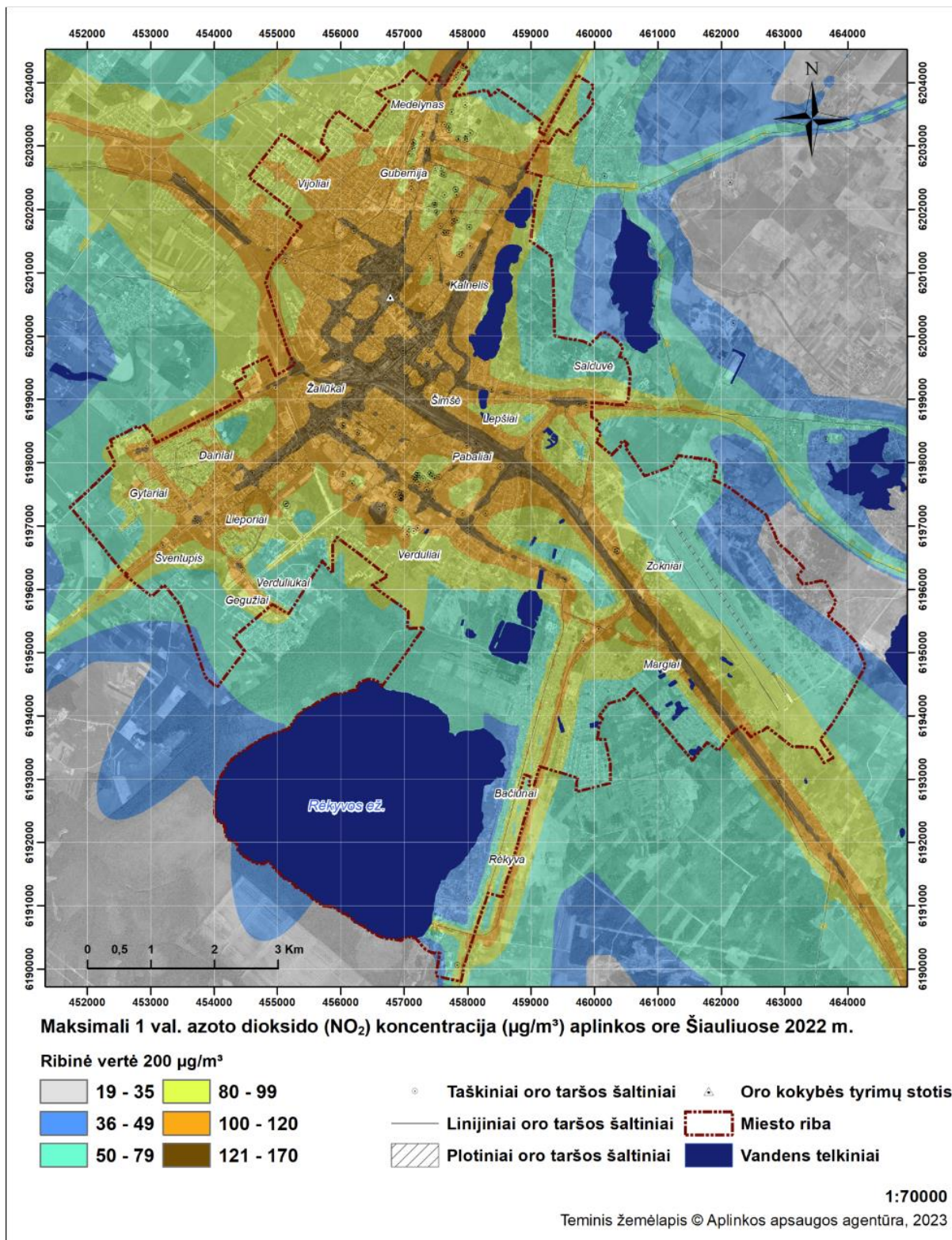
- findings across different climatic regions. *Urban climate*, 24, 94-110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.02.001>
73. Simpson, D., Winiwarter, W., Börjesson, G., Cinderby, S., Ferreira, A., Guenther, A., ... & Öquist, M. G. (1999). Inventorying emissions from nature in Europe. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104(D7), 8113-8152. DOI: <https://doi.org/10.1029/98JD02747>
74. Steinbrecher, R., Smiatek, G., Köble, R., Seufert, G., Theloke, J., Hauff, K., ... & Curci, G. (2009). Intra-and inter-annual variability of VOC emissions from natural and semi-natural vegetation in Europe and neighbouring countries. *Atmospheric Environment*, 43(7), 1380-1391. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.072>
75. Šiaulių miesto savivaldybės 2021–2026 m. aplinkos monitoringo programa. *Programa. Parengė UAB „Geomina“.* Šiauliai. Šaltinis: [https://www.siauliai.lt/upload/media/user/24/Oro/T-81\\_programa.pdf](https://www.siauliai.lt/upload/media/user/24/Oro/T-81_programa.pdf)
76. Thangavel, P., Park, D., & Lee, Y. C. (2022). Recent insights into particulate matter (PM<sub>2.5</sub>)-mediated toxicity in humans: an overview. *International journal of environmental research and public health*, 19(12), 7511. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19127511>
77. Tiwary, A., Morvan, H. P., & Colls, J. J. (2006). Modelling the size-dependent collection efficiency of hedgerows for ambient aerosols. *Journal of Aerosol Science*, 37(8), 990-1015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2005.07.004>
78. Tsoka, S., Tsikaloudaki, K., Theodosiou, T., & Bikas, D. (2020). Urban warming and cities' microclimates: Investigation methods and mitigation strategies—A review. *Energies*, 13(6), 1414. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13061414>
79. Turner, M. C., Krewski, D., Diver, W. R., Pope III, C. A., Burnett, R. T., Jerrett, M., ... & Gapstur, S. M. (2017). Ambient air pollution and cancer mortality in the cancer prevention study II. *Environmental health perspectives*, 125(8), 087013. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp1249>.
80. UFORE Methods. [žiūrėta: 2024 m. balandžio 26 d.] <https://www.itreetools.org/documents/53/UFORE%20Methods.pdf>
81. Urrutia-Pereira, M., Mello-da-Silva, C. A., & Solé, D. (2020). COVID-19 and air pollution: A dangerous association?. *Allergologia et immunopathologia*, 48(5), 496-499. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aller.2020.05.004>
82. Viippolaa, V., Whitlow, T.H., Zhao, W., Yli-Pelkonen, V., Mikolaa, J., Pouyatd, R., et al. The effects of trees on air pollutant levels in peri-urban near-road environments. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.01.014>

83. Wang, S., Zhou, K., Lu, X., Chen, H., Yang, F., Li, Q., ... & Wang, X. (2021). Measurement of density and shape for single black carbon aerosols in a heavily polluted urban area. *Aerosol and Air Quality Research*, 21(12), 210162. DOI: <https://doi.org/10.4209/aaqr.210162>
84. Wavelength Opto-Electronic (2024). What is a Spectrometer? UV, VIS and IR Spectrometer Explained. [žiūrėta: 2024 m. balandžio 21 d.]. Šaltinis: <https://wavelength-oe.com/articles/what-is-a-spectrometer>
85. Weissert, L. F., Salmond, J. A., & Schwendenmann, L. (2014). A review of the current progress in quantifying the potential of urban forests to mitigate urban CO2 emissions. *Urban Climate*, 8, 100-125. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.01.002>
86. Zhang, J., Wei, Y., & Fang, Z. (2019). Ozone pollution: a major health hazard worldwide. *Frontiers in immunology*, 10, 2518. DOI: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.02518>.

# PRIEDAI

## 1 priedas

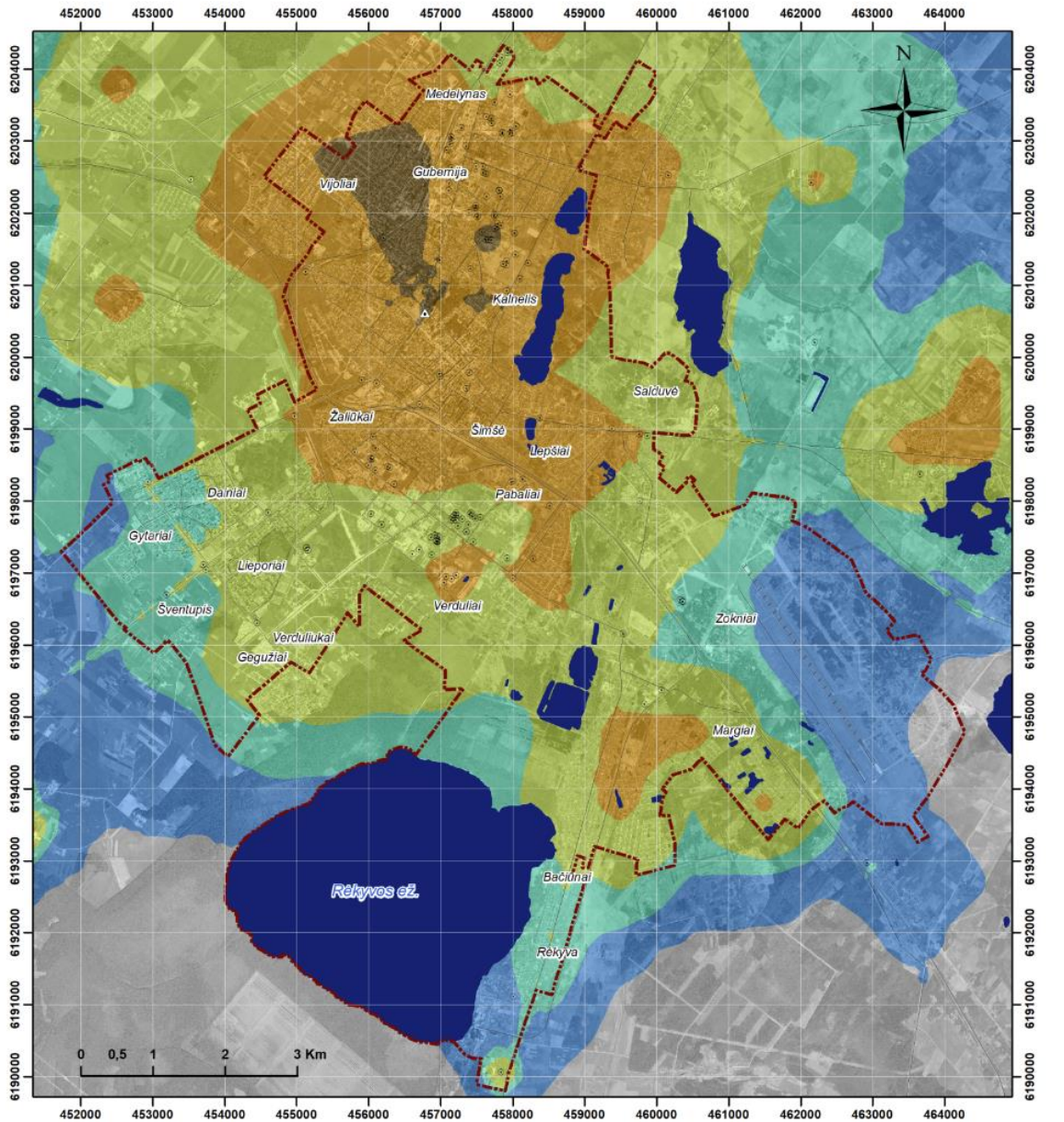
### Šiauliai. Maksimali 1 val. NO<sub>2</sub> koncentracija (µg/m<sup>3</sup>) (Aplinkos apsaugos agentūros teminis žemėlapis, 2023 m.)





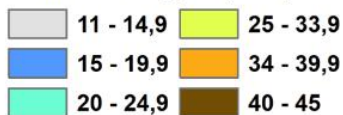
2 priedas

Šiauliai. Maksimali 24 val. (90,41 procentilio) KD10 koncentracija ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
(Aplinkos apsaugos agentūros teminis žemėlapis 2023 m.)



Maksimali 24 val. (90,41 prctl.) kietųjų dalelių (KD10) koncentracija ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) aplinkos ore Šiauliuose 2022 m.

Ribinė vertė  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (35 d.)



1:70000

Teminis žemėlapis © Aplinkos apsaugos agentūra, 2023

3 priedas

2023 m. statistinių oro kokybės tyrimų rodiklių lentelė.

(Aplinkos apsaugos agentūra, 2023 m.)

 APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA 2023 m. statistiniai oro kokybės tyrimų rodikliai																
Oro kokybės tyrimų stotis	KD <sub>10</sub> , µg/m <sup>3</sup>			KD <sub>2,5</sub> , µg/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> , µg/m <sup>3</sup>			NO <sub>2</sub> , µg/m <sup>3</sup>			O <sub>3</sub> , µg/m <sup>3</sup>			CO, mg/m <sup>3</sup>	Benzenas, µg/m <sup>3</sup>	
	C <sub>vid.</sub>	C <sub>max 24 h</sub>	P	C <sub>vid.</sub>	C <sub>vid.</sub>	C <sub>max 24 h</sub>	C <sub>max 1 h</sub>	C <sub>vid.</sub>	C <sub>max 1 h</sub>	V	C <sub>max 8 h</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	C <sub>max 1 h</sub>	C <sub>max 8 h</sub>	C <sub>vid.</sub>
	2023 m. galiojusios normos, ribinės vertės, informavimo bei pavojaus slenksčiai, nustatyti žmonių sveikatos apsaugai															
	40	50	35 d.	20		125	350	40	200	18	120 <sup>1</sup>		25	180/240	10	5
Vilniaus aglomeracija																
Vilnius, Senamiestis	20	53	1		6,2	16	46	16	87	0					1,2	
Vilnius, Lazdynai	18	42	0	4,1	4,8	13	47	14	181	0	147	8	3	168		
Vilnius, Žirmūnai	19*	55	1	8,8*				28	89	0	97	0	0	125	0,8	0,24*
Vilnius, Savanorių pr.	15	42	0		7,7	20	36	17	102	0					0,8	0,52*
Kauno aglomeracija																
Kaunas, Dainava	19	58	2	10,2	12,2*	20*	27*	27	193	0	156	3	1	169	0,9	n
Kaunas, Noreikiškės	23	62	4	6,5	5,5	14	14	8	82	0	124	1	2	130	0,6	n
Zona (Lietuvos teritorija be Vilniaus ir Kauno miestų)																
Klaipėda, Centras	20	59	2		6,7	10	13	15	111	0					1,0	n
Klaipėda, Šilutės pl.	18	56	1	7,4				21	189	0	115	0	0	123	0,7	
Šiauliai	21	63	4		3,8	8	22	17	138	0	117	0	0	128	2,5	
Naujoji Akmenė	14	46	0	5,4	7,2	18	41									
Mažeikiai	13	65	2		8,9	25	59	7	85	0	125	1	0	140		
Panevėžys, Centras	16	45	0					12	86	0	136	7	3	148	1,4	
Jonava	14	47	0					9	73	0	147	9	3	154		
Kėdainiai	14	51	1		6,8	21	54	8	73	0	137	9	3	159		n
Žemaitija	10	32	0	7,0*	4,9	16	18	4	16	0	125	5	2	137		
Aukštaitija				4,5							120	0	0	139		
Dzūkija					4,1	8	12	1	19	0	147	8	3	156		

C<sub>vid.</sub> – vidutinė metinė koncentracija; C<sub>max 24 h</sub> – didžiausia paros koncentracija; C<sub>max 1 h</sub> – didžiausia 1 val. koncentracija; C<sub>max 8 h</sub> – didžiausia 8 val. periodo koncentracija, apskaičiuota slenkančio vidurkio būdu; 120<sup>1</sup> – ozono siektina vertė neturi būti viršyta daugiau kaip 25 dienas per metus, imant trejų metų vidurkį;

P – parų skaičius, kai buvo viršyta paros ribinė vertė (50 µg/m<sup>3</sup>);

P<sub>1</sub> – parų skaičius, kai buvo viršyta 8 val. ozono siektina vertė 2023 m.; P<sub>2</sub> – vidutinis metinis parų skaičius, kai buvo viršyta 8 val. ozono siektina vertė 2021-2023 m. laikotarpiu;

V – valandų skaičius, kai buvo viršyta 1 val. ribinė vertė (200 µg/m<sup>3</sup>);

\* – surinkta mažiau negu 90 % duomenų;

n – duomenys bus pateikti 2024 m. vasario mėn.

4 priedas

Atliktų tyrimų duomenys

Data	Matavimo laikas	Objektas	Tyrimo paėmimo taška	Oro sąlygos	Aplinkos temperatūra, °C	Atmosferos slėgis, kPa	Drėgmė, %	Vėjo kryptis	Vėjo greitis, m/s	NO <sub>2</sub> koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	OKTS NO <sub>2</sub> 1h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	OKTS CO 8h koncentracija, mg/m <sup>3</sup>	OKTS O <sub>3</sub> 8h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	OKTS O <sub>3</sub> 1h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	KD 0.3 koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	KD 0.5 koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	KD 1 koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	KD 2 koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	KD 5 koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	KD 10 koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	OKTS KD 10 24h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	OKTS SO <sub>2</sub> 24h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	OKTS SO <sub>2</sub> 1h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>
2023-03-12	12:40-12:50	Beržynėlis	O1	Debesuota	-1	981	64	V	8	4.38	ND	ND	ND	ND	4115	682	171	67	13	4	ND	ND	ND
2023-03-12	12:52-13:02	Beržynėlis	O2	Debesuota	-1	981	64	V	8	3.94	ND	ND	ND	ND	3640	699	190	55	5	0	ND	ND	ND
2023-03-12	13:05-13:15	Beržynėlis	O3	Debesuota	-1	981	64	V	8	2.82	ND	ND	ND	ND	3920	798	230	88	6	1	ND	ND	ND
2023-04-16	11:00-11:45	Beržynėlis	O1	Lietus 0.4 mm	4	1022	80	V	4	4.0	4.85	0.22	72.93	68.84	52062	1931	171	64	10	0	30.02	5.01	5.66
2023-04-16	11:17-11:32	Beržynėlis	O2	Lietus 0.4 mm	4	1022	80	V	4	2.66					58785	2499	224	62	4	0			
2023-04-16	11:35-11:50	Beržynėlis	O3	Lietus 0.4 mm	4	1022	80	V	4	1.42					61197	2490	249	69	1	0			
2023-04-31	10:45-11:00	Beržynėlis	O1	Saulėta	14	1014	42	R	2	1.84	23.48	0.23	53	52.78	62498	1456	527	250	60	2	34.71	2.45	2.5
2023-04-31	11:05-11:20	Beržynėlis	O2	Saulėta	14	1014	42	R	2	2.53					60128	1247	463	254	70	6			
2023-04-31	11:25-11:40	Beržynėlis	O3	Saulėta	14	1014	42	R	2	2.53					61315	1057	443	231	75	11			
2023-05-19	8:20-8:35	Beržynėlis	O1	Saulėta	12	1032	45	Š.V.	2	2.61	25.98	0.21	34.22	52.52	98541	3549	985	325	69	2	13.64	6.09	6.07
2023-05-19	8:40-8:55	Beržynėlis	O2	Saulėta	12	1032	45	Š.V.	2	8.74					95236	3260	926	290	60	2			
2023-05-19	9:00-9:15	Beržynėlis	O3	Saulėta	12	1032	45	Š.V.	2	2.22					88247	3185	908	285	65	1			
2023-06-12	11:00-11:15	Beržynėlis	O1	Apsimaukę	20	1014	78	P.V.	3	2.96	14.44	0.2	74.16	60.39	88691	4025	1025	455	93	3	32.16	1.86	1.75
2023-06-12	11:17-11:32	Beržynėlis	O2	Apsimaukę	20	1014	78	P.V.	3	3.92					89208	3852	952	441	85	5			
2023-06-12	11:40-11:55	Beržynėlis	O3	Apsimaukę	20	1014	78	P.V.	3	3.92					85217	3647	940	419	57	1			
2023-07-30	9:00-9:15	Beržynėlis	O1	Apsimaukę	16	1005	92	V	2	3.02	6.9	0.17	70.16	78.52	62358	3952	950	425	95	4	13.08	2.44	2.42
2023-07-30	9:18-9:33	Beržynėlis	O2	Apsimaukę	16	1005	92	V	2	3.15					60187	4120	945	403	102	3			
2023-07-30	9:40-9:55	Beržynėlis	O3	Apsimaukę	16	1005	92	V	2	2.95					61853	4003	928	395	98	2			
2023-08-18	9:50-10:05	Beržynėlis	O1	Saulėta	21	1023	81	V	4	1.96	16.94	0.18	49.92	38.76	99853	4863	1189	556	81	2	27.69	2.98	2.89
2023-08-18	10:10-10:25	Beržynėlis	O2	Saulėta	21	1023	81	V	4	1.44					101483	4678	1203	589	123	5			
2023-08-18	10:28-10:43	Beržynėlis	O3	Saulėta	21	1023	81	V	4	1.33					96029	4153	1089	517	68	3			
2023-09-22	10:20-10:35	Beržynėlis	O1	Saulėta	16	1009	54	Š.V.	6	2.13	18.58	0.19	58.56	38.84	57895	3744	857	409	89	6	26.77	3.34	3.21
2023-09-22	10:40-10:55	Beržynėlis	O2	Saulėta	16	1009	54	Š.V.	6	3.02					54669	3053	674	337	104	13			
2023-09-22	11:00-11:15	Beržynėlis	O3	Saulėta	16	1009	54	Š.V.	6	2.61					53265	3006	763	422	131	11			

Data	Matavimo laikas	Objektas	Tyrimo paėmimo taška	Oro sąlygos	Aplinkos temperatūra, °C	Atmosferos slėgis, kPa	Drėgmė, %	Vėjo kryptis	Vėjo greitis, m/s	NO <sub>2</sub> koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	OKTS NO <sub>2</sub> 1h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	OKTS CO 8h koncentracija, mg/m <sup>3</sup>	OKTS O <sub>3</sub> 8h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	OKTS O <sub>3</sub> 1h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	KD 0.3 koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	KD 0.5 koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	KD 1 koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	KD 2 koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	KD 5 koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	KD 10 koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	OKTS KD 10 24h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	OKTS SO <sub>2</sub> 24h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	OKTS SO <sub>2</sub> 1h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>
2023-03-12	14:00-14:10	Centrinis parkas	O1	Debesuota	-1	981	74	V	8	4.39	ND	ND	ND	ND	23412	2372	332	106	10	1	ND	ND	ND
2023-03-12	14:15-14:25	Centrinis parkas	O2	Debesuota	-1	981	74	V	8	3.45	ND	ND	ND	ND	57159	6747	404	93	11	0	ND	ND	ND
2023-03-12	14:31-14:41	Centrinis parkas	O3	Debesuota	-1	981	74	V	8	3.33	ND	ND	ND	ND	42658	5236	385	102	10	1	ND	ND	ND
2023-04-16	13:04-13:29	Centrinis parkas	O1	Lietus 0.4 mm	4	1022	80	Š.V.	3	2.67	7.86	0.23	69.62	66.3	74852	5934	1880	1002	215	8	29.73	5.63	5.03
2023-04-16	13:35-13:50	Centrinis parkas	O2	Lietus 0.4 mm	4	1022	80	Š.V.	3	1.78					81921	4195	419	151	12	0			
2023-04-16	14:00-14:15	Centrinis parkas	O3	Lietus 0.4 mm	4	1022	80	Š.V.	3	1.76					91033	3940	438	160	25	0			
2023-04-31	14:45-15:00	Centrinis parkas	O1	Saulėta	20	1012	35	P.V.	2	1.92	10.06	0.25	80.21	53.35	79385	1199	447	216	43	0	35.32	2.38	2.3
2023-04-31	15:05-15:20	Centrinis parkas	O2	Saulėta	20	1012	35	P.V.	2	1.27					90786	1306	510	253	59	3			
2023-04-31	15:25-15:40	Centrinis parkas	O3	Saulėta	20	1012	35	P.V.	2	1.94					71228	1959	869	503	138	8			
2023-05-19	11:30-11:45	Centrinis parkas	O1	Saulėta	15	1032	33	Š.V.	3	2.73	14.3	0.25	60.33	48.23	92654	5210	852	340	82	5	15.29	6.08	6.09
2023-05-19	11:50-12:05	Centrinis parkas	O2	Saulėta	15	1032	33	Š.V.	3	4.39					90217	4855	815	326	79	3			
2023-05-19	12:10-12:25	Centrinis parkas	O3	Saulėta	15	1032	33	Š.V.	3	3.11					88368	4208	806	284	88	4			
2023-06-12	14:05-14:20	Centrinis parkas	O1	Apsimaukę	23	1015	74	Š.V.	5	4.77	8.35	0.22	74.54	91.31	90087	4218	1125	398	65	8	32.95	1.74	1.85
2023-06-12	14:23-14:38	Centrinis parkas	O2	Apsimaukę	23	1015	74	Š.V.	5	5.66					89369	4029	1088	354	60	9			
2023-06-12	14:40-14:55	Centrinis parkas	O3	Apsimaukę	23	1015	74	Š.V.	5	2.0					87547	3928	954	339	68	7			
2023-07-30	11:04-11:19	Centrinis parkas	O1	Apsimaukę	18	1005	84	V	3	3.15	12.04	0.18	69.21	76.77	52694	4220	1003	458	120	5	15.22	2.68	2.54
2023-07-30	11:25-11:40	Centrinis parkas	O2	Apsimaukę	18	1005	84	V	3	4.89					51237	4119	955	420	84	4			
2023-07-30	11:44-11:59	Centrinis parkas	O3	Apsimaukę	18	1005	84	V	3	3.11					50287	4029	947	416	92	4			
2023-08-18	10:55-11:10	Centrinis parkas	O1	Saulėta	24	1022	73	V	3	5.23	12.97	0.2	35.15	46.16	107744	6114	1933	1013	215	6	26.53	2.9	2.78
2023-08-18	11:15-11:30	Centrinis parkas	O2	Saulėta	24	1022	73	V	3	1.78					95379	3714	1007	498	85	5			
2023-08-18	11:34-11:49	Centrinis parkas	O3	Saulėta	24	1022	73	V	3	2.56					92314	3641	1044	517	103	5			
2023-09-22	13:40-13:55	Centrinis parkas	O1	Saulėta	22	1008	48	Š.V.	6	2.59	10.58	0.35	57.97	47.92	47408	2632	678	374	68	5	27.7	3.03	3.36
2023-09-22	14:00-14:15	Centrinis parkas	O2	Saulėta	22	1008	48	Š.V.	6	3.92					41555	2375	620	305	72	3			
2023-09-22	14:20-14:33	Centrinis parkas	O3	Saulėta	22	1008	48	Š.V.	6	2.56					40634	2398	675	355	84	6			

Data	Matavimo laikas	Objektas	Tyrimo paėmimo taška	Oro sąlygos	Aplinkos temperatūra, °C	Atmosferos slėgis, kPa	Drėgmė, %	Vėjo kryptis	Vėjo greitis, m/s	NO <sub>2</sub> koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	OKTS NO <sub>2</sub> 1h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	OKTS CO 8h koncentracija, mg/m <sup>3</sup>	OKTS O <sub>3</sub> 8h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	OKTS O <sub>3</sub> 1h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	KD 0.3 koncentracija	KD 0.5 koncentracija	KD 1 koncentracija	KD 2 koncentracija	KD 5 koncentracija	KD 10 koncentracija	OKTS KD 10 24h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	OKTS SO <sub>2</sub> 24h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>	OKTS SO <sub>2</sub> 1h koncentracija, µg/m <sup>3</sup>
2023-03-12	15:00-15:10	Eglynas	O1	Debesuota	-1	981	74	V	6	2.0	ND	ND	ND	ND	9603	1424	270	93	11	3	ND	ND	ND
2023-03-12	15:16-15:26	Eglynas	O2	Debesuota	-1	981	74	V	6	2.58	ND	ND	ND	ND	9910	1320	220	84	6	3	ND	ND	ND
2023-03-12	15:34-15:44	Eglynas	O3	Debesuota	-1	981	74	V	6	1.88	ND	ND	ND	ND	10188	1328	231	65	1	0	ND	ND	ND
2023-04-16	14:25-14:40	Eglynas	O1	Lietus 0.4 mm	5	1022	74	Š.V.	3	1.76	14.44	0.25	59.99	27.49	72470	3589	402	145	15	0	27.49	5.13	5.56
2023-04-16	14:44-14:59	Eglynas	O2	Lietus 0.4 mm	5	1022	74	Š.V.	3	2.22					72459	3643	445	155	11	0			
2023-04-16	15:03-15:18	Eglynas	O3	Lietus 0.4 mm	5	1022	74	Š.V.	3	2.62					77654	4001	623	294	21	1			
2023-04-31	15:55-16:10	Eglynas	O1	Saulėta	21	1012	37	P.V.	2	1.39	13.54	0.2	60.96	60.31	73337	1672	258	122	35	5	20.03	2.28	2.52
2023-04-31	16:13-16:28	Eglynas	O2	Saulėta	21	1012	37	P.V.	2	2.33					72145	2005	426	150	25	3			
2023-04-31	16:30-16:45	Eglynas	O3	Saulėta	21	1012	37	P.V.	2	3.11					70021	2112	418	198	28	6			
2023-05-19	12:45-13:00	Eglynas	O1	Saulėta	14	1032	32	Š.V.	3	8.89	13.52	0.25	64.24	48.09	75210	3250	628	360	92	1	15.8	6.07	6.01
2023-05-19	13:05-13:20	Eglynas	O2	Saulėta	14	1032	32	Š.V.	3	5.81					76218	3318	600	300	96	4			
2023-05-19	13:25-13:40	Eglynas	O3	Saulėta	14	1032	32	Š.V.	3	8.0					78208	3408	680	341	104	6			
2023-06-12	15:10-15:25	Eglynas	O1	Apsimiauke	22	1015	72	V	3	4.79	12.95	0.22	89.57	77.51	76251	3524	836	340	98	5	30.97	1.78	1.85
2023-06-12	15:30-15:45	Eglynas	O2	Apsimiauke	22	1015	72	V	3	3.02					78234	3618	840	326	92	3			
2023-06-12	15:47-16:02	Eglynas	O3	Apsimiauke	22	1015	72	V	3	8.85					80361	3857	880	354	105	8			
2023-07-30	14:01-14:16	Eglynas	O1	Apsimiauke	22	1005	59	V	3	5.25	13.52	0.17	72.6	78.32	40255	3500	854	395	120	8	15.31	2.52	2.78
2023-07-30	14:21-14:36	Eglynas	O2	Apsimiauke	22	1005	59	V	3	3.95					41367	3461	841	380	111	5			
2023-07-30	14:47-15:02	Eglynas	O3	Apsimiauke	22	1005	59	V	3	7.49					42251	3525	897	408	129	9			
2023-08-18	13:10-13:25	Eglynas	O1	Saulėta	28	1022	55	Š.V.	2	6.04	11.16	0.23	45.3	41.12	75754	3117	978	481	119	9	26.16	2.9	2.55
2023-08-18	13:30-13:45	Eglynas	O2	Saulėta	28	1022	55	Š.V.	2	2.18					78432	3055	851	442	105	1			
2023-08-18	13:50-14:05	Eglynas	O3	Saulėta	28	1022	55	Š.V.	2	12.44					78572	3100	921	519	133	17			
2023-09-22	14:55-15:10	Eglynas	O1	Saulėta	25	1008	45	Š.V.	6	3.45	18.69	0.38	59.37	48.84	37958	2178	640	327	83	2	28.63	3.27	3.36
2023-09-22	15:15-15:30	Eglynas	O2	Saulėta	25	1008	45	Š.V.	6	2.14					37720	2254	690	382	109	9			
2023-09-22	15:35-15:50	Eglynas	O3	Saulėta	25	1008	45	Š.V.	6	8.84					38859	2445	816	488	137	7			



VILNIAUS UNIVERSITETO  
ŠIAULIŲ AKADEMIJA

## PAŽYMĖJIMAS

Nr. MVG-VUŠA-2024-1006

(4.16 E) 850000-V-228

**MINDAUGAS VALČIUKAS**

dalyvavo jaunųjų tyrėjų tarptautinėje mokslinėje konferencijoje  
„JAUNASIS TYRĖJAS IŠMANIAJAI VISUOMENEI“

Ir skaitė pranešimą tema:

**„Šiaulių miesto parkų svarba mažinant teršalus  
apgyvendintose teritorijose“**

VU ŠA direktorė



Prof. dr. Renata Bilbokaitė

2024 m. gegužes 9 d.