



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
APLINKOS APSAUGOS IR VANDENS INŽINERIJOS KATEDRA

Gintarė Alminauskaitė

**MOBILIŲ ORO TARŠOS ŠALTINIŲ POVEIKIO VILNIAUS MIESTO
ORO KOKYBEI TYRIMAS IR VERTINIMAS**
**INVESTIGATION AND EVALUATION OF THE MOBILE AIR
POLLUTION SOURCES IMPACT ON AIR QUALITY IN VILNIUS
CITY**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX033

Aplinkos inžinerijos specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2020

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Aplinkos inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Mobilių oro taršos šaltinių poveikio Vilniaus miesto oro kokybei tyrimas ir vertinimas**

Autorius **Gintarė Alminauskaitė**

Vadovė dr. **Vaida Šerevičienė**

Kalba

☒ X

Lietuvių

☐

užsienio

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjama oro taršos problema, sukelta mobilių taršos šaltinių, identifikuojami pagrindiniai transporto priemonių išmetami oro teršalai ir jų šaltiniai. Išnagrinėti pagrindiniai veiksniai lemiantys oro teršalų sklaidą. Pateikti pagrindiniai Europos Sąjungos ir Lietuvos Respublikos teisės aktai, kurie reglamentuoja oro apsaugą. Supažindinama su efektyviausiais ir dažniausiai naudojamais oro taršos mažinimo būdais. Išskirti perspektyviausi oro taršos prognozavimo metodai ir programinės įrangos. Baigiamajame darbe atlikus oro teršalų koncentracijos matavimus prie intensyvaus eismo gatvių, atskleistas ir įvertintas transporto priemonių taršos poveikis Vilniaus miesto oro kokybei. Įvertinus oro stebėsenos rezultatus, atlikta jų priklausomybės nuo taršą sąlygojančių veiksnių analizė. Siekiant nustatyti detalesnę mobilių oro taršos šaltinių poveikį oro kokybei, atlikta oro taršos analizė, remiantis prieš ir po karantino įvedimo oro taršos duomenimis. Išnagrinėjus mokslinę literatūrą ir atlikus sistemingą stebėseną, pateikiamos baigiamojo darbo išvados.

Darbą sudaro septynios dalys: įvadas, mokslinės literatūros analizė, tyrimų metodika, tyrimų rezultatai, išvados ir literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 84 p. teksto be priedų, 55 iliustr., 14 lent., 110 bibliografiniai šaltiniai.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: mobilūs taršos šaltiniai, oro tarša, oro teršalai, transporto tarša

Vilnius Gediminas Technical University
Environmental Engineering faculty
Environmental Protection and Water Engineering department

ISBN ISSN
Copies No.
Date-.....-.....

Environmental Engineering study programme master thesis.

Title: Investigation and evaluation of the mobile air pollution sources impact on air quality in Vilnius city

Author **Gintarė Alminauskaitė**

Academic supervisor dr. **Vaida Šerevičienė**

Thesis language

☒

Lithuanian

☐

Foreign (English)

Annotation

The master thesis is air pollution problem caused by mobile pollution sources in Vilnius city. The first part of the work focuses on the air pollutants characteristics and the main factors who determining the dispersion of pollution. Second part of work focuses on the main legal acts of EU and Republic of Lithuania, which regulate air protection. Moreover, the most effective and commonly used ways to reduce air pollution and the most promising air pollution modelling methods and software presented. After measurements of the air pollutants near roads, was revealed and evaluated air quality in Vilnius city. Then dependence between air pollutant concentration and dispersion factors was performed. To more accurately understand air pollution presented by mobile source in Vilnius city, the work applied a detailed pollution analysis after the lockdown response to COVID-19.

Structure: introduction, analysis of literature, research methodology, research results, conclusions and references.

Thesis consist of: 84 p. text without appendixes, 55 pictures, 14 tables, 110 bibliographical entries.

Appendixes included. After measurements of the air pollutants concentration, was revealed and evaluated air quality in Vilnius city.

Keywords: air pollutants, air pollution, mobile pollution sources, transport pollution

Turinys

Paveikslų sąrašas	5
Lentelių sąrašas.....	7
Simbolių ir santrumpų aiškinamasis žodynas.....	8
IVADAS	9
1. URBANIZUOTŲ TERITORIJŲ ORO TARŠOS ANALIZĖ.....	10
1.1. Pagrindiniai oro teršalai ir jų šaltiniai.....	10
1.2. Veiksniai lemiantys teršalų sklaidą.....	19
1.3. Oro taršos poveikis žmonių sveikatai ir aplinkai	30
1.4. Lietuvos oro apsaugos politika ir reglamentavimas	32
1.5. Oro taršos mažinimo būdai	34
1.6. Oro taršos prognozavimo metodai	36
2. TYRIMŲ METODIKA	40
2.1. Tyrimų vietų parinkimas.....	40
2.2. Tyrimų metodika ir naudoti prietaisai	41
2.3. Karantino poveikio tyrimo metodika	45
2.4. Matavimo rezultatų statistinis apdorojimas, matavimų paklaidos ir jų vertinimas	47
3. TYRIMO REZULTATAI	49
3.1. Oro teršalų susidarymo ir sklaidos priklausomybė nuo meteorologinių sąlygų	49
3.2. Oro teršalų susidarymo ir sklaidos priklausomybė nuo eismo intensyvumo.....	57
3.3. Oro teršalų susidarymo ir sklaidos analizė nuo gatvių valymo darbų	60
4. KARANTINO POVEIKIO TYRIMAS VILNIAUS MIESTO ORO KOKYBEI.....	63
IŠVADOS	74
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	75

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Maksimalios 8 val. CO koncentracijos kitimas 2015–2018 m. Vilniaus miesto aglomeracijoje (sudaryta autorės remiantis Aplinkos apsaugos agentūra 2018).....	11
1.2 pav. Vidutinė metinė CO koncentracija (mg/m^3) centrinėje Vilniaus miesto dalyje 2018 m. (pagal ADMS Urban modelį) (Aplinkos apsaugos agentūra, 2018)	12
1.3 pav. Pagrindinės cheminės reakcijos, vykstančios atmosferoje tarp NO, NO ₂ ir HNO ₃ (Šerevičienė, 2012).....	12
1.4 pav. Vidutinė metinė azoto dioksido (NO ₂) koncentracija centrinėje Vilniaus dalyje 2018 m. (Aplinkos apsaugos agentūra, 2018)	13
1.5 pav. 2015–2018 m. azoto dioksido didžiausia 1 val. koncentracija (sudaryta autorės remiantis Aplinkos apsaugos agentūra, 2018).....	14
1.6 pav. Vidutinė metinė sieros dioksido (SO ₂) koncentracija centrinėje Vilniaus dalyje 2018 m. (Aplinkos apsaugos agentūra, 2018)	15
1.7 pav. Vidutinė metinė kietųjų dalelių (KD ₁₀) koncentracija centrinėje Vilniaus dalyje 2018 m. (Aplinkos apsaugos agentūra, 2018)	17
1.8 pav. Vidutinė metinė kietųjų dalelių (KD _{2,5}) koncentracija centrinėje Vilniaus dalyje 2018 m. (Aplinkos apsaugos agentūra, 2018)	17
1.9 pav. Paskvilio atmosferos stabilumo klasės (Kahl ir Chap, 2018).....	20
1.10 pav. Vakuuminis šlavimo automobilis (RosRoca Citycat 5000 SL/XL), skirtas stambioms sąšlavoms surinkti (Amato, Querol, Alastuey ir Pandolfi 2009).....	24
1.11 pav. KD _{2,5-10} kiekiai susidarantys automobilių ir kelio trinties sąveikos metu Lietuvoje 2015–2017 m. (sudaryta autorės remiantis Aplinkos apsaugos agentūra, 2017)	25
1.12 pav. CFD modeliavimo rezultatai šalia kelio (Cardozo ir Sánchez, 2019).	25
1.13 pav. Vertikalūs oro srautų režimai urbanizuotuose gatvių kanjonuose (Oke, 1988).....	26
1.14 pav. Bendras Pasaulio energijos pokytis, % (sudaryta autorės remiantis International Energy Agency, 2020).....	27
1.15 pav. NO ₂ koncentracijos sumažėjimas Kinijoje (NASA, 2020).....	27
1.16 pav. Išmetamų oro teršalų emisijų dinamika 1900–2020 m. (sudaryta autorės remiantis International Energy Agency, 2020)	29
1.17 pav. Aplinkos oro kokybės tyrimo stočių išsidėstymas Vilniaus mieste.....	33
1.18 Vertikalus visų suspenduotų dalelių koncentracijos profilis naudojant CFD modelį kaip atstumo funkciją kelio kraštui (Cardozo ir Sánchez, 2019)	38
1.19 pav. Modeliavimo procesas (sudaryta autorės remiantis Šerevičienė, 2012).....	39
2.1 pav. Oro kokybės matavimų vietos	40
2.2 pav. Tyrimų metu naudotos oro kokybės matavimų stotelės ir mobili laboratorija.....	42
2.3 pav. AC32 M ir HORIBA Apna 360 analizatoriai	43
2.4 pav. Kietųjų dalelių matavimo prietaisas GRIMM EDM 164	43
2.5 pav. Aerosolio dalelių skaitiklis AZ–5 (šaltinis:).	44
2.6 pav. Meteorologinių parametrų stotelė „Weather Center with PC Interface WS1080”	44
3.1 pav. SO ₂ koncentracija ir santykinio drėgnumo koreliacinė regresinė priklausomybė	50
3.2 pav. O ₃ koncentracija ir oro temperatūros koreliacinė regresinė priklausomybė	50
3.3 pav. NO ₂ koncentracija ir santykinio oro drėgnumo koreliacinė regresinė priklausomybė	51
3.4 pav. NO _x koncentracija ir vėjo greičio koreliacinė regresinė priklausomybė	51
3.5 pav. NO koncentracija ir atmosferos slėgio koreliacinė regresinė priklausomybė	52
3.6 pav. KD ₁₀ koncentracija ir santykinio oro drėgnumo koreliacinė regresinė priklausomybė	52
3.7 pav. KD _{2,5} koncentracija ir santykinio oro drėgnumo koreliacinė regresinė priklausomybė	53

3.8 pav. Aerozolių skaitinė koncentracija, oro temperatūros ir vėjo greičio koreliacinės regresinės priklausomybės.....	54
3.9 pav. CO koncentracija ir oro temperatūros koreliacinė regresinė priklausomybė	55
3.10 pav. NO koncentracija ir eismo intensyvumo koreliacinė regresinė priklausomybė	57
3.11 pav. NO ₂ ir NO valandinė koncentracija ir eismo srautai Laisvės prospekte.....	58
3.12 pav. NO ₂ valandinė koncentracija ir eismo srautai Šeimyniškių g.....	59
4.1 pav. Eismo intensyvumo pokyčiai Kareivių g. 2020 m. kovo mėn.....	63
4.2 pav. CO koncentracija 2020 m. kovo mėn.	64
4.3 pav. Vidutinė CO koncentracija 2020 m. kovo mėn.	64
4.4 pav. Vidutinė KD _{2,5} koncentracija 2020 m. kovo mėn.	65
4.5 pav. Vidutinė KD ₁₀ koncentracija 2020 m. kovo mėn.....	65
4.6 pav. Vidutinė NO ₂ koncentracija 2020 m. kovo mėn.	66
4.7 pav. Vidutinė O ₃ koncentracija 2020 m. kovo mėn.	66
4.8 pav. Vidutinė CO koncentracija 2018–2019–2020 m. kovo mėn.....	67
4.9 pav. Vidutinė KD _{2,5} koncentracija 2018–2019–2020 m. kovo mėn.	67
4.10 pav. 2018–2019–2020 m. kovo mėn. vidutinė KD ₁₀ koncentracija.....	68
4.11 pav. 2018–2019–2020 m. kovo mėn. vidutinė NO ₂ koncentracija	68
4.12 pav. 2018–2019–2020 m. kovo mėn. vidutinė O ₃ koncentracija	69
4.13 pav. NO ₂ koncentracija ir eismo intensyvumo koreliacinė regresinė priklausomybė 2020 m. kovo–balandžio mėn.....	69
4.14 pav. NO ₂ koncentracija, vėjo greičio ir eismo intensyvumo koreliacinės regresinės priklausomybės 2020 m. kovo–balandžio mėn.	70
4.15 pav. CO koncentracija ir vėjo greičio koreliacinė regresinė priklausomybė.....	70
4.16 pav. KD _{2,5} koncentracija ir vėjo greičio koreliacinė regresinė priklausomybė	71
4.17 pav. KD ₁₀ koncentracija ir atmosferos slėgio koreliacinė regresinė priklausomybė	71
4.18 pav. O ₃ koncentracija ir santykinio oro drėgnumo koreliacinė regresinė priklausomybė	72

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Skirtingų transporto priemonių išmetamųjų teršalų palyginimas akceleracijos metu (sudaryta autorės remiantis Yasar, Haider, Tabinda, Kausar ir Khan 2013).....	23
1.2 lentelė. ES direktyvose ir nacionaliniuose teisės aktuose nustatytos teršalų ribinės vertės (Aplinkos apsaugos agentūra, 2020)	33
2.1 lentelė. Pagrindinė gatvių informacija oro kokybės matavimų vietose.....	40
2.2 lentelė. Pasirinktų gatvių suskirstymas pagal eismo intensyvumą.....	41
2.3 lentelė. Analizuojami oro teršalai ir naudojami matavimo metodai.....	41
2.4 lentelė. Gatvių valymo grafikas.....	45
2.5 lentelė. Koreliacijos koeficiento reikšmių skalė (Januškaitienė, 2009).....	47
3.1 lentelė. Koreliacinės ryšių reikšmės tarp oro teršalų ir meteorologinių parametrų.....	55
3.2 lentelė. Oro teršalų priklausomybės nuo meteorologinių kintamųjų lygtys.....	56
3.3 lentelė. Eismo intensyvumo ir oro teršalų koreliacinės regresinės priklausomybės	59
3.4 lentelė. Oro teršalų koncentracijos vidurkiai rytinio ir vakarinio piko metu	60
3.5 lentelė. Minimali ir maksimali aerozolių koncentracija	60
3.6 lentelė. Oro teršalų koncentracija prieš ir po gatvių valymo darbų.....	61
4.1 lentelė. Koreliacinės ryšių reikšmės tarp oro teršalų ir meteorologinių parametrų.....	73

Simbolių ir santrumpų aiškinamasis žodynas

R – koreliacijos koeficientas;

$\overline{xy}$ – kintamųjų sandaugos vidurkis;

S_x ir S_y – kintamųjų dispersijos;

R^2 – determinacijos koeficientas;

p – patikimumo rodiklis;

$\bar{x}$ ir $\bar{y}$ – imčių vidurkiai;

S_p^2 – imčių sujunta dispersija;

m – vidurkio reikšmė;

f kriterijus – vieno faktoriaus dispersinė analizė;

t – Studento nepriklausomų imčių kriterijus;

TOPSIS–F – metodas, kuriuo parenkamas idealiausias sprendimas su neapibrėžtais rinkiniais;

ANOVA – dispersinė analizė;

IVADAS

Tiriamoji problema. XXI a. žmogui ne tik svarbu apsirūpinti maisto produktais, apranga, gyvenamuoju būstu, bet ir aplink save kurti saugią ir švarią aplinką. Susirūpinimą kelia klimato kaita, atliekų tvarkymo ir mažėjančių gamtinių išteklių klausimai, prastėjanti aplinkos kokybė, didėjantys susirgimų skaičiai. Visas šias problemas aštrina mobiliųjų (transporto priemonių) ir stacionariųjų (pramonės įrenginių, šildymo ir energijos objektų) oro taršos šaltinių naudojimas ir eksploatavimas. Stipriausias mobilių taršos šaltinių poveikis jaučiamas didžiuosiuose miestuose, kuriuose didelis gyventojų tankumo rodiklis, kertasi pagrindiniai transporto keliai, o ir transporto priemonių intensyvumas didžiausias.

Vilniaus miesto transporto sistema dėl išaugusio transporto priemonių skaičiaus nebegali tinkamai paskirstyti išaugusių srautų, formuojasi transporto spūstys, automobiliai ilgiau praleidžia stovėdami prie sankryžų, dažniau naudojami stabdymo ir akceleratoriaus pedalai, pailgėja kelionės trukmė, o visa tai lemia išaugusią oro taršą.

Temos aktualumas. Oro kokybė nuolat laike ir erdvėje kintantis procesas, sąlygojamas daugybės procesų. Tyrimų apie aplinkos oro kokybę duomenys reikalingi analizuojant ir vertinant vykstančius natūralius ir antropogeninio poveikio sąlygotus pokyčius, prognozuojant aplinkos kitimo tendencijas ir galimas pasekmes žmonių sveikatai ir aplinkai. Gauti rezultatai naudojami sveikatos apsaugos, teritorijų ir ūkio plėtros planavimo, mokslo srityse.

Pastaraisiais dešimtmečiais tiek Vilniaus mieste, tiek visoje Lietuvoje stebimas transporto priemonių parko augimas. Lietuvos sostinėje išaugęs transporto priemonių eismo intensyvumas lemia ne tik spūsčių formavimąsi, bet ir oro kokybės blogėjimą. Mokslinėje literatūroje susiduriama su teiginiu, jog didžiausią mobiliąją oro taršą Vilniaus mieste lemia transporto priemonių vidaus degimo variklių išmetamosios dujos. Vyraujant blogoms teršalų išsklaidymo sąlygoms, tiek šiltuoju, tiek šaltuoju metų laiku dažniausiai fiksuojami kietųjų dalelių (KD_{10}), ozono (O_3) ribinių koncentracijų viršijimai. Reguluojant šią taršą ir parenkant mažinimo priemones būtina nustatyti, kokį indėlį ši tarša turi bendrai Vilniaus miesto oro kokybei, taip pat įvertinti išorinių veiksnių poveikį taršos sklaidai.

Tyrimo objektas – Vilniaus miesto (teritorijų, esančių prie intensyvaus eismo gatvių) oro kokybė;

Mokslinės hipotezės:

1. Vilniaus mieste oro teršalų sklaidą (generuojamą mobiliųjų oro taršos šaltinių) labiausiai iš meteorologinių parametrų sąlygoja santykinis oro drėgnumas, kiek mažiau oro temperatūra ir vėjo greitis.
2. Vilniaus mieste atliekami gatvių valymo darbai sumažina oro taršą kietosiomis dalelėmis.

Darbo tikslas – atskleisti ir įvertinti transporto priemonių taršos poveikį Vilniaus miesto oro kokybei.

Darbo uždaviniai:

1. Nustatyti Vilniaus miesto oro taršos dydį sąlygojančius veiksnus ir šaltinius.
2. Identifikuoti pagrindinius transporto išmetamus oro teršalus ir atlikti jų koncentracijos matavimus prie pasirinktų intensyvaus eismo gatvių.
3. Įvertinti gautus matavimų rezultatus ir atlikti jų priklausomybės nuo oro taršą sąlygojančių meteorologinių, eismo intensyvumo ir gatvių valymo veiksnių.
4. Nustatyti ar karantino įvedimas Vilniaus mieste, siekiant suvaldyti viruso COVID-19 plitimą, lėmė oro kokybės pokyčius.

Šį darbą sudaro mokslinės literatūros analizė, trys tiriamąją medžiagą atskleidžiantys skyriai, išvados, naudota literatūra ir priedai.

Darbas reikšmingas oro kokybės pažinimo ir valdymo aspektais. Atsižvelgiant į gautus tyrimo rezultatus, oro taršos reguliavimas ir mažinimo priemonių parinkimas Vilniaus mieste gali tapti labiau organizuotas ir veiksmingesnis.

1. URBANIZUOTŲ TERITORIJŲ ORO TARŠOS ANALIZĖ

Didžiausia mobilių taršos (transporto priemonių) šaltinių generuojama tarša ir jos mastas jaučiamas didžiuosiuose miestuose, kuriuose didelis gyventojų tankumo rodiklis, kertasi pagrindiniai transporto keliai, o ir transporto priemonių intensyvumas didžiausias. Didžiuosiuose miestuose dėl gyventojų kėlimosi į miestus ir priemiesčius, transporto sistemos dėl išaugusio transporto priemonių skaičiaus nebegali tinkamai paskirstyti išaugusių srautų, to pasekoje formuojasi transporto spūstys, ilgėja kelionės laikas, automobiliai ilgiau praleidžia stovėdami prie sankryžų, dažniau naudojami stabdymo ir akceleratoriaus pedalai, didėja kuro sąnaudos, visa tai lemia išaugusią oro taršą.

Oro tarša sąlygoja klimato kaitos problemą, prastėja tankiai apgyvendintų gyvenamųjų vietovių oro kokybė, situaciją aštrina susidarę antriniai teršalai, pvz.: pažemio ozonas, rūgštėja dirvožemis ir vanduo, spartėja eutrofikacija. Pagrindiniai teršalai lemiantys šių problemą opėjimą: anglies dioksidas (toliau – CO_2), metanas (toliau – CH_4), diazoto monoksidas (toliau – N_2O), azoto oksidai (toliau – NO_x), anglies monoksidas (toliau – CO), sieros oksidai (toliau – SO_x), amoniakas (toliau – NH_3), lakieji organiniai junginiai (toliau – LOJ) (Darginavičiūtė ir Zigmontienė, 2007). Išvardinti teršalai ne tik teršia aplinką, bet ir sąlygoja gyventojų sveikatos problemas, žemės ūkio produkcijos praradimus, ekonominius nuostolius, kapitalo nusidėvėjimą (Štreimikienė ir Čiegis, 2001).

Vilniaus mieste išaugęs transporto priemonių eismo intensyvumas lemia ne tik spūsčių formavimąsi, bet ir oro kokybės prastėjimą. Žvelgiant į Aplinkos apsaugos agentūros skelbiamus duomenis, 2019 m. balandžio mėn. visose miestų oro kokybės tyrimų stotyse vidutinė paros KD_{10} koncentracija iki 1,6 karto viršijo ribinę vertę, 2018 m. vidutinė paros KD_{10} koncentracija Žirmūnų oro kokybės tyrimų (toliau – OKT) stotyje viršijo ribinę vertę 37 dienas, t. y., buvo viršyta leistina 35 dienų per metus riba. Senamiesčio stotyje užfiksuota 16 viršijimo atvejų, o Savanorių pr. stotyje – 9 tokie atvejai (Aplinkos apsaugos agentūra, 2017, 2018, 2020). Ši ir panašaus tipo informacija kelia didelį susirūpinimą dėl Vilniaus miesto oro kokybės prastėjimo.

Vilniaus mieste transporto priemonių vidaus degimo variklių išmetamosios dujos prisideda prie oro kokybės prastėjimo, vyraujant blogoms teršalų išsklaidymo sąlygoms, tiek šiltuoju, tiek šaltuoju metų periodu dažniausiai fiksuojami kietųjų dalelių (toliau – KD_{10}), ozono (toliau – O_3) ribinių koncentracijų viršijimai. Šios taršos reguliavimui ir mažinimo priemonių parinkimui būtina nustatyti kokį indėlį ši tarša turi bendrai Vilniaus miesto oro kokybei, taip pat įvertinti išorinių veiksnių poveikį taršos sklaidai ir mastui, o ir pastaraisiais dešimtmečiais oro kokybės tyrimai įgavo labai svarbios reikšmės, išryškėjus akivaizdžiam neigiamam atmosferos užterštumo poveikiui gyventojui sveikatai, žemės ūkio našumui bei antropogeninės aplinkos komponentams (žala medžiagoms) ir ekosistemoms.

1.1. Pagrindiniai oro teršalai ir jų šaltiniai

Pagrindiniai oro teršalai, kurie bus analizuojami šiame darbe – CO , kietosios dalelės, kurių diametras 1, 2,5 ir 10 μm (toliau – KD_1 , $\text{KD}_{2,5}$, KD_{10}), NO_x , sieros dioksidas (toliau – SO_2), O_3 , aerozolių skaitinė koncentracija.

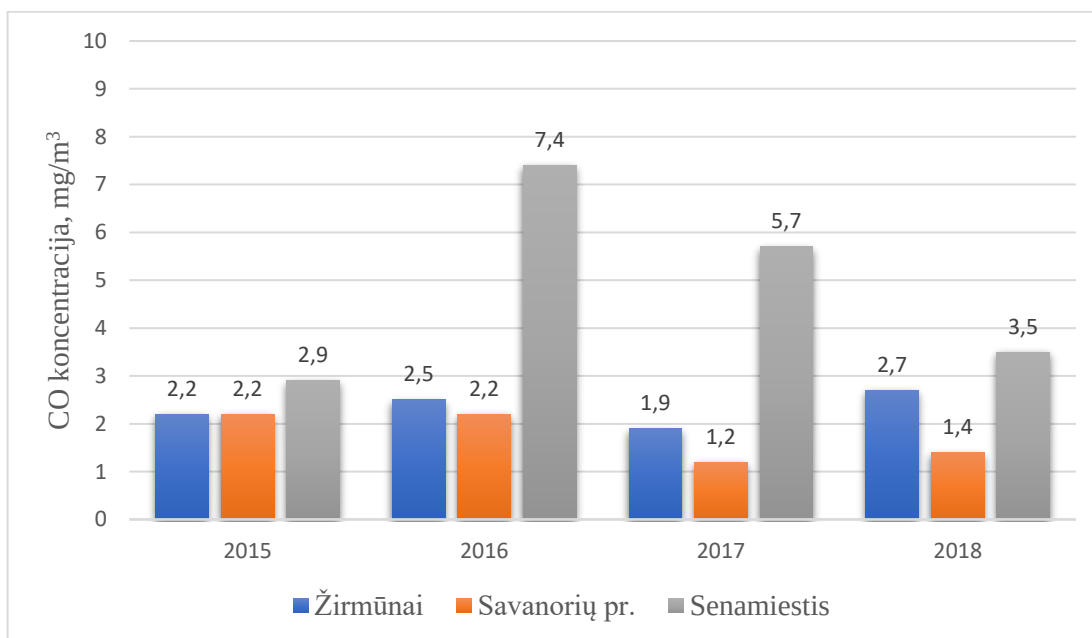
Anglies monoksidas (CO) – bespalvės ir bekvapės, tačiau toksiškos žmogaus organizmui dujos. Normaliomis sąlygomis jos inertinės, netirpstančios vandenyje ir nereaguojančios nei su rūgštimis, nei su šarmais (Laurinavičienė, 2007).

Šios dujos susidaro degimo metu, kurui nepilnai sudegus aplinkoje, kurioje nepakankamas deguonies kiekis. Didžiausias anglies monoksido emisijų šaltinis – transporto priemonių benzininiai varikliai. Kaip teigia mokslininkai J. Kobza ir M. Geremek (Kobza ir Gerek, 2017) CO emisijų kiekis priklauso nuo variklio tipo, greičio ir veikimo principo. Esant didesnei nei 1000 $^{\circ}\text{C}$ temperatūrai anglies dvideginis skyla į šias dujas. Toks skilimas dažnas pramonės sektoriuje, degimo įrenginiuose. Vertinant anglies monoksido poveikį oro taršai,

svarbi charakteristika yra CO stabilumas, t. y. atmosferoje šios dujos gali išbūti ir nedalyvauti kitose reakcijose nuo 2–4 mėnesių (Kobza ir Gerek, 2017).

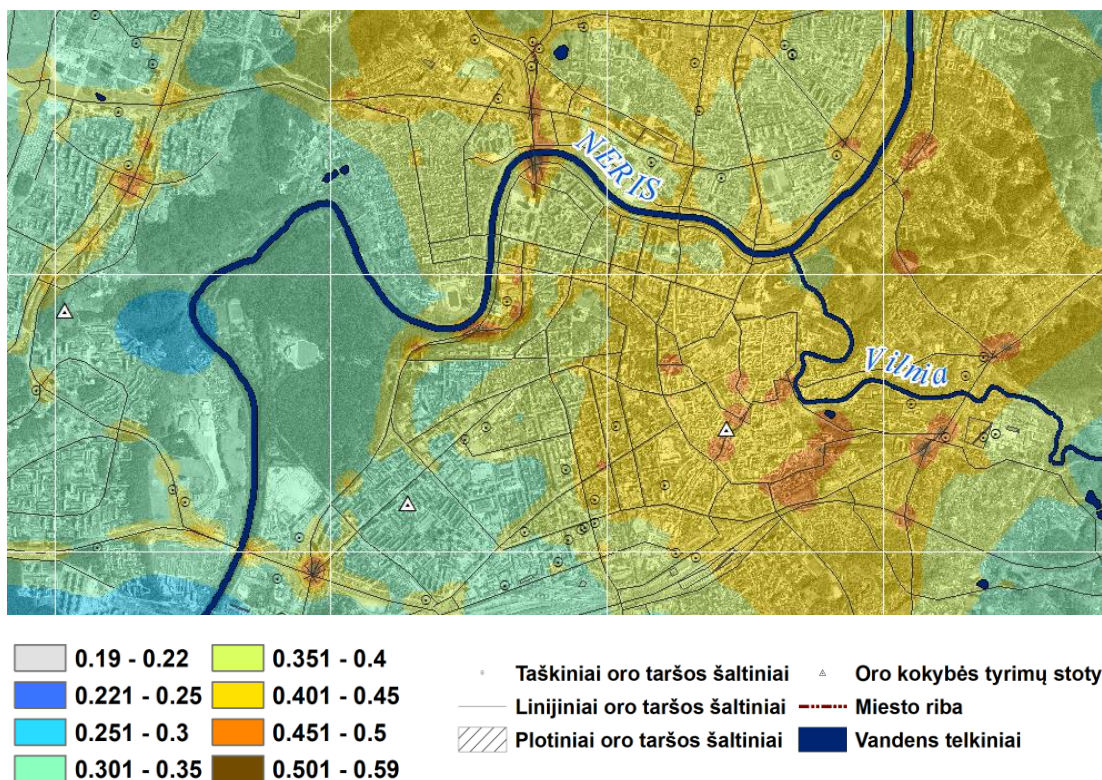
2012 metais Jungtinėse Amerikos Valstijose (toliau – JAV) Las Vegaso mieste tirti lokalūs ir sezoniniai oro kokybės pokyčiai (Kimbrough et al., 2013). Buvo nagrinėjamas eismo intensyvumas, meteorologiniai duomenys ir oro kokybė, matuojant šių teršalų koncentracijas: NO, NO₂, NO_x, juodoji anglis (toliau – BC), CO. Autoriai atlikę eksperimentinius tyrimus nustatė, jog esant mažesniai vėjo greičiui, atitinkamai CO dalelių išsklaidymas mažesnis, o tai lemia didesnes CO koncentracijas, t. y. didesnę taršą. Taip pat nustatyta, jog vertinant tik vėjo poveikį CO koncentracijai, pavėjui esančioje matavimų stotelėje, kuri nutolusi nuo kelio 20 m., CO koncentracija buvo 60 % didesnė nei priešvėjinėje matavimų stotelėje (Kimbrough et al., 2013).

2018 m. atliktoje Lietuvos oro kokybės apžvalgoje (Aplinkos apsaugos agentūra, 2018) anglies monoksido koncentracija Vilniaus mieste, Žirmūnų OKT stotyje nepastovi. Senamiesčio ir Savanorių pr. OKT stočių duomenimis, nuo 2016 m. stebima CO mažėjimo tendencija (žr. 1.1 pav.). Remiantis 2016 m. Vilniaus miesto oro kokybės apžvalga, išaugusi teršalų koncentracija buvo fiksuojama šaltuoju laikotarpiu, kai prie mobilių šaltinių keliamos taršos prisidėjo tarša iš energetikos ir individualių šiluminės energijos gamybos įrenginių. Vertinant visos Lietuvos CO koncentracijos kitimą, pastebimas nežymus šio teršalo sumažėjimas (Aplinkos apsaugos agentūra, 2018).



1.1 pav. Maksimalios 8 val. CO koncentracijos kitimas 2015–2018 m. Vilniaus miesto aglomeracijoje (sudaryta autorės remiantis Aplinkos apsaugos agentūra 2018)

Žvelgiant į bendrą CO koncentracijos Vilniaus miesto žemėlapi (žr. 1.2 pav.), modeliavimo rezultatai rodo, kad didžiausia anglies monoksido koncentracija yra prie intensyviausio eismo gatvių. Didesnės anglies monoksido koncentracijos tikėtinos ir tuose miesto vietose, kur daugiau individualių namų, neprijungtų prie centrinio šildymo sistemos. Modeliavimo duomenimis metinis vidurkis prie judriausių miesto gatvių siekia 0,50–0,59 mg/m³ (Aplinkos apsaugos agentūra, 2018).

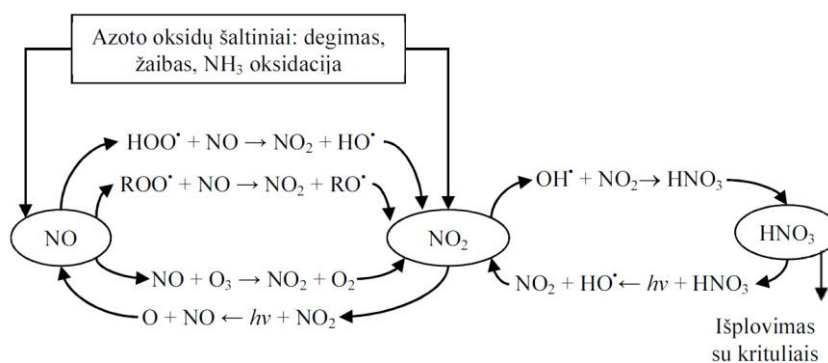


1.2 pav. Vidutinė metinė CO koncentracija (mg/m^3) centrinėje Vilniaus miesto dalyje 2018 m. (pagal ADMS Urban modelį) (Aplinkos apsaugos agentūra, 2018)

Azoto oksidai – NO yra bespalvės, bekvapės, o NO_2 yra raudonai rudos spalvos, nemalonaus kvapo dujos (Krugly ir Kliučinska, 2010).

Azoto oksidai transporto priemonių išmetamosiose dujose sudaro tik iki 12 % visų nuodingų cheminių junginių, tačiau jie nuodingesni už anglies monoksidą, atmosferoje šios dujos gyvuoja 3–4 dienas (Mikalauskienė, 2010).

Azoto oksidų šaltiniai ne tik automobilių vidaus degimo varikliai, bet ir mazuto, anglies deginimo procesas. Daugiausiai, apie 95 %, degimo dujose išmetama NO, likusioji tenka NO_2 dujoms (Wilk, Magdziarz, Kuźnia ir Jerzak 2010). Esant aplinkos temperatūrai, deguonis ir azotas nereaguoja tarpusavyje, tačiau vidaus degimo variklyje, aukšta temperatūra lemia reakcijas tarp deguonies ir azoto, kurios produktas – azoto oksidas. Taip pat azoto monoksidas reaguodamas su pažemio ozonu (O_3) sudaro azoto dioksidą (NO_2) (žr. 1.3 pav.) (Roy, Hegde ir Madras 2009).



1.3 pav. Pagrindinės cheminės reakcijos, vykstančios atmosferoje tarp NO, NO_2 ir HNO_3 (Šerevičienė, 2012)

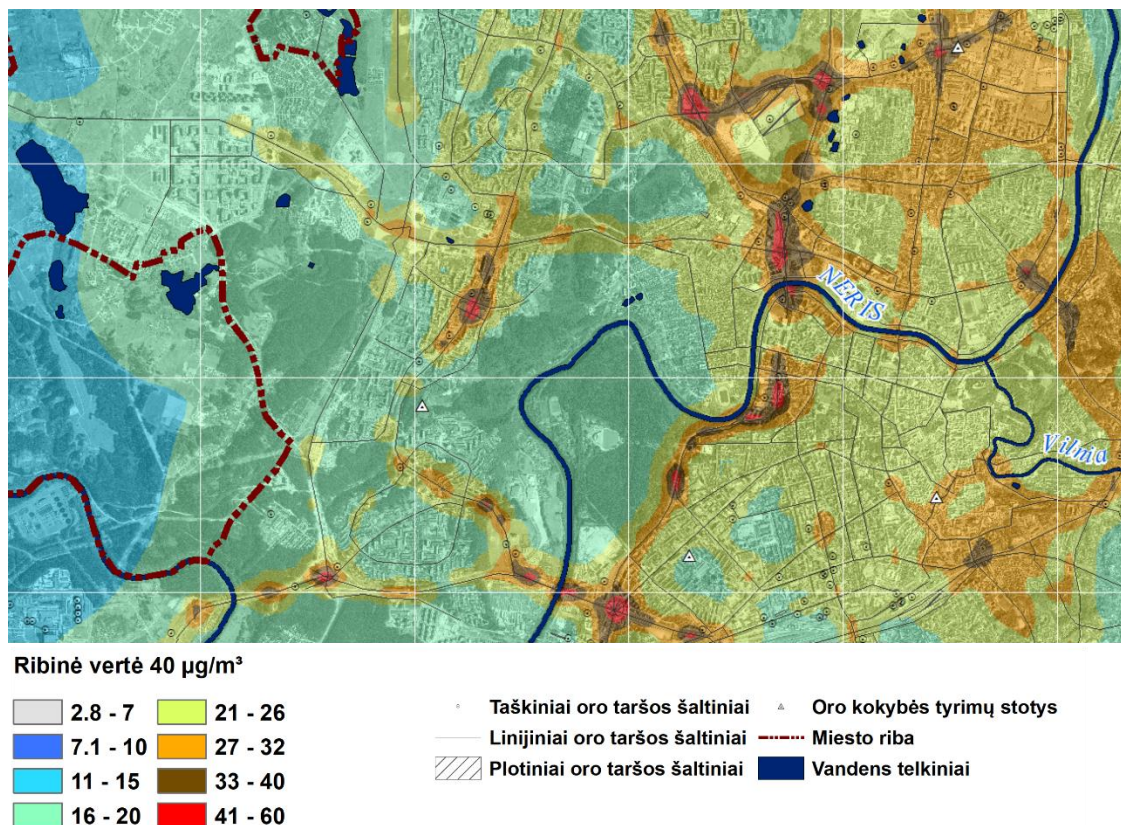
2009 m. Pakistane, Lahoro mieste atliktas mokslinis tyrimas apie oro kokybės pokyčius sąlygojamus spartaus gyventojų skaičiaus augimo ir chaotiškos miesto plėtros. 2009 m.

nustatyta, jog miesto populiacija augo 4 proc. į metus, tais pačiais metais fiksuojama, jog gyventojų skaičius siekia 7 milijonai gyventojų, mieste registruota 1,4 milijonų automobilių (Ali ir Athar, 2010). Šio miesto spartus augimas sukėlė įvairias problemas: nuo oro taršos iki miesto planavimo plėtros klaidų. Šios studijos tikslas ne tik nustatyti oro taršos mastą, bet ir pateiktų galimas jos mažinimo priemones.

Šioje studijoje oro mėginiai imti dešimtyje matavimų vietų, be oro emisijų, fiksuotos ir meteorologinės sąlygos. Autoriai pabrėžia, jog matavimo vietos parinktos pasižyminčios skirtingomis savybėmis, tam, jog tyrimas atskleistų viso miesto oro kokybės būklę (Ali ir Athar, 2010). Vienos matavimo vietos gausiai urbanizuotos gyvenamųjų namų, kitos pramonės objektų ar kelių infrastruktūros.

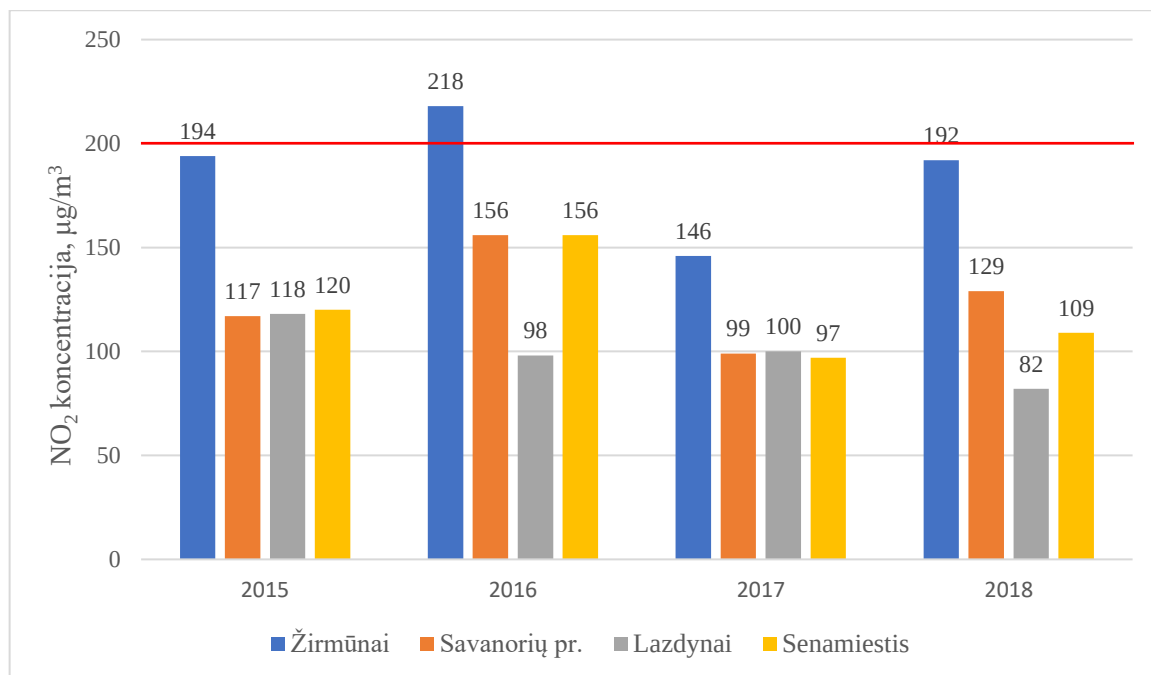
Tyrimo metu nustatyta, jog pagrindiniai šio miesto taršos šaltiniai – transportas, pramonė, kelio dulkės. Vertinant tik NO₂ emisijas, skirtingose matavimo vietose, autoriai nustatė, jog didžiausios NO₂ koncentracijos aptiktos vietovėse, kuriose palyginti didelis eismo srautas ir priešingai, vietovės, kurios naujai apgyvendintos ir neapkrautos transporto srautų, NO₂ koncentracijos mažiausios (Athar, 2009). Autoriai priėjo bendrą išvadą, jog oro kokybės būklė negerės jei nebus imtasi griežtų prevencijos priemonių, kaip pavyzdžiui viešojo transporto plėtojimas, efektyvus eismo reguliavimas, skatinimas laikytis saugaus eismo taisyklių ar mokesčių už taršą taikymas. Taip pat su išvadomis pateikiamos septynios rekomendacijos, kurios padėtų pagerinti oro kokybę Lahoro mieste.

2017 m. atliktas oro taršos modeliavimas atskleidė, jog Varšuvos aglomeracijoje transporto priemonės yra pagrindinis NO_x taršos šaltinis (Holnicki, Kałuszek, Nahorski, Stankiewicz ir Trapp 2017). Lyginant anksčiau minėtų mokslinių tyrimų eigas ir išvadas nenuostabu, jog ir Vilniaus mieste prie tam tikrų eismo gatvių ir sankirtų išryškėja didesnės NO₂ koncentracijos nei aplinkinėse teritorijose (žr. 1.4 pav.).



1.4 pav. Vidutinė metinė azoto dioksido (NO₂) koncentracija centrinėje Vilniaus dalyje 2018 m. (Aplinkos apsaugos agentūra, 2018)

Remiantis 2018 m. atliktos Lietuvos oro kokybės apžvalgos duomenimis, užfiksuoti NO₂ ribinių normų viršijimai (didžiausias leistina 1 val. koncentracija 200 µg/m³). Žemiau pateiktos didžiausios NO₂ koncentracijos duomenys Vilniaus OKT stotyse (žr. 1.5 pav.).



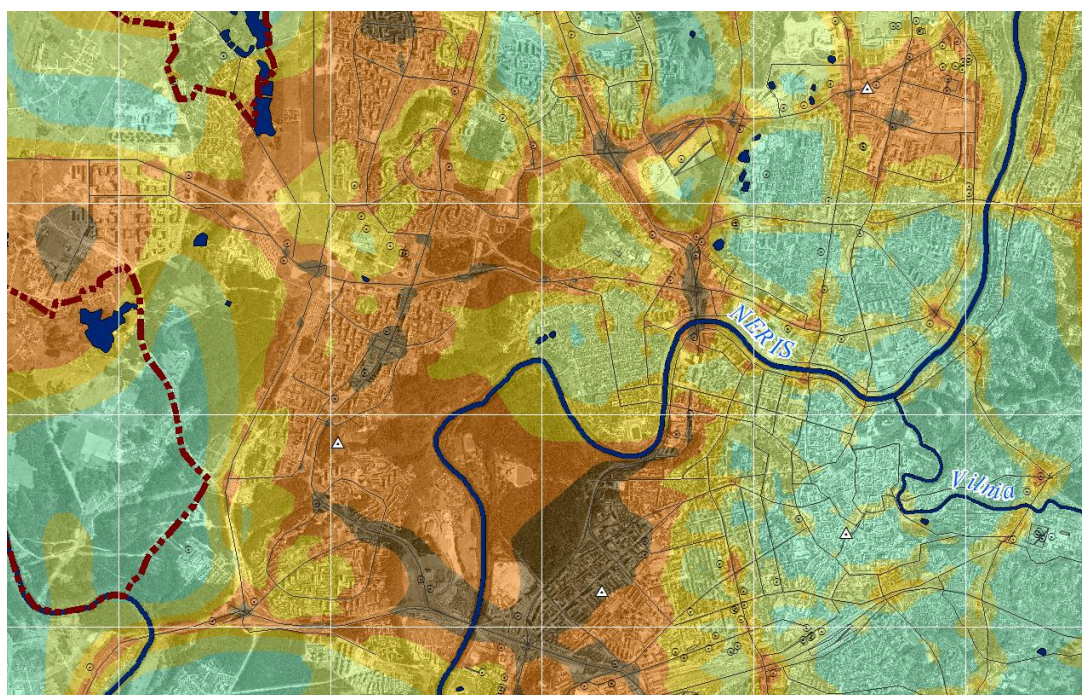
1.5 pav. 2015–2018 m. azoto dioksido didžiausia 1 val. koncentracija (sudaryta autorės remiantis Aplinkos apsaugos agentūra, 2018)

Sieros dioksidas (SO_2) – oro teršalas, susidarantis degimo (dažniausiai kūrenant iškastinį kurą, kuriame yra sieros junginių), naftos perdirbimo, sieros rūgšties gamybos metu.

Patekęs į aplinką SO_2 gali būti oksiduojamas iki sieros trioksido (SO_3). SO_3 greitai virsta sieros rūgšties migla, jei aplinkoje yra vandens garų. Dėka fizinių ir cheminių savybių, sieros rūgšties lašeliai ir kiti sulfatai gali būti pernešami toli nuo susidarymo šaltinio. Šie teršalai – pagrindinė rūgštaus lietaus sudedamoji dalis.

Didžiausios sieros dioksido koncentracijos nustatomos sunkiosios, ypač anglis naudojančiuose, pramonės regionuose. Mokslininkų tyrime (A et al., 2017), kuriame naudojama palydovinė įrangą buvo vertinti Kinijos Liaudies Respublikos ilgojo periodo oro kokybės duomenis 2005–2015 m. laikotarpiu. Didžiausios SO_2 koncentracijos nustatytos regionuose, kuriuose tankiai išsidėsčiusios elektrinės, anglies kasybos arealai bei sunkiosios pramonės šakos, naudojančios anglį. Tame pačiame tyrime buvo vertintos ir NO_x koncentracija, tačiau priešingai nei SO_2 , azoto oksido didžiausia koncentracija nustatyta ties intensyviausiais transporto keliais (A et al., 2017).

Žvelgiant į SO_2 (žr. 1.6 pav.) koncentracijos Vilniaus mieste žemėlapi, didžiausia koncentracija nustatyta šalia pramonės teritorijų ir gyvenamųjų namų kvartalų, kuriuose, šildymo sezono metu suintensyvėja šiluminės energijos gavyba. Remiantis Vilniaus 2018 m. OKT stočių duomenimis, nė karto nebuvo viršytos žmogaus sveikatos apsaugai nustatytos normos (žr. 1.4 lentelę) (Aplinkos apsaugos agentūra, 2018).



Ribinė vertė 20 µg/m³ (augmenijos ir ekosistemų apsaugai)

2.2 - 2.5	3.6 - 4
2.6 - 2.8	4.1 - 4.5
2.9 - 3	4.6 - 5
3.1 - 3.5	5.1 - 5.3

○ Taškiniai oro taršos šaltiniai	△ Oro kokybės tyrimų stotys
— Linijiniai oro taršos šaltiniai	--- Miesto riba
▨ Plotiniai oro taršos šaltiniai	■ Vandens telkiniai

1.6 pav. Vidutinė metinė sieros dioksido (SO₂) koncentracija centrinėje Vilniaus dalyje 2018 m. (Aplinkos apsaugos agentūra, 2018)

Sieros dioksidas (SO₂) ir kietosios dalelės gali veikti sinergetiškai: kietosios dalelės geba SO₂ oksiduoti į sieros rūgštį. Be to sieros junginiai didina fotooksidantų (O₃) veikimo efektyvumą. Pažeidžiami augalų lapai, sutrinka augalų fotosintezės ir kvėpavimo procesai, augalai nustoja augti. Reguliarus rūgščių patekimas į dirvą sutrikdo buferines dirvos savybes ir galiausiai sumažina jos pH. Iš dirvos stipriau išplaunamos maistingos medžiagos.

Stiprų neigiamą poveikį materialiniams objektams turi SO₂ ir krituliai. Aplinkoje iškritus rūgštiesiems krituliams, greitėja metalų korozija, mažėja įvairių medžiagų atsparumas. Taip žalojamos statybinės ir konstrukcinės medžiagos, kaip plytos, plienas, tinkas (Kauno miesto savivaldybė, 2013).

Kietosios dalelės apibūdinamos kaip kietųjų ir skystųjų dalelių ore mišinys. Dalelių skersmuo svyruoja nuo 0,005 iki 100 mikronų (µm). Smulkių kietųjų dalelių, esančių ore, skersmuo yra 2,5 µm ir mažiau (Zhu, Hinds, Kim, Shen, ir Sioutas 2002). Mažesnėms kietosioms dalelėms priskiriami aerosoliai, degimo metu išmestos dalelės bei susikondensavę organiniai ir metalo garai. Didesnės dalelės paprastai apima Žemės plutos uolienas ir neorganines dulkes. Visos suspenduotos dalelės skiriasi savo dydžiu, sudėtimi ir kilme.

Dažniausiai kietųjų dalelių taršos šaltiniais įvardijamos: transporto priemonės, šildymo įrenginiai, naudojantys iškastinį ir kietą kurą, pramonės įmonės, žemės paviršiaus erozija ir fotocheminiai procesai.

Kietųjų dalelių forma įvairi, jų aerodinaminės savybės priklauso nuo skersmens (pavyzdžiui, dalelės, su vienodu aerodinaminiu skersmeniu, gali turėti skirtingą dydį ir formą. Atsižvelgiant į dalelės dydį, jos skirstomos į dvi grupes:

- Stambios, kurių dydis svyruoja nuo 2,5 iki 10 µm;
- Smulkios, kurių dydis svyruoja nuo 0,1 iki 2,5 µm. KD, kurių dydis iki 0,1 µm vadinamos labai smulkiomis.

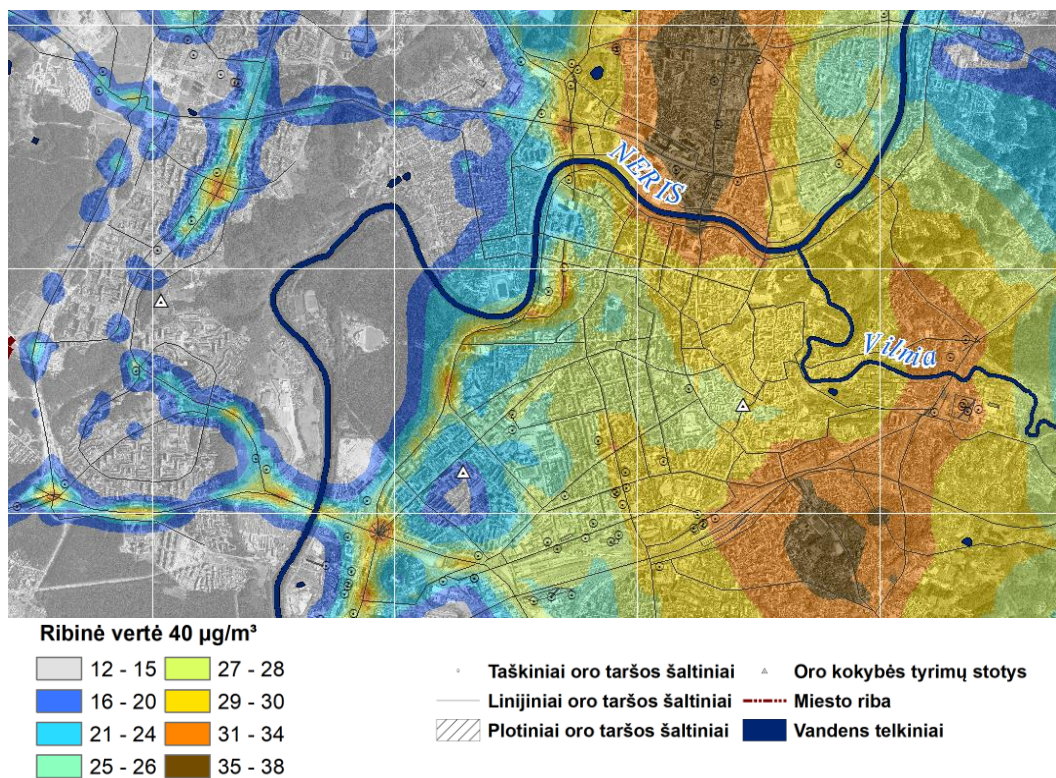
Oro tarša kietosiomis dalelėmis šalia kelių apima ne tik degimo metu susidariusias daleles, bet ir daleles susidarančias dylant transporto priemonių dalims, taip pat kietosios dalelės pakeliamos nuo kelių į orą, transporto priemonės judėjimo metu.

Oro taršos kietosiomis dalelėmis šalia neasfaltuotų kelių eksperimentinių tyrimų ir mokslinių publikacijų tematika iki 2000 m. nėra daug (Roorda–knapė, Janssen, Hartog, Van Vliet, Harssema ir Brunekreef 1998; Chock, 1978). Šiuose darbuose analizuoti tik nereaktyvūs teršalai: kietosios dalelės ir anglies monoksidas. Šių teršalų dėka buvo kalibruojami Gauso linijiniai dispersijos modeliai. Abiejų mokslinių studijų išvadose teigiama, jog teršalų koncentracijos mažėja eksponentiškai priklausomai nuo atstumo iki kelio krašto, o mažėjimo koeficientas tampa nežymus nuo 0,5 km (Karner, Eisinger ir Niemeier 2010). Po 2000 m. stebimas ryškus mokslinių tyrimų šia tema gausėjimas, tai tapatinama su mokslo ir technologijų pažanga. Vienose publikacijose analizuojamos ir vertinamos išmetamosios emisijos iš skirtingų transporto priemonių variklių tipų neasfaltuotose keliuose, kitose koncentruojamasi ties vertikaliu taršos sklidimu iš difuzinių taršos šaltinių, dar kitose pateikiami vertikalių ir horizontalių dalelių srautų skaičiavimai (Veranth, Pardyjak ir Seshadri 2003; Gillies, Etyemezian, Kuhns, Nikolic ir Gillette 2005; Zhu, Hinds, Kim, Shen ir Sioutas 2002). Verta paminėti, jog tuo metu trūko detalių ir svarių tyrimų, kurių metu būtų analizuojama kaip kietosios dalelės juda ir pasiskirsto vertikaliai, nuo taršos šaltinio.

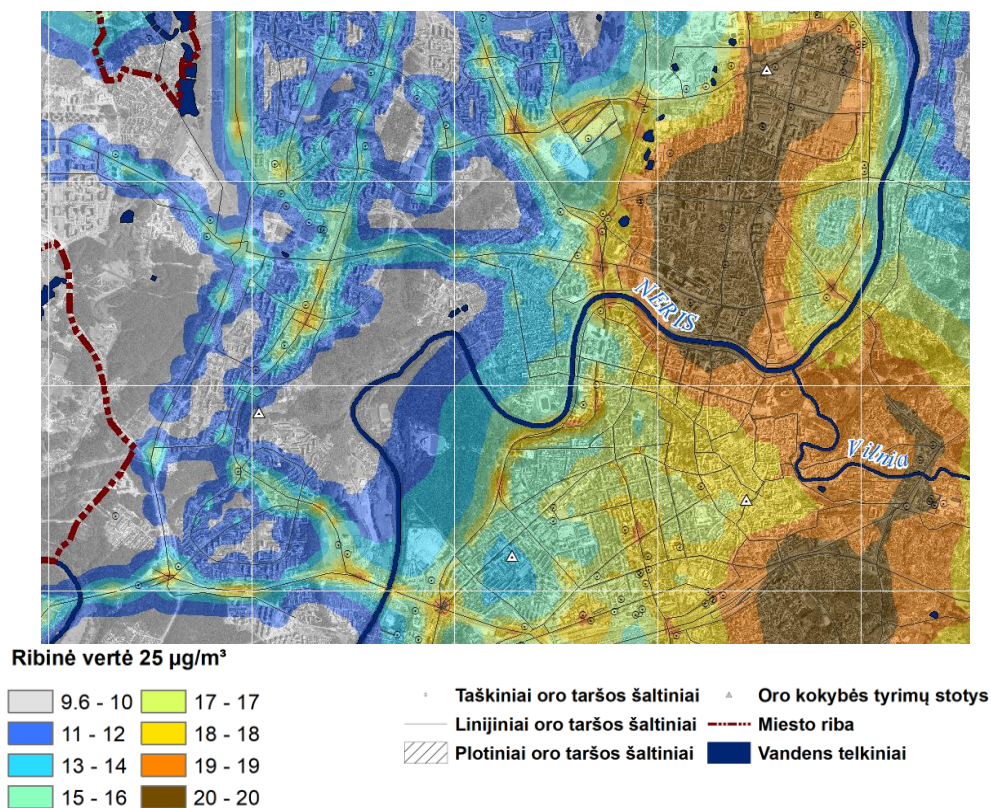
Moksliniuose darbuose, kuriuose tirtas kietųjų dalelių pasiskirstymas, pastebėta, jog šalia kelių vyrauja smulkiosios dalelės ($0,1 < d < 30$ nm), jos rodo vienodų dispersinio dydžio dalelių pasiskirstymą (Etyemezian et al., 2004). Tuo tarpu šalia greitkelių, kuriuose didžioji dalis transporto srauto yra dyzelinės transporto priemonės, dominuoja ultra mažos dalelės ($d < 100$ nm), o jų multimodalinis pasiskirstymas priklauso nuo atstumo iki kelio bei metų laiko (Zhu, Hinds, Kim, Shen ir Sioutas 2002; Baldauf et al., 2008).

Pakeltoji tarša kietosiomis dalelėmis ypač gerai matoma ties eksploatuojamais neasfaltuotais keliais, kurių danga – žvyro. 2019 m. išleistoje studijoje (Cardozo ir Sánchez, 2019), mokslininkai nustatė, jog 1,5 km atstumu nuo žvyro dangos kelio KD_{10} ir $KD_{2,5}$ koncentracija yra nuolatinės frakcijos visų suspenduotų dalelių kiekiui.

Žvelgiant į KD_{10} (žr. 1.7 pav.) ir $KD_{2,5}$ (žr. 1.8 pav.) koncentracijos Vilniaus mieste žemėlapius, didžiausia šių teršalų koncentracija nustatyta šalia intensyviausių transporto mazgų, pramonės teritorijų ir gyvenamųjų namų kvartalų, kuriuose šildymo sezono metu suintensyvėja šiluminės energijos gavyba.



1.7 pav. Vidutinė metinė kietųjų dalelių (KD_{10}) koncentracija centrinėje Vilniaus dalyje 2018 m. (Aplinkos apsaugos agentūra, 2018)



1.8 pav. Vidutinė metinė kietųjų dalelių ($\text{KD}_{2,5}$) koncentracija centrinėje Vilniaus dalyje 2018 m. (Aplinkos apsaugos agentūra, 2018)

Pagal Lietuvos Respublikos aplinkos ministro ir Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2010 m. liepos 7 d. įsakymą Nr. D1-585/V-611 „Dėl aplinkos ministro ir sveikatos apsaugos ministro 2001 m. gruodžio 11 d. įsakymą Nr. 591/640 „Dėl aplinkos oro

užterštumo normų nustatymo pakeitimo“, bei atsižvelgiant į 2015–2018 m. užfiksuotas KD_{10} koncentracijas (Aplinkos apsaugos agentūra, 2018), nustatyti atvejai, kada viršijamas parų skaičius, kuomet viršyta paros ribinė vertė: Žirmūnų OKT stotyje 2015 m. fiksuotas 63 viršijimų paros, 2018 m. viršytos 37 paros.

Smulkių kietųjų ir skystųjų dalelių kombinacijos, pakibusios ore, dar vadinamos **aerozoliais**. Kadangi didžiosios dalies aerozolių šaltinis yra žemės paviršius, jų koncentracija dažniausiai greitai mažėja didėjant aukščiui (Rimkus, 2011). Aerozoliams tostant nuo vietos, kur pateko į orą, jų koncentracija mažėja ir horizontalia kryptimi. Į orą patekusius aerozolius aukštyneigiai oro srautai pakelia į viršų ir gali nunešti toli. Per vulkanų išsiveržimus į orą pakilę aerozoliai gali iškristi beveik bet kurioje Žemės rutulio vietoje. Vienintelis mažai reikšmingas išorinis aerozolių šaltinis yra kosminės dulkės (Rimkus, 2011).

Aerolių kilmė gali būti tiek gamtinė, tiek antropogeninė. Gamtinės kilmės aerolių – nuo žemės pakeltos dulkės, augalų žiedadulkės, druskos, likusios ore išgaravus jūros vandens lašeliams, miškų ir pievų gaisrų, taip pat ugnikalnių išsiveržimų produktai. Išsiveržus galingiems ugnikalniams, daug aerolių patenka į viršutinę troposferą ar net stratosferą (Rimkus, 2011).

Labai didelis aerolių kiekis į orą patenka ir dėl žmogaus ūkinės veiklos. Įvairių šaltinių duomenimis, antropogeninės kilmės aerolių sudaro 10–20 % viso aerolių kiekio (Rimkus, 2011). Pramonės įmonės, elektrinės, autotransportas yra pagrindiniai tokio tipo aerolių šaltiniai. Todėl daugiausia aerolių aptinkama urbanizuotose teritorijose, šalia stambių pramonės įmonių. Dėl gravitacijos jėgos į orą patekę aerolių linę nusėsti ant žemės paviršiaus: stambūs aerolių nusileidžia per keliolika minučių, o pačios smulkiausios dalelės ore gali išsilaikyti daug ilgiau. Ilgiausiai (iki kelerių metų) ore išsilaiko į stratosferą patekę aerolių.

Aerolių galima skirstyti į pirminius ir antrinius. Pirminiai aerolių tiesiogiai pakyla į orą, o antriniai susidaro ore cheminių reakcijų metu. Pavyzdžiui, sieros dioksidas (SO_2) – dujos, kurios nėra aerolis, susijungusios su vandeniu, sudaro sieros rūgštį (H_2SO_4) – aerolinį skystį (Rimkus, 2011). Pakistane vykdytuose oro taršos tyrimuose (Robinson et al., 2007) akcentuojama, jog pusiau lakūs organiniai junginiai (LOJ) patekę į aplinką dėl praskiedimo, cheminės ir fotocheminės transformacijos gali suformuoti antrinį organinį aerolį. Toks reiškinys gali įvykti nuo pirmos valandos iki dienų po LOJ išmetimo (Robinson et al., 2007).

Dauguma aerolių žalingi gyviesiems organizmams, todėl oro tarša kelia didelę grėsmę užterštose vietovėse gyvenančių žmonių sveikatai. Vandens garų kondensacijos efektyvumą sąlygoja kai kurie aerolių, nes apie juos formuojasi vandens lašeliai. Todėl aplinkoje, kur jų kiekis yra didelis, susidaro palankios sąlygos debesims ir krituliams formotis. Taip pat aerolių geba sumažinti Saulės spinduliuotės intensyvumą prie žemės paviršiaus, kas lemia apatinių troposferos sluoksnių vėsimą. Per galingų vulkanų išsiveržimus (Krakatau 1883 m., Pinatubo 1991 m.) dideliu aerolių kiekiui patekus į stratosferą, padarinius jautė viso pasaulio klimatas – vidutinė globalinė oro temperatūra buvo laipsnio dalimis ar net keliais laipsniais žemesnė (Rimkus, 2011).

Apibendrinus anksčiau pateiktą informaciją apie pagrindinius oro teršalus, galima išskirti pagrindinius mobiliosios taršos šaltinius, kurie apima ne tik transporto priemonių variklius ir jų išmetimo sistemas, bet ir „non-exhaust“ šaltinius, apimančius pakeltą taršą nuo kelių, prie kurios priskiriama stabdžių, padangų, kelio eksploatacijos ir susidėvėjimo dedamosios. Yra žinoma, jog net su nulinėmis išmetamųjų dujų emisijomis, elektra varos priemonės vis vien prisideda prie oro kokybės prastėjimo, generuodamos ultra mažas daleles (Dahl et al., 2006; Kumar, Robins, Vardoulakis ir Britter 2010).

Be jau minėtų oro taršos šaltinių, oro kokybę lemia foninė tarša, periodiniai taršos šaltiniai, kurių identifikacija sunkiai nustatoma (arba nenustatoma). Foninė tarša – atneštinis užterštumas, susidaręs tolimesniuose regionuose, atneštas judančių oro masių. Vilniaus miesto priemiestiniuose rajonuose įsikūrusios tankiai apgyvendintos teritorijos, kuriuose vyrauja

individualūs namai su įvairiomis šildymo sistemomis. Šiose teritorijose susidariusi tarša gali lengvai pasiekti Vilniaus miestą. Taip pat oro teršalai vyraujant palankioms vėjo kryptims Vilniaus miestą gali pasiekti iš gretimų valstybių ar tolimų regionų.

1.2. Veiksniai lemiantys teršalų sklaidą

Kiekvienos dujos pasižymi skirtingomis savybėmis ir rodikliais. Tokio tipo duomenų ir informacijos šiuolaikiniame pasaulyje apstu, todėl XIX a. mokslininkų dėmesys krypta ne į teršiančios medžiagos charakteristikų nustatymą, bet į kur kas sudėtingesnius procesus. Analizuojant oro kokybę svarbu išmanyti ne tik vertinamų teršalų chemines ir fizines savybes, bet ir jų susidarymą lemiančius veiksnus, sklaidos būdus, funkcijas ir poveikį kitiems aplinkos komponentams. Kadangi tik tokiu būdu galima parinkti tinkamas priemones oro taršai mažinti. Tai žaliųjų plotų ir miegamųjų rajonų planavimas atsižvelgiant į miesto kraštovaizdį, reljefą ir klimatinės sąlygas (Bukantis, Rimkus ir Stankūnavičius 2003), bei transporto sistemos ir infrastruktūros plėtra.

Pastaraisiais metais pastebimas išaugęs atliekamų tyrimų ir studijų skaičius, kurių tikslas išanalizuoti ir nustatyti veiksnus, lemiančius oro teršalų sklaidą prie transporto kelių. Šis išaugęs tyrimų mastas nieko nestebina, kadangi siekiant sumažinti ir užkirsti kelią oro taršai, tokių tyrimų ir studijų poreikis didelis ir reikšmingas.

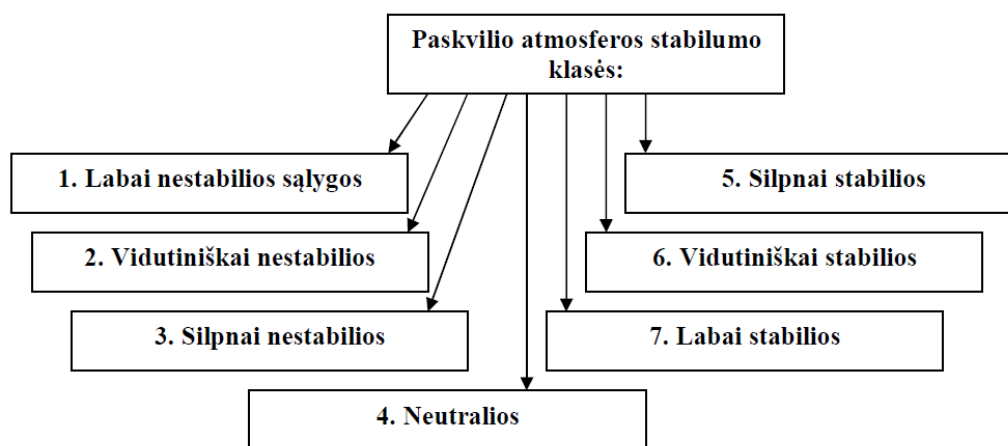
1.2.1. Meteorologinių veiksnių poveikis oro teršalų sklaidai

Orą, kaip ir jo kokybę sąlygoja meteorologiniai reiškiniai. Dydžiai, apibūdinantys oro fizinę būklę – oro temperatūra, vėjo greitis ir kryptis, drėgnumas, slėgis, debesuotumas ir kt., visi šie dydžiai vadinami meteorologiniais parametrais. Dažnai tinkamomis sąlygomis oro teršalams kauptis apatiniuose atmosferos sluoksniuose yra įvardijamas menkas aplinkos oro maišymasis, temperatūros inversija bei keletas meteorologinių elementų derinių sąveikos (meteorologiniai reiškiniai) vyravimas (Korkutis ir Kavaliauskas, 1995). Dažniausi mokslinėje literatūroje sutinkami oro teršalų koncentraciją lemiantys veiksniai (Liu, Wu, Yu ir Ma, 2018):

- Atmosferoje vykstantys didelio masto judesiai. Jiems priskiriama globali, vakarų vėjų sistema, cikloninė ir anticikloninė cirkuliacija, sezoniniai vėjai, sinoptiniai atmosferos sūkuriai, mezocirkuliaciniai mechanizmai frontų zonose (Jacobson, 2001).
- Vietinės reikšmės cirkuliacija (brizai, šlaitų vėjai, paklotinio paviršiaus temperatūra, dirvožemio drėgmė, miesto „šilumos sala“ ir kita).
- Miestų išplanavimas (miesto ir gatvių padėtis, vyraujančių vėjų atžvilgiu, namų aukštis ir atstumas iki kelių, žaliųjų plotų išdėstymas, augalijos tipas ir kt.) (Liu, Wu, Yu ir Ma, 2018).

Atmosferos teršalų sklaidos sąlygos nustatomos remiantis keliais parametrais:

- Sąmaišos aukštis atmosferoje – kuo didesnis sąmaišos aukštis, tuo palankesnės sklaidos sąlygos. Šio rodiklio metinė kaita – ryški. Lietuvoje jis siekia nuo 1000 – 1500 m. vasarą, iki 300–400 m. žiemą (Bukantis, Rimkus ir Stankūnavičius 2003);
- Kritinė temperatūros inversija – šis parametras turi tenkinti šias sąlygas: vertikali potencialios temperatūros kaita $\frac{d\theta}{dz} \geq 0,005 \text{ } ^\circ\text{K/m}$; $\theta_v - \theta_a \geq 2 \text{ } ^\circ\text{K}$. Indeksai a ir v rodo inversijos viršutinę ir apatinę ribas; virš 500 hPa lygio susidariusi inversija teršalų sklaidai poveikio neturi (Bukantis, Rimkus ir Stankūnavičius 2003);
- Paskvilio atmosferos stabilumo klasės – tai klasės, apibrėžiančios apatinių atmosferos sluoksnių stabilumo sąlygas, išskiriamos 7 klasės (žr. 1.9 pav.) (Sillman ir Samson, 1995; Kahl ir Chap, 2018).



1.9 pav. Paskvilio atmosferos stabilumo klasės (Kahl ir Chap, 2018)

2003 m. Vilniaus universiteto mokslininkai (Bukantis, Rimkus ir Stankūnavičius 2003) analizavo atmosferos taršos kaitą urbanizuotose teritorijose. Atlikta analizė atskleidė, jog maksimalios oro teršalų koncentracijos Vilniaus mieste susidaro susiformavus stabiliai priežeminei inversijai, kuri transformuojasi į pakiliają laisvosios atmosferos inversiją. Tokiomis sąlygomis didelė dalis dujinių teršalų kaupiasi paribio sluoksnyje, o inversijai suaktyvėjus – žemutinėje šio sluoksnio dalyje (Bukantis, Rimkus ir Stankūnavičius 2003).

2018 metais Vilniuje atliktas KD_{10} koncentracijos viršijimo atvejų ir meteorologinių sąlygų ryšių tyrimas (Frišmantas ir Stankūnavičius, 2019). Tyrime pasitelkti retai Lietuvoje taikyti vyraujančių oro pernašų atgalinės dalelės trajektorijos metodai. Tyrimo laikotarpis apėmė 2005–2016 m., analizuoti 10 koncentracijos viršijimo atvejų. Tyrimas atskleidė, jog septynios iš 10 didžiausių KD_{10} koncentracijos viršijimo atvejų ir temperatūros inversijos susidarydavo naktimis ir rytais. Tyrimo metu nustatyta, jog didžiausia KD_{10} koncentracija $172 \mu\text{g}/\text{m}^3$ identifikuota kaip vietinės (lokalios) reikšmės tarša. Tyrimas atskleidė, jog dideli oro taršos epizodai rytinėmis valandomis (00–06 val.) sutapdavo su priežeminės temperatūros inversijomis (temperatūros inversija $> -0,4 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$) (Frišmantas ir Stankūnavičius, 2019).

2015 m. vertinti Klaipėdos miesto oro taršos pokyčiai bei atlikta oro teršalų priklausomybės analizė nuo meteorologinių veiksnių. Tyrimo metu nustatyti vidutinio stiprumo neigiami statistiškai reikšmingi koreliaciniai ryšiai tarp anglies monoksido koncentracijos ir oro temperatūros ($R = -0,55$, $p = 0,00$) ir azoto dioksido koncentracijos ir vėjo greičio ($R = -0,47$, $p = 0,00$) (Vilkaitė ir Dėdelė, 2015).

2018 m. Šiaurės Karolinos valstijoje, šalia Daremo miesto, atlikta teršalų koncentracijos, sklaidos faktorių ir dispersijos šalia greitkelio tyrimas (Sahaa, Khlystovb, Snyderc ir Grieshopa 2018). Nustatyta, jog dalelių skaičius buvo 300 proc. didesnis žiemą ($5 \text{ }^\circ\text{C}$) negu vasarą ($25 \text{ }^\circ\text{C}$). Autoriai teigia, jog tokį skirtumą galėjo lemti dvi galimos aplinkybės. Pirmą, variklio ir emisijų kontrolės sistemų eksploatacinės savybės mažiau efektyvios šaltame ore. Antra, iškart iš išmetimo vamzdžio į aplinką patekusios pusiau lakios dujos, dėl temperatūros poveikio ir greito vėsimo, gali susidurti su nukleacijos, kondensacijos ir garavimo procesais. Būtent šie procesai ir gali lemti didelius koncentracijos skirtumus. Tyrimas atskleidė, jog silpnesnis vėjas lėmė platesnę, arti kelio esančios, poveikio zonos išsidėstymą ir didesnę teršalų koncentraciją šaltesniais orais. Matuojant dalelių skaičių artimojoje kelio dalyje, nustatyta, kad daugiau nei 80 proc. jų priskiriamos nukleacijos modai, kurios tik minimaliai prisideda prie bendros dalelių masės koncentracijos (Sahaa, Khlystovb, Snyderc ir Grieshopa 2018).

Ne tik anksčiau minėtą studiją atlikę mokslininkai, bet kiti mokslininkai (Robinson, Grieshop, Donahue ir Hunt 2010) teigia, jog aplinkos temperatūra yra vienas pagrindinių veiksnių lemiančių oro taršos sklaidą. Pavyzdžiui, lakieji organiniai junginiai gali dinamiškai pasiskirstyti tarp dujų ir dalelių fazių priklausomai nuo aplinkos sąlygų, tokių kaip oro temperatūra ar aplinkos oro drėgmė (Robinson, Grieshop, Donahue ir Hunt 2010).

2009 m. Vilniuje atlikti pažemio ozono tyrimai (Laurinavičienė, 2009). Tyrimo rezultatai atskleidė, jog priežemio ozono koncentracija pasižymi aiškia kaita paros atžvilgiu, didesnės reikšmės fiksuotos dienomis, mažesnės – naktimis. Taip pat šiame tyrime analizuoti ryšiai tarp meteorologinių sąlygų ir ozono koncentracijos. Nustatytas stiprus ryšys tarp O_3 ir oro temperatūros ($R = 0,554$, $p = 0,000$) ir vėjo greičio ($R = -0,785$, $p = 0,000$) (Laurinavičienė, 2009).

2013 m. atlikta SO_2 koncentracijos ir meteorologinių parametrų (vėjo greičio ir krypties, oro temperatūros ir santykinis oro drėgnumo, kritulių) priklausomybės studija. Jos metu nustatyta, jog šis teršalas su oro temperatūra (koreliacija nuo $-0,649$ iki $-0,826$) ir santykinio oro drėgnumu (koreliacijos vertė nuo $0,492$ iki $-0,791$) sudaro stipriausius koreliacinius ryšius, tuo tarpu su vėjo greičio duomenis koreliacija pati silpniausia ($-0,196$ iki $0,067$) (Tripathi, Kulshreshtha ir Gupta 2013).

Kitas, taip pat svarbus oro taršos sklaidą lemiantis veiksnys – vėjo greitis ir kryptis. Vėją apibūdina horizontalūs ir vertikalūs judesiai. Dažniausiai vidutinis vėjo greitis ties žemės paviršiumi, apie 10 m. aukštyje siekia 3–7 m/s. Tačiau oro judėjimas, vėjas, pasižymi nepastovumu ir vėjo greitis stipriai svyruoja apie vidutinę reikšmę.

Vėjo kryptis ties kliūtimis keičiasi: netoli kliūčių atsiranda sūkurių, stiprėja turbulencija. Tai priklauso nuo kliūčių parametrų, formos, vėjo krypties ir greičio, atmosferos būklės. Vėjo srautas susilpnėja prieš kliūtis, bet kliūtis šonuose ir virš jos srautas greitėja, nes srauto linijos tose vietose tankėja, už kliūtis vėjo grietis yra kur kas mažesnis, o nuo jos tolstant vėjo grietis vėl didėja (Rimkus, 2011). Jau senai nustatyta, jog atliekant oro taršos tyrimus tiek prie mobilių, tiek prie stacionarių taršos šaltinių, ypač svarbu atsižvelgti į vėjo kryptį bei greitį. Neatsižvelgiant į šį veiksni, rezultatai gali neidentifikuoti realiai esančios taršos masto.

2016 m. mokslininkas A. Fortelis su komanda analizavo 2009–2013 m. meteorologinių rodiklių ir oro taršos KD_{10} ryšį Neapolyje (Fortelli, Scafetta ir Mazzarella 2016). Oro užterštumo viršijimo atvejai formuodavosi, kai vėjo greitis siekdavo 1–2 m/s, temperatūros inversija $-3\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m.}$, o krituliai nefiksuoti bent 7 paras. Šių tyrimų metu nustatytas glaudus atvirkštinis proporcingas ryšys tarp vėjo greičio ir KD_{10} koncentracijos ($R = -0,7$), taip pat nustatytas stiprus ryšys tarp anticikloninės cirkuliacijos ir oro užterštumo atvejų (Fortelli et al., 2016).

Mokslininkai skiria pakankamai dėmesio tyrimams, kurių metu tiriami ryšiai tarp oro teršalų koncentracijos ir meteorologinių veiksnių, siekdami išsiaiškinti, kurie turi lemiamą poveikį, o kurie visai nelemia teršalo koncentracijos. Duenas su bendraautorais (Duen, Fernandez, Canete, Carretero ir Liger 2002) tyrė ozoną ir šiuos meteorologinius veiksnys: temperatūrą, slėgį, santykinį drėgnį, vėjo kryptį, vėjo greitį ir kritulius. Pirma, jie pastebėjo, kad temperatūra, vėjo greitis ir oro santykinis drėgnumas yra svarbiausi meteorologiniai veiksniai, lemiantys ozono koncentracijos svyravimus. Antra, koreliacija tarp ozono ir slėgio bei kritulių – labai silpna.

Vėjo kryptis paros eigoje kinta. Pirmos dienos pusėje vėjo greičiui didėjant prie žemės paviršiaus, jo kryptis sukasi (pagal laikrodžio rodyklę) į dešinę pusę. Po pietų sumažėjusi turbulencija lemia vėjo krypties sukimąsi į kairę. Priešingas procesas stebimas viršutinėje trinties sluoksnio dalyje: vakare ir naktį vėjo kryptis sukasi į dešinę, rytą ir dieną – į kairę (Rimkus, 2011). Vėjo kaita paros eigoje labiausiai išryškėja pavasarį ir vasarą, tačiau ji dažnai yra sutrikdoma nereguliarių vėjo krypties ir greičio parametrų pokyčių, susijusių su sinoptinio masto darinių sklidimu (Rimkus, 2011).

Atsižvelgiant į visas anksčiau išvardintas priežastis klausimų nekyla, kodėl oro taršos tyrimams ir matavimams – ypač svarbus vėjo vaidmuo. Atliktas ne vienas tyrimas patvirtinantis šį faktą. 2012 m. JAV, Las Vegaso mieste, tirta oro kokybė prie intensyvaus eismo gatvės (Kimbrough et al., 2013). Buvo nagrinėjamas eismo intensyvumas, meteorologiniai duomenys ir oro kokybė (NO , NO_2 , NO_x , BC , CO) nuo 2008 m. gruodžio iki 2009 m. gruodžio mėn. Teršalų koncentracijai nustatyti buvo įrengtos keturios, skirtingais atstumais nuo kelio, matavimų stotys (20 m., 100 m. ir 300 m. – pavėjui (vėjas iš vakarų), ir 100 m. prieš vėją (vėjas

iš rytų)), kitų arti esančių taršos šaltinių, kurie turėtų reikšmės tyrimui, nebuvo nustatyta. Automobilių transporto (įskaitant ir geležinkelių transportą) intensyvumo duomenys (kiekis, greitis) reikalingi šiam tyrimui atlikti buvo gauti iš Nevados Greitkelių ir Transporto sistemos departamento (toliau – FAST), kurie gauti naudojant Wavetronix 10.525 GHz dažnio radarus. Neapsiribojant vien šiais duomenimis, prie 20 m. nuo kelio esančioje matavimų stotyje buvo įrengtos stebėjimo kameros, kurios fiksavo transporto intensyvumą. Gauti transporto srauto duomenys buvo lyginami su FAST pateiktais duomenimis.

Autoriai atlikę eksperimentinius tyrimus nustatė, jog esant mažesniai vėjo greičiui, atitinkamai CO dalelių išsklaidymas mažesnis, o tai lemia didesnes CO koncentracijas, t. y. didesnę taršą. Taip pat nustatyta, jog vertinant tik vėjo poveikį CO koncentracijai, pavėjui esančioje matavimų stotelėje, kuri nutolusi nuo kelio 20 m., CO koncentracija buvo 60 % didesnė nei priešvėjinėje matavimų stotelėje.

Nustatyta, jog matavimo taškuose nutolusiuose vienodu atstumu nuo kelio, oro teršalų koncentracija skiriasi, priklausomai nuo vėjo krypties, jo greičio ir eismo intensyvumo (Kimbrough et al., 2013). Mokslininkės Laurinavičienės (Laurinavičienė, 2008) tyrimų metu gauti duomenys patvirtino anksčiau minėtų mokslininkų gautus duomenis, kad NO₂ koncentracija labiau priklauso nuo vėjo greičio, taip pat ir kritulių kiekio (gauta neigiama koreliacija) nei nuo aplinkos temperatūros. Anksčiau išleistame moksliniame darbe nustatyta, jog NO₂ ir O₃ aukščiausią koncentraciją pasiekia santykiniam oro drėgnumui esant ~ 40 %, autorius šią tendenciją aiškina suaktyvėjusia angliavandenilių oksidacija popiečio valandomis, kuri lemia antrinio teršalo O₃ susidarymą ir priešingai, didesnė CO, SO₂, KD₁₀ koncentracija nustatyta vyraujant didesniai nei 80 % santykiniam oro drėgnumui. Taip pat šiame tyrime nustatyta, jog teigiami koreliaciniai ryšiai tarp santykinio oro drėgnumo nustatyti su SO₂, KD₁₀ ir CO koncentracija bei reikšmingiausi ir neigiami ryšiai su NO₂ ir O₃ (Elminir, 2005). Tyrimo autorius pabrėžia, jog mažą oro drėgmės lygį, kartu ir žemą NO₂ koncentraciją gali lemti švarios laisvosios troposferos oro masės, o aukštas drėgmės lygis gali identifikuoti kritulius ir debesuotumą, kurie gali lemti sumažėjusią oro taršą NO₂ ir O₃ dujomis (Elminir, 2005).

Vėjo greičio ir krypties svarbą teršalų charakterizavimui prie kelių patvirtina Y. Zhu ir kitų mokslininkų (Zhu et al., 2002) atlikta studija. Be metinių/sezoninių tyrimų kaip šis, sėkmingai vykdomi ir ryto–nakties, žiemos–vasaros oro kokybės tyrimai ir palyginimai (Baldauf et al., 2008).

2014 m. atlikta Varšuvos aglomeracijos oro kokybės studija. Analizuotos šios oro teršalų koncentracijos: KD₁₀, SO₂, NO₂ ir O₃, kartu ir meteorologiniai parametrai: oro temperatūra, saulės radiacija, santykinis oro drėgnumas ir kritulių kiekis. Logistinės regresijos modeliai atskleidė, kad tik šiltuoju metu laiku santykinio oro drėgnumo reikšmės ir KD₁₀ koncentracija susijusios (Majewski, Czechowski, Badyda ir Brandyka 2014). Tuo tarpu 2012 m. atliktoje mokslinėje studijoje, kurioje analizuojami KD ryšiai su meteorologiniais duomenimis, nustatyta teigiama koreliacija tarp KD, oro temperatūros ir santykinio oro drėgnumo šaltuoju metu laiku ir priešingai, neigiama koreliacija šiltuoju metu laiku (Górka–Kostrubiec, Król ir Jeleńska 2012).

1.2.2. Mobilių oro taršos šaltinių intensyvumo poveikis oro teršalų sklaidai

Kitas svarbus oro taršos sklaidą lemiantis veiksnys – eismo intensyvumas. Transporto priemonės laikomos ne tik taršos šaltiniu, bet ir jos išsklaidymo veiksniu. Kuo daugiau transporto priemonių, tuo didesnė tarša patenka į aplinką. Transporto priemonei judant, oro dalelės susiduria viena su kita.

2007 m. Vilniuje atlikti oro taršos sklaidos tyrimai pasitelkiant atmosferos dispersijos modeliavimo sistemos (toliau – AERMOD) modelį (Konkovas ir Stankevičius, 2007). Tyrimui atlikti pasirinktos Ozo, Geležinio Vilko, Ukmergės, Kalvarijų ir Kareivių gatvės, kurios pasižymi aukštu eismo intensyvumu. Tiriamojoje teritorijoje nėra pramonės gamyklų ar kitų didelių oro taršos šaltinių, tad modeliuota tik mobilių taršos šaltinių tarša. Tyrime atsižvelgta į transporto srautus ir transporto priemonių tipus. Analizuotos KD₁₀, CO, NO_x, LOJ ir

angliavandenilių koncentracijos. Didžiausia tarša nustatyta Ukmergės ir Geležinio Vilko gatvių sankryžoje, tuo tarpu gyvenamųjų mikrorajonų aplinkos oro teršalų vertės perpus mažesnės nei šalia intensyvių eismo gatvių, pavyzdžiui Ukmergės ir Žalgirio g. sankryžoje, vertinant AERMOD modeliu dienos KD koncentracija – $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Konkovas ir Stankevičius, 2007).

Tais pačiais metais kita mokslininkų komanda tyrė kietųjų dalelių koncentraciją Vilniuje, Žirmūnų mikrorajone. Nustatyta, jog didžiausia KD koncentracija identifikuojama intensyviausio eismo 8–10 ir 16–18 valandomis, o tostant nuo taršos šaltinio koncentracija mažėja (Baltrėnas, Vaitiekūnas, Vasarevičius ir Jordaneh, 2007).

2018 m. Sankt Peterburge analizuoti oro kokybės pokyčiai nulemti stacionarių ir mobilių taršos šaltinių. Detaliai analizuotas eismo intensyvumas ir sudėtis, aplinkos sąlygos, meteorologiniai rodikliai, kelio dangą. Studijos rezultatai atskleidė, jog šiame mieste mobiliems oro taršos šaltiniams tenka apie 85 % sukeltos taršos masto (Gumerova ir Gamayunova, 2018).

2014 m. Rygoje atlikti oro taršos matavimai ir analizė. Atlikta duomenų analizė atskleidė, jog nėra stipraus ryšio tarp eismo intensyvumo ir oro teršalų koncentracijos, nustatytos silpnos arba labai silpnos koreliacijos (Zariņš, Smirnovs ir Lācis, 2014). Autoriai svarsto, jog eismo srauto charakteristikos, aplinka, aplinkos sąlygos gali paveikti matavimus, kurių metu fiksuojama oro teršalų koncentracija. Autoriai rekomenduoja stebėsenos metu fiksuoti ne tik eismo srautus, bet ir transporto priemonių greitį bei apgalvotai rinktis matavimo taškus.

Oro taršos pobūdis ir dydis tiesiogiai priklauso ne tik nuo eismo intensyvumo, bet ir nuo eismo sudėties, tiksliau sakant, nuo transporto priemonių variklių tipo, darbinio tūrio, naudojamos kuro rūšies ir nuo vidaus degimo variklio eksploatacijos sąlygų bei konstrukcijos tipo.

Esant didelei variklio apkrovai, varikliai išskiria daug azoto oksidų, kietųjų dalelių, sieros dioksido ir kitų teršalų. Norint sumažinti transporto priemonės deginių nuodingumą reikia mažinti variklio apkrovą, variklis turi veikti vidutiniu eksploataciniu greičiu. Tačiau realiu scenarijumi automobilių varikliai dirba nenusistovėjusiu režimu, šis kelionės eigoje dažnai kinta.

Dyzelinu varomi automobiliai pasižymi mažesnėmis kuro sąnaudomis nei benzinu varomi automobiliai. Tačiau dyzelinių automobilių išmetamosiose dujose kur kas daugiau išmetama NO_x ir kietųjų dalelių (Toyota Motor Europe, 2011).

Deginių sudėtis gerokai priklauso nuo naudojamos kuro rūšies (žr. 1.1 lentelę).

1.1 lentelė. Skirtingų transporto priemonių išmetamųjų teršalų palyginimas akceleratorijos metu (sudaryta autorės remiantis Yasar, Haider, Tabinda, Kausar ir Khan 2013).

Transporto priemonės tipas	Kuro rūšis	CO (%)	NO (mg/m^3)	SO ₂ (mg/m^3)
Lengvasis automobilis	Gamtinės dujos	1,6	20	65.5
	Dyzelinas	0,1	56.3	327.5
	Benzinas	1,8	16.3	81.2
Sunkiasvoris automobilis	Dyzelinas	0,2	150	322.3
Autobusas	Dyzelinas	0,1	102.5	314.4
	Gamtinės dujos	2	56.3	57.6

Pastaruoju metu ypač aktyvūs bandymai atliekami su įvairių tipų biodegalų mišiniais. Lietuvos mokslininkai Marius Mažeika ir Jonas Matijošius tyrė bevandenio bioetanolio (10 %) ir benzino (90 %) mišinio naudojimo efektyvumą. Rezultatai atskleidė, jog galima pasiekti iki 50 % CO emisijų sumažėjimą naudojant šį kuro mišinį (Mažeika ir Matijošius, 2009). Kiti Lietuvos mokslininkai nagrinėjo dujinių Brauno degalų, dyzelino ir rapsų aliejaus (ir jų kombinacijų) panaudojimo galimybes dyzeliniuose varikliuose. Tyrimų rezultatai parodė, jog papildomai į variklį tiekiant Brauno dujas gaunamos mažesnės CO emisijos ir dūmingumas, tačiau didesnius NO_x išmetimus (Rimkus et al., 2012).

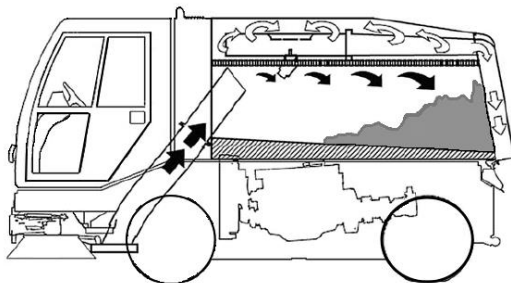
Svarbu ne tik tirti alternatyvius degalus, jų panaudojimo galimybes, bet taip pat svarbūs ir vidaus degimo variklių darbo proceso tyrimai. Moksliniuose darbuose akcentuojami dveji variklio darbo procesų tipai: varikliui dirbant nusistovėjusiu režimu (variklio apkrova ir sūkių dažnis ilgą laiką yra pastovūs) ir variklio sūkių dažniui ir apkrovai nuolat kintant (Rapalis, 2017). Oro kokybės atžvilgiu itin svarbus pastarasis tipas. Kintančiu ir pereinamuoju darbo režimo metu, išmetami didesni kiekiai oro teršalų, sunaudojamas didesnis kiekis degalų, mažėja variklio resursai (Rakopoulos ir Giakoumis, 2009).

Ekologiniu požiūriu vidaus degimo variklių darbas vis labiau griežtinamas, juos standartizuojant ir kontroliuojant. Kontroliavimas vyksta atliekant emisijų matavimus, remiantis emisijų testavimo ciklais. Šie ciklai reglamentuojami standartais atsižvelgiant į tiriamą variklio paskirtį. Didžiausia pažanga tobulinant standartus Europoje, atlikta kontroliuojant lengvųjų automobilių variklius. Geriausias pavyzdys perėjimas nuo EURO 5 į EURO 6 standartą, kuomet emisijos skaičiuojamos ne laboratorinėmis, o realiomis eksploatacinėmis sąlygomis (Weiss et al., 2012).

1.2.3. Pakeltosios taršos poveikis oro teršalų sklaidai

Svarbus oro taršos sklaidą sąlygojantis veiksnys yra kelių (gatvių) valymas, susijęs su pakeltąją tarša. Mokslinių tyrimų, kurių metu analizuojamos kietųjų dalelių koncentracijos tiek iš automobilių vidaus variklių, tiek iš pakeltosios taršos nėra daug. 2009 m. atliktos studijos rezultatai (Amato, Querol, Alastuey ir Pandolfi 2009) rodo, jog $KD_{2,5}$ dalelių tarša atspindi automobilių išmetamą bei degimų procesų taršą, o kietosios dalelės, kurios yra didesnės už $2,5\ \mu m$, bet mažesnės už $10\ \mu m$ ($KD_{2,5-10}$) atspindi kietųjų dalelių taršą, sukeltą dėl paviršių dilimo ir pakeltosios taršos.

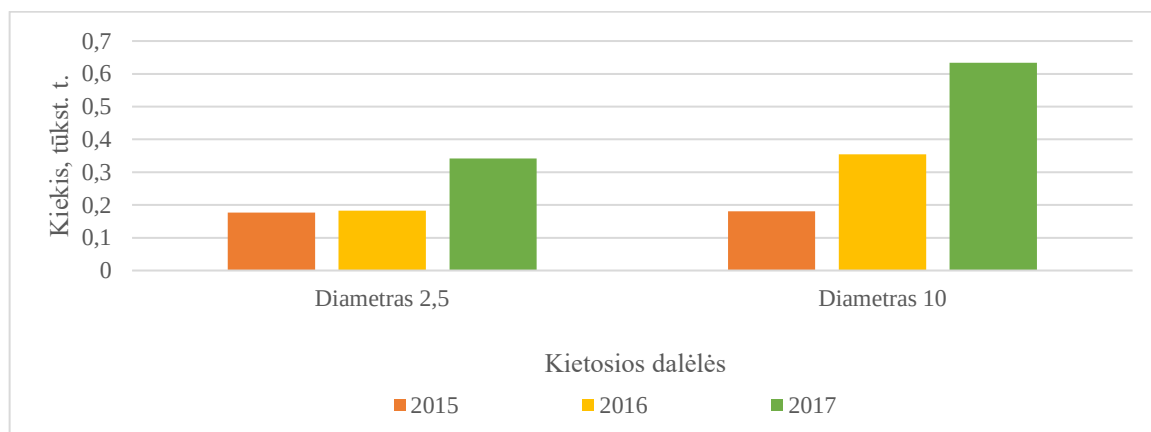
Šaltuoju metu periodu, vyraujant nepalankiems orams ir oro temperatūrai artėjant prie $0\ ^\circ C$, ant gatvių dangos formuojasi slydi danga, kuri pavojinga tiek pėstiesiems, tiek transporto priemonių vairuotojams. Tad po šaltojo periodo ant važiuojamosios kelio dalies kaupiasi nešvarumai (smėlis, druskos likučiai). Važiuojantys automobiliai pakelia ant kelio esančius nešvarumus, kietąsias daleles, taip sudarydami pakeltąją taršą. Pakeltosios taršos mažinimui yra reikalingas nuolatinis gatvių valymas ir plovimas, efektyvi gatvių lietaus nuotekų surinkimo sistema. Gatvių valymo darbų poreikis didžiausias pavasario mėnesiais, kuomet po žiemos lieka didelis kiekis nešvarumų, taip pat ir sausesniu laikotarpiu, todėl rekomenduojama gatvių valymą organizuoti atsižvelgiant į esamas meteorologines sąlygas. Gatvių valymui įprastai naudojamos vakuuminio valymo mašinos (žr. 1.10 pav.), valančios ašinę liniją, bei nesenai Lietuvoje pradėtos eksploatuoti naujos daugiafunkcinės vakuuminės mašinos. Daugiafunkcinės valymo mašinos, prieš pradėdamos valyti gatvę, sudrėkina valomą paviršių ir tokiu būdu neleidžia į orą pakilti dalelėms, vėliau kelio sąšlavos yra surenkamos vakuuminio būdu į tam įrengtą bunkerį.



1.10 pav. Vakuuminis šlavimo automobilis (RosRoca Citycat 5000 SL/XL), skirtas stambioms sąšlavoms surinkti (Amato, Querol, Alastuey ir Pandolfi 2009)

Oro užterštumas ir dulkėtumas priklauso nuo kelio dangos tipo, būklės, taip pat nuo meteorologinių sąlygų bei transporto priemonės važiavimo greičio ir intensyvumo, todėl kelių pakeltosios taršos mastas gali skirtis ne tik tarp gyvenviečių, bet ir tarp toje pačioje gyvenvietėje esančių gatvių. Pagal atliktų mokslinių tyrimų duomenis, vienos transporto priemonės

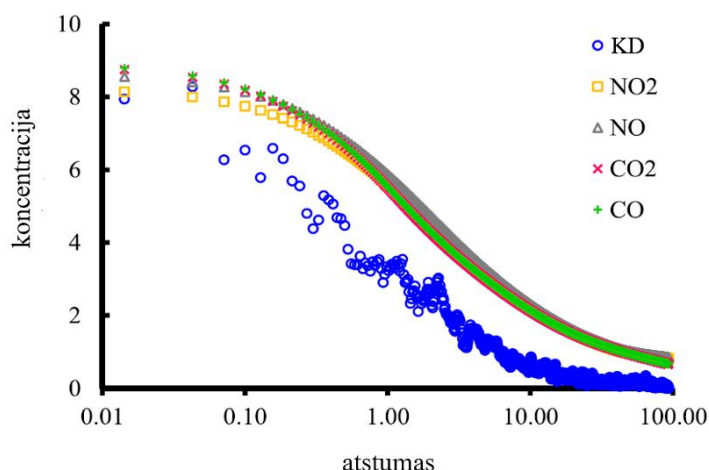
sukeliama pakeltoji tarša kietosiomis dalelėmis nuo kelio be dangos gali siekti 0,135 g/km/s (Kāla, Vaivada ir Šerevičienė 2020). Toliau pateiktoje diagramoje pateikti $KD_{2,5-10}$ kiekiai, kurių šaltinis – automobilių trintis su kelio danga (žr. 1.11 pav.).



1.11 pav. $KD_{2,5-10}$ kiekiai susidarantys automobilių ir kelio trinties sąveikos metu Lietuvoje 2015–2017 m. (sudaryta autorės remiantis Aplinkos apsaugos agentūra, 2017)

Remiantis moksliniais tyrimais (Penkala, Ogrodnik ir Rogula-Kozłowska, 2018; Stojiljkovic et al., 2019), gatvių valymas gali sumažinti KD_{10} koncentraciją 15–40 %, lyginant su dienomis, kuomet nėra atliekamas valymas. Laiku vykdomas gatvių valymas gali padėti sumažinti susidarantį kietųjų dalelių kiekį, o tai, tikėtina, sumažintų kietųjų dalelių paros koncentraciją ir padėtų sumažinti paros koncentracijos viršijimų skaičių.

Taršai vertinti šalia kelių ypač svarbus veiksnys – atstumas, ties kuriuo matuojama teršalų koncentracija. Kitas svarbus veiksnys – teršiančių medžiagų fizinės savybės. Mokslininkai pastebėjo, jog pavėjui sklindančių teršalų koncentracijos auga difuziškai, o klampa mažėja (Cardozo ir Sánchez, 2019). Visų dujinių teršalų koncentracija demonstruoja unikalų profilį (žr. 1.12 pav.) tostant nuo kelio (Cardozo ir Sánchez, 2019): ties kelio pakraščiu kietųjų dalelių ir dujinių teršalų koncentracijos labai panašios, tačiau dujiniai teršalai (CO , CO_2 , NO_2) toliau nuo taršos šaltinio išlaiko didesnes koncentracijas nei kietosios dalelės, kadangi dujiniai teršalai sąveikaudami su žemės paviršiumi nepatiria sedimentacijos.

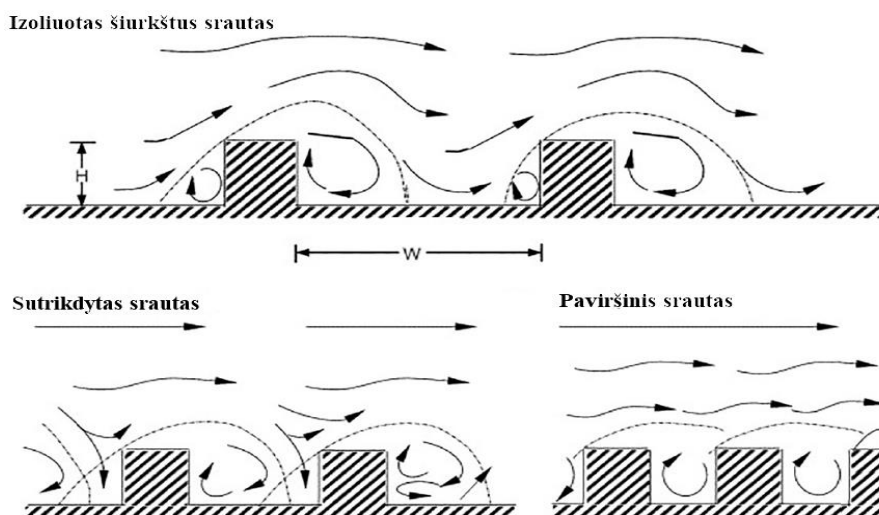


1.12 pav. CFD modeliavimo rezultatai šalia kelio (Cardozo ir Sánchez, 2019).

1.2.4. Kiti oro teršalų sklaidą sąlygojantys veiksniai

Oro taršos sklaidą ir sulaikymą sąlygojantis veiksnys – įvairių aplinkos komponentų ekspozicija šalia transporto kelių (miesto, kvartalų padėtis, vyraujančių vėjų atžvilgiu, transporto arterijų padėtis pasaulio šalių atžvilgiu, vidutinis namų aukštis bei tarpų tarp namų plotis ir kt. (Jacobson, 2001). Visi ekspoziciniai komponentai šalia kelių lemia teršalų geresnį

arba blogesnę išsklaidymą arba sulaikymą (Mažeikis, 2013). Senai nustatyta, jog gatvių ir pastatų parametrai nulemia oro srautų sklaidimo trajektorijas (žr. 1.13 pav.) (Oke, 1988).



1.13 pav. Vertikalūs oro srautų režimai urbanizuotuose gatvių kanjonuose (Oke, 1988)

2014 m. Vilniuje, taikant TOPSIS-F metodą, atliktas oro taršos tyrimas ir studija, kurios tikslas palengvinti sprendimą renkantis, kokius atributus vertinti analizuojant oro taršą. Tyrimui atlikti pasirinktos 10 Vilniaus Žirmūnų ir Antakalnio mikrorajonų vietų. Tyrimo rezultatai atskleidė, jog oro taršos lygis priklauso nuo atstumo iki gatvės (taršos šaltinio) ir barjerų (pvz., pastatai) buvimo (Zavadskis et al., 2018).

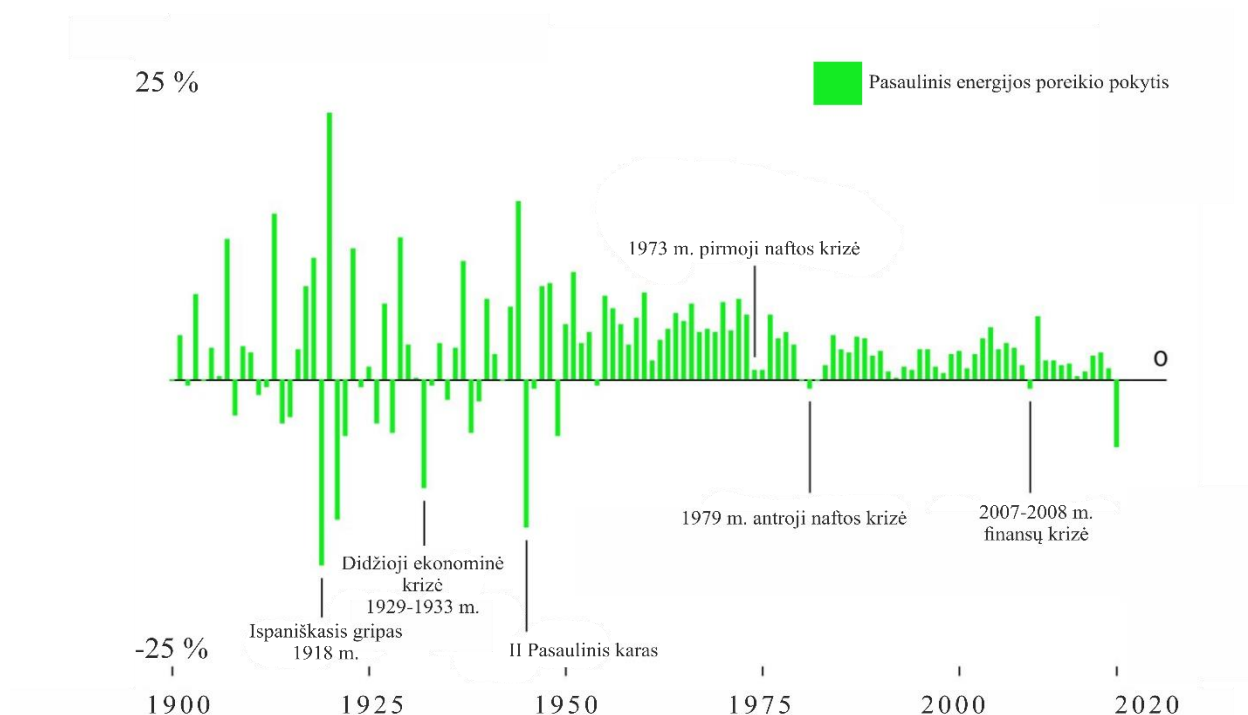
2013 m. Vilniaus mieste atliktas urbanizacijos poveikio meteorologiniams parametrams, lemiantiems oro taršos dispersiją, studija (Mažeikis, 2013). Vertintas urbanizuoto kraštovaizdžio poveikis oro temperatūrai (2 m. aukštyje), kritulių kiekiui ir vėjo greičiui. Atliktos devynios simuliacijos atskleidė, jog urbanizuotas paviršius lemia aukštesnę oro temperatūrą, tuo tarpu vėjo greitį tam tikrais atvejais sumažina (iki 2,7 m/s) ir priešingai, tam tikrais atvejais padidina (Mažeikis, 2013).

Transporto srautų dinamikai būdingas sezoniškumas bei tokių faktorių, kaip mokinių atostogų, valstybinių, religinių švenčių ar drastiškesnių, su žmonių judėjimo ribojimu susijusių valdžios sprendimų, poveikis.

2020 m. sausio 30 d. Pasaulio sveikatos organizacija (toliau – PSO) paskelbė pasaulinę ekstremalią situaciją dėl naujos kvėpavimo takų (toliau – COVID–19) ligos, o kovo 11 d. šį ligos protrūkį įvardijo – pandemija (World Health Organization, 2020). Per 3 mėnesius šis virusas pasklido tarp daugiau nei 100 pasaulio šalių. Valstybių lyderiai siekdami pristabdyti ligos plitimą, sumažinti medicinos sistemos apkrovas ėmėsi drastiškų veiksmų: stabdė laisvą judėjimą tarp valstybių, uždarė valstybių sienas, stabdė mokymosi įstaigų veiklą, nutraukė artimo kontakto reikalaujančių paslaugų tiekimą, atšaukė kultūrinius renginius, uždarė gamyklas ir t.t.

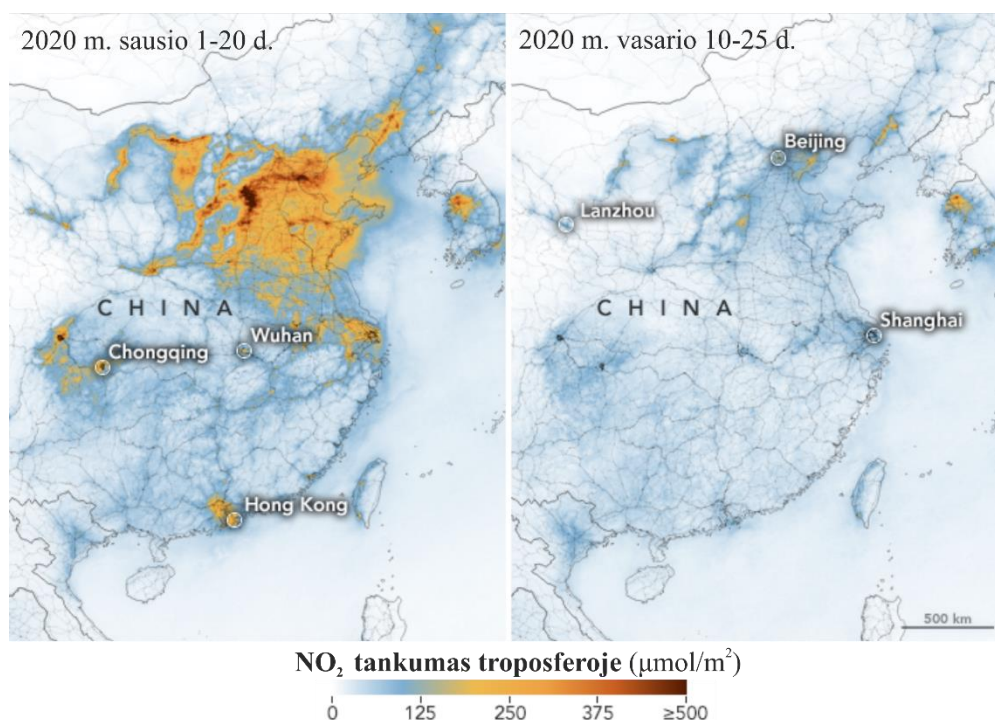
Kinijos Liaudies Respublika įvardijama, kaip priminis viruso užkrato židiny. Nuo 2020 m. sausio vidurio šioje valstybėje uždaryti pirmieji miestai, palaipsniui nutrauktas transporto susisiekimas, įvestos komendanto valandos. Virusui išplitus už Kinijos ribų, pirmiausiai gretimos valstybės, vėliau ir kitos, baiminantis dėl tolesnio plitimo, ėmėsi panašių veiksmų viruso plitimui stabdyti.

Griežti valdžios veiksmai ir ribojimai, nutaikyti į gyventojų judėjimą ir veiklas, lėmė sumažėjusį energijos poreikį (žr. 1.14 pav.) ir ženklus oro taršos pokyčius pasaulyje (International Energy Agency, 2020; NASA, 2020).



1.14 pav. Bendras Pasaulio energijos pokytis, % (sudaryta autorės remiantis International Energy Agency, 2020)

Pirmieji teigiami pokyčiai pastebėti Centrinėje Kinijoje (NO_2 koncentracijos sumažėjo 30 %. (žr. 1.15 pav.), o CO_2 – 25 %) (NASA, 2020), kuri pirmoji ėmėsi griežtų priemonių, vėliau oro kokybės pokyčiai fiksuoti Italijoje, JAV.



1.15 pav. NO_2 koncentracijos sumažėjimas Kinijoje (NASA, 2020)

2020 m. kovo m. išleistame tyrime analizuotos ir lygintos 2019 m. ir 2020 m. vasario ir kovo mėnesių oro teršalų koncentracijos skirtinguose miestuose. Pirmoji analizė atlikta vertinant Uhano miesto oro kokybę, kuriame nustatytas pirmasis užsikrėtimo COVID-19 atvejis. Nustatyta, jog tam tikrų oro teršalų koncentracijos sausio mėn. sumažėjo: $\text{KD}_{2,5}$ – 13,85 %, o NO_2 – 33,93 %. Taip pat pastebėta, jog 2020 m. padaugėjo dienų, kurių oro kokybės indeksas

(toliau – OKI) – geras ($0 < OKI < 50$) arba vidutinis ($51 < OKI < 100$). Kitų oro teršalų: SO_2 , O_3 ir CO, reikšmingo sumažėjimo nenustatyta. Toliau vertinus vasario mėn. oro teršalų koncentracijas kituose miestuose: Honkonge, Kiote, Milane, Seule, Šanchajuje, nustatyta, jog visų, išskyrus O_3 , anksčiau paminėtų oro teršalų koncentracija sumažėjo (Cadotte, 2020).

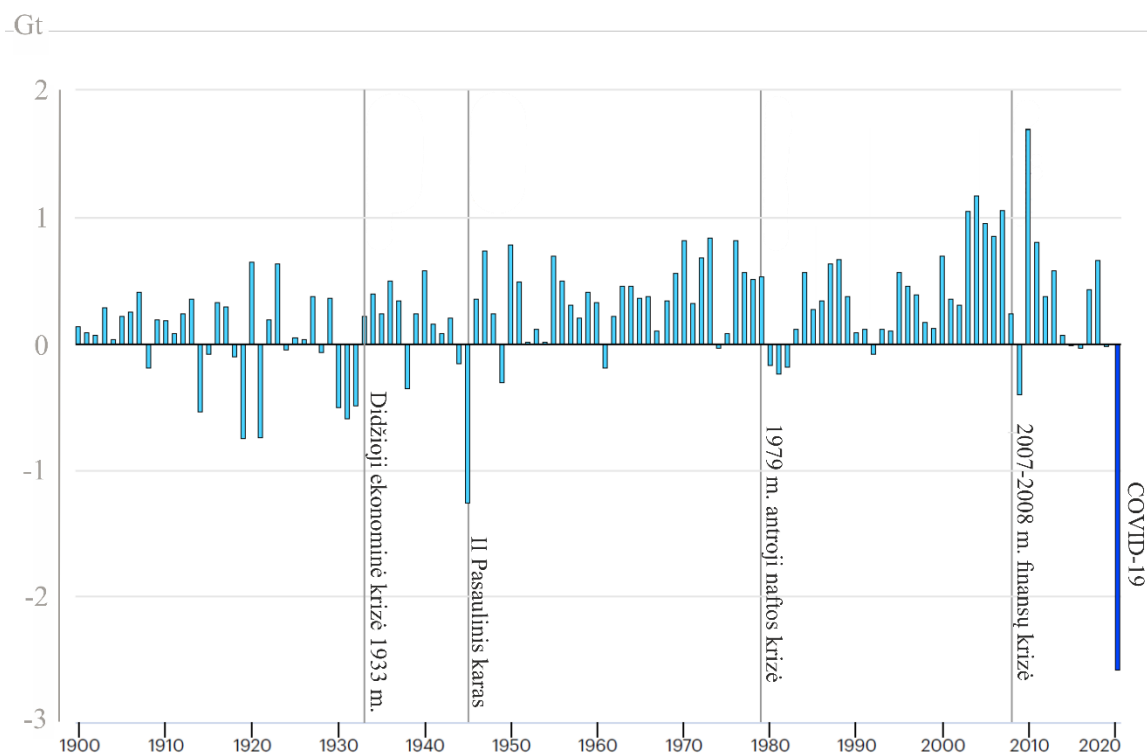
Kiek vėliau pasirodė detalesnė didžiųjų pasaulio miestų oro taršos kokybės 2019–2020 m. vasario ir kovo mėnesių lyginamoji analizė (Shrestha, et al., 2020). Analizės rezultatai atskleidė, jog iš 40 analizuotų miestų $KD_{2,5}$ koncentracija sumažėjo 17 miestų vasario mėnesį ir 14 miestų kovo mėnesį, padidėjo tik Osle, Vienoje ir Varšuvoje. $KD_{2,5}$ koncentracija ypač sumažėjo tankiausiai apgyvendintuose miestuose, kaip pavyzdžiui, Bankoke, Delyje, Uhane, Madride, Niujorke, Tokijuje, Sidnėjyje. KD_{10} koncentracija akivaizdžiai sumažėjo vasario mėnesį šešiolikoje ir kovo mėn. vienuolikoje iš 29 analizuotų miestų. Didžiausi sumažėjimai, vertinant tik 2020 m. vasario–kovo mėnesius fiksuoti Bangalūre, Pekine, Delyje, Limoje, Nankine, Uhane. Maksimalios oro teršalų koncentracijos duomenų sumažėjimai kovo mėn. fiksuoti Ulan Batore (-43.4%), Delyje (-32.5%), Nankine (-31.8%), Uhane (-26.8%) ir Limoje (-25.7%). Tuo tarpu koncentracijos padidėjimas 2020 m. fiksuotas Vienoje ir Katmandu, autoriai šį koncentracijos augimą sieja su stipriais vėjais, kurie vyraavo šiuose miestuose. Iš 31 miesto turimų NO_2 koncentracijos duomenų stebėtas sumažėjimas dešimtyje miestų vasario mėnesį ir septyniolikoje miestų kovo mėnesį. Analizė parodė, kad vienos miestuose koncentracija augo (Uhane vasarį +62 %, kovą +11,3 %; Varšuvoje vasarį +4 %, o kovą +8,2 %; Nankine vasarį +35,1 %, o kovą +62,4 %), kituose mažėjo (Madride vasarį -33,3 %, o kovą -47,5 %, Paryžiuje vasarį -33,1 %, o kovą -5,6 %; Osle vasarį -28.3 %, o kovą -39.7 %; Vienoje vasarį -18.1 %, o kovą -4.4 %)(Shrestha, et al., 2020). Autoriai atsižvelgdami į analizuotų miestų karantino paskelbimo datas, nustatė, jog NO_2 koncentracija reikšmingai ($p < 0,05$) sumažėjo būtent po ribojimų įvedimo, reikšmingi oro teršalų koncentracijos sumažėjimai nustatyti: Amsterdame, Pekine, Berne, Bangalūre, Bogotoje, Delyje, Limoje, Madride, Nankine, Niujorke, Osle, Paryžiuje, Romoje, San Fransiske, Santjage, San Paule, Varšuvoje, Uhane. Kinijos miestų Čengdu, Nankino ir Uhano NO_2 dieninės koncentracijos sumažėjo, tačiau lyginant 2019 ir 2020 m. vasario ir kovo mėnesius – paaugo. Panaši dvipusė situacija stebima ir su SO_2 ir CO koncentracija. Po karantino paskelbimo SO_2 koncentracija vienos miestuose paaugo, kitose sumažėjo. Statistiškai patikimas SO_2 sumažėjimas nustatytas Pekine, Delyje, Madride, Nankine ir Vienoje, tuo tarpu padidėjimas: Buenos Airėse, Londone, Toronte, Ulan Batore. CO koncentracija kovą sumažėjo Pekine, Bogotoje, Čengde, Delyje, Limoje, Londone, Nankine, Niujorke, San Fransiske, San Paule, Toronte, Varšuvoje, vasario mėnesį sumažėjo Amsterdame (-35.1 %), Londone (-48.3 %), Limoje (-27.3 %), Nankine (-23.8 %), Seule (-13,4 %), Čengde (-29.1 %), o išaugo: Bangalūre (+14.8 %), Bogotoje (+15.8 %), Stambule (+171.0 %), Jeruzalėje (+465.2 %), San Fransiske (+22.6 %), Taipėjyje (24.3 %), Varšuvoje (+28.1 %). Dieninė CO koncentracija po karantino įvedimo labiausiai sumažėjo: Bangalūre, Bogotoje, Limoje, Nankine, San Fransiske, San Paule. Išaugusias ar sumažėjusias koncentracijas, pasak autorių, galėjo lemti keletas faktorių.

Kaip buvo minėta anksčiau, SO_2 pagrindinis šaltinis – anglis naudojančios elektrinės, kuriose po karantino įvedimo galimai nebuvo stabdoma veikla. Kitas faktorius – sezoniniai gaisrai Pietų ir Pietryčių Azijoje. Trečias faktorius – vietinių meteorologinių sąlygų poveikis teršalų koncentracijai. Vėjo greitis, stiprūs lietūs mažina oro teršalų koncentraciją. Autoriai spėja, kad prasta oro kokybė išliko miestuose (pvz.: Delis, Bankokas), kuriuose pagrindinis oro taršos šaltinis yra transporto priemonės (Shrestha, et al., 2020). Analizę atlikę mokslininkai neatmeta galimybės, jog prasta oro kokybė iki ribojimų įvedimo, kovo mėnesio pradžioje, galėjo išsilaikyti ir lemti analizuoto mėnesio aukštas vidutines vertes. Taip pat tokiuose miestuose dažniausiai stebėtas akivaizdus ir staigus oro kokybės teršalų koncentracijos sumažėjimas. Miestuose, kuriuose vyrauja įvairūs taršos šaltiniai (pramonė, transportas, gyvenamųjų namų šildymas), dažniausiai tai Europos miestai, oro kokybės pokyčiai beveik nepastebimi, nes kaip spėja autoriai, ribojimų įvedimas nesustabdė oro taršos. Be to, analizę

atlikę mokslininkai atkreipia dėmesį, jog oro teršalų matavimo stotelės ne visada identifikuoja transporto priemonių taršą, ypač jei jos įrengtos atokiau nuo transporto kelių.

Apibendrinus atliktą analizę, stebėtas nuolatinis $KD_{2,5-10}$ ir NO_2 koncentracijos mažėjimas šiuose miestuose: Pekine, Bangalūre, Berne, Delyje, Limoje, Londone, Madride, Niujorke, Paryžiuje, Seule, Sidnėjuje, Tokijuje, Ulan Batore ir Vienoje (Shrestha, et al., 2020). Autoriai pabrėžia, jog reikalinga tolimesnė ir detalesnė oro taršos analizė, kurios metu būtų atsižvelgiama į oro taršos susidarymo ir sklaidos veiksnius.

Ši ir anksčiau minėta analizė leidžia suvokti, jog pasauliniu mastu sumažinus oro taršą, galima stebėti teigiamus oro kokybės pokyčius (žr. 1.16 pav.). Oro kokybei pasauliniu mastu laikinai pagerėjus, mokslinė bendruomenė teikia vilčių, jog greitas ir tarpvalstybinis oro taršos mažinimo priemonių įgyvendinimas duotų tiesioginę naudą oro kokybei (International Energy Agency, 2020). Nors COVID–19 ligos sukelti oro kokybės pokyčiai atnešė teigiamus pasikeitimus, tačiau sumokėta kaina yra per didelė visai žmonijai.



1.16 pav. Išmetamų oro teršalų emisijų dinamika 1900–2020 m. (sudaryta autorės remiantis International Energy Agency, 2020)

Kvėpavimo takų, širdies ir kraujagyslių ligos padidina mirties nuo COVID–19 riziką, šios ligos tos pačios, kurias veikia ir lemia ilgalaikis oro užterštumas (WHO, 2020). PSO duomenimis, kasmet tiesiogiai nuo oro užterštumo sukeltų kvėpavimo ligų pasaulyje miršta apie 4,6 mln. žmonių (Cohen et al., 2017). Remiantis Italijos, Ispanijos, Prancūzijos ir Vokietijos valstybių statistika, atliktas NO_2 koncentracijos ir COVID–19 ligos ryšio nustatymo tyrimas (Ogen, 2020). Tyrimo rezultatai atskleidė, jog iš 4443 mirčių atvejų 3487 (78 %) nustatyti penkiuose regionuose (Šiaurės Italijoje ir centrinėje Ispanijoje), kuriuose nustatyta didžiausia NO_2 koncentracija, veikiami žemyn judančio oro srauto, kuris stabdo oro teršalų dispersiją. 83 % mirčių atvejų nustatyti regionuose, kuriuose NO_2 koncentracija $\sim 100 \mu\text{mol}/\text{m}^2$, 15,5 % (691) atvejų NO_2 koncentracijai esant $50\text{--}100 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ ir tik 1,5 % mirčių (51) atvejų nustatyti regionuose, kuriuose maksimali NO_2 koncentracija siekia iki $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ (Ogen, 2020). Tyrimą atlikęs Y. Ogenas spėja, jog šis atradimas, gali paaiškinti, kodėl šiuose regionuose didelis nuo šios ligos mirtingumas.

Daugelyje išsivysčiusių miestų, ypač Europos žemyne ir arčiau ašigalių polių išsidėsčiusiose miestuose, kuriuose sutinkami įvairūs taršos šaltiniai oro kokybės teigiami

pokyčiai per COVID–19 ligos valdymo apribojimų įvedimą, mažai stebimi. Kaip buvo minėta anksčiau ne visuose pasaulio miestuose stebėtas oro teršalų sumažėjimas, pavyzdžiui Varšuvoje CO išaugo +28.1 %, o $KD_{2,5}$ vasarį +4 %, o kovą +8,2 %. Apibendrinus Shrestha ir kitų mokslininkų atliktos analizės rezultatus, galima daryti išvadą, jog dažniausiai stebėta išaugusi $KD_{2,5}$, CO_2 ir sumažėjusi NO_2 (vienas pagrindinių mobilių oro taršos šaltinių išmetamų teršalų) koncentracija (Shrestha, et al., 2020).

Svarbu paminėti, jog miestų ir aplinkinių teritorijų gyventojai, po karantino įvedimo, priversti daugiau laiko leisti namuose. Kovo ir vasario mėnesį miestuose ir aplinkinėse teritorijose vyraujant žemai oro temperatūrai, suaktyvėjo namų šildymas, tad nors ir transporto srautų generuojama oro tarša sumažino apimtį, tačiau ją gali kompensuoja namų šildymas. Verta pabrėžti, jog svarbų vaidmenį vaidina oro teršalų savybės, pavyzdžiui CO_2 dujos išlieka ilgą laiką atmosferoje (stabilumas 2–4 mėn.), o meteorologiniai reiškiniai, gali ne tik mažinti oro teršalų kiekius, bet ir priešingai – padidinti ir sukonzcentruoti. Svarbu atsižvelgti ir į skirtingas karantino sąlygas skirtinguose miestuose. Vienose jų draudžiama bet kokia veikla, uždarytos gamyklos, kitose tik draudžiami masiniai susibūrimai ar artimo kontakto reikalaujantys darbai. Ribojimai įvesti ir vis dar įvedami skirtingu laiku pagal susiklosčiusią situaciją. Tad, prieš darant skubotas išvadas, būtina sukaupti didesnę kiekį duomenų ir atlikti detalesnius tyrimus ir analizes.

1.3. Oro taršos poveikis žmonių sveikatai ir aplinkai

Oro tarša urbanizuotose, tiek išsivysčiusiose, tiek besivystančiose teritorijose – opi problema. Ši tarša sąlygoja žmonių savijautą ir gyvenamąją aplinką. Kaip buvo minėta anksčiau, oro teršalai pasižymi skirtingomis cheminėmis ir fizinėmis savybėmis, susidarymo šaltiniais, tad ir jų poveikis žmonių sveikatai gali pasireikšti skirtingais simptomais ir sukelti skirtingas ligas. Ne tik nuo teršalo savybių priklauso kenksmingumas sveikatai, bet ir nuo teršalo kiekio ore, kontakto trukmės, organizmo jautrumo (PSO, 2014) ir aplinkos savybių. Taip pat svarbų vaidmenį vaidina meteorologinės sąlygos, kurios lemia oro taršos sklaidą arba sulaikymą. Pavyzdžiui Lietuvoje vyrauja palankios meteorologinės sąlygos oro taršai skliti – nepastovūs, permainingi, vėjuoti orai.

Pasaulinės sveikatos organizacijos duomenimis oro tarša kasmet sukelia iki 3,7 milijono priešlaikinių mirčių (PSO, 2014). Remiantis epidemiologiniais tyrimais urbanizacija, aukštas eismo intensyvumo lygis, vakarietiškas gyvenimo būdas koreliuoja su išaugusiu kvėpavimo takų ligų skaičiumi (D'Amato, Vitale, Lanza, Molino ir M. D'Amato 2016),

Pagrindiniai oro teršalai turintys neigiamą poveikį žmonių sveikatai: NO_x , LOJ, KD , CO , SO_2 , O_3 . Vienas kenksmingiausių oro teršalų – kietosios dalelės, kurių aerodinaminis diametras $2,5\ \mu m$ (Sierra–Vatgas ir Teran, 2012), pažymėtina, jog dalelės, kurių diametras mažesnis už $10\ \mu m$, per žmogaus kvėpavimo takus gali pasiekti plaučius, mažesnės nei $2,5\ \mu m$ ir kraujotakos sistema. Tad kuo mažesnės kietosios dalelės, tuo jos pavojingesnės žmogaus organizmui (Casse, Heroux, Gerlofs–Nijland ir Kelly 2013). Šios dalelės, priklausomai nuo aplinkos oro kokybės, gali būti prisotintos sunkiaisiais metalais, rūgštiniais oksidais, LOJ, kurie patekę į gyvą organizmą per kvėpavimo takus gali sukelti rimtus sveikatos sutrikimus ir ligas: astmą, bronchitą, širdies-kraujagyslių ligas ir plaučių vėžį (Pasaulio sveikatos organizacija, 2014).

Aplinkoje padidėjęs oro užterštumas kietosiomis dalelėmis sudaro palankią terpę skliti mikroorganizmams ir virusams, kadangi KD paviršius absorbuoja šiuos elementus. Modeliuojant oro taršą galima prognozuoti mirtingumą (Hoek ir kt., 2013), nustatyta, jog mirtingumas padidėja $\sim 0,12\ %$ per $10\ \mu g/m^3\ NO_2$ per dieną (N. Z. He et al., 2020; L. He et al. 2020) ir iki $2\ %$ per $10\ \mu g/m^3\ NO_2$ per 5 dienas (Chiusolo ir kt., 2011). Hipotetinis scenarijus atskleidžia, jog sumažėjusi oro tarša dėl COVID-19 prognozuoja sumažėjusį mirčių skaičių Kinijoje iki $6\ %$ (~ 100 tūkst. gyvybių) (Dutheil, Baker ir Navel 2020).

Didėjantys automobilių transporto srautai, pramonės ir energetikos sektoriai prisideda prie O_3 susidarymo, kadangi išmetamųjų dujų sudėtyje yra LOJ, NO_x ir CO , kurie fotocheminių reakcijų metu ir sudaro šį antrinį oro teršalą. Ozonas – kenksmingos žmogaus organizmui dujos,

kurios dirgina kvėpavimo takus, akis, sukelia kosulį ir kitus nepageidaujamus simptomus (Moretti ir Neidell, 2011). Neigiamas poveikis pasireiškia ne tik gyvam organizmui bet ir aplinkos komponentams, pavyzdžiui augalams šis teršalas sukelia įvairius išorinius pažeidimus, lėtina jų vegetaciją, derliaus nokinimą (Dėdelienė ir Dėdelė 2013).

Vertinant azotų oksidų emisijų neigiamą poveikio spektrą aplinkai ir sveikatai, išskiriamos šios sritys apimančios: pažemio ozono susidarymą, rūgščiojo lietaus formavimąsi, globalinio atšilimo ir eutrofikacijos skatinimą bei įvairias ligas.

2016 m. mokslininkų J. Kobzos ir M. Geremeko publikuotoje studijoje (Kobza ir Geremek, 2016), keliamas klausimas: ar taršą, kurią lemia transporto eismas urbanizuotoje teritorijoje, turi reikšmingą grėsmę vietiniai žmonių populiacijai? Šios studijos tikslas buvo nustatyti CO ir NO_x emisijas šalia intensyvaus eismo kelių Lenkijoje bei įvertinti ar jos turi poveikį vietinių gyventojų sveikatai. Tyrime naudoti duomenys gauti iš trijų automatinų stočių, jie apima 2007–2014 m. laikotarpio emisijas. Tyrime nenustatyta, jog maksimali dienos NO₂ koncentracija viršytų normas. Autoriai teigia, jog šis tyrimas atskleidė Lenkijos išmetamųjų teršalų mažinimo politikos ir strategijos veiksmumą ir efektyvumą per pastarąjį dešimtmetį mažinant išmetamųjų dujų neigiamą poveikį oro kokybei.

2017 m. atliktas NO_x emisijos, kurios susidarymo šaltinis Europoje eksploatuojami dyzeliniai automobiliai, poveikio vertinimas oro kokybei, visuomenės sveikatai ir eutrofikacijai. Nustatyta, jog 2013 m. daugiau nei 10 tūkst. priešlaikinių mirčių dėl KD_{2,5} ir O₃ formavimosi gali būti priskiriamos išaugusioms NO_x emisijoms iš dyzelinių lengvųjų automobilių. Tyrime pateikti duomenys atskleidžia, jog jei šie dyzeliniai automobiliai į aplinką generuotų tokį taršos kiekį arba mažesnę kokią išskiria benzininiai, būtų galima sumažinti šį priešlaikinį mirčių skaičių iki 80 % (Jonson, Borken-Kleefeld, Simpson, Nyíri, Posch ir Heyes 2017).

2017 m. atliktas oro taršos poveikio vertinimas vaikų ir suaugusių centrinių nervų sistemai. Šis tyrimas atskleidė, jog išaugusi KD_{2,5} koncentracija turi poveikį suaugusiųjų epizodiniais atminčiais, nustatytas ryšys su didėjančiais depresijos susirgimais. NO₂ koncentracijos didėjimas susijęs su demencija, o NO_x su Parkinsono liga. Mokslininkai atlikę tyrimą kategoriškai, anot jų oro tarša turi didelį neigiamą poveikį tiek vaikų, tiek suaugusių centrinei nervų sistemai ir yra reikšmingas rizikos veiksnys visuomenės sveikatai (Sram, Jr. Veleminsky, Sr. Veleminsky ir Stejskalová 2017).

Aplinkoje esant dideliame kiekiui sieros dioksido ir esant tiesioginiam žmogaus odos kontaktui su šiais cheminiais junginiais, oda sudirginama, esant didesniam kiekiui galima nudegti. SO₂ įkvėpimas lemia bronchų suvaržymą, kvėpavimo apsunkinimą ir širdies ritmo padidinimą (Kauno miesto savivaldybė, 2013). Sieros dioksidas (SO₂) ir kietosios dalelės gali veikti sinergetiškai. Tai aiškinama KD gebėjimu oksiduoti SO₂ į sieros rūgštį. Sieros junginių poveikyje sustiprėja fotooksidantų (ozono) veikimas. Pažeidžiami augalų lapai, sutrinka augalų fotosintezės ir augimo procesai. Reguliarus rūgščių pateikimas į dirvą sutrikdo buferines dirvos savybes ir galiausiai sumažina jos pH. Iš dirvos stipriau išplaunamos maistingos medžiagos. Stiprų neigiamą poveikį materialiniams objektams turi rūgštieji lietūs, kurių sudėtyje aptinkami SO₂. Aplinkoje iškritus rūgštiesiems krituliams, greitėja metalų korozija, mažėja įvairių medžiagų atsparumas, taip žalojamos statybinės ir konstrukcinės medžiagos, kaip plytos, plienas, tinkas (Kauno miesto savivaldybė, 2013).

Anglies monoksidas (CO) patekęs į žmogaus organizmą sukelia hipoksemiją, audinių hipoksiją. To pasekoje vyksta „deguonies badas“, šis trūkumas pirmiausia paveikia centrinę nervų sistemą. CO jungdamasis su kraujyje esančiu hemoglobinu sudaro patvarų junginį – karboksihemoglobina, kuris anot medicinos mokslų daktaro Gintaro Zaleskio (2002), kone 300 kartų greičiau jungiasi su hemoglobinu nei deguonis. Mažėjant laisvajam hemoglobimui, į audinius plūsta vis mažiau deguonies, prasideda anksčiau minėta audinių hipoksija. Įrodyta, jog didesnė nei 5728 mg/m³ CO koncentracija turi neigiamą poveikį žmogaus organizmui (Kobza ir Gerek, 2017).

1.4. Lietuvos oro apsaugos politika ir reglamentavimas

Oro kokybė – veiksnys, prisidedantis prie žmonių sveikatos, ekosistemų, kraštovaizdžio ir aplinkos būklės kitimo. Valstybės, kaip ir oras neturi sienų, tad visuotinai sutariama, jog reikia siekti tokio aplinkos oro kokybės lygio, kuris nekeltų pavojaus žmogui ir aplinkai.

Tarptautiniai teisės aktai ir Europos Sąjungos aktų esminiai reikalavimai yra perkelti į Lietuvos Respublikos teisinę sistemą. Pagrindinis įstatymas reguliuojantis visuomenės santykius aplinkosaugos srityje, nustatantis juridinių ir fizinių asmenų teises ir pareigas išsaugant aplinkos komponentus, biologinę įvairovę, ekosistemas, kraštovaizdį, užtikrinantis sveiką ir švarią aplinką, racionalų išteklių naudojimą – Lietuvos Respublikos aplinkos apsaugos įstatymas 1992 m. sausio 21 d. I-2223 (paskutinis pakeitimas 2018 m. gegužės 31 d. XIII-1211). Konkrečiai liečiant tik oro kokybės temą, Lietuvos Respublikoje svarbiausias įstatymas yra LR aplinkos oro apsaugos įstatymas 1999 m. lapkričio 4 d. Nr. VIII-1392 (paskutinis pakeitimas 2017 m. birželio 8 d. Nr. XIII-428). Be teisių ir pareigų nustatymo įstatyme svarbią vietą užima nustatytos priemonės, ribojančios oro taršą, siekiančios mažinti jos neigiamą poveikį. Įstatymas nurodo, kad užterštumo lygis būtų nuolatos stebimas aglomeracijose ir zonose, kuriuose šis lygis viršija arba gali viršyti ribines vertes.

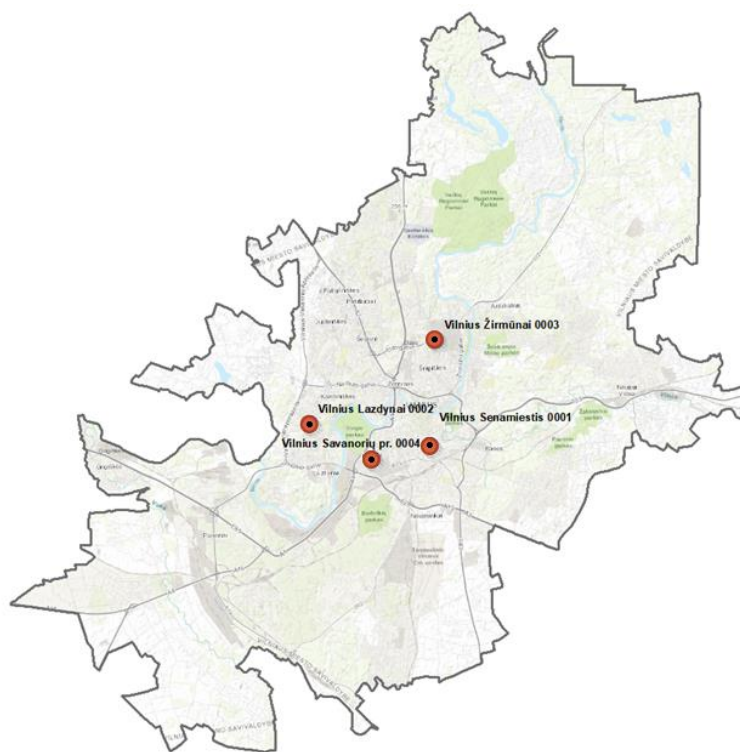
Atsižvelgiant į šiam darbe nagrinėtus teršalus, svarbu paminėti Lietuvos Respublikos Aplinkos ministro ir Lietuvos Respublikos Sveikatos apsaugos ministro 2001 m. gruodžio 11 d. įsakymą Nr. 591/640 „Dėl aplinkos oro užterštumo sieros dioksidu, azoto dioksidu, azoto oksidais, benzeno, anglies monoksidu, švinu, kietosiomis dalelėmis ir ozonu normų patvirtinimo“ (paskutinis pakeitimas 2017 m. liepos 4 d. Nr. D1-578/V-835). Šiame įstatyme nustatomos reglamentuojamų teršalų ribinės vertės ir atitinkami pavojaus slenksčiai. Taip pat įtvirtinama, jog informacija apie minėtus teršalus turi būti prieinama visuomenei.

Mokslinių tyrimų apie aplinkos oro būklę rezultatai reikalingi analizuojant natūralius ir žmogaus sąlygotus pasikeitimus, numatant aplinkos kitimo tendencijas ir tikėtinas pasekmes žmonių sveikatai ir aplinkos būklei. Surinkta informacija naudojama sveikatos apsaugos, teritorijų ir ūkio plėtros planavimo, mokslo srityse.

Aplinkos apsaugos politikos įgyvendinimo efektyvumui ir iš to kylančiam aplinkosaugos plėtros kryptingumui didelį ir teigiamą poveikį daro ES teikiama finansinė parama. Nors finansinės lėšos Lietuvos aplinkos apsaugos politikoje naudojamos efektyviai, vis dar esama aplinkosaugos valdymo problemų, susijusių su tarpinstitucinio bendradarbiavimo ir administracinių gebėjimų stoka, savivaldybių teisių ir pareigų aplinkosaugos politikos įgyvendinime nekonkretumu ir net su teisės aktų netobulumu bei svarbiausia žmonių sąmoningumo stoka.

Transporto priemonių gamybos sektoriaus tobulėjimo variklis yra teisės aktai ir jais tvirtinami reglamentai ir taisyklės, kurių gamintojai privalo laikytis. 2018 m. rugsėjo 1–ąją įsigaliojo nauji emisijų ir degalų sąnaudų testų standartai: Pasaulinė suderinta lengvųjų automobilių bandymo procedūra (angl. Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure) ir įprastinėmis važiavimo sąlygomis išmetamų teršalų kiekis (angl. Real Driving Emissions). Prieš tai galiojo naujasis Europos važiavimo ciklo (angl. New European Driving Cycle) standartas, kai išmetamųjų teršalų emisijos buvo nustatinėjamos idealiomis sąlygomis, o ne realiomis. Naujų testų standartų tikslas – kuo patikimiau apskaičiuoti degalų sąnaudas ir automobilių emisijas. Šių standartų įtvirtinimas atskleidė, jog ne visi automobiliai tokie nekenksmingi aplinkai, kaip skelbė gamintojai.

Valstybinėje aplinkos monitoringo 2018–2023 m. programoje nurodyta, jog Vilniaus miesto aplinkos oro kokybė yra stebima keturiuose valstybinėse oro kokybės tyrimų stotyse – Žirmūnų, Lazdynų, Senamiesčio ir Savanorių pr. (žr. 1.17 pav.).



1.17 pav. Aplinkos oro kokybės tyrimo stočių išsidėstymas Vilniaus mieste

Kiekviena OKT stotis identifikuoja skirtingą taršos šaltinių indėlį į oro taršą. Žirmūnų stotis įrengta prie intensyvaus eismo Kareivių gatvės (netoli sankryža). Ši stotis geriausiai atspindi mobilios taršos, transporto priemonių, poveikį oro kokybei. Savanorių pr. OKT stotis, įrengta toliau nuo intensyvios eismo gatvės, tarp gyvenamųjų namų. Ši stotis atspindi dvejopą taršos šaltinių – transporto ir netoliese, Žemuočiuose Paneriuose, veikiančių pramonės bei energetikos įmonių – indėlį į bendrą oro kokybę. Senamiestio stotis pastatyta tankiai apgyvendintame, gausiai lankomame rajone, netoli mažo intensyvumo gatvės. Lazdynų OKT stotis įrengta gyvenamajame rajone, toliau nuo kelių ir kitų taršos šaltinių (Kāla et al., 2020). Šiose automatinėse oro kokybės tyrimų stotyse nustatoma Lietuvos ir Europos Sąjungos teisės aktuose įtvirtintų vertintinų teršalų koncentracija: kietųjų dalelių KD_{10} , $KD_{2,5}$, azoto dioksido (NO_2), sieros dioksido (SO_2), anglies monoksido (CO), ozono (O_3), benzeno koncentracija (žr. 1.2 lentelę).

1.2 lentelė. ES direktyvose ir nacionaliniuose teisės aktuose nustatytos teršalų ribinės vertės (Aplinkos apsaugos agentūra, 2020)

Teršalas	Vidurkinimo laikas	Ribinė vertė $\mu g/m^3$	Ribinės vertės pasiekimo data	Leistinas nukrypimo dydis	Vertinimui naudotinas procentilis	2015–2019	2020
						Ribinė vertė + leistinas nukrypimo dydis	
SO_2	1 val.	350 (24k.)	2005-01-01	$150 \mu g/m^3$	99.7	350	350
SO_2	24 val.	125 (3k.)	2005-01-01	-	99.2	125	125
SO_2	1 m., 1/2 m.	20 E	2004-01-01	-	-	20E	20E
NO_2	1 val.	200 (18 k.)	2010-01-01	50 %	99.8	200	200
NO_2	1 m.	40	2010-01-01	50 %	-	40	40
NO_x	1 m.	30 A	2004-01-01	-	-	30A	30A
KD_{10}	24 val.	50 (35 k.)	2005-01-01	50 %	90.4	50	50
KD_{10}	1 m.	40	2005-01-01	20 %	-	40	40
$KD_{2,5}$	1 m.					25	20
Švinas	1 m.	0.5	2005-01-01	100 %	-	0,5	0.5

Teršalas	Vidurkinimo laikas	Ribinė vertė $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ribinės vertės pasiekimo data	Leistinas nukrypimo dydis	Vertinimui naudotinas procentilis	2015–2019	2020
CO	8 val.*	10 mg/m^3	2005-01-01	6 mg/m^3	-	10	10
Informavimo slenkstis							
O ₃	1 val.	180				180	180
Pavojaus slenkstis							
SO ₂	1 val.**	500				500	500
NO ₂	1 val.**	400				400	400
O ₃	1 val. **	240				240	240
Siektina vertė							
O ₃	8 val.*	120 (25 d.)	2010-01-01			120	120
Arsenas	1 m.	6 (ng/m^3)	2012-12-31			6	6
Kadmis	1 m.	5 (ng/m^3)	2012-12-31			5	5
Nikelis	1 m.	20 (ng/m^3)	2012-12-31			20	20

* - paros 8 valandų maksimalus vidurkis, paskaičiuotas pagal "Aplinkos oro užterštumo normas" (Žin. 2001, Nr. 106-3827) 6 priedo (CO) ir pagal "Ozono aplinkos ore normas ir vertinimo taisykles" (Žin. 2002, Nr. 105-4731) 1 priedo II dalies (O₃) reikalavimus

** - matuojant iš eilės tris valandas

(24 k.), (25 d.) - leistinas viršijimų skaičius (kartai, dienos) per kalendorinius metus.

E - ekosistemų apsaugai

A - augmenijos apsaugai

1.5. Oro taršos mažinimo būdai

Šiuo metu miestų oro kokybei gerinti sukurta ir detalai aprašyta nemažai pavyzdžių bei iniciatyvų, pavyzdžiui: Europos tvaraus judumo mieste planų platforma, Švraus oro perspektyvų ataskaitos, ES Miestų darbotvarkė ir kt. Visos šios priemonės sėkmingai taikomos Europos Sąjungos valstybėse narėse.

Oro užterštumui mažinti galima išskirti urbanistines, technines ir technologines priemones. Oro taršos mažinimo būdai susiję su transporto priemonių generuojama tarša:

1. Mažos taršos zonos – mažos taršos zonos (toliau – MTZ) dažnai sutinkamos Europos šalyse, vien tik Vokietijoje jų galima sutikti 60 miestų. Tokiose zonose apribojimai gali būti taikomi įvairioms transporto priemonėms. Dažniausiai į MTZ draudžiama įvažiuoti transporto priemonėms, kurios neatitinka toje zonoje nustatytų išmetamų teršalų normos. Pagrindinis MTZ siekis – transporto priemonių atsinaujinimas į aplinkai mažiau kenksmingą transportą.

2. Dviračių eismo ir „aktyvaus“ judumo gyvensenos skatinimas – pėsčiųjų bei dviračių takų infrastruktūros plėtojimas bei gerinimas skatina gyventojus daugiau vaikščioti ir važinėti dviračiais – taip propaguojama sveika gyvensena. Aktyvaus judumo transporto priemonės sėkmingai naudojamos ir kitose veiklose. Manoma, kad siuntinius vežantys dviračiai atliks svarbų vaidmenį mažinant krovinių transporto mastą miestuose (pavyzdžiui, maisto pristatymo paslauga).

3. Teritorijų planavimas – pirmenybė teikiama kompaktiškam užstatymui, kai gyvenamieji bei komerciniai plotai yra greta vienas kito, tai lemia sumažėjusią gyventojų priklausomybę nuo privataus transporto priemonių naudojimo. Tranzitinio autotransporto nukreipimas nuo taršai jautrių teritorijų.

4. Automobilių stovėjimo vietų valdymas – parkavimo mokesčių taikymas, ribojamas stovėjimo laikas.

5. Viešasis transportas – perėjimas prie viešojo/greitojo tranzitinio transporto, tokio kaip geležinkelis, metro, autobusai, turi teigiamą poveikį tiek sveikatos, tiek oro kokybės gerinimo srityse. Tad svarbu plėtoti ir didinti viešojo transporto sistemos patrauklumą.

6. Kelių infrastruktūros atnaujinimas – kelių dangos gerinimas, viešojo transporto A juostų įrengimas ir atskyrimas. Eismo valdymo sistemų taikymas siekiant paskirstyti

transporto srautus bei mažinti spūsčių susidarymą. Šviesoforų darbo optimizavimas. Miesto gatvių valymas ir priežiūra.

7. Valstybės parama ir dotacijos gyventojams, norintiems atsisakyti taršaus automobilio ir įsigyti aplinkai draugiškesnę transporto priemonę.

Oro taršos mažinimas teisinėmis priemonėmis efektyvus valstybėse, kuriuose išplėtotas sunkiosios pramonės sektorius, intensyviai naudojamas iškastinis kuras. Pavyzdžiui, Kinijos Liaudies Respublikoje valdžia siekdami sumažinti SO₂ taršą įtvirtino ir įgyvendino keletą sėkmingų aplinkosaugos reglamentų. Pagrindinis reglamentas taikytas anglies kūrenamų elektrinių desulfuracijai vykdyti 2005/2006 metais (XU, 2011). Vėliau sekė 2011–2015 metų planas, kuris apėmė šiuos veiksmus: nustatyti aukštesni išmetamųjų dujų filtravimo standartai tiek elektrinėse, tiek sunkiojoje pramonėje; perėjimas prie mažiau sieros turinčio kuro; anglies kasybos apimčių mažinimas; dujų ir naftos gavybos plėtojimas. Permainos ir reglamentavimas neaplenkė transporto sektoriaus. Kinija įvedė keletą nacionalinių emisijų standartų automobiliams. Perėjimas nuo Kinijos 3 (atitinka EURO 3) į Kinijos 4 (atitinka EURO 4) standartą sumažino 50 proc. leidžiamus NO_x išmetimus (WU et al., 2017). Šių ir kitų reglamentavimų efektyvumas analizuotas tarptautinės mokslininkų komandos studijoje, kurioje nustatyta, jog jei nebūtų reglamentuoti SO₂ išmetimai, jų koncentracija būtų 2,5 karto didesnė nei esama, o NO₂ koncentracija būtų 25 proc. didesnė. Efektyvumas atsiskleidžia žvelgiant į vienam kuro vienetui tenkančią (mažėjančią) emisijų vertę, nepaisant to, kad Kinija sunaudojama vis didesnius kiekius iškastinio kuro (A et al., 2017).

Trečiojo pasaulio ar besivystančiose šalyse didelė problema chaotiškas eismas, tvarkos, sąmoningumo ir disciplinos nebuvimas. Šie veiksniai lemia transporto grūsčių susidarymą, o šie ilgesnę kelionės trukmę transporto priemone, didesnę kuro sunaudojimą ir pan. Indijos pavyzdžiu, buvo vertinama, kaip oro teršalų emisijų mažinimui gali turėti transporto srautų reguliavimo poveikis ir švaresnių technologinių priemonių taikymas. Nustatyti teigiami pokyčiai: pirma, perėjimas nuo EURO 3 į EURO 4 automobilių kategoriją, CO sumažino 86–90 %, HC sumažino 83–90 %, CO₂ sumažino 83–84 %. Antra, švaresnių degalų, šiuo atveju gamtinių dujų naudojimas rikšoms (triratė transporto priemonė) (vietoj benzino) sumažintų CO emisijas 87–90 %, CO₂ iki 32–36 %, NO_x iki 23–56 %. Trečia, nereguliaraus viešojo transporto laiko optimizavimas (piko valandomis) emisijas gali sumažinti nuo 40 iki 66 %, o NO_x (ne piko valandomis) – 40 % (Choudhary ir Gokhale, 2018).

Oro taršai mažinti ypač efektyvios ekonominės taršos mažinimo priemonės ir svertai, kurie rinkos ekonomikos valstybėse yra bene patys efektyviausi. Senai žinoma, jog mokesčiai už aplinkos taršą veikia efektyviau ir patikimiau nei tiesioginė kontrolė, kadangi kuo mažiau terši – tuo mažiau moki. Pastaruoju metu stebimas išaugęs mokslinių publikacijų skaičius, kuriuose vertinama ir modeliuojama, kaip ekonominės priemonės gali prisidėti prie oro kokybės gerinimo. 2019 metais išleistame moksliniame straipsnyje analizuojami oro taršos mokesčių ir įvairių subsidijų kombinacijų poveikis oro taršai mažinti. Analizėje stengiamasi išryškinti kiekvieno ekonominio žingsnio vaidmenį bendrame oro taršos mažinimo modelio taikyme ir efektyvume (Jia, Liu ir Yan 2018). Mokslininkai pabrėžia, jog viena ekonominė priemonė neišspręs oro taršos problemos, tik kombinuojant įvairias oro taršos mažinimo priemones galima pasiekti teigiamų rezultatų.

Pagrindinės oro taršos mažino priemonės, susijusios tiesiogiai su transporto priemonėmis (United States Environmental protection agency, 2020):

- katalizatoriai;
- švaresnis kuras ir jį nustatantys standartai;
- naujos variklių technologijos, kaip pavyzdžiui daugiakameriniai varikliai, turbokompresoriai ar tiesioginis benzino įpurškimas sumažinantis degalų sąnaudas bei CO₂ išmetimus;
- naujos transmisijos sistemos, kaip pavyzdžiui dvigubos transmisijos sankaba ar kintanti transmisija mažinanti kuro sąnaudas;
- išmetamųjų dujų filtrai;

- kitos naujos technologijos;

1.6. Oro taršos prognozavimo metodai

Pastaraisiais metais išsivysčiusiose valstybėse metamos didelės mokslininkų ir specialistų pajėgos įvairių tipų modelių, prognozinių tyrimų, ekstremalių situacijų ir rizikų vertinimams kurti ir plėtoti. Aplinkos oro kokybei vertinti gali būti pasitelkiamas toks metodas, kuris suteikia galimybę skaičiuoti, matuoti arba prognozuoti oro taršos lygį. Žemiau pateikti pagrindiniai oro kokybės vertinimo metodai:

1. Oro užterštumo matavimai,
2. Teršalų inventorizacija ir skaičiavimai,
3. Oro taršos modeliavimas.

Pagal oro teršalų pasiskirstymą atmosferoje išskiriamos dvi sklaidos: lokali ir rajoninė. Lokali sklaida apima teritoriją, esančią 50 km spinduliu aplink taršos šaltinį. Rajoninė sklaida apima teritoriją, esančią už 50 km nuo taršos šaltinio (gali tęstis kelis tūkstančius kilometrų) (Štreimikienė ir Čiegis, 2001). Skirtingose sklaidos (dispersijos) zonose teršalų koncentracijai nustatyti naudojami skirtingi teršalų sklaidos modeliai. Lokaliajoje zonoje teršalų dispersijai didžiausią poveikį turi meteorologiniai vietovės parametrai (vėjo greitis, kryptis ir atmosferos temperatūra ir kita). Kadangi antrinės teršiančios medžiagos rajoninėje zonoje susiformuoja praėjus tik po kurio laiko, jų koncentracijos vertėms aplinkoje mažai reikšmės turi vietiniai meteorologiniai parametrai, nes pirminiai teršalai, nukeliavę toli nuo susiformavimo šaltinio, susimaišo su aplinkos oru dėl atmosferos turbulentiškumo. Tad teršalai po truputį „prasiskiedžia“, t. y. teršalai vertikalčiai susimaišo. Todėl antrinių teršalų koncentracijoms apskaičiuoti taikomi rajoniniai teršalų pernašos modeliai, tokie kaip Vėjų rožės trajektorijos modelis, kuris yra primityvesnė Harvelo trajektorijos dispersijos modelio versija (HTM), sukurta Anglijoje, 20 a. 9-ojo dešimtmečio viduryje (Štreimikienė ir Čiegis, 2001)

Tiriant aplinkos oro kokybę svarbu remtis ribinėmis vertėmis bei numatyti ar šios vertės turi potencialą augti ateityje. Atvejais, kuomet taršos šaltinių nėra daug ir esamos koncentracijos vertės yra mažesnės negu ribinės vertės tai padaryti nėra sunku ir priešingai, kuomet yra daug teršiančių šaltinių, tikėtina, kad ribinės vertės bus viršijamos, tad reikalingi sudėtingi bei išsamūs vertinimo metodai. Įvardintais atvejais oro kokybės vertinimui tinkama priemonė – modelis. Pavyzdžiui, dispersijos modelis – įrankis, leidžiantis apskaičiuoti teršalų koncentraciją ore atsižvelgiant į duomenis apie teršalų emisijas ir atmosferos būseną (Rimkus et al., 2010). Lietuvoje jau naudotas *Airviro* modelis leidžia įvertinti ir modeliuoti oro taršą. Šis modelis sukurtas Švedijos Hidrologijos ir meteorologijos institute. Modeliui reikalinga taršos šaltinių duomenų bazė, turinti mobilių oro taršos šaltinių parametrus bei meteorologinius duomenis.

Teršiančių elementų sklaida aplinkos ore vyksta difuziniu būdu pagal Fiko dėsnius, kurie apibūdinami elementariosiomis I ir II eilės diferencialinėmis lygtimis. Svarbu paminėti, jog kai atmosferoje vyksta laminarinis ir turbulentinis judėjimas (turbulentinė difuzija) Fiko dėsnių modeliavimui nepakanka. Turbulentinės difuzijos analizei reikalingos aukštesnio lygmens funkcijų: Lagranžo, Baselio, Eulerio, Gauso, F. Niutono, Čebiševo ir kt.

Trimatis Gauso modelis taikomas vertinant stacionarių taškinių šaltinių taršos sklaidą, kurių kriterijai parenkami pasitelkiant empirinių duomenų trigonometrinę interpoliaciją. Tačiau, kaip buvo minėta anksčiau, realiomis sąlygomis teritorijose vienu metu sutinkame teršalų, sklindančių iš įvairių taršos šaltinių (transporto, pramonės objektų, namų ūkių ir pan.) todėl visą teršiančių medžiagų sistemos kompleksą, pateikti kaip atskiras matematinės formules ir jas apskaičiuoti, būtų per sudėtinga. Todėl norint palengvinti šį procesą taikomi įvairūs matematiniai teršalų sklaidos modeliai. Šie moksliniai įrankiai leidžia apskaičiuoti atmosferoje esančių teršalų sklaidos mastą, nustatyti koku atstumu teršalai nutolo nuo šaltinio, įvardinti kokį poveikį užterštumui turi meteorologiniai parametrai, kaip vėjo kryptis ir greitis, oro drėgnumas, atmosferos slėgis, kritulių kiekis ir kt. (Rimkus et al., 2010).

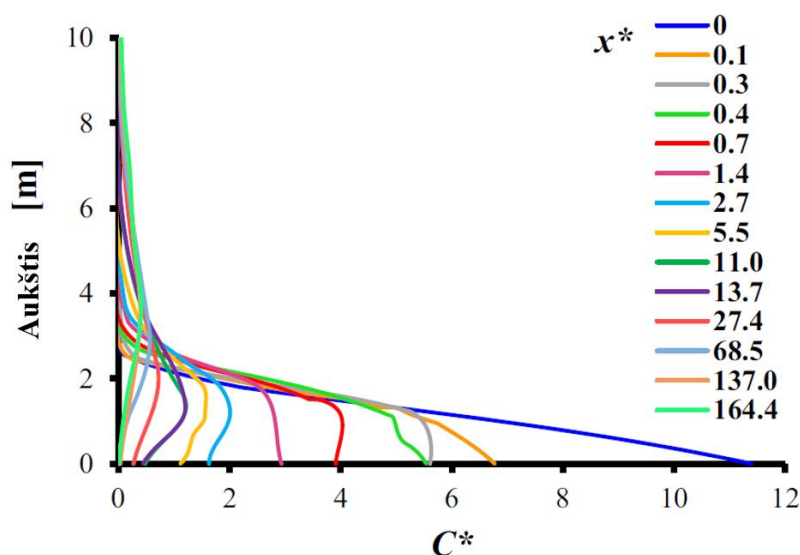
Transporto priemonių išmetamų teršalų (ir net tik) modeliavimui taikomi šie modeliai: CAR (Olandija), CARSMOG (Olandija), CAR-FMI (Suomija), ROADAIR (Norvegija), CONTILINK (Norvegija), AERMOD (JAV). Šie modeliai remiasi Gauso skaičiavimais, aerodinamikos dėsniais, eksperimentiniais duomenimis. Jie gali būti taikomi įvairiems gatvių/kelių tipams, arba visam miestui (Rimkus, 2010). Nemaža šių modelių dalis negali nuspėti trumpo periodo taršos (< 1 diena). Taip pat jie neatsižvelgia į konkrečias fizines teršalų savybes, o prognozuoja tą pačią koncentraciją tiek tai būtų kietosios dalelės, tiek dujinės fazės teršalai (Cardozo ir Sánchez, 2019). Kai kuriuose mokslinėse studijose teigiama, jog sunku suderinti modelius su eksperimentiniais transporto priemonių išmetamais dujiniais teršalais tyrimais, pavyzdžiui anglies monoksido (Sharma, Gulia, Dhyanim ir Singh 2013). Kadangi urbanizuotose teritorijose be eismo sukeltos taršos, miesto oro kokybė veikiama ir kitų taršos šaltinių.

Tam tikri modeliai (RLINE, CALINE4, AERMOD) nesugeba nuspėti kietųjų dalelių koncentracijos (suspenduotos kietosios dalelės (toliau – SKD), KD_{10} , $KD_{2,5}$) vyraujant mažam vėjo greičiui (< 1 m/s) arba pučiant vėjui lygiagrečiai kelio kryptimi (Chen, Bai, Eisinger, Niemeier ir Claggett 2008; Holmes ir Morawska, 2006). Tokiu būdu, šie modeliai ne visada gali būti naudojami dispersinės taršos sklaidos šalia kelių nustatymui, kadangi šie modeliai *mano*, jog teršalai išsiskleidė („prasiskiedė“) horizontalia ir vertikalia kryptimis, kai iš tikrųjų turėtų būti sprendžiamos fizinės–cheminės lygtys, kurios lemia teršalų dispersiją atmosferoje (masės koncentracija, energijos išsaugojimas, cheminės reakcijos, aerozolių dinamika) (Cardozo ir Sánchez, 2019).

Skysčių dinamikos skaičiavimo (toliau – CFD) metodų pajėgumai gali būti pasitelkiami spręsti lygtis, kurios apibūdina oro teršalų dispersiją žemutinėje troposferoje ir modeliuoti kietųjų dalelių judėjimą dujų fazėje (suspenduotų dalelių pavidalu) bei jų nusėdimą. Nustatyta, jog CFD metodai tinkamesni, kai reikalaujama kruopščiai išanalizuoti tėkmės ir dispersijos modelius, esant mažai teritorijai (< 1 km) ir trumpiems intervalams (< 1 min) (Blocken, Janssen ir van Hooff 2012; Tominaga ir Stathopoulou, 2011; Vicente et al., 2018).

Skysčių dinamikos skaičiavimo programinė įranga dar nėra plačiai naudojama modeliuojant taršą šalia kelių. Dauguma modeliavimų sutelkti į taršos šaltinių tyrimus, o ne į teršalų dispersinį plitimą pavėjui kelio (Cardozo ir Sánchez, 2019). Sahlodin ir kiti mokslininkai (2007), norėdami išsamiai ištirti anglies monoksido dispersiją, pasitelkdami skysčių dinamikos skaičiavimo (CFD) programinę įrangą, modeliavo transporto priemonių sukeltą turbulenciją asfaltuotame kelyje, o gautus rezultatus įtraukė į Gauso dispersijos modelį. Šis darbas buvo patobulintas Wang ir Zhang mokslininkų (2009), papildomai į modelį įtraukdami kelio generuojamą turbulenciją. Lyginant tyrimų rezultatus su eksperimentiniais duomenimis ir CALINE4, šie mokslininkai gavo kur kas patikimesnes CO koncentracijas trumpuoju periodu šalia dviejų greitkelių.

Veiksmingas CFD modelio pritaikymas oro taršos tyrimuose atliktas vertinant oro taršą kietosiomis dalelėmis prie neasfaltuotų kelių (Cardozo ir Sánchez, 2019). Šiame moksliniame tyrime pateiktas kietųjų dalelių koncentracijos pasiskirstymas priklausomai nuo kelio atstumo horizontalia ir vertikalia kryptimis (žr. 1.18 pav.). Vertikalus visų suspenduotų dalelių koncentracijos pasiskirstymas ties kelio pakraščiu įgauna eksponentinę formą. Ties pirmais metrais, pavėjui kelio, vertikalios koncentracijos profilis įgyja „S“ formą, kuri plečiasi aukštyje priklausomai nuo atstumo iki taršos šaltinio dėl dalelių nusėdimo ir vertikalios difuzijos. Pikas pasiekiamas tarpiniame aukštyje, kuris auga su atstumu nuo kelio horizontalia kryptimi, $x^* \sim 100$ m., pikas pasiekiamas apie 1,75 m. aukštyje, kuris yra vidutinis žmogaus ūgis. Toli nuo kelio apie 1000 m. šis profilis tampa plokščias.

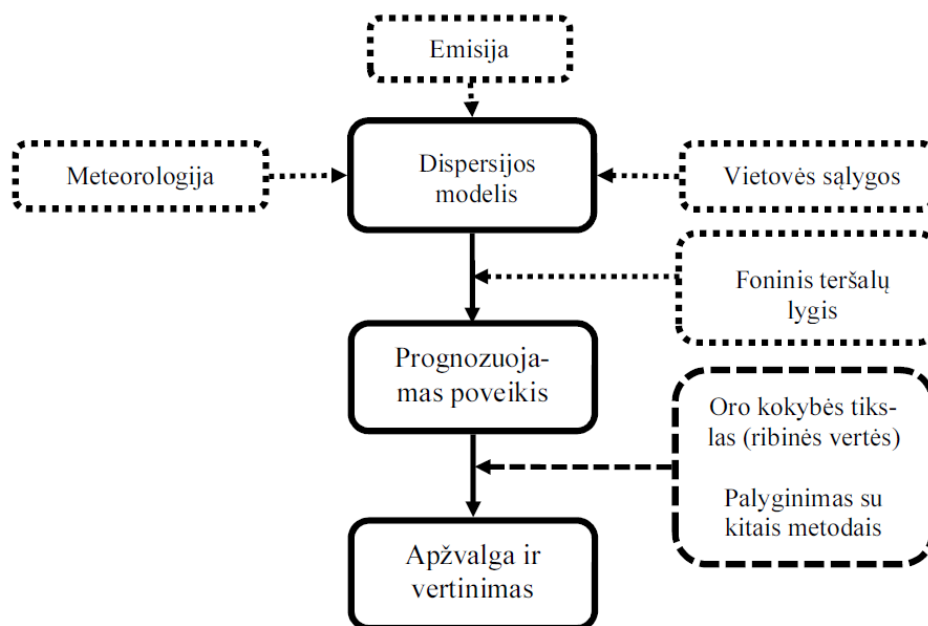


1.18 Vertikalus visų suspenduotų dalelių koncentracijos profilis naudojant CFD modelį kaip atstumo funkciją kelio kraštui (Cardozo ir Sánchez, 2019)

Skysčių dinamikos skaičiavimo metodika buvo pritaikyta stebėti dulkių judėjimą, sukeltą transporto priemonių, dykumose (Chen ir Wegman, 1999; Tong, Luke ir Smith 2014; Gerardin ir Midoux, 2016). Tačiau šiuose moksliniuose darbuose nebuvo atsižvelgta į vykstančią dispersiją, kuri sklinda pavėjui kelio. Huang ir kt. (2014) atliko sudėtingesnę, labai mažų dalelių (UFP) dinamikos ir dispersijos šalia kelių modeliavimą, pasitelkdami daugiakomponentinį segmentinį aerolių dinamikos CFD modelį. Šis modelis anot autorių yra veiksmingas įrankis tobulinti žinias apie labai mažų dalelių sklaidą šalia kelių.

Mokslinėje bendruomenėje dažnai naudojamas ADMS–Urban programinės įrangos paketas, leidžiantis atlikti oro teršalų prognozes tyrimus (žr. 1.19 pav.). Šioje programoje oro teršalų dispersijos modelio atmosferos ribinio sluoksnio charakteristika aprašoma dviem rodikliais: ribinio sluoksnio gyliu ir Monino–Obukovo ilgiu. Dispersija nustatoma asimetriniu Gauso koncentracijos pasiskirstymu (Šerevičienė, 2012).

ADMS–Urban programoje keliai apibūdinami kaip linijinis šaltinis. Šie šaltiniai yra apibrėžiami pagal galinių ir vidurinių taškų padėtį, aukštį ir linijos plotį. Kiekvienas taršos šaltinis yra išskirstomas į ne daugiau 10 mažesnių dedamųjų. Išskirstymas – matavimo daviklio vietos funkcija. Atkreiptina, jog atstumas tarp taršos šaltinio dedamųjų ir matavimo daviklių negali ženkliai skirtis. Koncentracija apskaičiuojama sumuojant kiekvienos dedamosios dalį.



1.19 pav. Modeliavimo procesas (sudaryta autorės remiantis Šerevičienė, 2012)

Modeliavimo rezultatų tikslumas priklauso nuo naudojamų duomenų patikimumo. Siekiant palengvinti duomenų prieinamumą ir užtikrinant jų kokybę, pradėta kurti duomenų bazes, kuriuose kaupiami ir sisteminami oro taršos modeliavimui reikalingi įvesties duomenys.

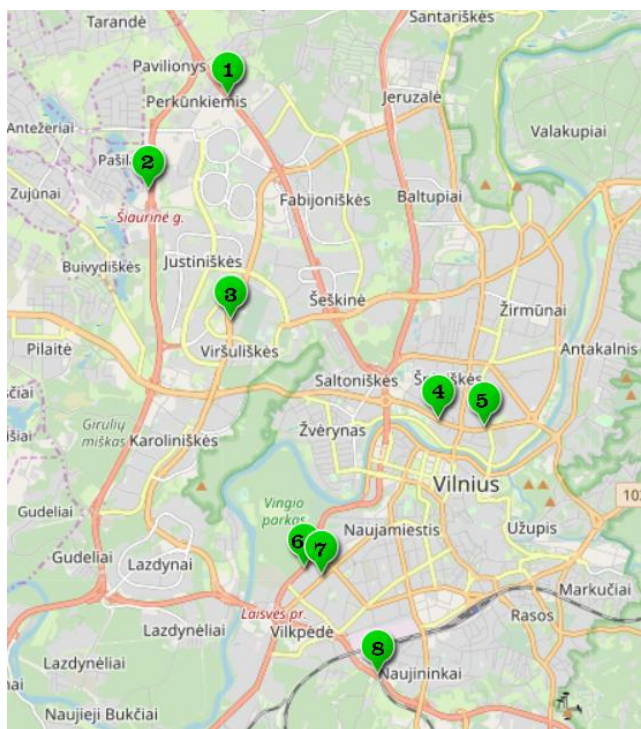
2013 m. naudojantis dispersinio ADMS–Urban modeliu, atliktas 2011 m. NO₂ koncentracijos sklaidos tyrimas Kauno mieste. Tyrimas atskleidė, jog didžiausia NO₂ koncentracija buvo prie intensyviausių eismo gatvių. Didžiausia tarša identifikuota Centro ir Žaliakalnio seniūnijose, vidutinė metinė NO₂ koncentracija – 23,7 µg/m³ ir 20,3 µg/m³ (Dėdelė ir Miškinytė, 2013).

Analizuojant mobilių oro taršos šaltinių užterštumo prognozavimo priemones, vis dažniau sutinkamas kombinuotas, dviejų taršos tipų modeliavimas ir lyginimas. Dažniausiai tokia kombinacija – oro tarša ir triukšmas. Remiantis Jibrano Khan ir kitų mokslininkų (2018) atlikta apžvalga, dažniausiai oro ir triukšmo taršai analizuoti pasirenkamas determinizmo modeliavimas. Atliktoje apžvalgoje vertinti 57 moksliniai modeliavimo darbai. Šiuose darbuose koreliacija tarp analizuojamų taršų kinta nuo 0,05 iki 0,74. Autoriai (Khan, Ketzl, Kakosimos, Sørensen ir Jensen 2018), remdamiesi įvairių šaltinių koreliacijų rezultatais, teigia, jog kiekviena tarša – unikali, veikiama skirtingų parametrų ir jų kombinacijų, o pačiuose tyrimuose naudoti įvairūs modeliai, indikatoriai, technikos, tad rezultatų įvairovė neturėtų stebinti. Apžvalgą parengę mokslininkai rekomenduoja ateityje taikyti geografinės informacinės sistemos (toliau – GIS) metodus perteikiant ir integruojant gautus rezultatus.

2. TYRIMŲ METODIKA

2.1. Tyrimų vietų parinkimas

Mobilių oro taršos šaltinių poveikio Vilniaus miesto oro kokybės tyrimui atlikti buvo pasirinktos aštuonios Vilniaus miesto gatvės (žr. 2.1 pav.). Šios gatvės pasirinktos neatsitiktinai. Šis tyrimas atliktas Vilniaus miesto savivaldybės „Aplinkos oro kokybės valdymo programos 2020–2025 m.“ rengimo rėmuose.



2.1 pav. Oro kokybės matavimų vietos

Oro kokybė analizuota šiose gatvėse: (Tūkstantmečio g. (Nr. 8), Geležinio Vilko g. (Nr. 6), Savanorių pr. (Nr. 7), Vilniaus vakarinis aplinkkelis (Nr. 2), Ukmergės g. (Nr. 1), Laisvės pr. (Nr. 3), Konstitucijos pr. (Nr. 4), Šeimyniškių g. (Nr. 5)) (žr. 2.1 pav.), kuriose eismas yra vienas intensyviausių, o rytinio ir vakario piko metu, transporto srauto sulėtėjimas ir grūstys formuojasi kone nuolatos (žr. 2.1 lentelę).

2.1 lentelė. Pagrindinė gatvių informacija oro kokybės matavimų vietose

Eil. Nr.	Gatvės pavadinimas	Dvi eismo kryptys	Eismo juostų skaičius viena kryptimi	Leistinas maksimalus greitis, km/val.	Gatvės apibūdinimas
1	Ukmergės g.	+	2	60	Ši gatvė driekiasi per Fabijoniškių, Šeškinės ir Pašilaičių miegamuosius Vilniaus miesto mikrorajonus. Paeilį gatvę išsidėstę ne tik daugiaaukščiai gyvenamieji namai, bet ir verslo paskirties pastatai.
2	Vilniaus vakarinis aplinkkelis	+	3	90	Pastatai nutolę nuo aplinkkelio bent 40 m. Vyrauja komerciniai ir gyvenamieji pastatai. Netoli matavimo vietos yra viadukas
3	Laisvės pr.	+	4	60	Gatvė driekiasi per miegamąjį Vilniaus mikrorajoną

Eil. Nr.	Gatvės pavadinimas	Dvi eismo kryptys	Eismo juostų skaičius viena kryptimi	Leistinas maksimalus greitis, km/val.	Gatvės apibūdinimas
4	Konstitucijos pr.	+	3	60	Ši gatvė kerta centrinį Vilniaus miesto verslo rajoną.
5	Šeimyniškių g.	+	2	50	Abejose gatvės pusėse išsidėstę gyvenamieji 2–3 aukštų namai, kurie nuo gatvės nutolę tik apie 3–4 m.
6	Geležinio Vilko g.	+	2	60	Vienoje gatvės pusėje Vingio parkas, kitoje gyvenamoji daugiaaukščių zona, šalia matavimo vietos veikia Vilniaus Jono Basanavičiaus gimnazija
7	Savanorių pr.	+	3	50	Šis prospektas kerta Naujamiesčio mikrorajoną. Abejose gatvės pusėse išsidėstę daugiaaukščiai gyvenamieji namai, vietomis komercinės paskirties pastatai.
8	Tūkstantmečio g.	+	2	80	Gatvė driekiasi Vilniaus miesto pakraštyje. Tam tikromis vietomis išsidėstę daugiaaukščiai gyvenamieji namai, gamykliniai ir verslo pastatai;

Kiekvienoje tiriamojoje gatvėje atstumas nuo gatvės iki oro kokybės matavimo taško siekė apie 5 m. Tiksliai matavimo vieta pasirinkta atsižvelgiant į gatvės užstatymo tipą, kraštovaizdį, eismo intensyvumą. Visos pasirinktos gatvės yra svarbios susisiekimo arterijos, iš kurių kiekviena pravažiuoja nuo 20 000 iki 84 000 automobilių per parą. Dalis šių gatvių yra įtrauktos į reprezentacinių gatvių sąrašą, kurios valomos reguliariai, kas savaitę. Likusios gatvės valomos pagal poreikį. Pasirinktos vietos identifikuoja būtent tai gatvei būdingas eismo apkrovas (žr. 2.2 lentelę). Galutinai apsispręsti dėl matavimo vietos pasirinkimo padėjo galimybės saugiai palikti matavimo įrangą, taip pat užtikrinant elektros tiekimo galimybę.

2.2 lentelė. Pasirinktų gatvių suskirstymas pagal eismo intensyvumą

Labai didelės apkrovos	Didelės apkrovos	Vidutinės apkrovos	Mažos apkrovos
>3000 aut./h	2000–3000 aut./h	1000–2000 aut./h	100–1000 aut./h
Vilniaus vakarinis aplinkkelis, Tūkstantmečio g.	Geležinio Vilko g. Savanorių pr.	Konstitucijos pr. Laisvės pr. Ukmergės g.	Šeimyniškių g.

Transporto srautų dinamikai būdingas sezoniškumas bei tokių faktorių, kaip mokinių atostogos, valstybinės ir religinės šventės poveikis. Remiantis 2018 m. Vilniaus miesto darnaus judumo planu, mažiausi transporto srautai per parą fiksuojami sausio ir rugpjūčio mėnesiais, didžiausi – gegužės ir rugsėjo mėnesiais.

Sudarant tiriamų gatvių grupavimą, įvertintas kiekvienos gatvės plotis. Dviejų juostų gatvių plotis – 7 m, keturių juostų gatvių plotis – 14 m, penkių–šešių juostų gatvių ruožų plotis – 17,5–21 m.

2.2. Tyrimų metodika ir naudoti prietaisai

Oro kokybės tyrimo metu buvo nustatytos $KD_{2,5}$, KD_{10} , NO_x , SO_2 , CO , O_3 , aerozolių skaitinė koncentracija taikant skirtingus matavimo metodus (žr. 2.3 lentelę).

2.3 lentelė. Analizuojami oro teršalai ir naudojami matavimo metodai

Tiriamasis parametras	Matavimo metodas	Matavimo prietaisai
KD_{10}	Optinis	GRIMM EDM 164
$KD_{2,5}$	Optinis	GRIMM EDM 164

Tiriamasis parametras	Matavimo metodas	Matavimo prietaisas
O ₃	Ultravioletinių spindulių ozono absorbcinis	O ₃ 42 Module
CO	Infraraudonųjų spindulių absorbcinis	CO12 Module
SO ₂	Fluorescencinis ultravioletiniuose spinduliuose	AF22 M UV
NO _x	Chemiliuminescencinis	AC32 M (mobilioje stotelėje) ir HORIBA Apna 360 (stacionarioje stotelėje)
NO ₂		
NO		

Oro taršos teršalų koncentracijos nustatymo tyrimams naudota tiek mobili tyrimo laboratorija, tiek stacionarios įrengiamos matavimų stotelės (žr. 2.2 pav.). Tose pačiose matavimo vietose tyrimai buvo kartojami po 4–5 kartus, iš viso atlikta 34 matavimai (žr. 1 priedą). Tyrimų metu cheminiai junginiai bei kietosios dalelės buvo matuojamos nuolatos 24 valandas per parą vienoje matavimų vietoje 4 paras. Analizė atliekama vertinant valandos vidutines koncentracijas.



2.2 pav. Tyrimų metu naudotos oro kokybės matavimų stotelės ir mobili laboratorija

Tyrimė azoto oksidų (NO_x) koncentracijai ore nustatyti buvo naudotas AC32 M (mobilioje laboratorijoje) ir HORIBA Apna 360 (stacionarioje stotelėje) chemiliuminescencinis azoto oksidų analizatoriai (2.3 pav.). Šis analizatorius fiksuoja azoto monoksido ir azoto dioksido koncentraciją, kartu jos sudaro azoto oksido (NO_x) vertę. Analizatoriai analizuojamą bandinį traukia pro tefloninį vamzdį (išorinis diametras: 6 mm), kuris yra sujungtas su įrenginio užpakaline dalimi. Bandinys yra traukiamas ar įsiurbiamas išorinio siurblio pagalba. Matavimo vertės išreiškiamos ppb/μg m⁻³ arba ppm/ mg. m⁻³ (remiantis matavimo vertės užprogramavimu).



2.3 pav. AC32 M ir HORIBA Apna 360 analizatoriai

Tyrime, naudojant mobilią laboratoriją, nustatyti sieros dioksido koncentraciją buvo pasitelktas *AF22 M UV* fluorescencinis SO_2 analizatorius, matavimo vienetai ppb arba $\mu\text{g}/\text{m}^3$, minimali aptikimo riba (2σ) 0,001 ppm (atsako trukmė 120 sek.). Anglies monoksidui nustatyti pasitelktas *CO12 Module* analizatorius. Šis prietaisas naudoja absorbcijos aptikimo infraraudonųjų spindulių principą. Matavimo vienetai ppm arba mg/m^3 , minimali aptikimo riba (2σ) 0,05 ppm (atsako trukmė 30 sek.). Ozono koncentracija matuojama naudojant *O₃42 Module* UV fotometrinį ozono analizatorių. Ozonas aptinkamas naudojant absorbcijos principą ultravioletinėje spinduliuotėje. Minimali aptikimo riba (2σ) 0,001 ppm (atsako trukmė 50 sek.). Kietųjų dalelių ($\text{KD}_{2,5}$ ir KD_{10}) koncentracijos nustatymui naudotas GRIMM EDM 164 analizatorius, kurio veikimo principas paremtas diodinio lazerio veikimu, t. y. lazerio spindulys praeidamas pro švarią aplinką sklaidosi vienaip, o pro dulkėtą – kitaip.



2.4 pav. Kietųjų dalelių matavimo prietaisas GRIMM EDM 164

Eksperimentiniame tyrime, mažųjų aerozolio dalelių skaitinei koncentracijai ore nustatyti buvo naudotas skaitiklis *AZ-5* (žr. 2.5 pav.). Šis skaitiklis skirtas matuoti aerozolio dalelių koncentraciją nuo $1 \cdot 10^{-3}$ iki 300 m^{-3} , aerozolio dalelių srautas – $1,2 \text{ L}/\text{min}$, matavimo paklaida neviršija 20 %. Skaitiklis gali registruoti $0,4\text{--}10 \mu\text{m}$ dydžio daleles (A3-5, 1981).



2.5 pav. Aerosolio dalelių skaitiklis AZ–5 (šaltinis:)

Skaitiklio veikimo principas – ryšys tarp aerosolio dalelės matmenų ir jos išsklaidytos šviesos. Matavimo metu galima nustatyti dalelių pasiskirstymą pagal dydžius, kadangi skaitiklis veikia matuojant atskiros aerosolio dalelės šviesos sklaidą. Aerosolių dalelių skaitiklis sudarytas iš detektoriaus, oro įsiurbimo ir srauto kontrolės mazgų bei elektroninio mazgo.

Skaitiklis veikia matuojant atskiros aerosolio dalelės šviesos sklaidą. Kadangi egzistuoja ryšys tarp aerosolio dalelės matmenų ir jos išsklaidytos šviesos, taip pat galimas dalelių pasiskirstymo pagal dydžius matavimas. Aerosolio dalelių skaitiklį sudaro optinis detektorius, oro įsiurbimo ir srauto kontrolės mazgai bei elektroniniai mazgai. Perėję pro darbinį tūrį šviesos spinduliai patenka į gaudyklę, kur kiek galima labiau sumažinami jų atšvaitai, kurie patenka į šviesos detektorių. Šviesos detektorius registruoja aerosolio dalelių išsklaidytą šviesą.

Tyrimui naudojamų transporto srautų duomenys paimti iš Vilniaus miesto savivaldybės įmonės „Susisiekimo paslaugos“ „Transporto srautų analizės aplikacija“ portalą.

Atliekant detalę monitoringo analizę būtina vertinti (analogišku metu fiksuojamas) meteorologines sąlygas, kuriuos viso tyrimo metu kinta. Naudota meteorologinių parametrų stotelė „Weather Center with PC Interface WS1080“ (žr. 2.6 pav.). Dalis tyrimui reikalingų meteorologinių duomenų fiksuojami kartu su oro teršalų koncentracija, dalis duomenų paimta iš LR Hidrometeorologijos tarnybos stotelės, esančios Trakų Vokėje, J. Tiškevičiaus g. 12A. Analizuojant gautus tyrimus naudoti meteorologiniai duomenys: temperatūra, vėjo kryptis ir greitis, santykinis oro drėgnumas, atmosferos slėgis ir kritulių kiekis. Verta paminėti, jog šiame tyrime nepavyko atlikti detalios analizės tarp oro teršalų koncentracijos ir iškritusių kritulių, kadangi oro kokybės matavimo metu retai fiksuoti iškritę krituliai.



2.6 pav. Meteorologinių parametrų stotelė „Weather Center with PC Interface WS1080“

Tyrimo metu norint įvertinti gatvių valymo poveikį oro kokybei, be meteorologinių ir eismo intensyvumo duomenų, stebėta ir analizuota prieš ir po gatvių valymo teršalų koncentracija. Remiantis šiais koncentracijų duomenimis atliktas Studento T–testas. Šio testo esmė išsiaiškinti ar tyrimo metu statistiškai patikimai skyrėsi oro teršalų koncentracija prieš ir po gatvių valymo darbų.

Gatvių valymo tyrimai buvo pradėti 2019 m. kovo mėn., kuomet oro sąlygos tapo tinkamos pradėti gatvių valymo darbus. Gatvių valymo darbai buvo vykdomi kas savaitę, pagal

suplanuotą grafiką, vakaro arba nakties metu. Tyrimai buvo atliekami 24 val. prieš gatvių valymą bei 24 val. po valymo.

2.4 lentelė. Gatvių valymo grafikas

Data	Vieta	Matavimo eil. Nr. – Prieš valymą/Po valymo	Data	Vieta	Matavimo eil. Nr. – Prieš valymą/Po valymo
03.20	Šeimyniškių g.	1 – Prieš	04.02	Vilniaus vakarinis aplinkkelis	1 – Prieš
03.21		1 – Po	04.03		1 – Po
04.23	Šeimyniškių g.	2 – Prieš	04.30	Vilniaus vakarinis aplinkkelis	2 – Prieš
04.24		2 – Po	05.01		2 – Po
05.21	Šeimyniškių g.	3 – Prieš	05.14	Vilniaus vakarinis aplinkkelis	3 – Prieš
05.22		3 – Po	05.15		3 – Po
06.18	Šeimyniškių g.	4 – Prieš	06.04	Vilniaus vakarinis aplinkkelis	4 – Prieš
06.19		4 – Po	06.05		4 – Po
03.27	Geležinio Vilko g.	1 – Prieš	04.02	Ukmergės g.	1 – Prieš
03.28		1 – Po	04.03		1 – Po
04.16	Geležinio Vilko g.	2 – Prieš	04.30	Ukmergės g.	2 – Prieš
04.17		2 – Po	05.01		2 – Po
05.07	Geležinio Vilko g.	3 – Prieš	05.14	Ukmergės g.	3 – Prieš
05.08		3 – Po	05.15		3 – Po
06.25	Geležinio Vilko g.	4 – Prieš	06.11	Ukmergės g.	4 – Prieš
06.26		4 – Po	06.12		4 – Po
03.20	Konstitucijos pr.	1 – Prieš	03.27	Savanorių pr.	1 – Prieš
03.21		1 – Po	03.28		1 – Po
04.23	Konstitucijos pr.	2 – Prieš	04.09	Savanorių pr.	2 – Prieš
04.24		2 – Po	04.10		2 – Po
05.21	Konstitucijos pr.	3 – Prieš	05.07	Savanorių pr.	3 – Prieš
05.22		3 – Po	05.08		3 – Po
06.18	Konstitucijos pr.	4 – Prieš	06.25	Savanorių pr.	4 – Prieš
06.19		4 – Po	06.26		4 – Po
04.02	Laisvės pr.	1 – Prieš	03.27	Tūkstantmečio g.	1 – Prieš
04.03		1 – Po	03.28		1 – Po
04.16	Laisvės pr.	2 – Prieš	04.09	Tūkstantmečio g.	2 – Prieš
04.17		2 – Po	04.10		2 – Po
05.14	Laisvės pr.	3 – Prieš	05.07	Tūkstantmečio g.	3 – Prieš
05.15		3 – Po	05.08		3 – Po
06.04	Laisvės pr.	4 – Prieš	06.11	Tūkstantmečio g.	4 – Prieš
06.05		4 – Po	06.12		4 – Po

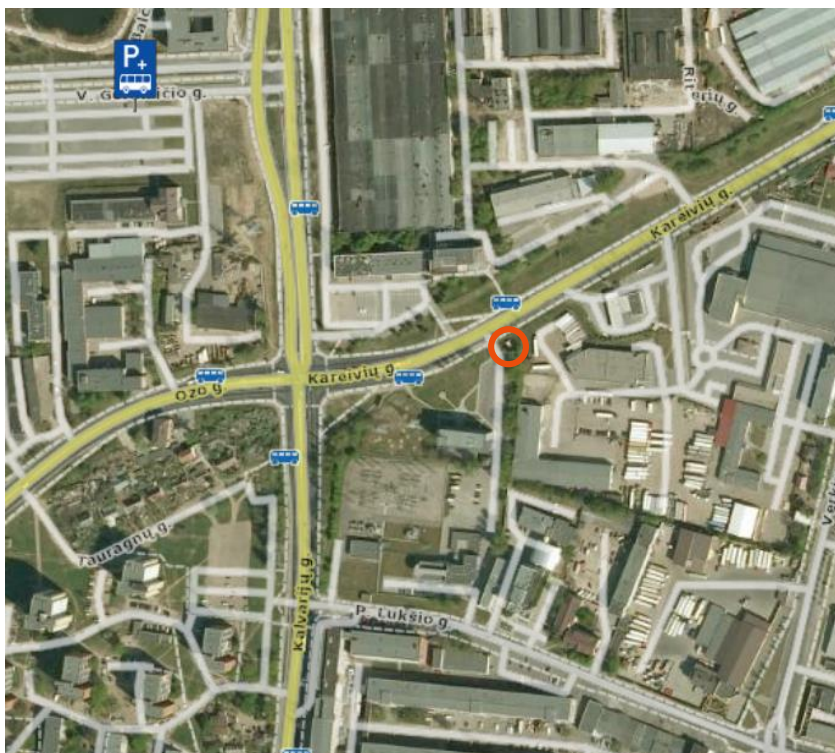
2.3. Karantino poveikio tyrimo metodika

Siekiant užkirsti kelią COVID–19 ligos plitimui daugelyje pasaulio valstybių įvesti griežti ribojimai žmonių judėjimui ir veiklai. Lietuvoje apribotas gyventojų judėjimas iš šalies, uždraustas artimo kontakto reikalaujančių paslaugų tiekimas (uždarytos parduotuvės, išskyrus maisto prekių ir vaistines, uždaryti barai, kavinės, grožio salonai, draudžiami renginiai ir

masiniai susibūrimai), dalis įmonių nutraukė gamybos procesus. Šie ir panašūs apribojimai tikėtina turi reikšmės oro kokybės pokyčiams. Siekiant nustatyti Lietuvoje įvesto karantino ir su tuo susijusio transporto srautų sumažėjimo poveikį Vilniaus miesto oro kokybės pokyčiams atlikta 2018–2019–2020 m. kovo mėnesių, 2020 m. kovo–balandžio mėn. ir 2020 m. kovo 1–16 ir 16–31 d. oro kokybės analizės. Tyrimo metu analizuotos šios teršalų koncentracijos duomenys: CO, KD_{2,5}, KD₁₀, NO₂ ir O₃.

Lietuvoje, taip pat ir sostinėje Vilniuje, karantinas paskelbtas pirmadienį kovo 16 d., pabaiga numatyta gegužės 11 d., verta paminėti, jog ši analizė atliekama vis dar karantino metu.

Vilniaus miesto aplinkos oro kokybė yra stebima keturiose valstybinėse oro kokybės tyrimų stotyse – Žirmūnų, Lazdynų, Senamiesčio ir Savanorių pr. Šiose automatinėse oro kokybės tyrimų stotyse nustatomos Lietuvos ir Europos Sąjungos teisės aktuose įtvirtintų vertintinų teršalų koncentracija: KD₁₀, KD_{2,5}, azoto dioksido (NO₂), sieros dioksido (SO₂), anglies monoksido (CO), ozono (O₃), benzeno koncentracija. Tik Žirmūnų OKT stotis identifikuoja mobilios taršos, transporto priemonių, poveikį miesto oro kokybei, kadangi ši stotis įrengta prie intensyvaus eismo Kareivių gatvės, netoli sankryžos su Kalvarijų g. (žr. 2.7 pav.).



2.7 pav. Žirmūnų OKT stotis

Analizei atlikti pasitelkti ne tik oro teršalų koncentracijos duomenys iš Žirmūnų OKT stoties, bet ir meteorologiniai parametrai ir eismo intensyvumo duomenys. Tyrimui naudojamų transporto srautų duomenys paimti iš Vilniaus miesto savivaldybės įmonės „Susisiekimo paslaugos“ „Transporto srautų analizės aplikacija“ portalo. Meteorologiniai duomenys paimti iš LR Hidrometeorologijos tarnybos. Analizuojant gautus tyrimus naudoti meteorologiniai duomenys: oro temperatūra, vėjo kryptis ir greitis, santykinis drėgnumas, atmosferos slėgis.

Pirma, nustatytas eismo intensyvumo srautų pokytis kovo mėnesį. Antra, atlikta oro teršalų koncentracijos lyginamoji analizė su 2020 m. kovo 1–16 ir 16–31 d., kovo–balandžio mėn. duomenimis, vėliau lygintos 2018–2019–2020 m. kovo mėnesio koncentracijos. Atitinkamai laikotarpiais vertintos ne tik oro teršalų koncentracijos kaita, bet ir nustatytos priklausomybės nuo meteorologinių ir mobilių taršos šaltinių intensyvumo duomenų.

2.4. Matavimo rezultatų statistinis apdorojimas, matavimų paklaidos ir jų vertinimas

Gauti matavimų rezultatai pateikti apibendrintose lentelėse ir diagramose (vidutinė koncentracija). Tai vienas geriausių būdų atskleisti, kaip tarša kinta tiriamuosiuose taškuose. Taip pat tai leidžia palyginti emisijas tarpusavyje, vyraujant skirtingoms meteorologinėms sąlygoms ir kintant eismo intensyvumui.

Atsitiktinės paklaidos atsiranda dėl matuojamąjį objektą ir matavimo prietaisą veikiančių daugybės priežasčių, kurias būna sunku įvertinti. Įvertinti atsitiktines paklaidas žymiai sudėtingiau, o atlikus pavienį matavimą, beveik neįmanoma.

Regresijos modelis – tai statistinis modelis, leidžiantis vieno kintamojo reikšmės prognozuoti pagal kito kintamojo reikšmės. Regresinė analizė – tai statistiniai modeliai, skirti regresijos modeliui sudaryti, patikrinti, ar jis tinkamas, ir taikyti prognozėms. Norint sudaryti regresijos modelį reikia:

- tikrinti ryšio stiprumą;
- įvertinti nežinomus regresijos modelio parametrus;
- įvertinti, ar pasirinktas modelis yra suderintas su duomenimis.

Tiesinio ryšio stiprumo matas yra koreliacijos koeficientas r_{xy} :

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S_x \cdot S_y}, \quad (2.1)$$

kur

$\overline{xy}$ – kintamųjų sandaugos vidurkis; S_x ir S_y – kintamųjų dispersijos.

Vidutiniai standartiniai nuokrypiai yra skaičiuojami:

$$S_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \overline{(x^2)} - (\bar{x})^2 \quad (2.2)$$

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \overline{(y^2)} - (\bar{y})^2 \quad (2.3)$$

Koreliacijos koeficiento reikšmių skalė pateikiama 2.4 lentelėje.

2.5 lentelė. Koreliacijos koeficiento reikšmių skalė (Januškaitienė, 2009)

Labai stipri	Stipri	Vidutinė	Silpna	Labai silpna	Nėra ryšio
-1	-1 iki -0,7	-0,7 iki -0,5	-0,5 iki -0,2	-0,2 iki 0	0
1	1 iki 0,7	0,7 iki 0,5	0,5 iki 0,2	0,2 iki 0	0

Šiame darbe, remiantis tiesinės regresijos metodais, įvertintas meteorologinių ir eismo intensyvumo duomenų poveikis oro kokybės teršalų koncentracijos kitimui. Regresinėje analizėje priklausomas kintamasis yra tas, kurio elgseną norime išanalizuoti, o nepriklausomas – kuriuo aiškinama priklausomojo elgsena. Tad šiame tyrime priklausomas kintamasis – teršalų koncentracija, o nepriklausomas – meteorologiniai ir eismo srautų parametrai.

Daugialypės regresijos modelio tinkamumui vertinti skaičiuojamas determinacijos koeficientas R^2 , nusakantis, kurią atsako dispersijos dalį lemia tiesinis k faktorių poveikis (Januškaitienė, 2009). Kuo daugiau kintamųjų įterpti į modelį, tuo didesnė R^2 reikšmė. R^2 – atsitiktinis dydis. R^2 reikšmės poveikiui tikrinti skaičiuojamas F kriterijaus p rodiklis. Jeigu $p > 0,05$, tai regresinis modelis netinkamas naudoti.

Tinkamu laikytinas daugialypės regresijos modelis, kuriuo $AdjR^2$ didžiausias (Januškaitienė, 2009). Sudaryti tinkamiausią modelį nėra paprasta, jei faktorių skaičius k yra didelis. Todėl sudarant daugialypės regresijos modelį, taikomą šiame tyrime, apsiribojama tik faktoriais (kintamaisiais), susietais ir reikšmingai koreliuojančiais su atsaku (oro taršalų koncentracija). Kadangi dažnu atveju reikšmingai su atsaku koreliuojančių faktorių nėra daug, modeliui parengti naudoti tik tie faktoriai, kurių kriterijus p reikšmė neviršija 0,2.

Gatvių valymo darbų poveikis oro kokybei vertintas panaudojant statistinį hipotetinį kriterijų (statistiką) – Studento t –testas. Testui atlikti reikia nustatyti ar turimi duomenys priklausomi vienas nuo kito ar ne, šiuo tyrimo atveju, duomenys – priklausomi, kadangi duomenis galima sugrupuoti prieš valymą ir po. Šio testo metu galima nustatyti kiek rezultatai atsitiktiniai, kiek neatsitiktiniai:

jei, p reikšmė $< 0,05$ daroma išvada, jog lyginami vidurkiai skiriasi statistiškai patikimai,

jei p reikšmė $> 0,05$ daroma išvada, jog lyginami vidurkiai skiriasi statistiškai nepatikimai (Januškaitienė, 2009).

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{S_p^2 (1/n + 1/m)}} \quad (2.4)$$

kur

$\bar{x}$ ir $\bar{y}$ – imčių vidurkiai, S_p^2 – imčių sujunta dispersija.

Gautiems tyrimų rezultatams statistiškai apdoroti ir atvaizduoti naudota „Microsoft Excel“, CorelDRAW ir TIBCO „Statistica“ programos.

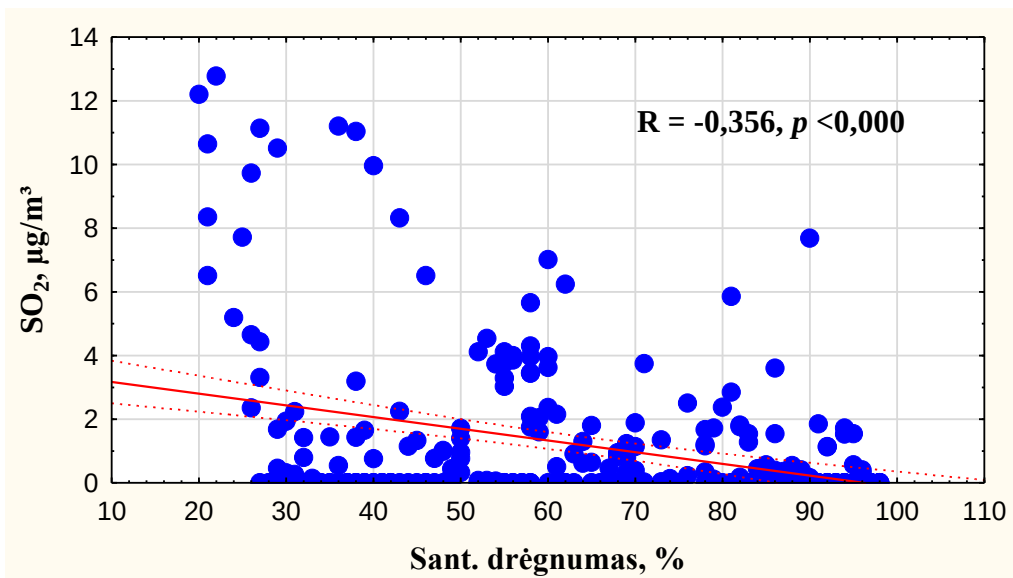
3. TYRIMO REZULTATAI

Mobiliųjų oro taršos šaltinių poveikio oro kokybei stebėsena vykdyta nuo 2019 m. kovo 18 d. iki birželio 27 d. Matavimams atlikti buvo pasirinktos aštuonios Vilniaus miesto gatvės: Tūkstantmečio g. (Nr. 8), Geležinio Vilko g. (Nr. 6), Savanorių pr. (Nr. 7), Vilniaus vakarinis aplinkkelis (Nr. 2), Ukmergės g. (Nr. 1), Laisvės pr. (Nr. 3), Konstitucijos pr. (Nr. 4) ir Šeimyniškių g. (Nr. 5) (žr. 1 lentelę). Šių tyrimų tikslas – atskleisti ir įvertinti mobiliųjų taršos šaltinių poveikį Vilniaus miesto oro kokybei. Šios aštuonios Vilniaus miesto transporto arterijos puikiai identifikuoja viso Vilniaus miesto transporto priemonių keliamą pažemio oro taršą. Siekiant nustatyti ne tik oro taršos dydį, bet ir oro teršalų koncentracijos pasiskirstymą erdvėje būtina atsižvelgti į meteorologinius duomenis ir mobiliųjų taršos šaltinių srautų intensyvumą. Atlikta šių tyrimų metu gautų duomenų tarpusavio lyginamoji analizė, taip pat šie duomenys palyginti su meteorologiniais bei eismo intensyvumo duomenimis.

3.1. Oro teršalų susidarymo ir sklaidos priklausomybė nuo meteorologinių sąlygų

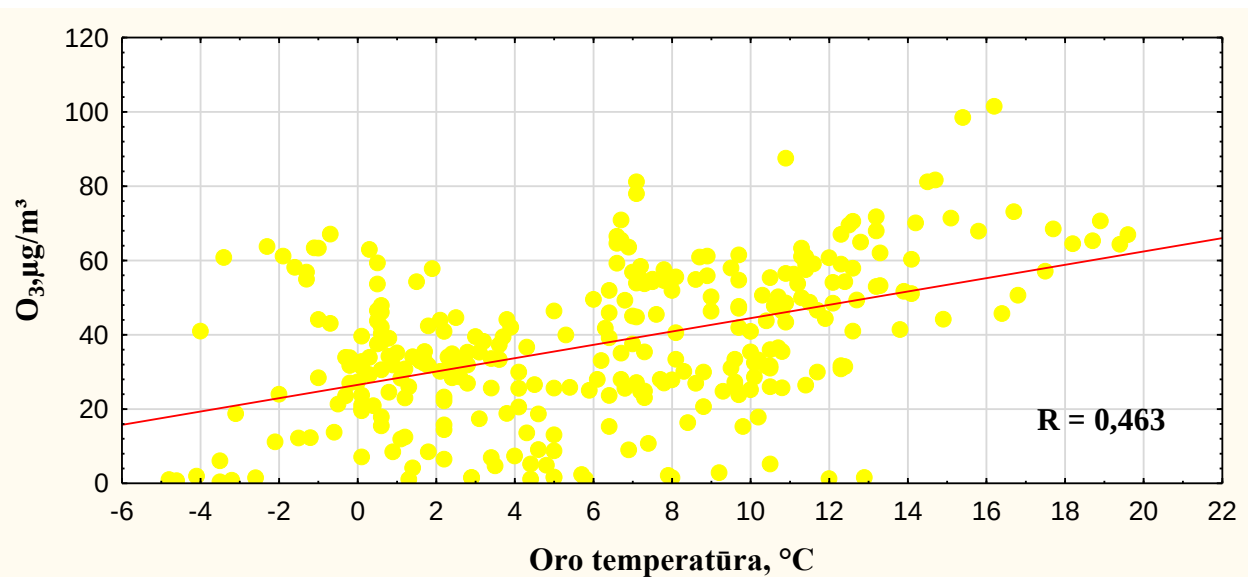
Remiantis atlikta mokslinė literatūros analize, galima teigti, jog meteorologinės sąlygos tiesiogiai veikia oro taršą. Dažniausiai pagrindiniais oro taršą sąlygojančiais veiksniais įvardijami – oro temperatūra, vėjo greitis ir kryptis, rečiau, kaip pagrindinis faktorius įvardijamas santykinis oro drėgnumas ir rečiausiai atmosferos slėgis ir kritulių kiekis. Skirtingose mokslinėse publikacijose nustatytos priklausomybių vertės tarp oro teršalų koncentracijos ir meteorologinių sąlygų – įvairios ir kinta per visą koreliacinių reikšmių skalę. Tačiau stebimi tendencingi rezultatai, kurie rodo, jog vyraujant stipriam vėjo greičiui oro teršalai išsklaidomi, tad atitinkamai oro tarša mažėja (Duen, Fernandez, Canete, Carretero ir Liger 2002; Kimbrough et al., 2013; Laurinavičienė, 2008; Vilkaitė ir Dėdelė, 2015), tačiau vyraujant sausiems, mažai arba vidutiniškai vėjuotiems orams (iki 2 m/s) oro tarša kietosiomis dalelėmis auga (Fortelli et al., 2016; Sahaa, Khlystovb, Snyderc ir Grieshopa 2018). Santykiniam oro drėgnumui esant mažesniai nei 40 % aukščiausius koncentracijos rodiklius pasiekia NO₂ ir O₃ dujos, ir priešingai, didesnė CO, SO₂, KD₁₀ koncentracija nustatyta vyraujant didesniam nei 80 % santykiniam oro drėgnumui (Elminir, 2005). Mažas santykinio oro drėgmės lygis sudaro tinkamas sąlygas fotocheminėms reakcijoms vykti (jose dalyvauja NO₂ ir O₃), kadangi sausesni orai lemia mažesnę debesuotumą. Pavyzdžiui, remiantis moksliniais tyrimais atliktais Vilniaus mieste oro temperatūra ($R = 0,554$, $p = 0,000$) ir vėjo greitis ($R = -0,785$, $p = 0,000$) įvardijami kaip pagrindiniai veiksniai lemiantys O₃ koncentracijos kaitą (Laurinavičienė, 2009).

Tyrimo metu vertinant meteorologinių veiksnių poveikį SO₂ koncentracijai Vilniaus mieste, nustatyta, jog stipriausias ryšys tarp šio oro teršalo koncentracijos yra su santykinio oro drėgnumu ($R = -0,356$, $p < 0,000$) (žr. 3.1 pav.) ir vėjo greičiu ($R = -0,227$, $p < 0,001$), o mažiausias su kritulių duomenimis ($R = -0,061$, $p = 0,361$). Santykinis oro drėgnumas ir vėjo greitis kituose moksliniuose tyrimuose įvardijami kaip reikšmingiausią ryšį su SO₂ koncentracija sudarantys meteorologiniai parametrai (Elminir, 2005; Tripathi, Kulshreshtha ir Gupta 2013). Vėjo greičiui kylant, šios dujos labiau išsklaidomos, santykiui oro drėgnumui augant, įsivyroja drėgnos, debesuotos, oro taršos formavimuisi nepalankios sąlygos, o tai lemia sumažėjusią SO₂ koncentraciją.



3.1 pav. SO₂ koncentracija ir santykinio drėgnumo koreliacinė regresinė priklausomybė

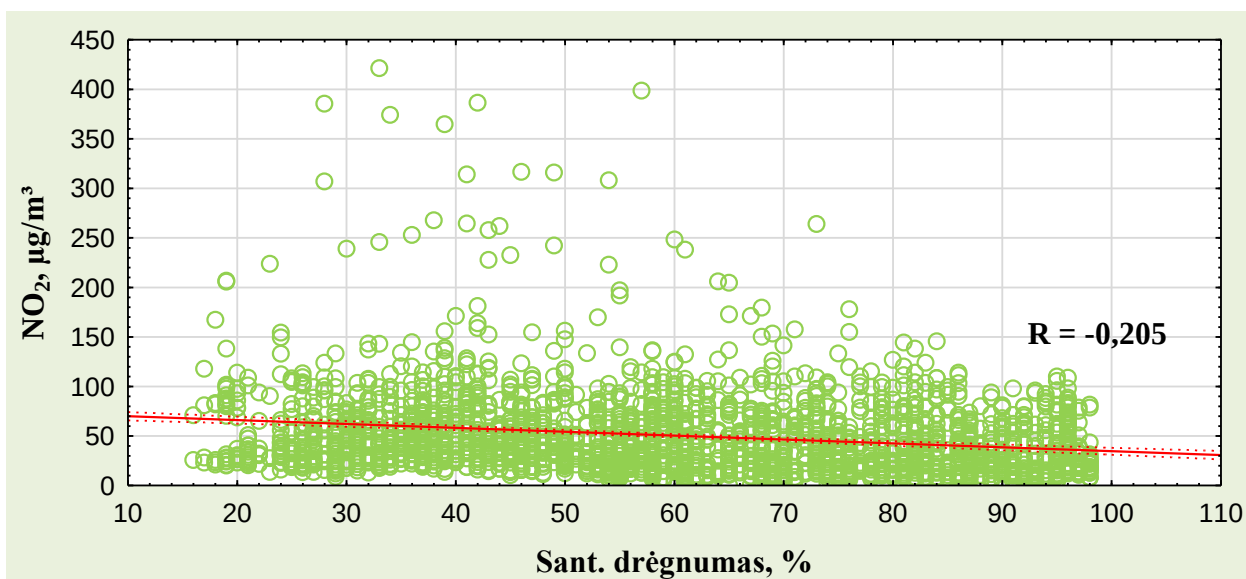
Analizuojant meteorologinių parametų poveikį O₃ koncentracijai Vilniaus mieste, nustatytas stipriausias ryšys tarp šio teršalo koncentracijos ir oro temperatūros ($R = 0,463$, $p < 0,000$) ir vėjo greičio parametų ($R = 0,366$, $p < 0,000$) (žr. 3.2 pav.). Silpniausias ryšys nustatytas su vėjo kryptimi ($R = -0,068$, $p = 0,655$). Oro temperatūra ir vėjo greitis, remiantis mokslinė literatūros analize, įvardijamos, kaip stipriausią ryšį su O₃ koncentracija sudarančios meteorologinės sąlygos (Duen, Fernandez, Canete, Carretero ir Liger 2002; Elminir, 2005; Laurinavičienė, 2009; Sahaa, Khlystovb, Snyder ir Grieshopa 2018). Ozono formavimosi efektyvumas priklauso nuo oro temperatūros, jai augant – auga tarša O₃ dujomis. Aukšta oro temperatūra, mažai debesuoti orai, mažas santykinis oro drėgnumas sąlygoja šio antrinio teršalo susidarymą fotocheminių reakcijų metu, dalyvaujant LOJ ir azotą turinčioms dujoms.



3.2 pav. O₃ koncentracija ir oro temperatūros koreliacinė regresinė priklausomybės

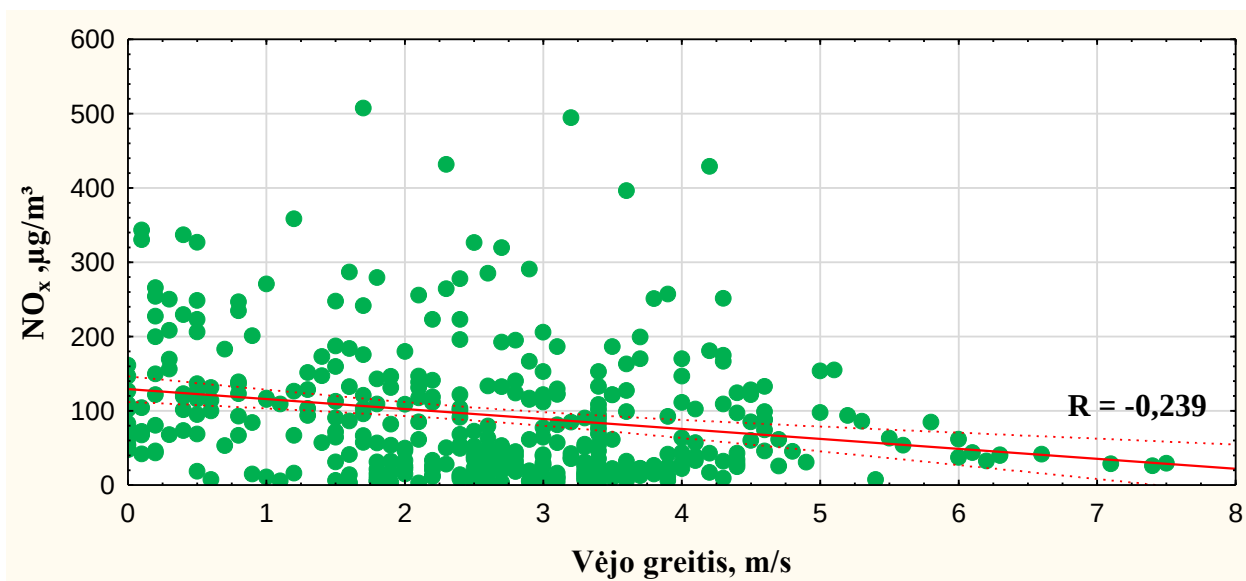
Analizuojant NO₂ koncentracijos kaitą ir meteorologinių parametų duomenis nustatyta, kad santykinis oro drėgnumas su šiuo teršalu sudaro stipriausią ryšį ($R = -0,205$, $p < 0,00$) (žr. 3.3 pav.) tarp tirtų meteorologinių kintamųjų. Silpniausias ryšys nustatytas su vėjo greičio duomenimis ($R = 0,009$, $p = 0,653$). Šie duomenys iš dalies atitinka kitų mokslinių tyrimų išvadas, kurių metu santykinis oro drėgnumas įvardijamas, kaip pagrindinis meteorologinis parametras turintis vieną stipriausią ryšį su šio teršalo koncentracija (Elminir, 2005). Tačiau šiame tyrime nustatyta silpniausia NO₂ koncentracijos koreliacija su vėjo greičiu, tuo tarpu

kituose moksliniuose tyrimuose, šis meteorologinis parametras priešingai, sudaro stipriausią ryšį (Laurinavičienė, 2008; Kimbrough et al., 2013; Vilkaitė ir Dėdelė, 2015).



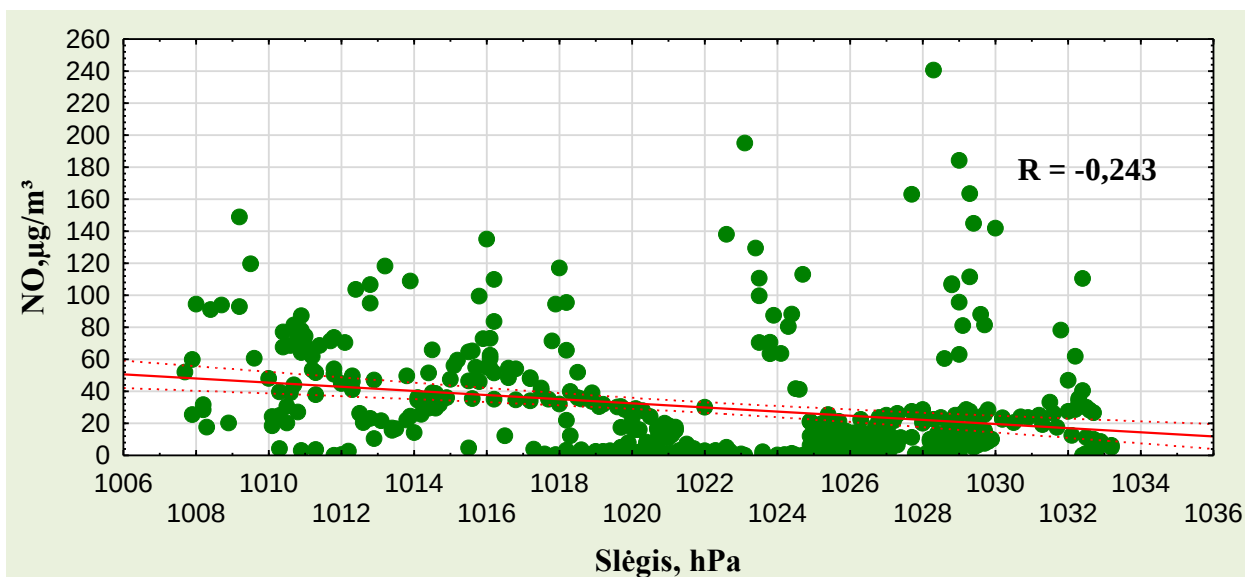
3.3 pav. NO_2 koncentracija ir santykinio oro drėgnumo koreliacinė regresinė priklausomybė

Įvertinus meteorologinių parametų įtaką NO_x koncentracijai nustatyta, jog didžiausias ryšys nustatytas su vėjo greičio ($R = -0,239$, $p < 0,000$) ir santykinio oro drėgnumo ($R = -0,217$, $p < 0,000$) duomenimis (žr. 3.4 pav.). Mažiausias ryšys nustatytas su vėjo kryptimi ($R = -0,014$, $p = 0,800$).



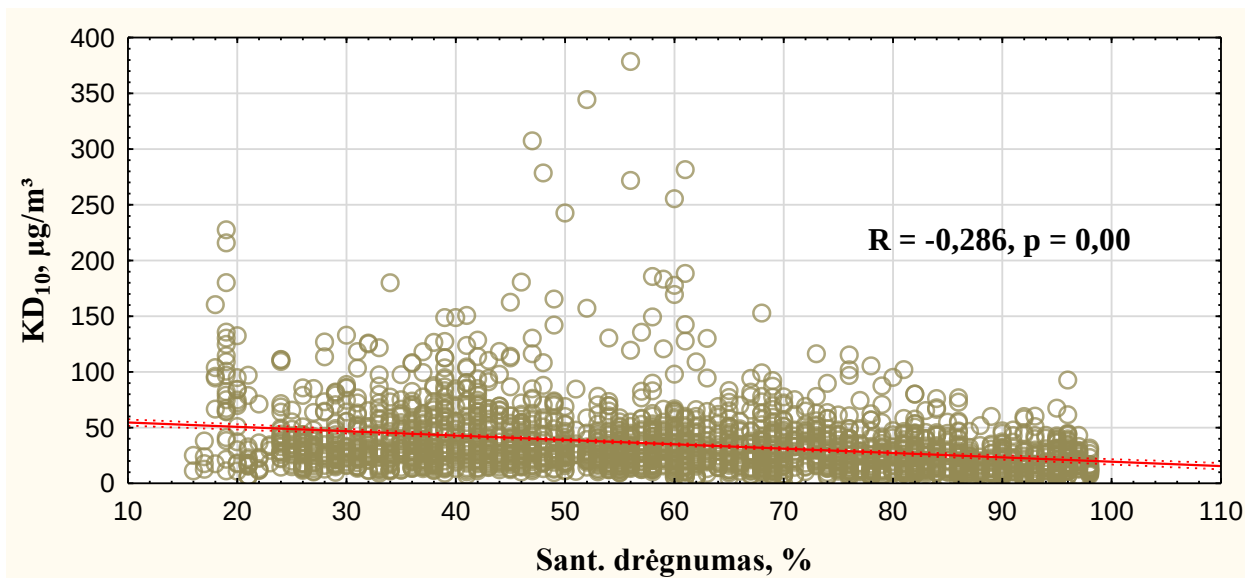
3.4 pav. NO_x koncentracija ir vėjo greičio koreliacinės regresinės priklausomybės

Įvertinus meteorologinių parametų įtaką NO koncentracijai nustatyta, jog stipriausias ryšys pasiektas su atmosferos slėgiu ($R = -0,243$, $p < 0,000$) (žr. 3.5 pav.) ir oro temperatūra ($R = -0,189$, $p < 0,000$). Mažiausias ryšys nustatytas su santykinio oro drėgnumu ($R = -0,0008$, $p = 0,987$).



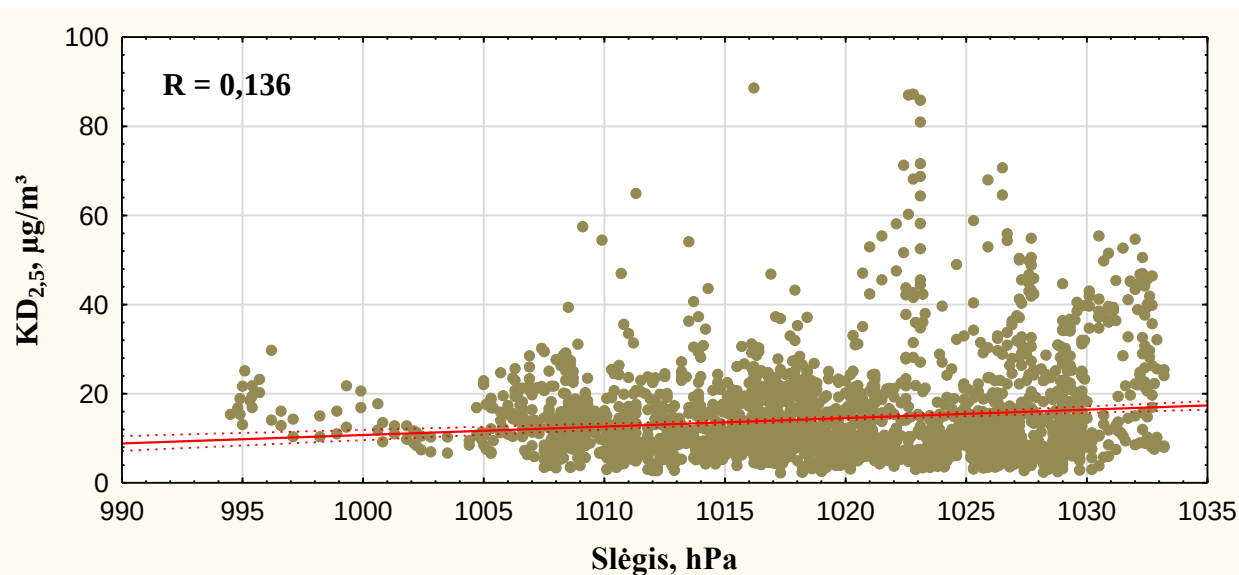
3.5 pav. NO koncentracija ir atmosferos slėgio koreliacinė regresinė priklausomybė

Vertinant meteorologinių veiksnių poveikį KD_{10} koncentracijai Vilniaus mieste, nustatyta, jog stipriausias ryšys pasiektas tarp šių kietųjų dalelių ir santykinio oro drėgnumo ($R = -0,286$, $p < 0,00$) (žr. 3.6 pav.), antras pagal dydį – vėjo greitis ($R = 0,118$, $p < 0,000$), o mažiausias – vėjo kryptis ($R = 0,016$, $p = 0,443$). Reikšmingas santykinio drėgnumo poveikis KD_{10} koncentracijai nustatytas ir kituose moksliniuose tyrimuose (Frišmantas ir Stankūnavičius, 2019; Fortelli et al., 2016; Majewski, Czechowski, Badyda ir Brandyka 2014; Górka–Kostrubiec, Król ir Jeleńska 2012). Rezultatai gali būti paaiškinti tuo, jog vyraujant sausiems, mažo santykinio drėgnumo orams, džiūstant aplinkos paviršiui, vėjas pakelia KD_{10} į aplinkos orą, taip nulemdamas neigiamus oro kokybės pokyčius.



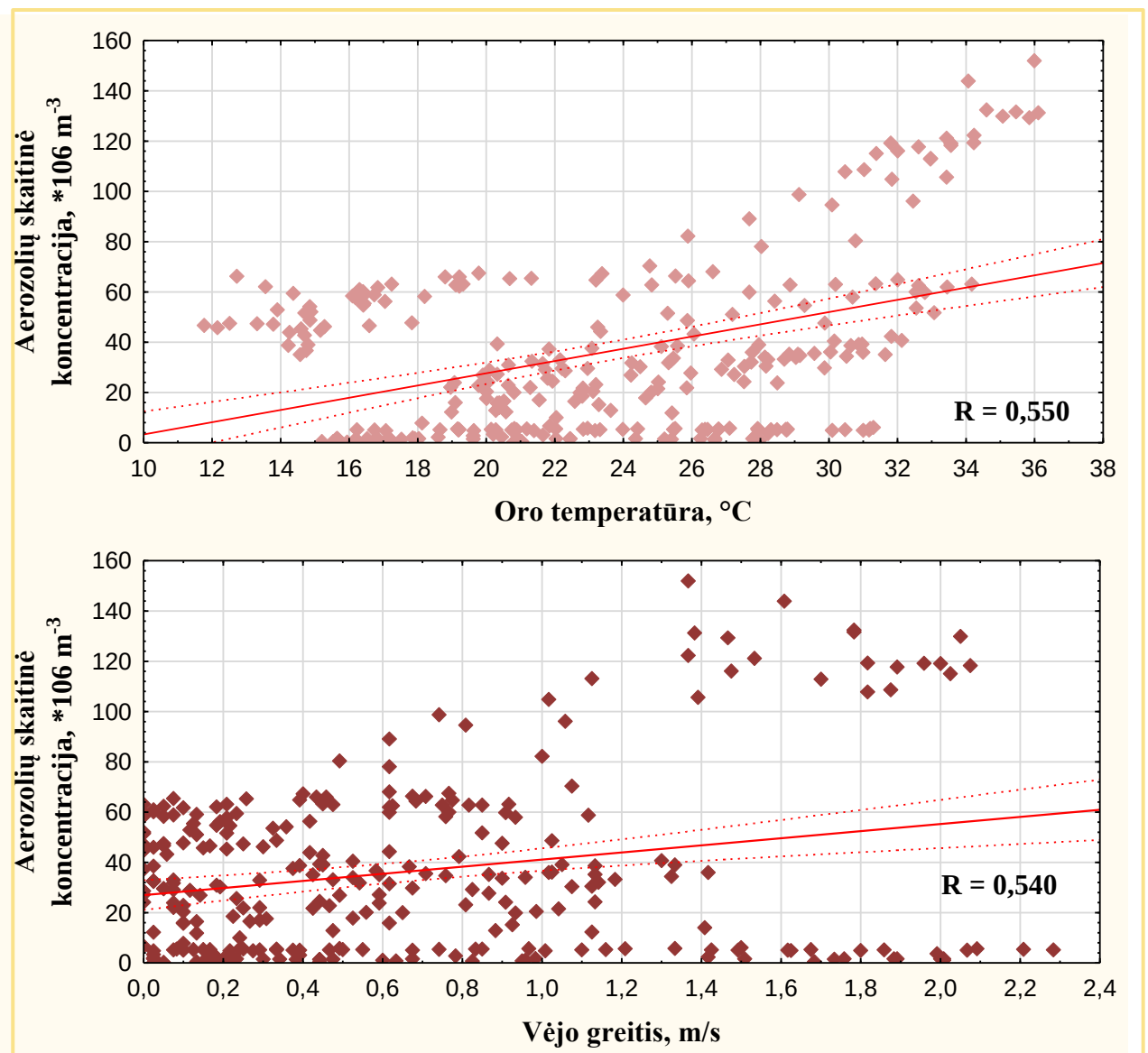
3.6 pav. KD_{10} koncentracija ir santykinio oro drėgnumo koreliacinė regresinė priklausomybė

Analizuojant $KD_{2,5}$ koncentracijos kaitą ir meteorologinių parametrų duomenis nustatyta, kad atmosferos slėgis su šiuo teršalu sudaro stipriausią ryšį ($R = 0,136$ $p < 0,000$) (žr. 3.7 pav.). Silpniausias ryšys nustatytas su vėjo greičio duomenimis ($R = 0,051$, $p = 0,014$).



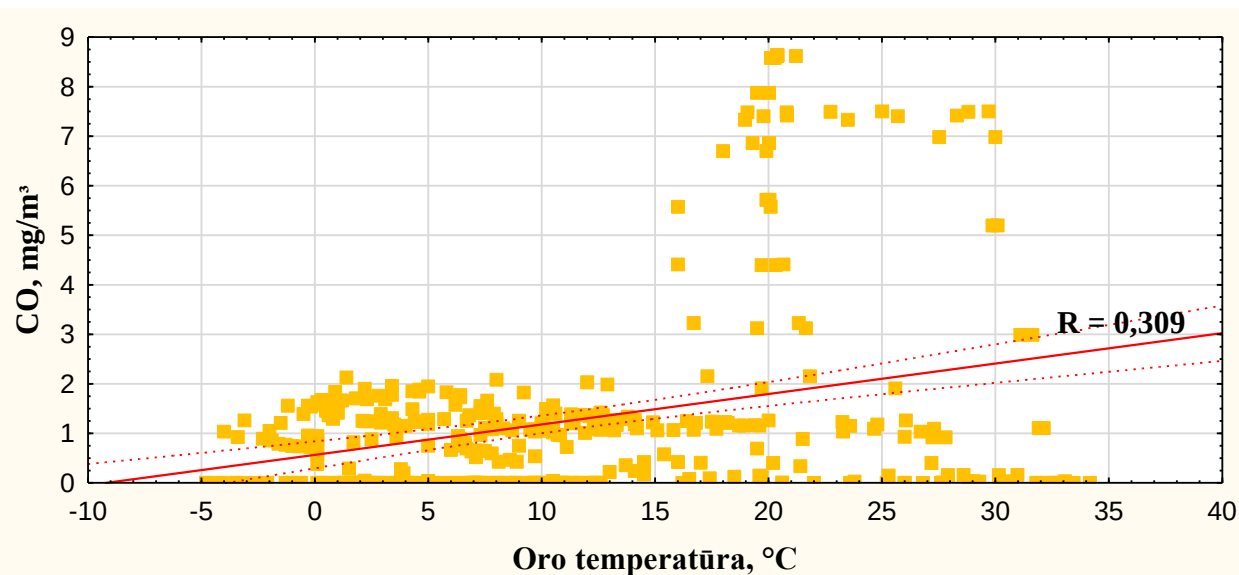
3.7 pav. KD_{2,5} koncentracija ir santykinio oro drėgnumo koreliacinė regresinė priklausomybė

Vertinant meteorologinių veiksnių poveikį aerozolių skaitinei koncentracijai Vilniaus mieste, nustatyta, jog stipriausias ryšys nustatytas tarp šių aerozolių ir oro temperatūros ($R = 0,550$, $p < 0,000$) ir vėjo greičio parametrais ($R = 0,540$, $p < 0,000$) (žr. 3.8 pav.), o mažiausias su vėjo kryptimi ($R = -0,018$, $p = 0,801$). Reikšmingiausi koreliacijos rezultatai tarp šių oro teršalų ir meteorologinių sąlygų stebimi ir kituose moksliniuose tyrimuose (Frišmantas ir Stankūnavičius, 2019; Fortelli et al., 2016; Sahaa, Khlystovb, Snyderc ir Grieshopa 2018). Tiek remiantis moksline literatūra, tiek atlikto tyrimo rezultatais, nustatyta, jog oro temperatūra turi didžiausią ryšį su aerozolių koncentracija, jai augant – auga ir oro tarša šiomis dalelėmis. Tyrimo metu nustatytas vidutinis teigiamas ryšys su vėjo greičio duomenimis. Pagal pateiktą grafiką matyti, jog vėjo greitis maksimalią reikšmę matavimų metu pasiekia iki 2,3 m/s, tikėtina, jog mažas vėjo greitis nepajėgus efektyviai išsklaidyti šių oro teršalų.



3.8 pav. Aerosolių skaitinė koncentracija, oro temperatūros ir vėjo greičio koreliacinės regresinės priklausomybės

Analizuojant CO koncentracijos kaitą ir meteorologinių parametrų duomenis nustatyta, kad oro temperatūra su šiuo oro teršalu sudaro stipriausią ryšį ($R = 0,309$ $p < 0,000$) (žr. 3.9 pav.). Silpniausias ryšys nustatytas su vėjo krypties duomenimis ($R = 0,026$, $p = 0,601$). Remiantis atlikta mokslinė literatūros analize, stebima panaši tendencija ir su kitu moksliniu tyrimu (Vilkaitė ir Dėdelė, 2015), kuriame CO koncentracija ir oro temperatūra sudaro reikšmingus koreliacinius ryšius.



3.9 pav. CO koncentracija ir oro temperatūros koreliacinė regresinė priklausomybė

Apibendrinus Vilniaus miesto teršalų koncentracijos ir meteorologinių parametrų su jomis ryšio analizės nustatyta tik viena vidutinė koreliacija, šešios silpnos koreliacijos ir viena labai silpna. Žvelgiant į apibendrintus rezultatus matoma (žr. 3.1 lentelę), jog dažniausiai oro teršalų koncentracija koreliavo su oro temperatūra, santykinio oro drėgnumu, vėjo greičiu ir atmosferos slėgiu. Nenustatytas nė vienas atvejis, kuomet oro teršalų koncentracijas labiausiai veiktų vėjo kryptis. Šis atvejis kelia abejones, dėl duomenų tikslumo ir tinkamumo, kadangi vėjo kryptis, literatūros analizės metu, dažnu atveju minimas, kaip dažniausiai su oro teršalų koncentracija koreliuojantis kintamasis (Kimbrough et al., 2013). Vėjo krypties duomenys paimti iš LHMT, kurie matuoti ne prie atitinkamų matavimo taškų, o Vilniaus mieste, Trakų Vokėje, esančioje meteorologinėje stotelėje. Tikėtina, jog vėjo kryptį sąlygoja (ir galimai iškreipia) urbanizuota aplinka, pastatų kompozicija šalia kelių, tad galima teigti, jog vertinant šio kintamojo poveikį oro teršalų koncentracijai būtina sąlyga – vėjo krypties fiksavimas kartu su oro teršalų matavimais.

Taip pat iš gautų rezultatų matyti, jog didžiausi teigiami koreliacijos ryšiai nustatyti tik su oro temperatūra, o neigiami ryšiai nustatyti su santykinio oro drėgnumu, atmosferos slėgiu ir vėjo greičiu.

3.1 lentelė. Koreliacinės ryšių reikšmės tarp oro teršalų ir meteorologinių parametrų

Oro teršalas	Didžiausią ryšį su teršalo koncentracija turintis meteorologinis parametras	Koreliacijos reikšmė	Pasiklivimo koeficientas, p
SO ₂	Santykinis oro drėgnumas	-0,356	< 0,000
O ₃	Oro temperatūra	0,463	< 0,000
NO _x	Vėjo greitis	-0,239	< 0,000
NO ₂	Santykinis oro drėgnumas	-0,205	< 0,00
NO	Atmosferos slėgis	-0,243	< 0,000
KD ₁₀	Santykinis oro drėgnumas	-0,286	< 0,00
KD _{2,5}	Atmosferos slėgis	-0,136	< 0,000
Aerozoliai	Oro temperatūra	0,550	< 0,000
CO	Oro temperatūra	0,309	< 0,000

Naudojantis tyrimo duomenimis sudarytos visų analizuojamų oro teršalų priklausomybės nuo meteorologinių kintamųjų lygtys. Kaip buvo minėta anksčiau, šiame tyrime priklausomasis kintamasis – oro teršalo koncentracija, o nepriklausomas – meteorologiniai parametrai (oro temperatūra, santykinis oro drėgnumas, atmosferos slėgis, krituliai, vėjo greitis ir kryptis). Statistiškai patikima koreliacija ($p < 0,05$) nustatyta tarp SO₂ ir šių nepriklausomų kintamųjų:

oro temperatūros, santykinio drėgnumo, paros laiko ir atmosferos slėgio. Įtraukimo–atmetimo metodu sudaryta patikima SO₂ priklausomybės nuo analizuojamų kintamųjų lygtis:

$SO_2 = -84,2 + 0,198 \times \text{vėjo greitis} - 0,032 \times \text{santykinis oro drėgnumas} + 0,084 \times \text{atmosferos slėgis} + 0,080 \times \text{paros laikas}$;

Kintamojo determinacijos koeficientas $R^2 = 0,222$, ši reikšmė rodo, kad 22,2 % SO₂ koncentracijos kitimas priklauso nuo santykinio oro drėgnumo, vėjo greičio, atmosferos slėgio ir paros laiko. Kintamųjų koreliacijos koeficientas $R = 0,471$, rodo silpną koreliacijos ryšį tarp priklausomo teršalo koncentracijos ir nepriklausomų meteorologinių kintamųjų. Analogiški skaičiavimai atlikti ir kitiems oro teršalams.

Remiantis patikimais koreliuojančiais kintamaisiais žemiau pateiktos visos optimalios oro teršalų koncentracijos priklausomybės nuo meteorologinių rodiklių ir paros laiko lygtys (žr. 3.2 lentelę).

3.2 lentelė. Oro teršalų priklausomybės nuo meteorologinių kintamųjų lygtys

Teršalas		Lygties koef.		Oro temperatūra, °C	Sant. drėgnumas, %	Vėjo greitis, m/s	Vėjo kryptis, °	Slėgis, hPa	Paros laikas	Determinacijos koef.	Kintamųjų koreliacijos koef.
				×	×	×	×	×	×	R ² , proc.	R
KD ₁₀	=	64,6	+	-0,426	-0,455	1,081				0,095	0,308
KD _{2,5}	=	-119,5	+	-0,128	-0,059	0,384	-0,006	0,138	0,182	0,050	0,223
NO	=	1661,2	+	-1,096		-4,25	0,032	-1,592	0,821	0,181	0,425
NO _x	=	219,5	+		-1,2066	-19,4				0,146	0,382
NO ₂	=	-537,5	+		-0,341			0,589	0,715	0,065	0,256
SO ₂	=	-84,2	+		-0,032	0,198		0,084	0,08	0,222	0,471
O ₃	=	431,7	+	1,4071		2,608		-0,4014		0,275	0,524
CO	=	27,8	+	0,099	0,036			-0,029	-0,06	0,345	0,588
Aerozoliai	=	-162,6	+	5,395	1,117				0,577	0,290	0,539
Lygtyse paminėta kartų:				6	7	6	2	6	6	Koreliacijos reikšmių skalė	
										Vidutinė	
										Silpna	

Analizuojant gautas lygtis, nustatyta, jog dažniausiai oro teršalų koncentracijos kitimas priklauso nuo santykinio oro drėgnumo (iš 9 lygčių pritaikytas 7 kartus), o mažiausiai nuo vėjo krypties (2 kartai). Patikimiausios lygtys gautos vertinant aerozolių spektro, CO ir O₃ koncentracijos priklausomybes nuo pasirinktų kintamųjų rodiklių (žr. 3.2 lentelę).

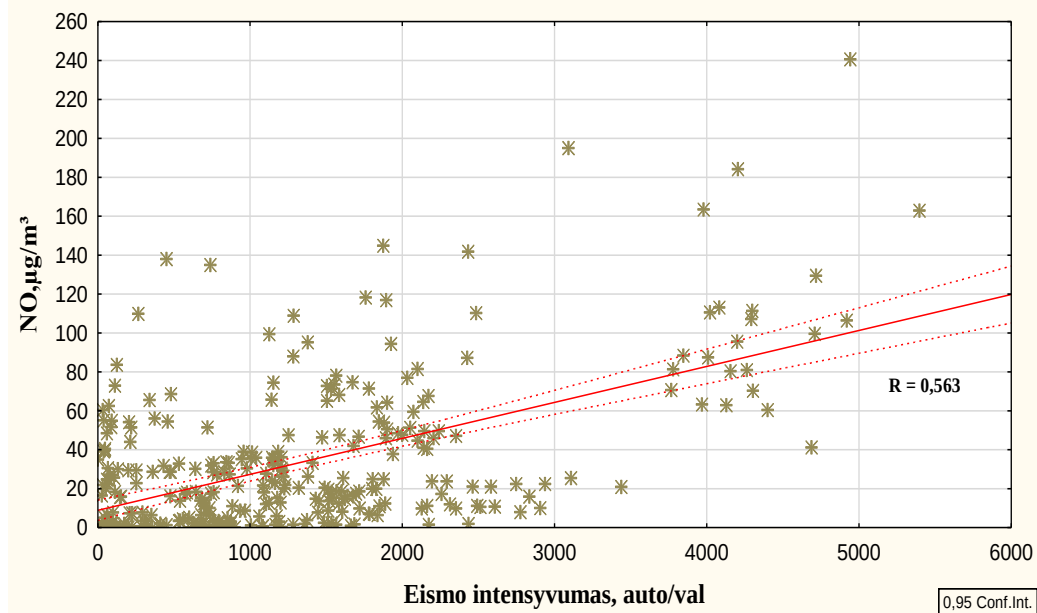
Tyrimo rezultatai dviprasmiški. Kaip buvo minėta anksčiau, šiame darbe SO₂, CO, O₃, aerozolių spektro ir KD₁₀ nustatytos priklausomybės tarp atitinkamų meteorologinių sąlygų sutampa su kitų mokslininkų pateiktomis išvadomis. Galima teigti, jog atitinkamos meteorologinės sąlygos labiausiai veikia šių teršalų koncentracijos kaitą. Tuo tarpu tarp NO ir NO₂ koncentracijos ir atitinkamai šiems teršalams nustatytų koreliacijos reikšmių su meteorologinėmis sąlygomis, stebimas tik dalinis sutapimas su kitų mokslininkų tyrimų rezultatais. Šio tyrimo metu nustatyta, jog NO₂ koncentracija stipriausią ryšį pasiekia su santykinio oro drėgnumu, panašus rezultatas gautas viename iš analizuotų mokslinių tyrimų (Elminir, 2005), tačiau likusiuose analizuotose tyrimuose, kuriuose vertintas NO₂ koncentracijos ir meteorologinių sąlygų ryšys, rezultatai – priešingi. Šiuose tyrimuose stipriausią poveikį oro teršalui turi vėjo greičio parametrai (Kimbrough et al., 2013; Laurinavičienė, 2008; Sahaa, Khlystovb, Snyderc ir Grieshopa 2018), tuo tarpu šiame tyrime vėjo greitis sudaro silpniausią ryšį.

Verta paminėti, jog oro taršą lemia ir daugelis kitų veiksnių, kaip pavyzdžiui, transporto sudėtis, eismo intensyvumas, foninė tarša ir kitos aplinkos sąlygos.

3.2. Oro teršalų susidarymo ir sklaidos priklausomybė nuo eismo intensyvumo

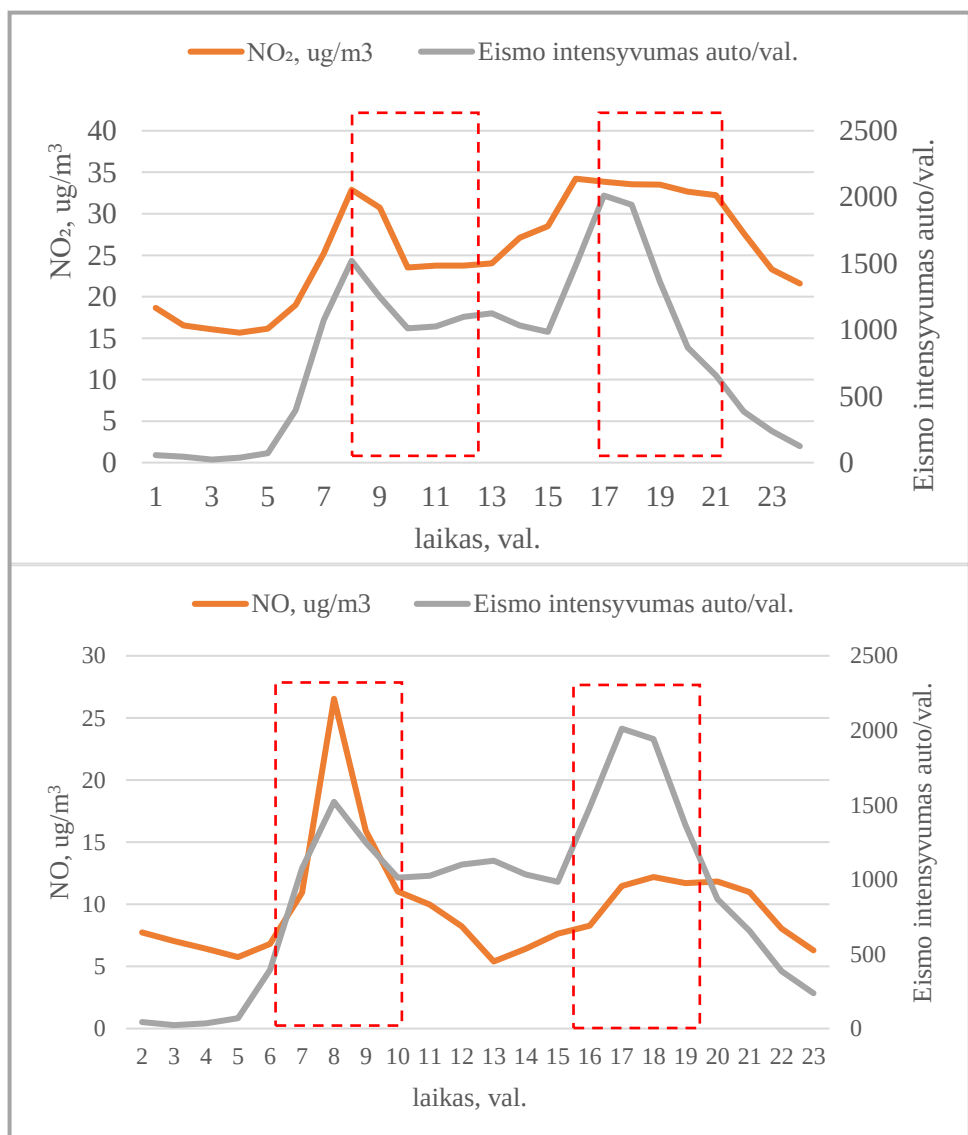
Mobilios transporto priemonės laikomos ir taršos šaltiniu, ir jos išsklaidymo veiksnium. Kuo intensyvesnis eismo srautas, tuo daugiau emisijų patenka į aplinkos orą, tad ši tarša dažniausiai formuojasi urbanizuotose teritorijose (Athar, 2009; Holnicki, Kałuszek, Nahorski, Stankiewicz ir Trapp 2017; Konkovas ir Stankevičius, 2007). Remiantis atlikta literatūros analize, išmetamų emisijų spektras priklauso nuo eismo sudėties, naudojamos kuro rūšies, variklio tipo ir jo darbo režimo (Rapalis, 2017; Rakopoulos ir Giakoumis, 2009). Svarbi oro taršos matavimų sąlyga atstumas iki taršos šaltinio (gatvės) (Karner, Eisinger ir Niemeier 2010).

Tyrimo metu gauta oro teršalų koncentracija analizuota ir vertinta ne tik su meteorologiniais, bet ir su eismo intensyvumo duomenimis. Gauti rezultatai atskleidė, jog eismo intensyvumo duomenys stipriausią ryšį pasiekia su NO koncentracija (žr. 3.10 pav.), o silpniausias ryšys nustatytas su CO koncentracija (žr. 3.3 lentelę). Tokie rezultatai tikėtini, kadangi remiantis mokslinė literatūra, vienas pagrindinių NO išmetimo šaltinių – transporto priemonės. Automobilių degimo dujose išmetama apie 95 % NO, likusioji tenka NO₂ dujoms (Wilk, Magdziarz, Kuźnia ir Jerzak 2010).



3.10 pav. NO koncentracija ir eismo intensyvumo koreliacinė regresinė priklausomybė

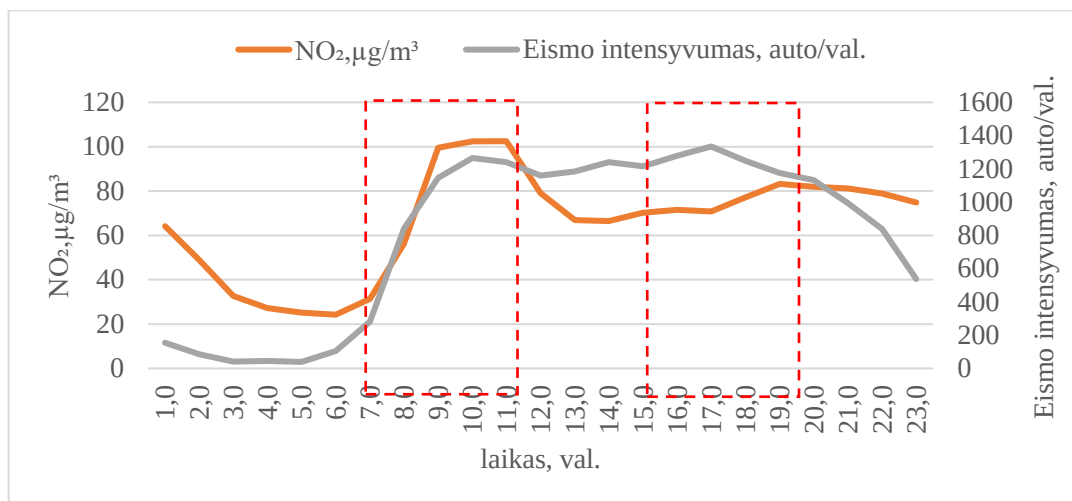
Analizuojant oro teršalų koncentracijos kaitą valandomis paros atžvilgiu, ne visiems oro teršalams nustatyti dėsningi ir reikšmingi ryšiai su paros laiku. Šių dėsningumų nebuvimas galimai leistų teigti, jog šių oro teršalų susidarymui eismo spūsčių formavimasis turi menką poveikį. Aukščiausia koreliacijos reikšmė tarp paros laiko nustatyta su CO koncentracija, koreliacijos reikšmė siekia tik $R = -0,335$, silpniausias ryšys nustatytas su NO ($R = 0,041$) ir KD_{2,5} ($R = -0,051$) koncentracija. Siekiant atlikti detalesnę oro taršos kitimo analizę sąlygojamą eismo srautų intensyvumo ir paros laiko, atlikta laiko variacijos analizė. Žvelgiant į matavimų rezultatų suvestines, tam tikromis rytinėmis ir vakarinėmis valandomis pastebėtas koncentracijos augimas. Šių tendencijų atvaizdavimui pasirinkta viena vidutinio intensyvumo eismo gatvė (Nr. 3) ir viena mažo intensyvumo (Nr. 5), vertintos vidutinės valandinės NO₂ ir NO koncentracijos duomenys. Šiai analizei atlikti pasitelkti Laisvės pr. (Nr. 3) ir Šeimyniškių g. (Nr. 5) eismo srautų vidurkiai.



3.11 pav. NO₂ ir NO valandinė koncentracija ir eismo srautai Laisvės prospekte.

Iš grafiko matyti (žr. 3.11 pav.), jog NO₂ koncentracija pradeda augti ties 5 val. ryto ir piką pasiekia (32,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ties 7 val., tuo pat metu stebimas transporto srauto suintensyvėjimas, atitinkamai nuo 393 iki 1521 auto/val. Vėliau seka NO₂ koncentracijos ir transporto intensyvumo sumažėjimas, 11 val. besiekia 23,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ir 1099 auto/val. Nuo 15–16 val. vėl suintensyvėjus eismo srautams, NO₂ koncentracija šokteli. Panašios tendencijos stebimos su NO koncentracija (žr. 3.11 pav.). Apskaičiuoti Pirsono koreliacijos koeficientai tarp NO ($R = 0,440$), NO₂ ($R = 0,731$) koncentracijos ir eismo intensyvumo duomenų. Koeficientai rodo reikšmingą ryšį tarp šių oro teršalų ir eismo intensyvumo duomenų.

Žvelgiant į mažesnio intensyvumo eismo gatvės rezultatus (žr. 3.12 pav.), išvelgiamas ryškus NO₂ koncentracijos augimas nuo 6 val. ryto, pikas pasiekimas 9–10 val. (102,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), tuo metu stebimas intensyvėjantis automobilių srautas nuo 282 iki 1266 auto/val. Eismo intensyvumas popietinėmis valandomis šiek tiek sumažėja ir nuo 15–16 val. vėl išaugą, pasiekiamas antras pikas dienoje 83,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (18 val.). Apskaičiuotas Pirsono koreliacijos koeficientas tarp NO₂ ($R = 0,581$) koncentracijos ir eismo intensyvumo duomenų. Lyginant Laisvės pr. ir Šeimyniškių g. matavimo rezultatus, nustatyta, jog eismo intensyvumo ir NO₂ koncentracijos kaita rytinėmis (7–10 val.) ir vakarinėmis (16–19 val.) valandomis išraiškingesnė prie intensyvesnės Laisvės pr. eismo gatvės. Šį teiginį pagrindžia apskaičiuotos Pirsono koreliacijos koeficientų reikšmės.



3.12 pav. NO₂ valandinė koncentracija ir eismo srautai Šeimyniškių g.

Remiantis atlikta literatūros analize, svarbu paminėti, jog oro teršalų savybės, meteorologinės ir aplinkos sąlygos skirtingai veikia oro teršalų susidarymą ir sklaidą. Pavyzdžiui, kietosios dalelės, ypač kuo jos mažesnės, ore geba išsilaikyti ilgai, (veikiamos atmosferos reiškinių) migruoti ir nesikaupiti šalia jas generuojančių taršos šaltinių (Cardozo ir Sánchez, 2019; Karner, Eisinger ir Niemeier 2010). Galima daryti išvadą, jog analizuoti kietųjų dalelių ir aerozolių kaitą paros eigoje nėra prasmės, dėl jų gebėjimo ore išsilaikyti ilgai ir nenusėsti ant žemės paviršiaus ir priešingai, kuo jos stambesnės, tuo greičiau nusėsti ir trumpiau išsilaikyti ore. Iš pateiktos rezultatų suvestinės matyti, jog didesnio diametro KD₁₀ koncentracija tiek su eismo, tiek su paros laiko duomenis sudaro stipresnius ryšius nei mažesnio diametro KD_{2,5} (žr. 3.3 lentelę).

3.3 lentelė. Eismo intensyvumo ir oro teršalų koreliacinės regresinės priklausomybės

Oro teršalas	Eismo intensyvumo ir oro teršalo koreliacijos reikšmė	Pasiklivimo koeficientas, <i>p</i>	Paros laiko ir oro teršalo koreliacijos reikšmė	Pasiklivimo koeficientas, <i>p</i>
SO ₂	0,153	0,020	0,189	0,004
O ₃	-0,146	0,033	0,121	0,078
NO _x	0,418	0,000	0,065	0,309
NO ₂	0,172	0,000	0,139	0,000
NO	0,563	0,00	0,041	0,469
KD ₁₀	0,222	0,000	0,085	0,001
KD _{2,5}	0,152	0,000	-0,051	0,047
Aerozoliai	0,255	0,001	0,284	0,000
CO	-0,015	0,791	-0,335	0,000

Nors kaip ir buvo minėta anksčiau, ne visi oro teršalai sudaro reikšmingas ir tendencingas koncentracijos kaitas su rytinėmis ir vakarinėmis intensyvaus eismo valandomis, tačiau matavimų duomenys leido palyginti oro kokybės pokyčius rytinio ir vakarinio piko metu. Rezultatai atskleidė, jog Vilniaus mieste ryte suintensyvėjus eismui oro kokybė šiek tiek prastesnė nei vakare, tačiau koncentracijos skirtumai nedideli (žr. 3.4 lentelę).

3.4 lentelė. Oro teršalų koncentracijos vidurkiai rytinio ir vakarinio piko metu

Laikas, val.	CO, mg/m ³	SO ₂ , μg/m ³	O ₃ , μg/m ³	NO, μg/m ³	NO ₂ , μg/m ³	NO _x , μg/m ³	KD ₁₀ , μg/m ³	KD _{2,5} , μg/m ³
Vidutinė koncentracija								
7:00-8:00	1,80	0,75	27,48	44,60	69,30	145,38	39,60	15,60
17:00-18:00	1,32	1,37	33,22	44,79	67,12	137,72	39,34	15,43
Pokytis, %:	-26,9	82,2	20,9	0,4	-3,1	-5,3	-0,6	-1,1

Nustatyta, jog ryte SO₂, O₃ ir NO koncentracija mažesnė nei vakaro metu, tuo tarpu KD_{2,5}, CO, KD₁₀, NO₂, NO_x koncentracija ryte didesnė nei vakaro metu (žr. 3.4 lentelę). Gautus rezultatus galima paaiškinti intensyvesniais rytiniais eismo srautais ir meteorologinių sąlygų sąveiką.

3.3. Oro teršalų susidarymo ir sklaidos analizė nuo gatvių valymo darbų

Gatvių valymo efektyvumą sąlygoja valymo būdas ir pasirinkta technologija, meteorologinės sąlygos ir regioninė foninė tarša. Šilti ir sausi orai džiovina tiek ant kelio, tiek aplink jį susikaupusius nešvarumus ir dulkes. Šie nešvarumai, kietosios dalelės, judėjimo metu, patenka į aplinkos orą. Kylant vėjo greičiui, keičiantis jo kryptims, vėjas gali atnešti kietąsias daleles ne tik nuo gatvių, bet ir nuo šaligatvių, aikštelių, ar dangos, kuri nėra sutvirtinta žolės. Tad, svarbu profilaktiškai valyti miesto gatves ne tik dėl estetinio vaizdo, bet ir siekiant užkirsti kelią KD patekimui į aplinkos orą.

Aerolių, kurių dydžio koncentracija (dalelių kiekis) siekia 10⁶ m⁻³, koncentracijai nustatyti naudotas skaitiklis AZ-5, o kietųjų dalelių, kurių aerodinaminis diametras siekia 2,5 ir 10 mikrometrų koncentracijai nustatyti naudotas GRIMM EDM 164 kietųjų dalelių analizatorius.

Skaitiklis AZ-5 pasitelktas keturiose matavimo vietose po vieną kartą: Vilniaus vakarinis aplinkkelis (Nr. 2), Laisvės pr. (Nr. 3), Konstitucijos pr. (Nr. 4) ir du kartus Geležinio Vilko g. (Nr. 6). Tyrimų metu nustatyta skirtinga kietųjų dalelių koncentracija. Gautos reikšmės palygintos su turimu gatvių valymo grafiku.

Mažiausia aerolių koncentracija stebėta Konstitucijos pr. (Nr. 4). Šioje matavimo vietoje dalelių kiekis svyravo nuo 0,16 × 10⁶ m⁻³ iki 39,10 × 10⁶ m⁻³, o didžiausios reikšmės Vilniaus vakariniame aplinkkelyje (Nr. 2) siekė nuo 6,72 × 10⁶ m⁻³ iki 151,98 × 10⁶ m⁻³ (žr. 3.5 lentelę).

3.5 lentelė. Minimali ir maksimali aerolių koncentracija

Vietos Nr.	Matavimo vieta	Matavimų data		Eismo intensyvumas (aut./h)	Eismo juostų skaičius viena kryptimi	Leistinas maksimalus greitis, km/val.	Aeroliai	
		mėnuo	dienos				min.	max.
2	Vilniaus vakarinis aplinkkelis	6	10–13	> 3000	3	90	6,7	151,9
3	Laisvės pr.	6	2–6	1000–2000	4	60	1,1	6,2
4	Konstitucijos pr.	6	17–20	1000–2000	3	60	0,2	39,1
6	Geležinio Vilko g.	5	27–30	2000–3000	2	60	35,1	67,5
6	Geležinio Vilko g.	6	24–26	2000–3000	2	60	12,3	64,9

Mobilių oro taršos šaltinių indėlis į pakeltąją taršą vertintas atsižvelgiant į teršalų koncentraciją prieš gatvių valymą ir po. Atliktų matavimų rezultatuose (žr. 3.6 lentelę), pateikta vidutinė, tarp 5 ir 23 val. KD_{2,5} ir KD₁₀ koncentracija bei tarša nuo vieno mobilaus taršos šaltinio (KD_{2,5-10}/aut.). Žvelgiant į kovo, balandžio mėnesių tyrimų rezultatus (žr. 2 priedą) stebimas dažnesnis koncentracijos sumažėjimas, nei gegužės ir birželio mėn. Šis pastebėjimas leidžia daryti išvadą, jog po žiemos, pavasario pradžioje, gatvių valymo darbai yra efektyvesni už vėliau atliekamus.

Remiantis atlikto Stjudento T–testo rezultatais galima teigti, jog statistiškai patikimai skyrėsi oro teršalų koncentracija prieš ir po gatvių valymo darbų. Nustatyta, jog tikimybė, kad rezultatai neatsitiktiniai $KD_{10} - 99,5 \text{ proc.}$, $p = 0,00507$, $KD_{2.5} - 99,6 \text{ proc.}$, $p = 0,00446$.

Remiantis oro teršalų koncentracijos duomenimis prieš valymą ir po (žr. 3.6 lentelę), nustatyta, jog iš visų 128 analizuotų atvejų, 76 atveju teršalų koncentracija ore padidėjo, 43 atveju, koncentracija sumažėjo ir 9 atvejais nepakito. Gautus rezultatus pateikus procentine išraiška, matoma, jog oro kokybė pablogėjo 59 proc., pagerėjo arba nepasikeitė 41 proc. Tad galima daryti išvadą, jog po gatvių valymo darbų susiduriama su didesne tikimybe, jog oro kokybė pablogės nei pagerės.

3.6 lentelė. Oro teršalų koncentracija prieš ir po gatvių valymo darbų

Vieta, gatvė	Prieš valymą			Po valymo		
	KD_{10}	$KD_{2.5}$	$KD_{2.5-10}$	KD_{10}	$KD_{2.5}$	$KD_{2.5-10}$
Šeimyniškių g.	36	10	26	34	15	19
	72	35	37	114	48	66
	55	14	41	35	11	24
	13	5	8	27	8	19
Geležinio Vilko g.	18	9	9	30	21	9
	18	8	10	16	9	7
	54	12	42	58	14	44
	23	8	15	26	10	16
Konstitucijos pr.	30	11	19	35	26	9
	59	31	28	85	37	48
	38	9	29	33	8	25
	31	8	23	40	11	29
Laisvės pr.	26	13	13	22	11	11
	39	13	26	45	17	28
	11	8	3	17	7	10
	15	6	9	21	9	12
Ukmergės g.	30	13	17	29	12	17
	39	13	26	38	13	25
	28	12	16	24	8	16
	39	12	27	47	13	34
Savanorių pr.	30	11	19	63	22	41
	54	16	38	53	14	39
	29	8	21	52	14	38
	43	11	32	52	20	32
Tūkstantmečio g.	53	18	35	40	14	26
	103	26	77	133	25	108
	20	8	12	31	14	17
	38	20	18	46	21	25
Vilniaus vakarinis aplinkkelis	53	18	35	40	14	26
	24	7	17	43	14	29
	13	10	3	15	6	9
	33	11	22	69	21	48
koncentracija:				padidėjo	sumažėjo	nepakito

Neigiamas gatvių valymo poveikis oro kokybei stebėtas oro kokybės matavimų metu. KD_{10} koncentracijos ribinių verčių viršijimo atvejai sutapdavo su gatvių valymo grafiku. Geležinio Vilko g. (Nr. 6) identifikuota tik viena para, kuomet KD_{10} ribinė paros vertė $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ viršyta, tai gegužės 8 d., jos metu KD_{10} koncentracijos paros vidurkis siekė $51,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o tuo tarpu gegužės 7 d. atliktas gatvės valymas. Šis ir kiti viršijimai gali būti paaiškinti analizuojant meteorologinių parametrų ir gatvių valymo sinergiją, kuri sukuria palankias sąlygas KD_{10} viršijimams formuotis. Dieną prieš vyravo stiprūs vėjai iš ŠV, vidutinis paros vėjo greitis siekė $3,7 \text{ m/s}$, kritulių nebuvo, dieną, kuomet nustatytas KD_{10} viršijimas buvo atliekami gatvės valymo darbai, vėjo greitis perpus mažesnis nei dieną prieš, vidutinis vėjo greitis siekė $1,1 \text{ m/s}$, vėjo kryptis PPV (lygiagrečiai gatvei). Tad, susiklosčius palankios meteorologinėms oro sąlygoms, atlikus kelių gatvių valymą nustatytas šis KD_{10} viršijimas.

Matavimų vietos Nr. 4 (Konstitucijos pr.) vykdytos oro kokybės stebėsenos rezultatai atskleidė, jog KD_{10} koncentracija dvi dienas viršijo nustatytą $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ normą, balandžio mėn. 23 d. vidutinė paros koncentracija siekė $56,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o sekančią 24 d. vidutinė paros koncentracija siekė net $80,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tuo tarpu balandžio mėn. 23 d. buvo atliekami gatvių valymo darbai.

Matavimų vietos Nr. 7 (Savanorių pr.) vykdytų oro kokybės matavimų metu nustatyta tik viena diena, kovo 28 d., kuomet buvo viršyta leidžiama paros KD_{10} ribinė vertė, tuo tarpu kovo 27 d. vakare atlikti gatvių valymo darbai, nuo 26 iki 28 dienos vėjo greitis vidutiniškai sumažėjo nuo $3,08 \text{ m/s}$ iki $1,45 \text{ m/s}$, oro temperatūra pakilo nuo $0,53$ iki $2,69$ laipsnio, slėgis kilo nuo $1011,26$ iki 1028 hPa .

Matavimų vietos Nr. 5 (Šeimyniškių g.) identifikuotos trys paros, kuomet KD_{10} ribinė paros vertė $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ viršyta: balandžio 23 d. vidutinė paros $KD_{10} = 68,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, balandžio 24 d. $KD_{10} = 106,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ir gegužės 21 d. $KD_{10} = 50,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Būtina paminėti, jog gatvių valymo darbai buvo atliekami iš balandžio 23 į 24 dieną, iš gegužės 21 į 22 dieną. Vidutinė paros oro temperatūra 22 d. fiksuota $12,8^\circ\text{C}$, o 24 d. jau siekė $15,4^\circ\text{C}$.

Matavimų vietos Nr. 8 (Tūkstantmečio g.) vykdytų oro teršalų stebėsenos metu nustatyti KD_{10} viršijimai. Identifikuotos dvi paros: balandžio 9 d., kuomet $KD_{10} = 85,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ir sekanti 10 d. $KD_{10} = 109,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tuo tarpu gatvių valymo darbai buvo vykdyti iš balandžio 9 į 10 dieną.

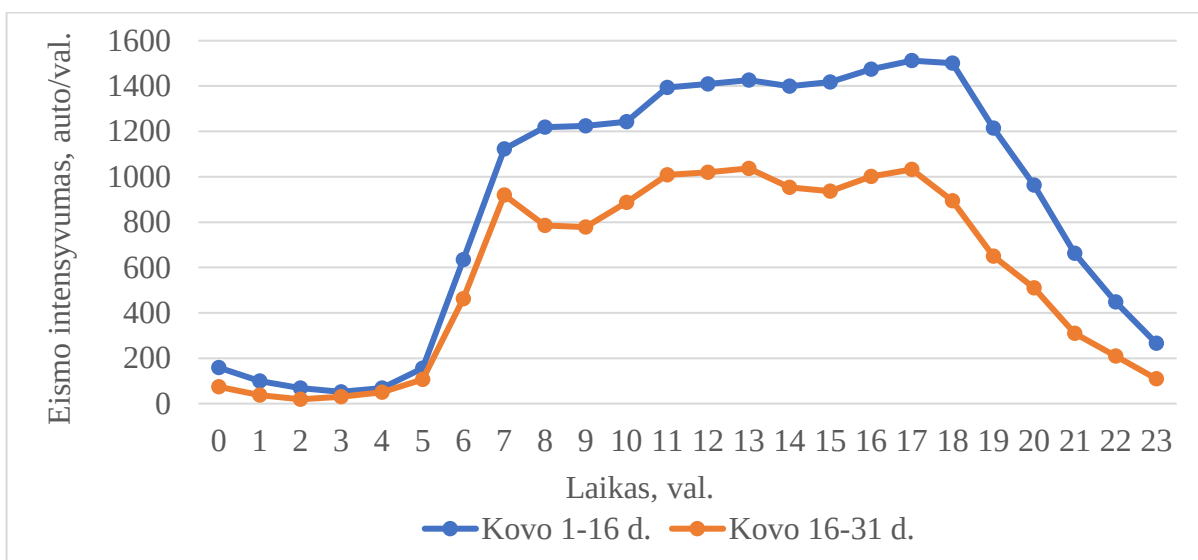
Matavimų vietos Nr. 2 (Vilniaus Vakarinio aplinkkelio) vykdytų oro kokybės matavimų metu nustatytos trys paros, kurių metu viršytos KD_{10} koncentracijos normos. Balandžio 2 d. vidutinė paros $KD_{10} = 58,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$, gegužės 1 d. $KD_{10} = 74,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ir birželio 5 d. $KD_{10} = 60,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Gatvių valymo darbai buvo atliekami iš balandžio 2 į 3 dieną, iš balandžio 30 dienos į gegužės 1 d. ir birželio 4 į 5 dieną.

Vilniaus miesto oro kokybės tyrimo metu visi nustatyti KD_{10} ribinės paros vertės viršijimai fiksuoti tą pačią arba kitą, po valymo darbų atlikimo, dieną (iš visų dvylikos identifikuotų KD_{10} ribinės vertės viršijimų, 10 atvejų nustatyti sekančią dieną po valymo darbų, kiti du viršijimai nustatyti valymo dieną). Galima daryt išvadą, jog gatvės valymo darbai turi neigiamos įtakos oro kokybei, tačiau remiantis tais pačiais tyrimo duomenimis galima teigti, jog tai trumpalaikis pablogėjimas, kurio poveikis paros eigoje greitai mažėja ir trunka ne ilgiau nei para. Tokį oro pablogėjimą po gatvių valymo darbų, dažnu atveju lydėjo padidėjusi oro temperatūra ir pasikeitusi vėjo kryptis.

4. KARANTINO POVEIKIO TYRIMAS VILNIAUS MIESTO ORO KOKYBEI

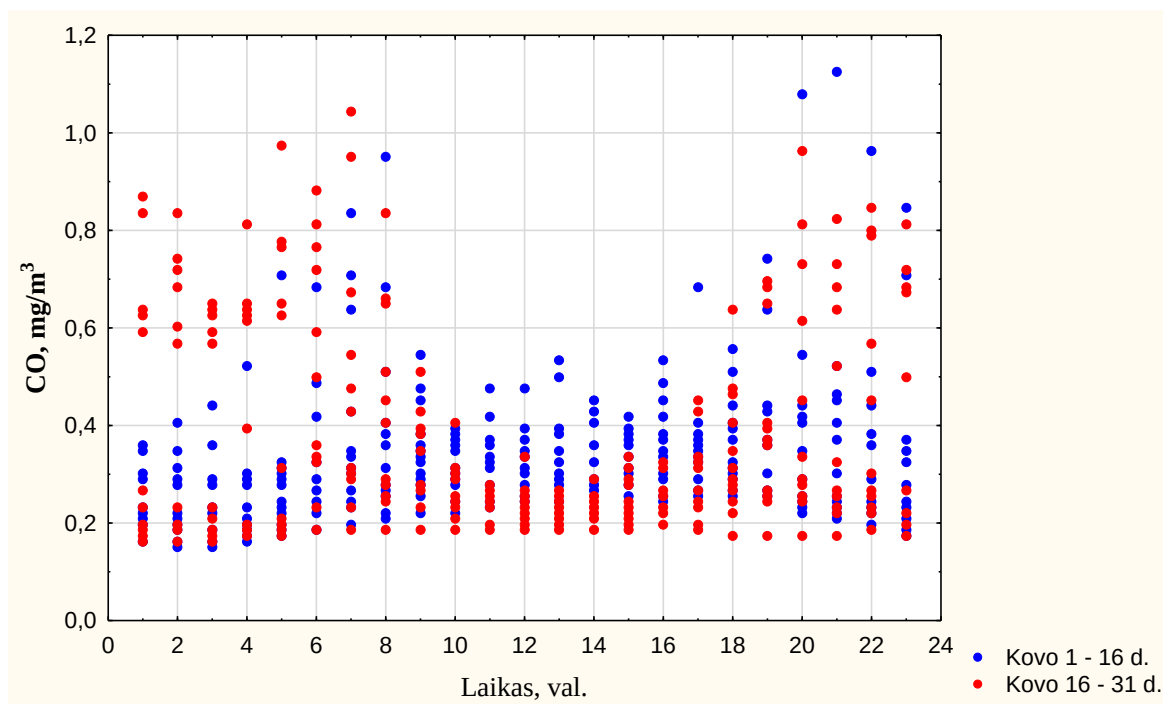
2020 m. sausio 30 d. Pasaulio sveikatos organizacija (toliau – PSO) paskelbė pasaulinę ekstremalią situaciją dėl naujos kvėpavimo takų (toliau – COVID–19) ligos, o kovo 11 d. šį ligos protrūkį įvardijo – pandemija (World Health Organization, 2020). Kaip buvo minėta anksčiau, griežti valdžios veiksmai ir ribojimai nutaikyti į gyventojų judėjimą ir veiklas, lėmė sumažėjusį energijos poreikį ir ženklus oro taršos pokyčius pasaulyje (International Energy Agency, 2020; NASA, 2020). Pirmieji teigiami pokyčiai pastebėti Centrinėje Kinijoje, vėliau oro kokybės pokyčiai fiksuoti Italijoje, JAV. Lietuvoje kovai su šia liga įvestas karantinas (2020 m. kovo 16 d. paskelbta ekstremali situacija valstybės lygiu). Norint įvertinti karantino poveikį Vilniaus miesto oro kokybei atlikta trijų metų laikotarpio oro taršos priklausomybės analizė nuo eismo intensyvumo ir meteorologinių parametrų. Tyrimui atlikti reikalingi oro teršalų koncentracijos duomenys paimti iš šalia Kareivių g. esančios Žirmūnų OKT stoties.

Norint įvertinti Vilniaus miesto eismo pokyčius po karantino paskelbimo, analizuoti 2019 ir 2020 m. kovo mėnesių eismo duomenys. Remiantis atlikto Stjudento T–testo rezultatais, nustatyta, jog statistiškai patikimai skyrėsi eismo intensyvumas 2019 ir 2020 m. kovą, po karantino paskelbimo. Nustatyta, jog tikimybė, kad rezultatai neatsitiktiniai 99,999995 %, $p = 0,0000000546$. Taip pat paskaičiuoti Kareivių g. 2020 m. kovo 1–16 d. ir kovo 16–31 d. eismo valandiniai vidurkiai, kurie atitinkamai siekia 881 auto/val. ir 576 auto/val., stebimas sumažėjimas po karantino įvedimo 305 auto/val. (-34,6 %). Žemiau pateikti atitinkamo laikotarpio valandiniai vidutiniai eismo duomenys (žr. 4.1 pav.).



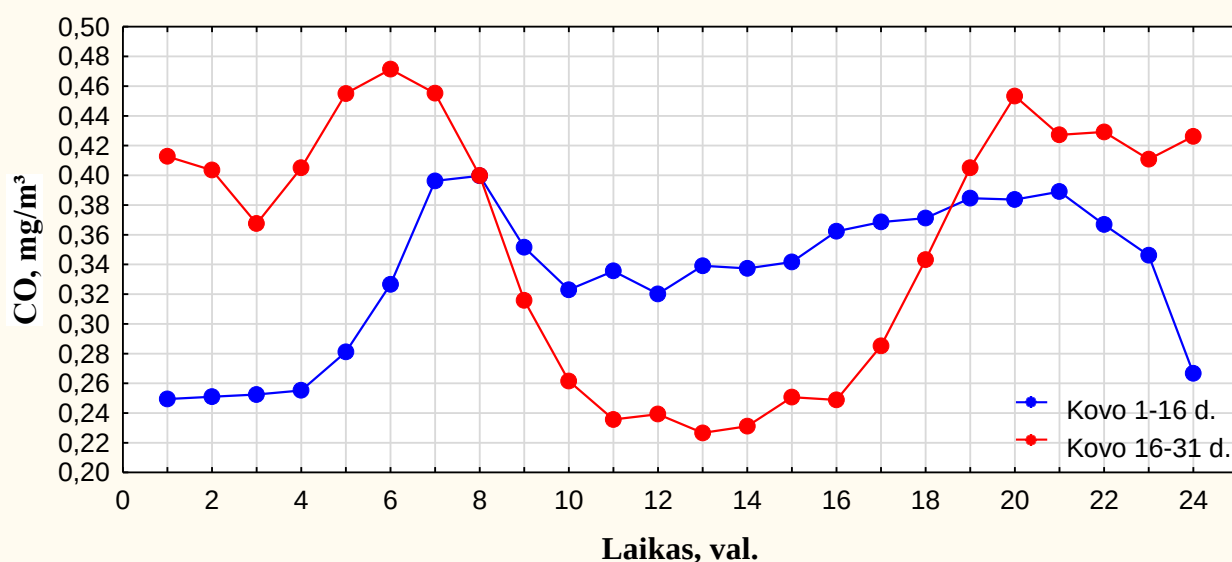
4.1 pav. Eismo intensyvumo pokyčiai Kareivių g. 2020 m. kovo mėn.

Iš susistemintų Eismo srautų aplikacijos duomenų grafiko matyti, jog labiausiai sumažėjo dieniniai nuo 7 val. iki 23 val. eismo srautai. Nustatius eismo intensyvumo sumažėjimą, tolimesnis žingsnis išanalizuoti ir nustatyti ar 2020 m. kovo 1–16 d. ir kovo 16–31 d. oro teršalų koncentracijos vidurkiai skyrėsi (žr. 3 priedą). Žemiau pateiktos visos kovo mėnesio valandinės CO koncentracijos duomenys (žr. 4.2 pav.).



4.2 pav. CO koncentracija 2020 m. kovo mėn.

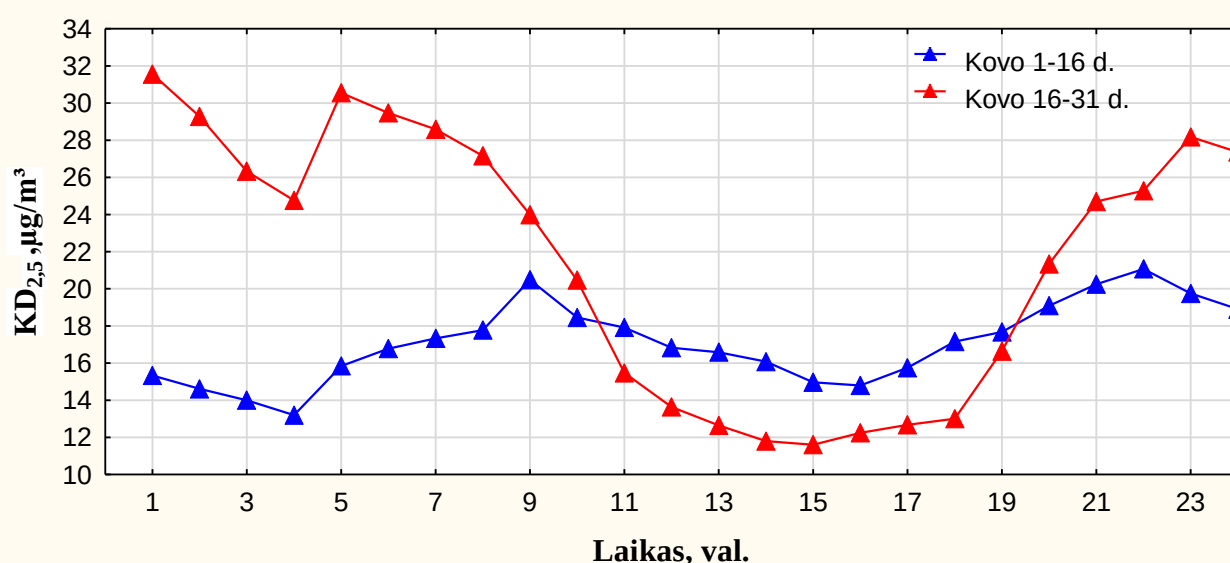
Nustatytos kovo 1–16 d. ir kovo 16–31 d. vidutinės valandinės CO koncentracijos, iš kurių matyti, jog CO koncentracija po karantino paskelbimo, dienos eigoje (tarp 8–18 val.), sumažėjo -21,1 %, o padidėjo 33,1 % ryto ir vakaro metu (nuo 19 iki 7 val.) (žr. 4.3 pav.). Tad, apibendrinus visus kovo mėnesio CO koncentracijos duomenis, nustatyta, jog po karantino paskelbimo oro tarša šiomis dujomis paaugo 7 proc. Toks oro taršos augimas gali būti paaiškintas kovo mėnesio antroje pusėje vyrausiais vėsesniais orais (ypač nakties metu) ir tai lėmusį suintensyvėjusį namų šildymą. Naktį, kovo pirmoje pusėje, atitinkamomis valandomis, vidutinė oro temperatūra siekė apie 3,2 °C, o antroje kovo pusėje ~ 0,3 °C. Analogiški skaičiavimai atlikti ir kitiems oro teršalams.



4.3 pav. Vidutinė CO koncentracija 2020 m. kovo mėn.

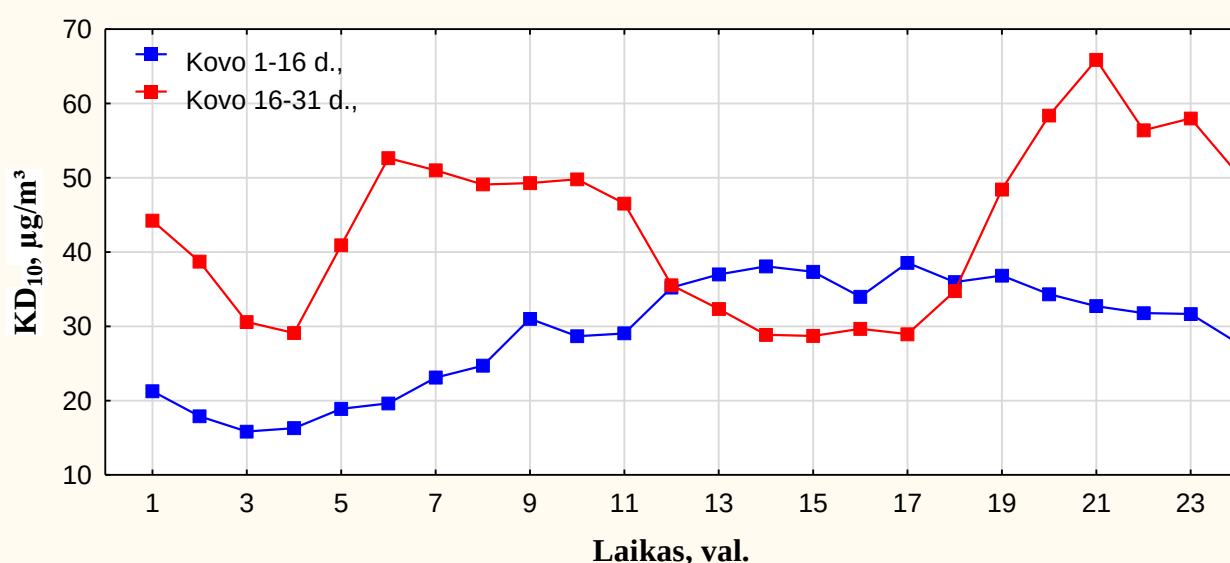
Panaši tendencija nustatyta ir su $KD_{2,5}$ koncentracija. Apskaičiuotos kovo 1–16 d. ir kovo 16–31 d. laikotarpio paros vidutinės valandinės $KD_{2,5}$ koncentracijos reikšmės, kurios rodo, jog $KD_{2,5}$ koncentracija po karantino paskelbimo sumažėjo 19 % vidudienio eigoje (11–19 val.), o padidėjo 51,8 % nakties ir ryto metu (20–10 val.) (žr. 4.4 pav.). Apibendrinus visus kovo

mėnesio $KD_{2,5}$ koncentracijos duomenis, nustatyta, jog po karantino paskelbimo oro tarša šiomis dujomis paaugo 26,3 %.



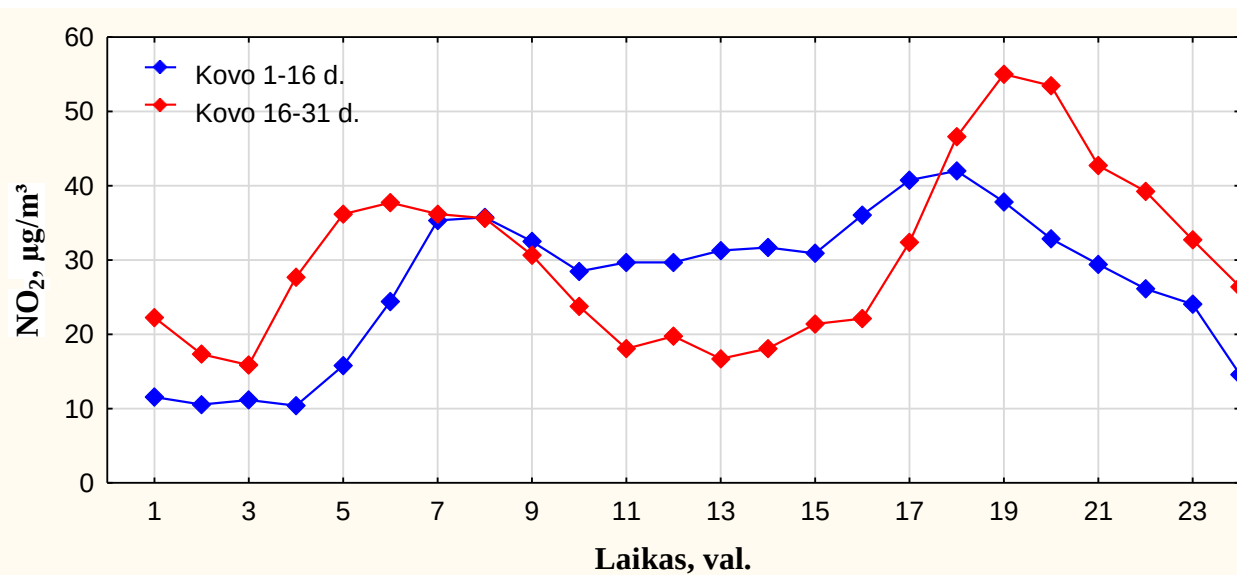
4.4 pav. Vidutinė $KD_{2,5}$ koncentracija 2020 m. kovo mėn.

Analizuojant KD_{10} koncentracijos vidurkius kovo mėnesį, po karantino įvedimo, stebimas šio teršalo padidėjimas 85,6 % nakties ir vakaro metu, o vidurdienį (nuo 12–18 val.) priešingai – sumažėjimas 14,6 % (žr. 4.5 pav.). Apibendrinus visus kovo mėnesio KD_{10} koncentracijos duomenis, nustatyta, jog po karantino paskelbimo oro tarša šiomis kietosiomis dalelėmis paaugo net 48,8 %.



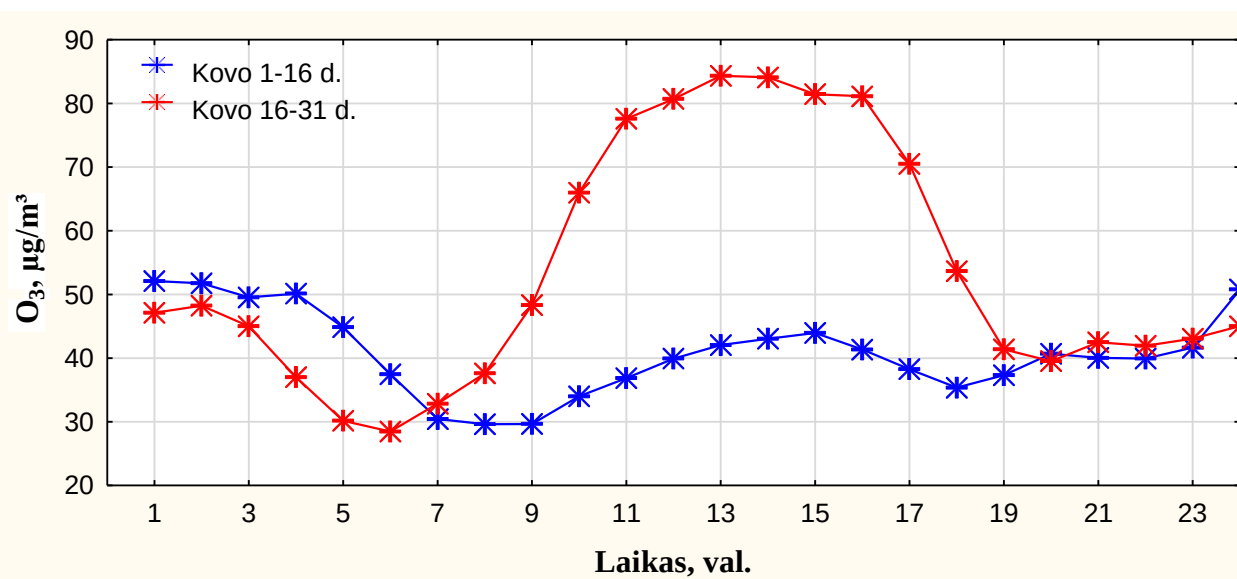
4.5 pav. Vidutinė KD_{10} koncentracija 2020 m. kovo mėn.

Analizuojant NO_2 koncentracijos kaitą po karantino įvedimo, stebimas šio oro teršalo sumažėjimas 27 % dienos metu, nuo 9–17 val., o nakties ir vakaro metu NO_2 koncentracija 50,1 % didesnė (žr. 4.6 pav.). Susisteminus visus kovo mėnesio NO_2 koncentracijos duomenis, nustatyta, jog po karantino paskelbimo oro tarša šiomis dujomis paaugo 11,5 %.



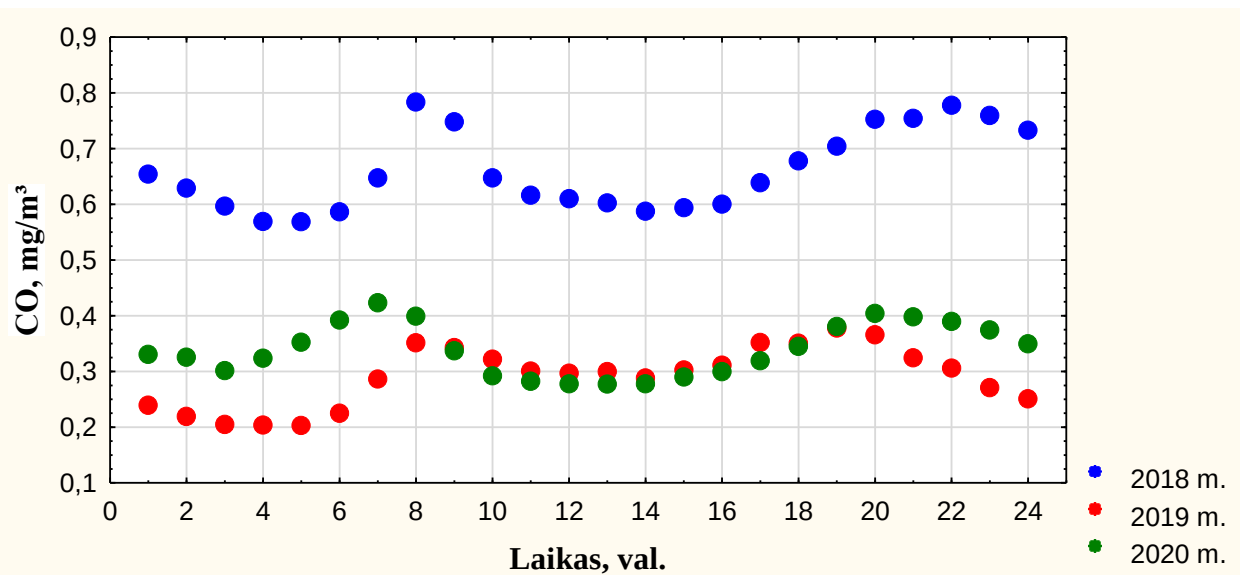
4.6 pav. Vidutinė NO₂ koncentracija 2020 m. kovo mėn.

Analizuojant ozono koncentracijos kaitą kovo mėnesį, po karantino įvedimo, stebėta išaugusi šio teršalo koncentracija dienos metu (žr. 4.7 pav.) koncentracija paaugo 60,3 %, o naktį, tarp 00–8 val., sumažėjo 11,4 %. Remiantis visais kovo mėnesio O₃ koncentracijos duomenimis, nustatyta, jog po karantino paskelbimo oro tarša šiomis dujomis paaugo 31,3 %.



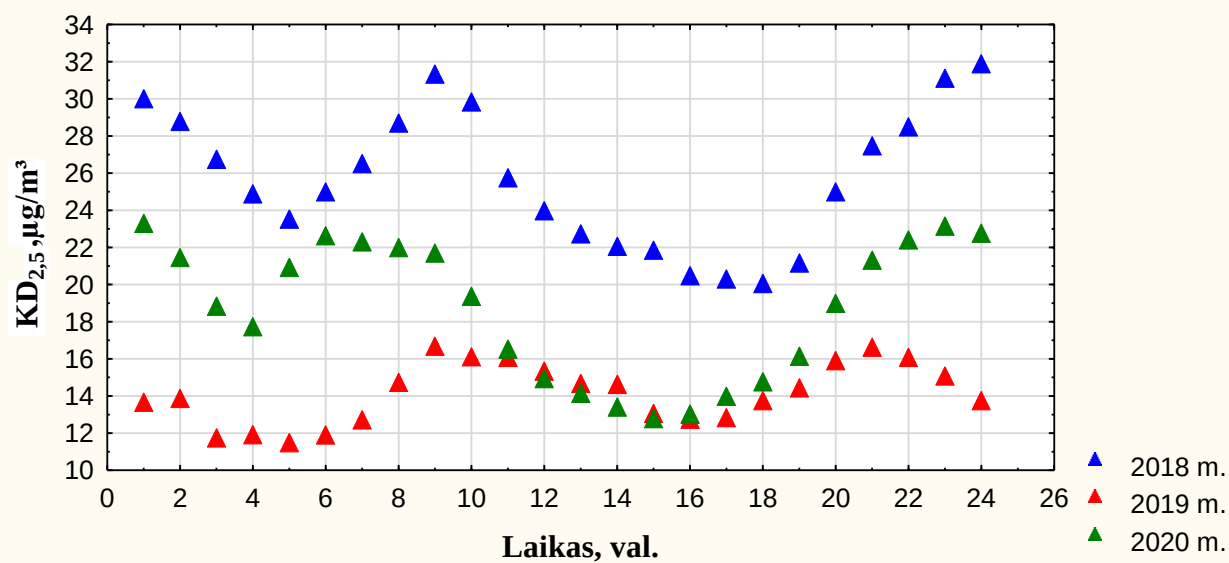
4.7 pav. Vidutinė O₃ koncentracija 2020 m. kovo mėn.

Tolimesnis analizės žingsnis nustatyti, kaip skyrėsi 2018 m., 2019 m. ir 2020 m. kovo mėnesių oro teršalų koncentracija (žr. 4 priedą). Duomenys analizuoti apskaičiavus vidutines viso kovo mėnesio valandines koncentracijas. Nuo 2018 m. stebimas CO koncentracijos mažėjimas, tačiau 2019 m. stebimos mažesnės šio teršalo koncentracijos nakties ir vakaro metu nei 2020 m (žr. 4.8 pav.). Nuo 2018 m. iki 2019 m. vidutinė CO koncentracija sumažėjo 55,8 %, o nuo 2019 iki 2020 m. išaugo 16,42 %.



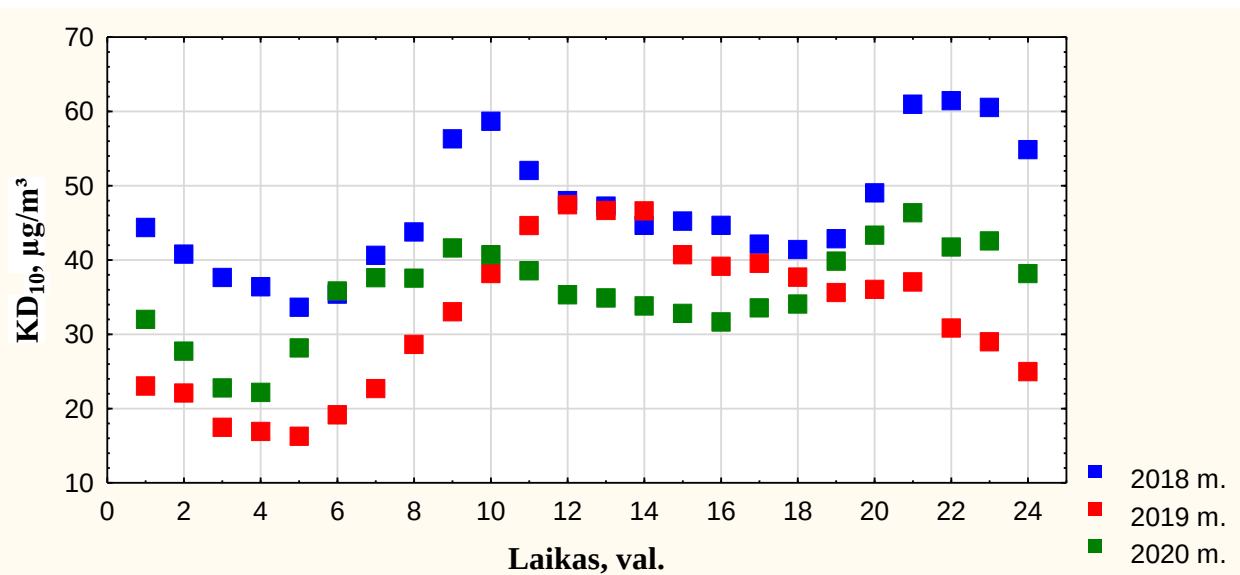
4.8 pav. Vidutinė CO koncentracija 2018–2019–2020 m. kovo mėn.

KD_{2,5} koncentracija kovo mėnesiais iki 2019 m. mažėjo, tačiau 2020 m. stebimas ženklus šio teršalo koncentracijos augimas nakties ir vakaro metu (žr. 4.9 pav.). Remiantis vidutine, kiekvienų metų KD_{2,5} koncentracija, stebimas koncentracijos mažėjimas nuo 2018 iki 2019 m. (atitinkamai nuo 27,73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ iki 14,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.) ir augimas nuo 2019 iki 2020 m. (atitinkamai nuo 14,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ iki 18,69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



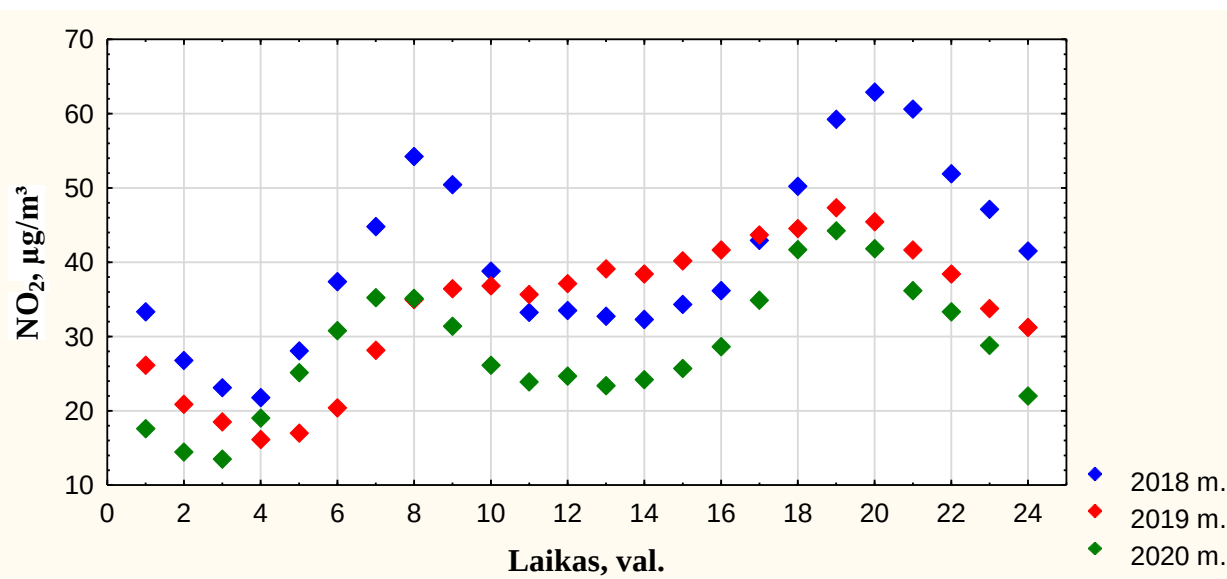
4.9 pav. Vidutinė KD_{2,5} koncentracija 2018–2019–2020 m. kovo mėn.

Tendencingas KD₁₀ koncentracijos mažėjimas nuo 2018 iki 2020 m. stebimas nuo 11 iki 18 val. Lyginant 2019 m. ir 2020 m., stebimas koncentracijos augimas nakties metu, nuo 19 iki 10 val. ryto (žr. 4.10 pav.). Atsižvelgiant į vidutinę, kiekvienų metų KD₁₀ koncentraciją, stebimas koncentracijos mažėjimas nuo 2018 iki 2019 m. (atitinkamai nuo 46,78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ iki 32,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.) ir augimas nuo 2019 iki 2020 m. (atitinkamai nuo 32,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ iki 35,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



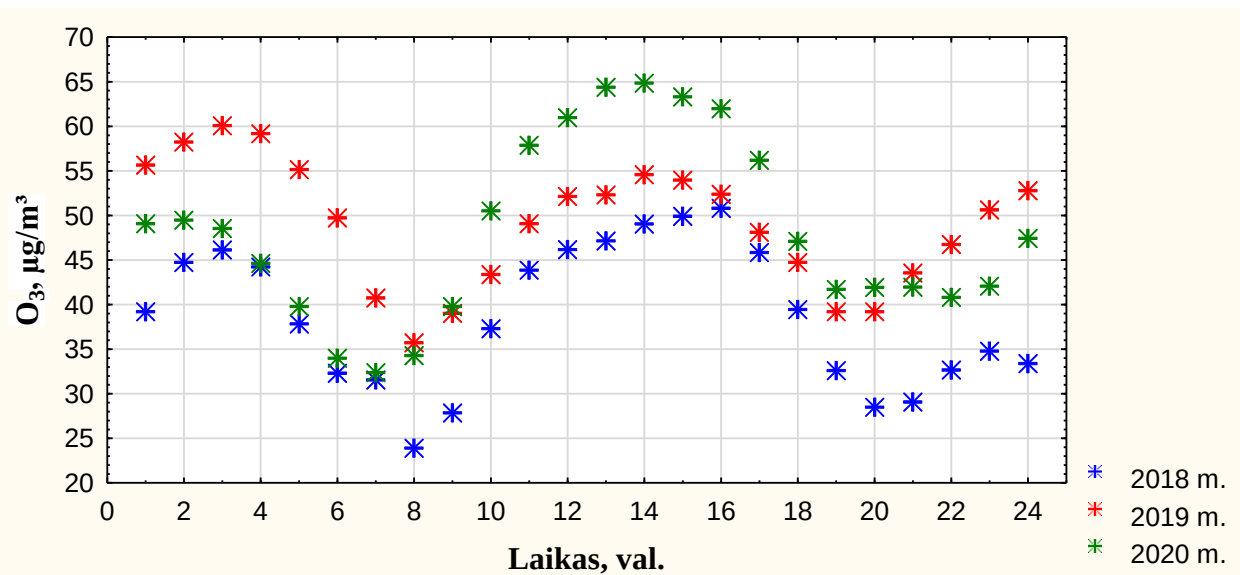
4.10 pav. 2018–2019–2020 m. kovo mėn. vidutinė KD₁₀ koncentracija

Vertinant vidutinės kovo mėnesio valandines 2018–2019–2020 m. NO₂ koncentracijas stebimas tendencingas koncentracijos mažėjimas nuo 18 val. iki 3 val. Taip pat stebimas 2020 m. kovo mėn. NO₂ koncentracijos sumažėjimas nuo 9 iki 3 val. lyginant su ankstesnių metų duomenimis (žr. 4.11 pav.). Apskaičiavus kiekvienų metų kovo mėn. vidutinę NO₂ koncentraciją stebimas mažėjimas: 2018 m. – 40,73 μg/m³, 2019 m. – 33,90 μg/m³ ir 2020 m. – 28,41 μg/m³.



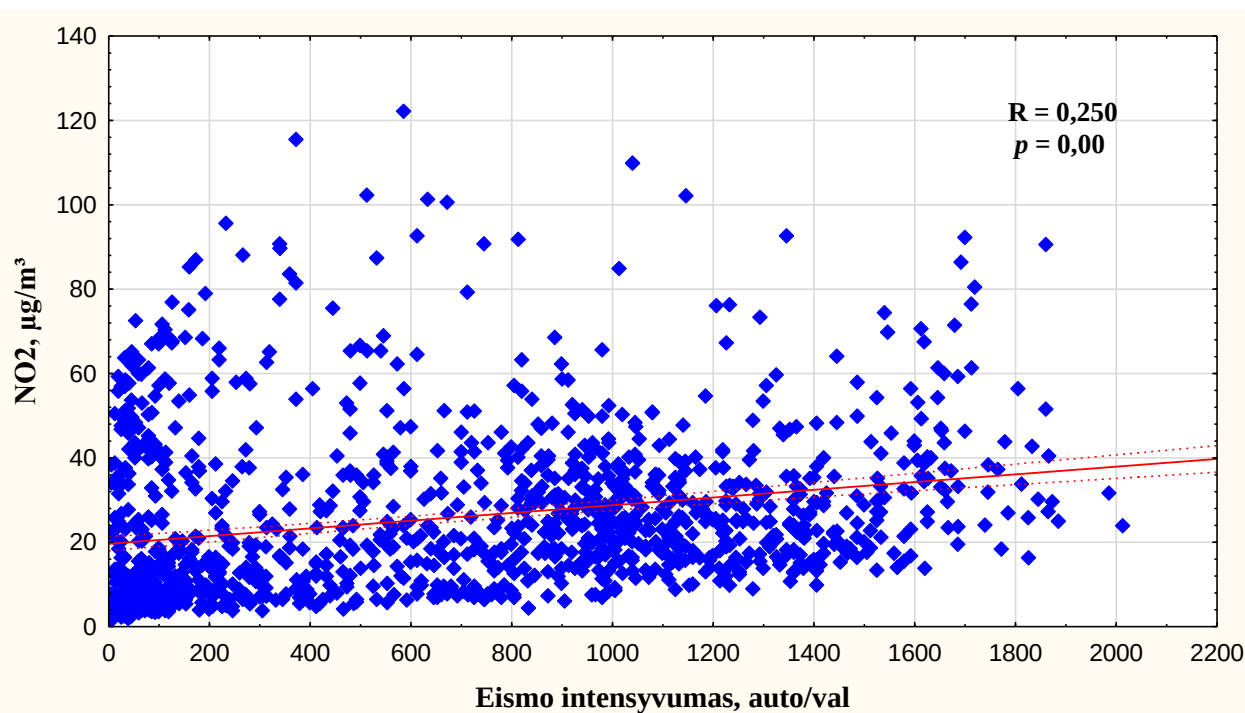
4.11 pav. 2018–2019–2020 m. kovo mėn. vidutinė NO₂ koncentracija

Nuo 2018 m. iki 2020 m. stebimas O₃ koncentracijos augimas nuo 9 val. iki 20 val. Lyginant 2019 iki 2020 m. kovo mėnesių koncentracijas, nakties metu nuo 21 iki 8 val. stebimas šio teršalo koncentracijos sumažėjimas (žr. 4.12 pav.).



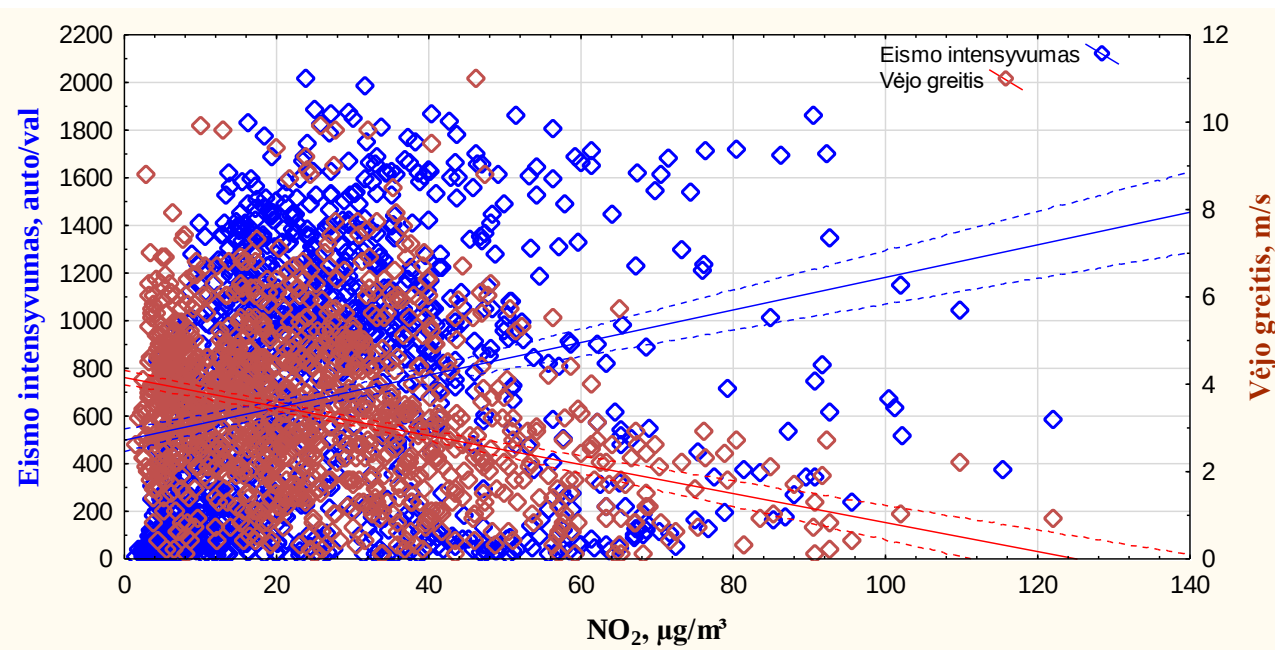
4.12 pav. 2018–2019–2020 m. kovo mėn. vidutinė O_3 koncentracija

Oro teršalų koncentracijos rodikliai analizuoti bei vertinti jų kaita, atsižvelgiant į eismo intensyvumo duomenis. Vertinant 2020 m. kovo ir balandžio mėnesių valandines koncentracijas gauti rezultatai atskleidė, jog stipriausias ryšys nustatytas su eismo intensyvumo duomenimis ir NO_2 koncentracija ($R = 0,250$) (žr. 4.13 pav.), kiek mažesnės reikšmės nustatytos su KD_{10} , o silpniausias ryšys nustatytas su CO ir O_3 koncentracija.



4.13 pav. NO_2 koncentracija ir eismo intensyvumo koreliacinė regresinė priklausomybė 2020 m. kovo–balandžio mėn.

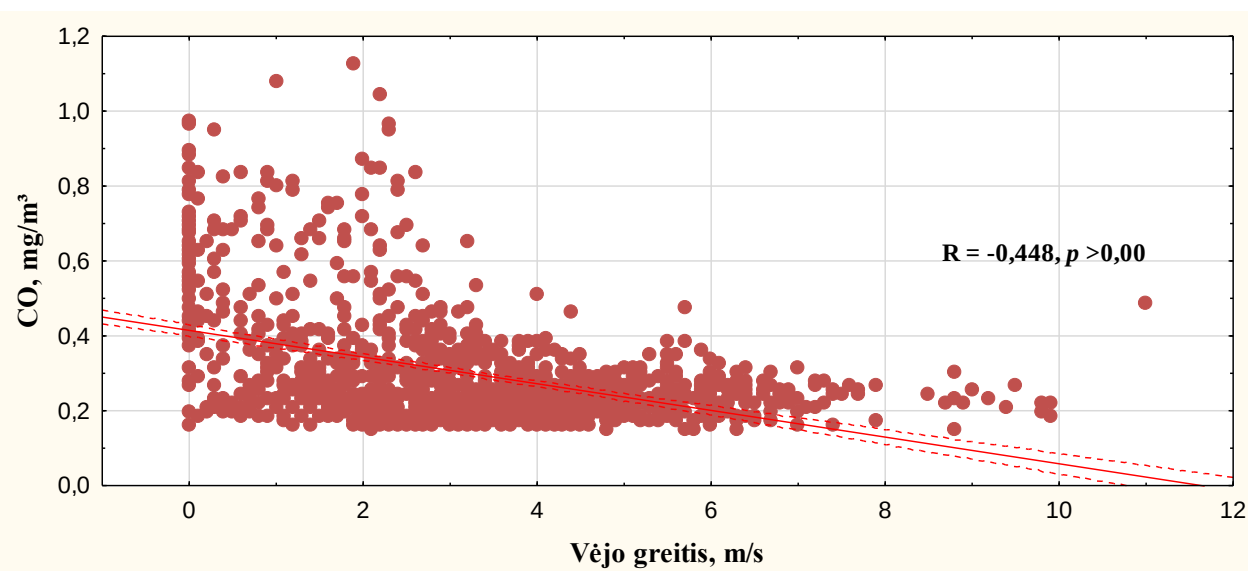
Vertinant meteorologinių veiksnių poveikį 2020 m. kovo ir balandžio mėnesių valandinei NO_2 koncentracijai nustatyta, jog stipriausias ryšys tarp šio teršalo yra su vėjo greičio rodmenimis ($R = -0,336$, $p < 0,00$) (žr. 4.14 pav.) ir atmosferos slėgiu ($R = 0,200$, $p < 0,000$), o mažiausias su santykinio oro drėgnumu ($R = 0,022$, $p = 0,438$) (žr. 5 priedą). Vertinant 2018–2019–2020 m. kovo mėn. priklausomybes, nustatyta, jog didžiausias ryšys nustatytas taip pat su vėjo greičio duomenimis ($R = -0,330$, $p < 0,00$) (žr. 6 priedą).



4.14 pav. NO₂ koncentracija, vėjo greičio ir eismo intensyvumo koreliacinės regresinės priklausomybės 2020 m. kovo–balandžio mėn.

Taip pat nustatyta, jog oro temperatūra, vėjo greitis, slėgis, eismo intensyvumas ir paros laikas lemia 26 % šio teršalo koncentraciją, koreliacijos ryšys – vidutinis ($R^2 = 0,255$, $p < 0,005$, $R = 0,505$). Analogiškai skaičiavimai atlikti ir kitiems oro teršalams.

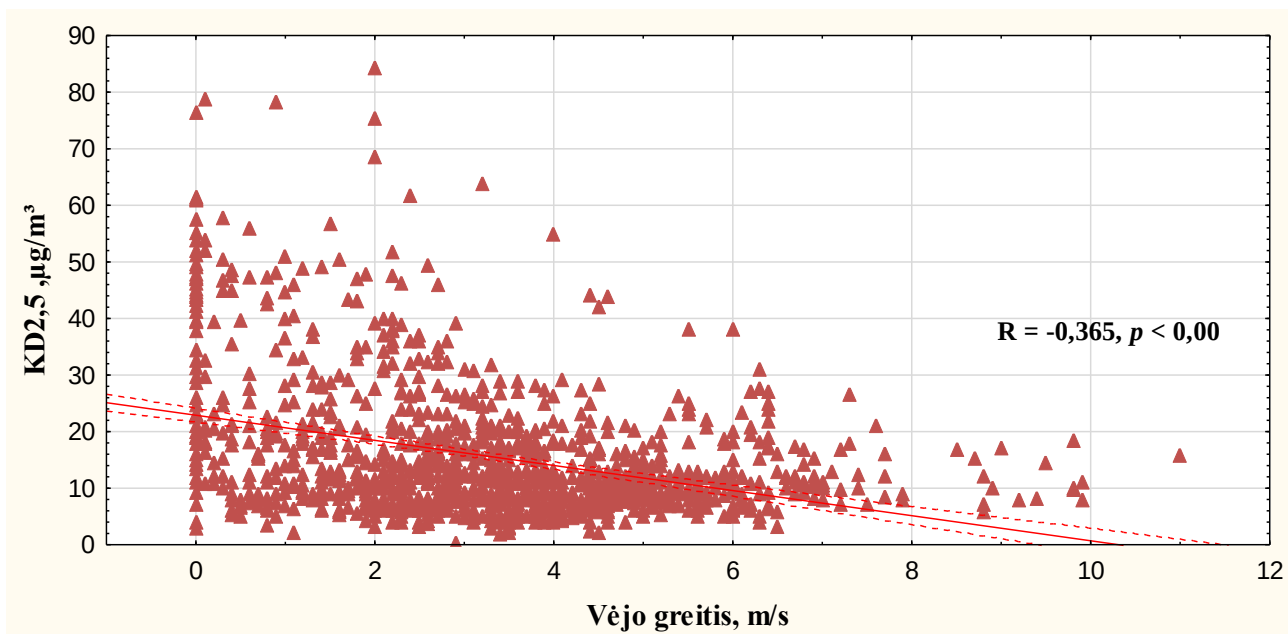
Toliau analizuota CO koncentracijos priklausomybė. Nustatyta, jog paros laikas, santykinis oro drėgnumas, vėjo greitis ir kryptis, atmosferos slėgis lemia 23,3 % šio teršalo koncentraciją, koreliacijos ryšys – silpnas ($R^2 = 0,233$, $p < 0,000$, $R = 0,483$). Didžiausia koreliacija nustatyta su vėjo greičio duomenimis (žr. 4.15 pav.), mažiausias su eismo intensyvumo duomenimis ($p < 0,145$, $R = 0,041$) (žr. 5 priedą). Vertinant 2018–2019–2020 m. kovo mėn. priklausomybes, nustatyta, jog didžiausias ryšys nustatytas taip pat su vėjo greičio duomenimis ($R = -0,448$, $p < 0,00$) (žr. 6 priedą).



4.15 pav. CO koncentracija ir vėjo greičio koreliacinė regresinė priklausomybė

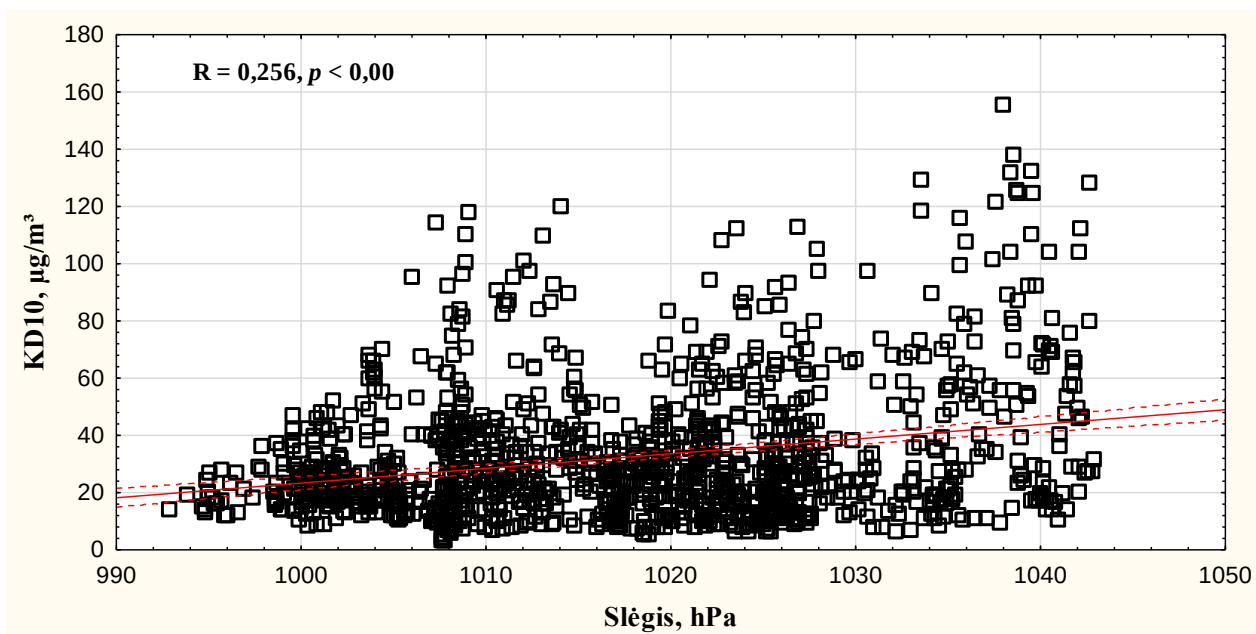
Toliau analizuota KD_{2,5} koncentracijos priklausomybė. Vėjo greičio duomenys su KD_{2,5} koncentracija sudaro stipriausius ryšius (žr. 4.16 pav.), mažiausius su paros laiku ($p < 0,032$, $R = -0,061$) (žr. 5 priedą). Nuo vėjo greičio, vėjo krypties ir paros laiko priklauso 15,9 % šio teršalo koncentracijos ($R^2 = 0,159$, $p < 0,000$, $R = 0,398$). Vertinant 2018–2019–2020 m. kovo

mėn. priklausomybes, nustatyta, jog didžiausias ryšys nustatytas taip pat su vėjo greičio duomenimis ($R = -0,344$, $p < 0,00$) (žr. 6 priedą).



4.16 pav. $KD_{2,5}$ koncentracija ir vėjo greičio koreliacinė regresinė priklausomybė

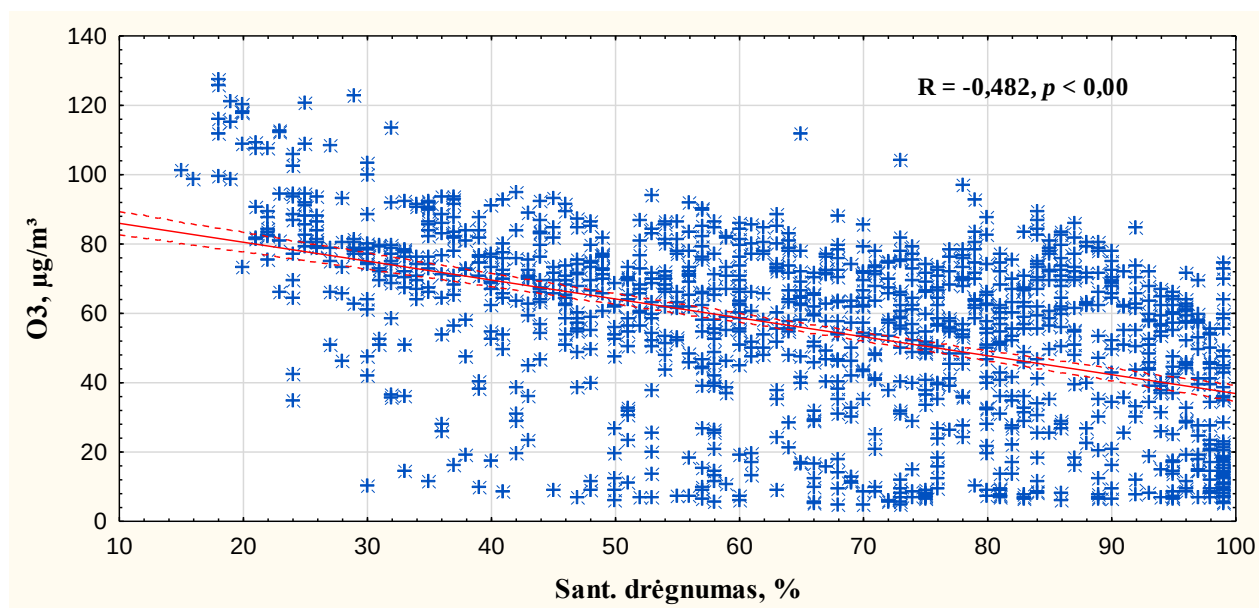
Nustatyta, jog KD_{10} koncentracija labiausiai priklauso nuo atmosferos slėgio (žr. 4.17 pav.), mažiausiai nuo oro temperatūros rodiklių ($R = 0,057$, $p < 0,046$) (žr. 5 priedą). Nustatyta, jog nuo santykinio drėgnumo, vėjo greičio ir krypties, atmosferos slėgio, eismo intensyvumo ir paros laiko priklauso tik 13,6 % šio teršalo koncentracijos ($R^2 = 0,136$, $p < 0,000$, $R = 0,368$). Vertinant 2018–2019–2020 m. kovo mėn. priklausomybes, nustatyta, jog didžiausias ryšys nustatytas su kitu meteorologiniu parametru – santykinio oro drėgnumu ($R = -0,302$, $p < 0,00$), su atmosferos slėgiu nustatyta kiek mažesnė priklausomybė ($R = 0,209$, $p < 0,00$) (žr. 6 priedą).



4.17 pav. KD_{10} koncentracija ir atmosferos slėgio koreliacinė regresinė priklausomybė

Oro temperatūra ($R = 0,437$, $p < 0,00$) ir santykinis oro drėgnumas ($R = -0,482$, $p < 0,00$) (žr. 4.18 pav.) sudaro stipriausius ryšius su 2020 m. kovo–balandžio mėn. O_3 koncentracija, mažiausia su eismo intensyvumu ($R = 0,018$, $p < 0,525$) (žr. 5 priedą). Vertinant 2018–2019–2020 m. kovo mėn. priklausomybes, nustatyta, jog didžiausias ryšys nustatytas su kitu

meteorologiniu parametru – vėjo greičiu ($R = 0,413$, $p < 0,00$), su santykinio oro drėgnumu nustatyta kiek mažesnė priklausomybė ($R = -0,284$, $p < 0,00$).



4.18 pav. O_3 koncentracija ir santykinio oro drėgnumo koreliacinė regresinė priklausomybė

Nustatyta, jog 40 % O_3 koncentracijos ($R = 0,633$, $R^2 = 0,400$, $p < 0,00$) priklauso nuo oro temperatūros, santykinio drėgnumo, vėjo greičio ir krypties ir atmosferos slėgio parametrų.

Apibendrinant karantino poveikio tyrimo rezultatus Vilniaus miesto oro kokybei, nustatyta, jog eismo srautai labiausiai sumažėjo dienos metu tarp 7–23 val. po karantino įvedimo. Įvertinus visų teršalų koncentracijos kaitą 2020 m. kovo mėnesį prieš ir po karantino, stebėtas visų, išskyrus O_3 , oro teršalų koncentracijos sumažėjimas dienos metu (CO tarp 9–18 val., $KD_{2,5}$ 11–19 val., KD_{10} 13–18 val., NO_2 9–17 val.), padidėjimas nakties metu (CO tarp 19–7 val., $KD_{2,5}$ 20–10 val., KD_{10} 19–11 val., NO_2 18–7 val.). Tačiau nagrinėtų oro teršalų sumažėjimą oro kokybės atžvilgiu kompensavo stipriai išaugusi oro tarša vakaro ir nakties metu, šis teršalų koncentracijos pasiskirstymas lėmė prastesnę oro kokybę po karantino įvedimo, nepaisant to, jog eismo intensyvumas sumažėjo. Tikėtina, jog tokius neigiamus oro kokybės pokyčius sąlygojo ne tik meteorologinės sąlygos, bet ir suintensyvėjusio šildymo pasekmė, gyventojams daugiau laiko leidžiant namie. Taip pat svarbu atkreipti dėmesį, jog prieš karantino paskelbimą vidutinė kovo mėn. nakties oro temperatūra siekė $3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, o po paskelbimo $0,07\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Vertinant trijų metų vidutines kovo mėn. koncentracijas nustatyta, jog oro teršalų koncentracija 2020 m. kovą, lyginant su ankstesniais metais, sumažėjo dienos metu (CO tarp 9–18 val., $KD_{2,5}$ 12–15 val., KD_{10} 11–18 val., NO_2 9–3 val.), išskyrus O_3 koncentraciją, kuri sumažėjo nakties metu (21–7 val.). Tačiau apskaičiavus vidutinę kiekvienų metų kovo mėn. teršalų koncentraciją, nustatyta, jog tik NO_2 koncentracija tendencingai mažėjo, nuo 2018 iki 2020 m. šio oro teršalo koncentracija sumažėjo 30,3 %.

2020 m. kovo ir balandžio mėnesių valandinė NO_2 koncentracija su eismo intensyvumo duomenimis sudaro stipriausią ryšį ($R = 0,250$), kiek mažesnės reikšmės nustatytos su KD_{10} , o silpniausias ryšys nustatytas su CO koncentracija.

Apibendrinus Žirmūnų OKT stoties 2020 m. kovo ir balandžio mėnesių valandinius oro teršalų koncentracijos duomenis ir meteorologinių parametrų su jomis ryšio analizes, nustatytos tik silpnos koreliacijos. Žvelgiant į apibendrintus rezultatus matoma (žr. 4.1 lentelę), jog dažniausiai oro teršalų koncentracija koreliavo su vėjo greičio rodikliais.

4.1 lentelė. Koreliacinės ryšių reikšmės tarp oro teršalų ir meteorologinių parametru

Oro teršalas	Didžiausią ryšį su teršalo koncentracija turintis meteorologinis parametras	Koreliacijos reikšmė	Pasiklivimo koeficientas, <i>p</i>
O ₃	Santykinis oro drėgnumas	-0,482	< 0,00
NO ₂	Vėjo greitis	-0,336	< 0,00
KD ₁₀	Atmosferos slėgis	0,256	< 0,00
KD _{2,5}	Vėjo greitis	-0,365	< 0,00
CO	Vėjo greitis	-0,448	< 0,00

Apibendrinant visus tyrimo metu gautus rezultatus, galima teigti, jog eismo intensyvumo sumažėjimas dienos metu sumažino mobiliųjų oro taršos šaltinių išmetamąsias emisijas (labiausiai NO₂), tačiau nakties ir vakaro metu fiksuotas ženklus oro taršos augimas, dėl vėsesnių orų po karantino įvedimo, žmonėms daugiau laiko leidžiant namie, suaktyvėjus namų šildymui, oro tarša išaugo. Tikėtina, jog visos šios sąlygos ir lėmė neigiamus oro kokybės pokyčius po karantino paskelbimo.

Atlikus pagrindinių oro teršalų priklausomybės nuo oro taršą sąlygojančio eismo intensyvumo ir karantino poveikio tyrimus Vilniaus miesto oro kokybei, nustatyta, jog Vilniaus mieste mobilūs taršos šaltiniai labiausiai prisideda prie NO ir NO₂ dujų susidarymo. Šis teiginys paremtas, tuo jog po eismo srautų sumažėjimo karantino laikotarpiu, aplinkos ore NO₂ dujų išaugo kone mažiausiai (+11,5 %.), 2020 m. kovo ir balandžio mėn., karantino metu, valandinė NO₂ koncentracija su eismo intensyvumo duomenimis sudarė stipriausią ryšį ($R = 0,250$), įvertinus 2018–2019–2020 metų vidutines kovo mėn. koncentracijas nustatyta, jog tik NO₂ koncentracija tendencingai mažėjo (-30,3 %), o atlikus 2019 m. Vilniaus miesto oro teršalų koncentracijos priklausomybės analizę su eismo intensyvumo duomenis, nustatytas stipriausias ryšys su NO ($R = 0,563$) ir NO_x ($R = 0,418$) koncentracija.

IŠVADOS

1. Lyginant Vilniaus miesto oro teršalų koncentracijos kaitą su meteorologiniais rodikliais ir eismo intensyvumo duomenis, nustatyta, jog santykinis oro drėgnumas labiausiai lemia SO_2 ($R = -0,356$), NO_2 ($R = -0,205$) ir KD_{10} ($R = -0,286$) koncentraciją, oro temperatūra labiausiai lemia O_3 ($R = 0,463$), aerozolių spektro ($R = 0,550$) ir CO ($R = 0,309$) koncentracijos duomenis, o eismo intensyvumas NO koncentraciją ($R = 0,563$).
2. Nustatyta, jog intensyviausiomis ryto eismo valandomis vidutinės NO ($-0,4\%$), SO_2 ($-82,2\%$) ir O_3 ($-20,9\%$) koncentracijos mažesnės nei vakaro metu ir priešingai, $\text{KD}_{2,5}$ ($1,1\%$), KD_{10} ($0,6\%$) CO ($26,9\%$), NO_2 ($3,1\%$), NO_x ($5,3\%$) koncentracija ryte didesnė nei vakaro metu. Tikėtina, jog pastarųjų teršalų didesnę koncentraciją sąlygoja intensyvesni rytiniai eismo srautai ir meteorologinės sąlygos.
3. Atlikus mobiliųjų oro taršos šaltinių poveikio Vilniaus miesto oro kokybei stebėseną nustatyti dvylika atvejų, kuomet KD_{10} ribinė vertė buvo viršyta. Taip pat nustatytos devynios dienos, kuomet 1 val. ribinė NO_2 norma buvo viršyti 30 kartų, tuo tarpu leidžiama metinė viršijimų norma yra 18 kartų.
4. Atlikus pakeltosios taršos duomenų analizę, nustatyta jog pavasario pradžioje pirmieji gatvių valymo darbai yra efektyvesni už vėliau atliekamus. Taip pat vertinta oro teršalų koncentracija po ir prieš gatvių valymą. Nustatyta, jog tikimybė, kad rezultatai susiję ir neatsitiktiniai $\text{KD}_{10} - 99,5\%$ proc., $p = 0,00507$, o $\text{KD}_{2,5} - 99,6\%$ proc., $p = 0,00446$. Analizės metu nenustatyti reikšmingi oro kokybės pagerėjimai po atliktų gatvės valymo darbų, iš visų dvylikos identifikuotų KD_{10} ribinės vertės viršijimų, 10 atvejų nustatyti sekančią dieną po valymo darbų, kiti du viršijimai nustatyti valymo dieną.
5. Karantino įvedimo laikotarpiu, sumažėjus eismo intensyvumui, oro teršalų koncentracijos sumažėjimą dienos metu kompensavo stipriai išaugusi oro tarša vakaro ir nakties metu. Tikėtina, jog nakties ir vakaro metu fiksuotą ženklų oro taršos augimą lėmė vėsesni orai kovo pabaigoje ir namų šildymo suaktyvėjimas, sąlygotas žmonių, kurie karantino metu ilgesnį laiką praleido namie. Oro tarša kovo mėnesį po karantino įvedimo lėmė visų oro teršalų koncentracijos augimą: CO 7% , $\text{KD}_{2,5}$ $26,3\%$, KD_{10} $48,8\%$, NO_2 $11,5\%$, O_3 $31,5\%$.
6. 2020 m. kovo ir balandžio mėn., karantino metu, valandinė NO_2 koncentracija su eismo intensyvumo duomenimis sudaro stipriausią ryšį ($R = 0,250$). Šiuo tiriamuoju laikotarpiu oro teršalų koncentraciją labiausiai įtakojo vėjo greičio parametrai (NO_2 ($R = -0,336$), CO ($R = -0,448$) ir $\text{KD}_{2,5}$ ($R = -0,365$)).

Gintarė Alminauskaitė

vardas, pavardė



parašas

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Ali, M. and Athar, M. (2008). Air pollution due to traffic, air quality monitoring along three sections of National Highway N-5, Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136:219–226. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1283-0>
2. Ali, M. and Athar, M. (2010). Impact of transport and industrial emissions on the ambient air quality of Lahore City, Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 171:353–363. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9677-3>
3. Amato, F., Querol, X., Alastuey, A. ir Pandolfi, M. (2009). Evaluating urban PM10 pollution benefit induced by street cleaning activities. *Atmospheric Environment*, 43(29), 4472–4480. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.06.037>
4. Aplinkos apsaugos agentūra. (2017). *Oro kokybė Lietuvoje 2017 m.* http://oras.gamta.lt/files/Apzvalga_oro_kokybe_2017.pdf
5. Aplinkos apsaugos agentūra. (2018). *Oro kokybė Lietuvoje 2018 m.* http://oras.gamta.lt/files/Apzvalga_oro_kokybe_2018.pdf
6. Aplinkos apsaugos agentūra. (2020). *Oro užterštumo normos.* <http://oras.gamta.lt/cms/index?rubricId=260ccbe8-5401-4f3b-adb1-b4ab1b9aa2b5>
7. A, R. J., Mijling, B., Ding, J., Koukouli, M. E., Liu, F., Li, Q., Mao, H. ir Theys, N. (2017). Cleaning up the air: effectiveness of air quality policy for SO₂ and NO_x emissions in China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17, 1775–1789. <https://doi.org/10.5194/acp-17-1775-2017>
8. Baldauf, R., Thoma, E., Hays, M., Shores, R., Kinsey, J., Gullett, B., Kimbrough, S., Isakov, V., Long T., Snow R., Khlystov, A., Weinstein, J., Chen, F.L., Seila, R., Olson, D., Gilmour, I., Cho, S.H., Watkins, N., Rowley P. ir Bang, J. (2008). Traffic and Meteorological Impacts on Near-Road Air Quality: Summary of Methods and Trends from the Raleigh Near-Road Study. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 58(7):865–78. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.58.7.865>
9. Baltrėnas, P., Vaitiekūnas, P., Vasarevičius, S. ir Jordaneh, S. (2008). Dispersion modelling of solid particles from vehicle exhaust into the atmosphere. *Ekologija*, 54(2), 117–123. DOI: 10.2478/v10055-008-0019-8
10. Blocken, B., Janssen, W.D. ir van Hooff, T. (2012). CFD simulation for pedestrian wind comfort and wind safety in urban areas: general decision framework and case study for the Eindhoven University campus. *Environmental Modelling & Software*, 30, 15–34. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.11.009>
11. Bukantis A., Rimkus E. ir Stankūnavičius, G. (2003). Atmosferos taršos kaitos urbanizuotose teritorijose prognozė. *VU Geografijos metraštis*, 36-2. http://www.gamtostyrimai.lt/uploads/publications/docs/214_2f86db07cf885e8b079168b27ddfc171.pdf
12. Cadotte, M. W., (2020). Early evidence that COVID-19 government policies reduce urban air pollution. *EarthArXiv*, <https://doi.org/10.31223/osf.io/nhgg3>
13. Cardozo, J. I. H. ir Sánchez, D. F. P. (2019). An experimental and numerical study of air pollution near unpaved roads. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 12, 471–489. <https://doi.org/10.1007/s11869-019-00678-9>
14. Cassee, F.R., Heroux, M.E., Gerlofs-Nijland, M.E., Kelly, F.J. (2013). Particulate matter beyond mass: recent health evidence on the role of fractions, chemical constituents and sources of emission. *Inhalation Toxicology*, 25(14), 802-812. <https://doi.org/10.3109/08958378.2013.850127>
15. Chen, H., Bai, S., Eisinger, D., Niemeier, D. ir Claggett, M. (2008). Modelling uncertainties and near-road PM 2.5: a comparison of Caline4, Cal3Qhc and Aermid. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2123(1), 26–37. <https://doi.org/10.3141/2123-04>
16. Chen, J.X., Fu, X. ir Wegman, J. (1999). Real-time simulation of dust behavior generated by a fast traveling vehicle. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, 9(2), 81–104. <https://doi.org/10.1145/333296.333366>

17. Chiusolo, M. Cadum, E. Stafoggia, M. Galassi, C. Berti, G. Faustini, A. Bisanti, L. Vigotti, M.A. Dessì M.P., Cernigliaro A., Mallone, S. Pacelli, B. Minerba, S. Simonato, L. Forastiere, F. (2011). Short-Term Effects of Nitrogen Dioxide on Mortality and Susceptibility Factors in 10 Italian Cities: The EpiAir Study. *Environmental Health Perspectives*, 119(9). <https://doi.org/10.1289/ehp.1002904>
18. Chock, D.P. (1978). A simple line-source model for dispersion near roadways. *Atmospheric Environment*, 12, 823–832. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(78\)90019-7](https://doi.org/10.1016/0004-6981(78)90019-7)
19. Cohen, A.J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H.R., Frostad, J., Estep, K., Balakrishnan, K., Brunekreef, B., Dandona, L., Dandona, R., Feigin, V., Freedman, G., Hubbell, B., Jobling, A., Kan, H., Knibbs, L., Liu, Y., Martin, R., Morawska, L., Pope, C.A., Shin, H., Straif, K., Shaddick, G., Thomas M., Dingenen, van R., Donkelaar, van A., Vos, T., Murray, C.J.L. ir Forouzanfar M.H. (2017). Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet*, 389, 1907–1918. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30505-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6)
20. Choudhary, A. ir Gokhale, S. (2018). Evaluation of emission reduction benefits of traffic flow management and technology upgrade in a congested urban traffic corridor. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21, 257–273. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1634-z>
21. Dahl, A., Gharibi, A., Swietlicki, E., Gudmundsson, A., Bohgard, M., Ljungman, A., Blomqvist, G. ir Gustafsson, M. (2006). Traffic generated emissions of ultrafine particles from pavement-tire interface. *Atmospheric Environment*, 40, 1314–1323. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.10.029>
22. D'Amato, G., Vitale, C., Lanza, M., Molino, A. ir D'Amato, M. (2016). Climate change, air pollution, and allergic respiratory diseases: an update. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, 16(5), 434–440. <https://doi.org/10.1097/aci.0000000000000301>
23. Darginavičiūtė, D. ir Zigmontienė, A. (2007). Aplinkos taršos pramoniniuose rajonuose tyrimai ir analizė. Iš: *10-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“* (pp. 533–541) Vilnius: Technika.
24. Dėdelė, A. ir Miškinytė, A. (2013) Dispersinio ADMS-Urban modelio taikymas NO₂ koncentracijos sklaidos nustatymui Kauno mieste. *Žmogaus ir gamtos sauga*, 84–87. <https://hdl.handle.net/20.500.12259/49602>
25. Dėdelienė, K. ir Dėdelė, A. (2013) Oro tarša priežemio ozonu ir jo poveikis žmonių sveikatai ir augalijai. *Žmogaus ir gamtos sauga*, 133–136. <https://hdl.handle.net/20.500.12259/49514>
26. Duenas, O., Fernandez, M. C., Canete, S., Carretero, J., Liger, E., (2002). Assessment of ozone variations and meteorological effects in an urban area in the Mediterranean coast. *The Science of the Total Environment*, 299, 97- 113.
27. Dutheil, F., Baker, J. S. ir Navel V. (2020). COVID-19 as a factor influencing air pollution? *Environmental Pollution*, 263(A). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114466>
28. Elminir H. K. (2005). Dependence of urban air pollutants on meteorology. *Science of The Total Environment*, 350(1–3), 225–237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.043>
29. Environment S.A. (2008). Techninė instrukcija AC32M chemiliuminescencinis azoto oksidų analizatorius.
30. Etyemezian, V., Ahonen, S., Nikolic, D., Gillies, J., Kuhns, H., Gillette, D. ir Veranth, J. (2004). Deposition and removal of fugitive dust in the arid southwestern United States: measurements and model results. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 54(9), 099–111. <https://doi.org/10.1080/10473289.2004.10470977>
31. Fortelli, A., Scafetta, N. ir Mazzarella, A. (2016). Influence of synoptic and local atmospheric patterns on PM₁₀ air pollution levels: a model application to Naples (Italy). *Atmospheric Environment*, 143, 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.08.050>
32. Frišmantas, D. ir Stankavičius, G. (2019). Didelio oro užterštumo epizodų meteorologinės sąlygos Vilniuje. *Geologija. Geografija*, 5(1). <https://doi.org/10.6001/geol-geogr.v5i1.3991>
33. Gerardin, F. ir Midoux, N. (2016). Attenuation of road dust emissions caused by industrial vehicle traffic. *Atmospheric Environment*, 127, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.12.006>

34. Gillies, J.A., Etyemezian, V., Kuhns, H., Nikolic, D. ir Gillette, D.A. (2005). Effect of vehicle characteristics on unpaved road dust emissions. *Atmospheric Environment* 39(13), 2341–2347. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.05.064>
35. Gumerova, E. ir Gamayunova, O. (2018). Control of air pollution caused by vehicular emissions. *MATEC Web of Conferences*, 245(12001). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824512001>
36. Górka-Kostrubiec, B., Król, E. ir Jeleńska, M. (2012). Dependence of air pollution on meteorological conditions based on magnetic susceptibility measurements: a case study from Warsaw. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 56(3), 861–877. <https://doi.org/10.1007/s11200-010-9094-x>
37. Grubliauskas, R., Bradulienė, J., Zagorskis, A., Paliulis, D., Pranskevičius, M. (2017). Aplinkos oro kokybės valdymo programų rengimo metodika. http://lsa.lt/wp-content/uploads/2018/01/dokumentai_metodika_oro_kokybe.pdf
38. He, M.Z., Kinney, P.L., Li, T., Chen, C., Sun, Q., Ban, J., Wang, J., Liu, S., Goldsmith, J. ir Kioumourtoglou M. A. (2020). Short- and intermediate-term exposure to NO₂ and mortality: A multi-county analysis in China. *Environmental Pollution*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114165>
39. He, L., Zhang, S., Hu, J., Li, Z., Zheng, X., Cao, Y., Xu, G., Yan, M. ir Wu Y. (2020). On-road emission measurements of reactive nitrogen compounds from heavy-duty diesel trucks in China. *Environmental Pollution*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114280>
40. Holmes, N.S. ir Morawska, L. (2006). A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles: an overview of different dispersion models available. *Atmospheric Environment*, 40(30), 5902–5928. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.06.003>
41. Holnicki, P., Kałuszek, A., Nahorski, Z., Stankiewicz K. ir Trapp W. (2017). Air quality modeling for Warsaw agglomeration. *Archives of Environmental Protection*, 42(1), 48–64. <https://doi.org/10.1515/aep-2017-0005>
42. Hoek, G., Krishnan, R.M., Beelen, R., Peters, A., Ostro, B., Brunekreef, B. ir Kaufman J.D. (2013). Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. *Environ. Health*, 12 (43). <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-43>
43. Huang, L., Gong, S.L., Gordon, M., Liggio, J., Staebler, R., Stroud, C.A. ir Jia, C.Q. (2014) Aerosol-computational fluid dynamics modelling of ultrafine and black carbon particle emission, dilution, and growth near roadways. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(23), 12631–12648. <https://doi.org/10.5194/acp-14-12631-2014>
44. Yasar, A., Haider, R., Tabinda, A.B., Kausar, F. ir Khan, M. (2013). A Comparison of Engine Emissions from Heavy, Medium, and Light Vehicles for CNG, Diesel, and Gasoline Fuels. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(4), 1277–1281. <http://www.pjoes.com/A-Comparison-of-Engine-Emissions-from-Heavy-r-nMedium-and-Light-Vehicles-for-CNG,89090.0,2.html>
45. Jacobson, M. Z. (2001). A Global through urban scale air pollution and weather forecast model. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 106(D6), 5385–5401. <https://doi.org/10.1029/2000JD900560>
46. Januškaitienė, I. (2009). *Aplinkos duomenų analizės ir modeliavimo laboratoriniai darbai: Metodinė priemonė*. Kaunas: VDU.
47. Jia, S., Liu, X. ir Yan, G. (2018). The dynamic analysis of a vehicle pollutant emission reduction management model under economic means. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21, 243–256. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1631-2>
48. Jonson, J. E., Borken-Kleefeld, J., Simpson, D., Nyíri, A., Posch M. ir Heyes, C. (2017). Impact of excess NO_x emissions from diesel cars on air quality, public health and eutrophication in Europe. *Environmental Research Letters*, 12(9). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8850/>
49. Kāla, A., Vaivada, M. ir Šreivičienė, V. (2020). *Vilniaus miesto savivaldybės Aplinkos oro kokybės valdymo programa 2020–2025 m. Projektas*. https://vilnius.lt/wp-content/uploads/2020/02/Vilniaus_OKVP_programa_su_priedais.pdf
50. Kahl, J. D.W. and Chapman, H. L. (2018). Atmospheric stability characterization using the Pasquill method: A critical evaluation. *Atmospheric Environment*, 187, 196–209. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.05.058>

51. Karner, A.A., Eisinger, D.S. ir Niemeier, D.A. (2010). Near-roadway air quality: synthesizing the findings from real-world data. *Environmental Science & Technology*, 44(14), 5334–5344. <https://doi.org/10.1021/es100008x>
52. Kauno miesto savivaldybė. (2013). *Kauno miesto aplinkos stebėsenos (monitoringas): 2013 metų Kauno miesto aplinkos stebėsenos ataskaita*. <http://www.kaunas.lt/wp-content/uploads/sites/8/2015/04/Kauno-Miesto-aplinkos-stebesenos-monitoringo-2013-metu-atskaita.pdf>
53. Khan, J., Ketzl, M., Kakosimos, K., Sørensen, M. ir Jensen, S.S. (2018). Road traffic air and noise pollution exposure assessment – A review of tools and techniques. *Science of The Total Environment*, 634(1), 661–676. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.374>
54. Kimbrough, S., Baldauf, R. W., Hagler, G. S. W., Shores, R. C., Mitchell, W., Whitaker, D. A., Croghan, C. W. ir Vallero, D. A. (2013). Long-term continuous measurement of near-road air pollution in Las Vegas: seasonal variability in traffic emissions impact on local air quality. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 6:295–305. <https://doi.org/10.1007/s11869-012-0171-x>
55. Kobza, J. ir Geremek, M. (2017). Do the pollution related to high-traffic roads in urbanised areas pose a significant threat to the local population? *Environmental Monitoring and Assessment*. 189: 33. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5697-1>
56. Konkovas, S. ir Stankevičius, G. (2007). Transporto taršos sklaidos tyrimai AEROMOD modeliu Vilniuje. *Geografija*, 43(2), 48-56.
57. Korkutis, P. ir Kavaliauskas, B. (1995). Atmosferos savaiminio apsivalymo potencialas Lietuvoje. *Geografijos instituto darbai*. Klimatologija.
58. Krugly, E. ir Kliučinskas, L. (2010). Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai Kauno miesto aplinkos oro kietosiose dalelėse. *Žmogaus ir gamtos sauga*, 68–71.
59. Kumar, P., Robins, A., Vardoulakis, S. ir Britter, R. (2010). A review of the characteristics of nanoparticles in the urban atmosphere and the prospects for developing regulatory controls. *Atmospheric Environment*, 44, 5035–5052. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.08.016>
60. Laurinavičienė, D. ir Štulpinaitė, J. (2007). Azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas Mažeikių mieste. *Žmogaus ir gamtos sauga*, 255–258.
61. Laurinavičienė D. (2008a). Nitrogen Dioxide Concentrations and their Relation with Meteorological Conditions and some Environmental Factors in Kaunas. *Environmental research, engineering and management*, Nr. 1(43). <https://hdl.handle.net/20.500.12259/49205>
62. Laurinavičienė D. (2008b). Ground-level Ozone Air Pollution in Vilnius City. *Environmental research, engineering and management*, 3(49), 21-28. <https://hdl.handle.net/20.500.12259/44365>
63. Liu, Y., Wu, J., Yu, D. ir Ma, Q. (2018). The relationship between urban form and air pollution depends on seasonality and city size. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 15554–15567. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1743-6>
64. Majewski, G., Czechowski, P.O., Badyda, A. ir Brandyka, A. J. (2014). Effect of air pollution on visibility in urban conditions. Warsaw case study. *Environment Protection Engineering*, 40(2), 47-64. <https://doi.org/10.5277/epe140204>
65. Mažeika, M. ir Matijošius, J. (2009). Naftos degalų ir etilo spirito mišiniais veikiančio variklio darbo rodiklių tyrimas. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 1(6). <https://journals.vgtu.lt/index.php/MLA/article/download/10631/9014>
66. Mažeikis, A. (2013). Urbanization influence on meteorological parameters of air pollution: Vilnius case study. *Baltica*, 26(1), 51–56. <https://doi.org/10.5200/baltica.2013.26.06>
67. Mickūnaitis, V. (1984). *Autotransportas ir atmosferos apsauga*. Vilnius: Mokslas.
68. Mikalauskiene, A. (2010). *Globali klimato kaita ir jos poveikis*. http://www.balticbiogasbus.eu/web/Upload/doc/Kaunas_201009/1%20LEI%20Asta%20Mikalauskiene%20LT.pdf

69. Motetti, E. ir Neidell, M. (2011). Pollution, health, and avoidance behavior: evidence from the ports of Los Angeles. *Journal of Human Resources*, 46(1), 154-175. <https://doi.org/10.3368/jhr.46.1.154>
70. NASA. (2020). Airborne Nitrogen Dioxide Plummets over China. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/146362/airborne-nitrogen-dioxide-plummets-over-china>
71. Ogen, Y. (2020). Assessing nitrogen dioxide (NO₂) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality. *Science of The Total Environment*, 726. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138605>
72. Oke, T.R.1988. Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11 (1–3), 103-113. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6)
73. Pasaulio Sveikatos Organizacija. (2014). Frequently Asked Questions: Ambient and Household Air Pollution and Health. http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/faqs_air_pollution.pdf?ua¼1
74. Penkała, M., Ogrodnik, P. ir Rogula-Kozłowska, W. (2018.) Particulate Matter from the Road Surface Abrasion as a Problem of Non-Exhaust Emission Control. *Environments*, 5 (1), 9. <https://doi.org/10.3390/environments5010009>
75. Rakopoulos, C.D. ir Giakoumis, E. G. (2009). *Diesel Engine Transient Operation: Principles of Operation and Simulation Analysis*. Springer 390. Springer.
76. Rapalis, P. (2017). Dizelinių variklių pereinamųjų eksploatacinių režimų kompleksiniai tyrimai, didinant energetinį efektyvumą. Prieiga per internetą: <https://vb.ku.lt/object/elaba:20811175/>
77. Rimkus, A., Ulicka, s T., Matijošius, J., Pukalskas, S. ir Stravinskas, P. (2012). Brauno dujų panaudojimas aliejumi veikiančiame dizeliniame variklyje. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 4(4). <https://doi.org/10.3846/mla.2012.60>
78. Rimkus, E. (2011). *Meteorologijos įvadas*. Vilnius.
79. Rimkus, E., Kažys, J. ir Bukantis, A. (2010). Recent dynamics and prediction of heavy precipitation events in Lithuania. Iš *6th Study Conference on BALTEX*. (156–157).
80. Robinson, A.L., Donahue, N.M., Shrivastava, M.K., Weitkamp, E.A., Sage, A.M., Grieshop, A.P., Lane, T.E., Pierce, J.R. ir Pandis, S.N. (2007). Rethinking organic aerosols: semivolatile emissions and photochemical aging. *Science*, 315 (5816), 1259–1262. <https://doi.org/10.1126/science.1133061>
81. Robinson, A.L., Grieshop, A.P., Donahue, N.M. ir Hunt, S.W. (2010). Updating the conceptual model for fine particle mass emissions from combustion systems Allen L. Robinson. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 60 (10), 1204–1222. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.60.10.1204>
82. Roy, S., Hegde, M. S. ir Madras, G. (2009). Catalysis for NO_x abatement. *Applied Energy*, 86 (11), 2283–2297. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.03.022>
83. Roorda-knape, M., Janssen, N., Hartoga, J., Van Vlieta, P., Harssemaa, H. ir Brunekreefa, B. (1998). Air pollution from traffic in city districts near major motorways. *Atmospheric Environment*, 32(11), 1921–1930. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00496-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00496-2)
84. Sahaa, P.K., Khlystovb, A., Snyderc, M.G. ir Grieshopa, A. P. (2018). Characterization of air pollutant concentrations, fleet emission factors, and dispersion near a North Carolina interstate freeway across two seasons. *Atmospheric Environment*, 177, 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.01.019>
85. Sierra-Vargas, M.P.; Teran, L M. 2012. Air Pollution: Impact and Prevention. *Respirology* 17(7), 1031-1038. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1843.2012.02213.x>
86. Sharma, N., Gulia, S., Dhyanim R. ir Singh, A. (2013). Performance evaluation of CALINE 4 dispersion model for an urban highway corridor in Delhi. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 72(8), 521–530. https://pdfs.semanticscholar.org/17f4/675f93ecda74d4aa6a34658803bd931b0866.pdf?_ga=2.197579695.1478698374.1586259989-1924460239.1586259989
87. Shrestha, A. M., Shrestha, U. B., Sharma, R., Bhattarai, S., Tran H. N. T. ir Rupakheti, M. (2020). Lockdown caused by COVID-19 pandemic reduces air pollution in cities worldwide. *EarthArXiv Preprints*. <https://doi.org/10.31223/osf.io/edt4j>

88. Sillman, S., ir Samson, P. J. (1995) Impact of temperature on oxidant photochemistry in urban, Polluted Rural, and Remote Environments. *Journal of Geophysical Research*, 100, D6. <https://doi.org/10.1029/94JD02146>
89. Sram, J., Veleminsky, M. J., Veleminsky, M. S. ir Stejskalová, J.(2017). The impact of air pollution to central nervous system in children and adults. *Neuro endocrinology Letters*. 38 (6), 389-396. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29298278>
90. Stojiljkovic, A., Kauhaniemi, M., Kukkonen, J., Kupiainen, K., Karppinen, A., Denby, B.R., Kousa, A., Niemi, J. V. ir Ketzel, M. (2019). The impact of measures to reduce ambient air PM10 concentrations originating from road dust, evaluated for a street canyon in Helsinki. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, 11199–11212. <https://doi.org/10.5194/acp-19-11199-2019>
91. Štreimikienė, D. ir Čiegis, R. (2001). Ekonominės žalos vertinimas stacionariems atmosferos taršos šaltiniams Lietuvoje. *Aplinkos tyrimai inžinerija ir vadyba*, Nr. 1(15), 12–22.
92. Thermo Fisher Scientific. (2010). *XRF Analyzer user manual*. 2 p.
93. Toyota Motor Europe. (2011). *Toyota ir aplinkosauga*. Toyota Motor Europe. http://www.autotoja.lt/toyota/site/files/Aplinkosauga/TOYOTA_ir_APLINKOSAUGA.pdf
94. Tominaga, Y. ir Stathopoulos, T. (2011). CFD modelling of pollution dispersion in a street canyon: comparison between LES and RANS. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 99(4), 340–348. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2010.12.005>
95. Tong, X., Luke, E. ir Smith, R. (2014). Numerical validation of a near-field fugitive dust model for vehicles moving on unpaved surfaces. *Journal of Automobile Engineering*, 228(7), 747–757. <https://doi.org/10.1177/0954407013512291>
96. Tripathi, C.N., Kulshreshtha, J. ir Gupta, I. (2013). Determination of SOx Concentration in Ambient Air and its Dependency on Meteorological Parameters: A Case Study. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3(3), 287–291. https://www.ijera.com/papers/Vol3_issue3/AX33287291.pdf
97. United States Environmental protection agency. (n. d.). *What You Can Do to Reduce Pollution from Vehicles and Engines*. <https://www.epa.gov/transportation-air-pollution-and-climate-change/what-you-can-do-reduce-pollution-vehicles-and-engines>
98. Veranth, J.M., Pardyjak, E. ir Seshadri, G. (2003). Vehicle-generated fugitive dust transport: analytic models and field study. *Atmospheric Environment*, 37, 2295–2303. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00086-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00086-4)
99. Vicente, B., Rafael, S., Rodrigues, V., Relvas, H., Vilaça, M., Teixeira, J., Bandeira, J., Coelho, M. ir Borrego, C. (2018). Influence of different complexity levels of road traffic models on air quality modelling at street scale. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 11, 1217–1232. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0621-1>
100. Vilkaitė, M. Dėdelė, A. (2015). Oro taršos pokyčių analizė ir prognozė Klaipėdos mieste. *Žmogaus ir gamtos sauga*, 1, 98-101. <https://hdl.handle.net/20.500.12259/52369>
101. Wang, Y.J. ir Zhang, K.M. (2009). Modelling near-road air quality using a computational fluid dynamics model, CFD–VIT–RIT. *Environmental Science & Technology*, 43(20), 7778–7783. <https://doi.org/10.1021/es9014844>
102. Weiss, M., Bonnel, P., Kühlwein, J., Provenza, A., Lambrecht, U., Alessandrini, S., Carriero, M., Colombo, R., Forni, F., Lanappe, G., Lijour, P. L., Manfredi, U., Montigny, F. ir Sculati, M. (2012). Will Euro 6 reduce the NOx emissions of new diesel cars? - Insights from on-road tests with Portable Emissions Measurement Systems (PEMS). *Atmospheric Environment*, 62, 657–665. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.08.056>
103. Wu, Y., Zhang, S., Hao, J., Liu, H., Wu, X., Hu, J., Walsh, M. P., Wallington, T. J., Zhang, K. M. and Stevanovic, S. (2017). On-road vehicle emissions and their control in China: A review and outlook. *Science of The Total Environment*, 574, 332–349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.040>
104. Wilk, M., Magdziarz, A., Kuźnia, M. ir Jerzak W. (2010). The reduction of the emission of nox in the heat-treating furnaces. *Metallurgy and Foundry Engineering*, 36 (1). <https://doi.org/10.7494/mafe.2010.36.1.47>

105. World Health Organization. (2020). Coronavirus disease 2019 (COVID-19) situation report – 51. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports>
106. Xu, Y. (2011). Improvements in the Operation of SO₂ Scrubbers in China's Coal Power Plants. *Environmental Science & Technology*, 45 (2), 380–385. <https://doi.org/10.1021/es1025678>
107. Zaleckis, G. (2002). *Pagrindinių laboratorinių tyrimų žinynas*. Vilnius: UAB Vaistų žinios.
108. Zariņš, A., Smirnovs, J. ir Lācis, R. (2014). Evaluation of Air Pollution Measurements in Urban Environment Considering Traffic Intensity. *Construction Science*, 15(1), 29–34. <https://doi.org/10.2478/cons-2014-0005>
109. Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., Kalibatas, D., Turskis, Z., Krutinis M. ir Bartkienė, L. (2018). Applying the TOPSIS-F method to assess air pollution in Vilnius. *Environmental Engineering and Management Journal*. 17(9), 2041–2050. <https://doi.org/10.30638/eemj.2018.203>
110. Zhu, Y., Hinds, W. C., Kim, S., Shen, S. ir Sioutas, C. (2002). Study of ultrafine particles near a major highway with heavy-duty diesel traffic. *Atmospheric Environment*, 36 (27), 4323–4335. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00354-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00354-0)