



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Oro teršalų sklaidos modeliavimas Kauno LEZ aplinkoje

Baigiamasis magistro projektas

Monika Pilypaitytė

Projekto autorė

prof. Linas Kliučininkas

Vadovas

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Oro teršalų sklaidos modeliavimas Kauno LEZ aplinkoje

Baigiamasis magistro projektas

Aplinkosaugos inžinerija (6211EX003)

Monika Pilypaitytė

Projekto autorė

prof. Linas Kliučininkas

Vadovas

prof. Gintaras Denafas

Recenzentas

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Monika Pilypaitytė

Oro teršalų sklaidos modeliavimas Kauno LEZ aplinkoje

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Monika Pilypaitytė

Patvirtinta elektroniniu būdu

Monika Pilypaitytė. Oro teršalų sklaidos modeliavimas Kauno LEZ aplinkoje. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. Linas Kliučininkas; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Aplinkos inžinerija (E03), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: oro teršalų sklaida, oro teršalų sklaidos modeliavimas, AERMOD, Kauno LEZ, anglies monoksidas, azoto dioksidas, kietosios dalelės, $KD_{2,5}$, KD_{10} .

Kaunas, 2024. 74 p.

Santrauka

Į aplinką išmetamų oro teršalų sklaidos modeliavimas yra svarbus įrankis atliekant oro kokybės stebėjimą, vertinant oro taršos įtaką žmogaus sveikatai ir aplinkai, bei norint teikti tikslias rekomendacijas įstatymų leidėjams ar privataus sektoriaus atstovams. Remiantis *Europos aplinkos agentūros* pateikiamais duomenimis 2021 metais ES-27 šalyse $KD_{2,5}$, NO_2 , O_3 oro tarša viršijanti PSO rekomenduojamas oro taršos ribas, bendrai lėmė apie 682 tūkst. ankstyvos mirties atvejų. Dėl šių ir kitų priežasčių, Europos Komisijos pateiktame aplinkos oro kokybės direktyvos peržiūros pasiūlyme siūloma sugriežtinti esamas oro taršos ribines vertes įvairiems oro teršalams. Baigiamojo magistro darbo tikslas buvo atlikti pasirinktų Kauno LEZ įmonių stacionarių taršos šaltinių emisijų analizę bei sumodeliuoti oro teršalų sklaidą, o gautus rezultatus palyginant su Europos Sąjungos oro kokybės standartų vertėmis. Baigiamojo magistro darbo objektai buvo Kauno LEZ teritorijoje esančios 4 įmonės – UAB „Axioma Metering“, UAB FREDA II, UAB „Finnfoam“ ir Žemės ūkio kooperatyvas „Pienas LT“.

Atliekant magistro baigiamojo darbo literatūros analizę buvo apžvelgta oro taršos poveikis žmogaus sveikatai, oro teršalų sklaida, ją lemiantys ir jai įtaką darantys veiksniai, bei apžvelgta oro taršos ir kokybės situacija Europos Sąjungoje ir Europos miestuose, atlikta ES oro kokybės teisės aktų apžvalga bei siūlomi pokyčiai. Tyrimų metodikoje buvo pateikta informacija apie tyrimo objektus, laisvasias ekonomines zonas, Kauno LEZ, taršos šaltinius, AERMOD programinę įrangą. Atlikto magistro baigiamojo darbo tyrimo metu buvo nustatyta, kurie tyrimo objektai viršija esamas ES oro teršalų ribines vertes, ir kurios tyrimo objektų išskiriamos CO , NO_2 , $KD_{2,5}$ ir KD_{10} teršalų koncentracijos viršija esamas ir naujas siūlomas ES oro teršalų ribines vertes – visų tyrimo objektų CO maksimalios 8 ir 24 valandų vidurkinimo koncentracijos neviršijo esamų ir siūlomų ES oro teršalų ribinių verčių, visų tyrimo objektų NO_2 , $KD_{2,5}$ ir KD_{10} maksimalios teršalų koncentracijos, skirtingais atvejais vertinant su fonine tarša ir be foninės taršos, viršijo kai kurias esamas ir siūlomas ES oro teršalų ribines vertes.

Monika Pilypaitytė. Modeling of the Dispersion of Air Pollutants in the Environments of the Kaunas FEZ. Master's Final Degree Project supervisor prof. Linas Kliučininkas; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Environmental Engineering (E03), Engineering Sciences.

Keywords: dispersion of air pollution, air pollution modeling, AERMOD, Kaunas FEZ, carbon monoxide, nitrogen oxide, particulate matter, PM_{2,5}, PM₁₀.

Kaunas, 2024. 74 p.

Summary

Modelling of pollutants dispersion into the environment is an important tool used for monitoring of air quality, assessing the impact of air pollution on human health and environment, and providing accurate recommendations to legislators and the private sector. According to the data provided by the EU in 2021 in the EU-27 countries PM_{2,5}, NO₂, O₃ air pollutants, exceeding their pollution limits recommended by WHO, resulted in a total of about 682 thousand cases of premature deaths. Due to these and other reasons, the European Commission in the proposal to review Air Quality Directives proposes to set stricter air quality standards for various air pollutants. The aim of the master's thesis was to perform analysis of stationary pollution point sources and to model air pollution dispersion of chosen companies located in Kaunas FEZ territory, and to compare obtained results with the new proposed EU air quality standards. The objects of the master's thesis research were 4 companies located in Kaunas FEZ territory – UAB „Axioma Metering“, UAB FREDA II, UAB „Finfoam“ ir Žemės ūkio kooperatyvas „Pienas LT“.

During literature analysis of the master's thesis the following topics were reviewed – the impact of air pollution on human health and environment, air pollutant dispersion, factors that determine and influence pollutant dispersion, the situation of air pollution and air quality in EU and European cities, overview of EU air quality legislation and proposed changes. The methodology part of the research provides information on research objects, describes free economic zones, Kaunas FEZ, gives information on pollution sources, and used software – AERMOD. Master's study shows which of the research object exceed the existing and new EU proposed air pollution limit values and which pollutants – CO, NO₂, PM_{2,5}, PM₁₀ – exceed the existing and the new EU proposed air pollution limit value – the maximum 8 and 24-hour concentrations of CO of all the research objects did not exceed the new proposed EU air pollutant limit values, the maximum NO₂, PM_{2,5}, PM₁₀ pollutant concentrations of some of the research objects, evaluated with and without background pollution, exceeded the new proposed EU air pollutant limits values.

Turinys

Turinys.....	6
Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	10
Santrumpų ir terminų sąrašas	12
Įvadas.....	13
1. Literatūros apžvalga	14
1.1. Oro kokybė ir tarša	14
1.1.1. Oro tarša miesto aplinkoje.....	15
1.2. Oro taršos poveikis žmogaus sveikatai ir aplinkai	16
1.2.1. Kietųjų dalelių KD_{10} ir $KD_{2,5}$ poveikis ir padariniai žmogaus sveikatai.....	16
1.2.2. CO ir CO ₂ poveikis žmogaus sveikatai.....	17
1.2.3. NO _x poveikis žmogaus sveikatai	17
1.2.4. Ozono poveikis žmogaus sveikatai	17
1.2.5. SO _x poveikis žmogaus sveikatai.....	18
1.2.6. Oro taršos sukeltos mirtys Europos Sąjungoje.....	18
1.3. ES oro kokybės direktyvų apžvalga	18
1.3.1. ES oro kokybės teisės aktų apžvalga.....	19
1.4. Teršalų sklaida.....	20
1.4.1. Atmosferos stabilumas	21
1.4.2. Monino-Obukhovo panašumo teorija ir Monino-Obukhovo ilgis.....	22
1.4.3. Vėjo greitis ir vėjo kryptis.....	23
1.4.4. Temperatūra, saulė šviesa ir drėgmė	24
1.4.5. Teršalų transformacijos reakcijos atmosferoje.....	24
1.4.6. Taršos šaltinių klasifikacija ir charakteristikos	25
1.4.7. Taškinių taršos šaltinių charakteristikos.....	25
1.5. Teršalų sklaidos modeliavimas ir modeliai	26
1.5.1. Gauso modeliai	26
1.6. Literatūros apžvalgos apibendrinimas	28
2. Tyrimo metodika	29
2.1. AERMOD programinė įranga	29
2.2. Specialiosios ir laisvosios ekonominės zonos	29
2.3. Taršos objektų parinkimas.....	31
2.3.1. UAB „Axioma Metering“.....	32
2.3.2. UAB FREDA II.....	34
2.3.3. UAB „Finnfoam“.....	36
2.3.4. Žemės ūkio kooperatyvas „Pienas LT“	37
2.3.5. Foninė aplinkos oro tarša.....	38
2.3.6. Meteorologiniai duomenys.....	39
2.3.7. Reljefo duomenys ir koordinacių sistema	39
2.3.8. „Base Map“	39
2.3.9. NO ₂ modeliavimas.....	40
2.3.10. Meteorologinių duomenų analizė	40
3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas.....	41
3.1. Meteorologinių duomenų analizė	41

3.2. Teršalų sklaidos modeliavimas.....	44
3.2.1. UAB „Axioma Metering“ teršalų sklaidos modeliavimas	45
3.2.2. UAB FREDDA II teršalų sklaidos modeliavimas.....	48
3.2.3. UAB „Finnfoam“ teršalų sklaidos modeliavimas	54
3.2.4. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ teršalų sklaidos modeliavimas	58
3.3. Tyrimo neapibrėžtumas	64
Išvados	66
Literatūros sąrašas	68

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Europos Sąjungos miestų gyventojų dalis procentais, kurią 2021 metais veikė oro teršalų koncentracija, viršijanti tam tikrus ES standartus ir 2021 m. PSO gaires [2]	16
2 lentelė. Papildomai priskaičiuoti mirčių atvejai, susiję su oro tarša neviršijusia rekomenduojamą oro taršos ribų 2021 metais ES-27 šalyse [24]	18
3 lentelė. Nauji siūlomi ES oro kokybės standartai lyginant su PSO oro kokybės gairėmis [4]......	19
4 lentelė. Nauji siūlomi ES oro kokybės standartai lyginant su PSO oro kokybės gairėmis (3 lentelės tęsinys) [4]......	20
5 lentelė. Paskvilio atmosferos stabilumo klasifikacija [32]	22
6 lentelė. Standartinės Richardsono skaičiaus ir Monino-Obukhovo ilgio vertės ties kiekviena atmosferos stabilumo klase [26]	23
7 lentelė. UAB „Axioma Metering“ taršos šaltinių duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Axioma Metering“ PŪV ataskaitos [62]	33
8 lentelė. Taršos į aplinkos orą duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Axioma Metering“ PŪV ataskaitos [62].....	33
9 lentelė. Taršos į aplinkos orą duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Axioma Metering“ PŪV ataskaitos (8 lentelės tęsinys) [62].....	34
10 lentelė. UAB FREDA II taršos šaltinių duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Gero Baldų Fabrikas“ atrankos dėl PŪV [63].....	34
11 lentelė. UAB FREDA II taršos šaltinių duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Gero Baldų Fabrikas“ atrankos dėl PŪV (10 lentelės tęsinys) [63].....	35
12 lentelė. Taršos į aplinkos orą duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Geras Baldų Fabrikas“ atrankos dėl PŪV [63]	35
13 lentelė. Taršos į aplinkos orą duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Geras Baldų Fabrikas“ atrankos dėl PŪV (12 lentelės tęsinys) [63]	36
14 lentelė. UAB „Finnfoam“ taršos šaltinio duomenys. Duomenys paimti iš atrankos dėl poveikio aplinkai vertinimo informacijos [69]	36
15 lentelė. Taršos į aplinkos orą duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Finnfoam“ atrankos dėl poveikio aplinkai vertinimo informacijos [69]	36
16 lentelė. Žemės ūkio kooperatyvas „Pienas LT“ taršos šaltinio duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Axioma Metering“ atrankos dėl poveikio aplinkai vertinimo informacijos [71]	37
17 lentelė. Taršos į aplinkos orą duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Axioma Metering“ atrankos dėl poveikio aplinkai vertinimo informacijos [71]	38
18 lentelė. Foninės taršos koncentracijos, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [72].....	38
19 lentelė. Ozono foninė taršos koncentracija, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [73]	39
20 lentelė. Vidutinis vėjo greitis (2014-2022 m.).....	42
21 lentelė. Vidutinė metinė temperatūra (2014-2022 m.)	43
22 lentelė. Kritulių kiekis per metus (2014-2022 m.).....	44
23 lentelė. UAB „Axioma Metering“ anglies monoksido ir azoto dioksido sklaidos modeliavimo metu nustatytos maksimalios išsiskyrusių teršalų koncentracijų vertės	48
24 lentelė. UAB FREDA II Anglies monoksido, azoto oksido, $\text{KD}_{2,5}$ ir KD_{10} sklaidos modeliavimo metu nustatytos maksimalios išsiskyrusių teršalų koncentracijų vertės	54
25 lentelė. UAB „Finnfoam“ anglies monoksido ir azoto dioksido sklaidos modeliavimo metu nustatytos maksimalios išsiskyrusių teršalų koncentracijų vertės	58

26 lentelė. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ anglies monoksido, azoto dioksido, $KD_{2,5}$ ir KD_{10} sklaidos modeliavimo metu nustatytos maksimalios išsiskyrusių teršalų koncentracijų vertės..... 64

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Gyventojų pasiskirstymas pagal urbanizacijos laipsnį (2021 m.) [14].....	15
1.2 pav. Schematiškai pavaizduotas Gauso debesies modelis. Čia H_s – taršos šaltinio aukštis virš žemės paviršiaus; H_e – efektyvus aukštis [26, 27, 47].....	27
2.1 pav. Kauno LEZ teritorija [57]	31
2.2 pav. Kauno LEZ teritorija. 1 – UAB „Axioma Metering“; 2 – UAB FREDA II; 3 – UAB „Finnfoam“; 4 – Žemės ūkio kooperatyvas „Pienas LT“.....	32
2.3 pav. Modeliavimui naudotas bazinis žemėlapis	40
3.1 pav. Vėjų rožė – vėjas pučia į LEZ teritoriją (2014-2022 m.).....	41
3.2 pav. Vėjo greičio pokyčio laike grafikas (2014-2022 m.).....	42
3.3 pav. Temperatūros pokyčio laike grafikas (2014-2022 m.).....	42
3.4 pav. Kritulių kiekio sumos pokytis per metus (2014-2022 m.).....	43
3.5 pav. UAB „Axioma Metering“, UAB FREDA II, UAB „Finnfoam“, Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ taršos šaltiniai	44
3.6 pav. UAB „Axioma Metering“ anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymas taikant 8 valandų vidurkinimo laikotarpį.....	45
3.7 pav. UAB „Axioma Metering“ anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymas taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį.....	45
3.8 pav. UAB „Axioma Metering“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 1 valandos vidurkinimo laikotarpį.....	46
3.9 pav. UAB „Axioma Metering“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandos vidurkinimo laikotarpį.....	46
3.10 pav. UAB „Axioma Metering“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant metinį vidurkinimo laikotarpį.....	47
3.11 pav. UAB FREDA II anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymas taikant 8 valandų vidurkinimo laikotarpį.....	48
3.12 pav. UAB FREDA II anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymas taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį.....	49
3.13 pav. UAB FREDA II azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 1 valandos vidurkinimo laikotarpį.....	49
3.14 pav. UAB FREDA II azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį	50
3.15 pav. UAB FREDA II azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant metinį vidurkinimo laikotarpį.....	50
3.16 pav. UAB FREDA II $KD_{2,5}$ koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį	51
3.17 pav. UAB FREDA II $KD_{2,5}$ koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant metinį vidurkinimo laikotarpį.....	51
3.18 pav. UAB FREDA II KD_{10} koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį	52
3.19 pav. UAB FREDA II KD_{10} koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant metinį vidurkinimo laikotarpį.....	52
3.20 pav. UAB „Finnfoam“ anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 8 valandų vidurkinimo laikotarpį.....	55

3.21 pav. UAB „Finnfoam“ anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį	55
3.22 pav. UAB „Finnfoam“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 1 valandos vidurkinimo laikotarpį	56
3.23 pav. UAB „Finnfoam“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį	56
3.24 pav. UAB „Finnfoam“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant metinį vidurkinimo laikotarpį	57
3.25 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 8 valandų vidurkinimo laikotarpį	58
3.26 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį	59
3.27 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 1 valandos vidurkinimo laikotarpį	59
3.28 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį	60
3.29 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant metinį vidurkinimo laikotarpį	60
3.30 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ $KD_{2,5}$ koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį	61
3.31 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ $KD_{2,5}$ koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant metinį vidurkinimo laikotarpį	61
3.32 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ KD_{10} koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį	62
3.33 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ KD_{10} koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant metinį vidurkinimo laikotarpį	62

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

AQI – oro kokybės indeksas;

CO₂ – anglies dioksidas;

EAQI – Europos oro kokybės indeksas;

ES-27 – Europos Sąjungos narės šalys;

IPCC – tarpvyriausybė klimato kaitos komisija;

KD – kietosios dalelės;

LEZ – Laisvoji ekonominė zona;

LKS-94 – Lietuvos koordinacijų sistema;

LOJ – lakieji organiniai junginiai;

NO_x – anglies oksidai;

NO₂ – anglies dioksidas;

O₃ – ozonas;

Prof. – profesorius;

PSO – Pasaulio Sveikatos Organizacija;

UV – ultravioletiniai spinduliai.

Įvadas

Oro kokybė yra vienas svarbiausių veiksnių lemiančių gerą žmonių gyvenimo kokybę, todėl svarbu užtikrinti, kad oras ir jo sudėtis neturėtų neigiamos įtakos žmonių ir gyvūnų sveikatai, atmosferai bei klimatui. Taip padaryti galima analizuojant ir prognozuojant į aplinką išmetamų teršalų emisijas, jas lyginant su oro kokybės standartais. Europos Sąjungoje teisės aktais nustatyti aplinkos oro kokybės standartai reguliuoja į aplinkos oro išmetamų teršalų koncentracijas, nustatant ribines ir tikslines šių teršalų vertes. Remiantis *Europos aplinkos agentūros* pateikiamais duomenimis, bendros visų oro teršalų emisijos ES-27 šalyse laikotarpyje nuo 2005 metų iki 2020 metų išlaikė mažėjimo tendenciją. Nepaisant nuolatinio bendro oro teršalų emisijų mažėjimo ir bendro oro kokybės gerinimo, oro tarša išlieka kaip viena didžiausių grėsmių žmogaus sveikatai, pavyzdžiui, 2021 metų duomenimis Europoje dėl KD taršos buvo fiksuoti 253 tūkstančiai ankstyvos mirties atvejų, ir netgi 97 % miestuose gyvenančių žmonių buvo veikiami KD dalelių koncentracijų, kurios viršijo Pasaulio Sveikatos Organizacijos nustatytas oro teršalų ribines vertes [1, 2]. Lietuvoje, remiantis Aplinkos oro būklės vertinimo audito ataskaita, 2019 metais valstybės užsakymu atliktas oro taršos tyrimas parodė, kad vienuolikoje analizuotų savivaldybių (iš 51 savivaldybių, kurių zonose nėra stacionarių oro kokybės tyrimų stočių) KD teršalų koncentracija viršijo PSO 2021 m. atnaujintas rekomenduojamas normas ir (arba) oro kokybės direktyvoje nustatytas ribines vertes [3].

Europos Komisija siekdama gerinti žmonių gyvenimo kokybę ir mažinti aplinkos oro taršos keliamas grėsmes žmogaus sveikatai, atsižvelgiant į Europos žaliojo kurso politikos pagrindinį tikslą, pateikė pasiūlymą peržiūrėti Aplinkos oro kokybės direktyvas ir nustatyti su Pasaulio Sveikatos Organizacijos oro kokybės gairėmis suderintus naujus oro kokybės standartus iki 2030 metų. Šis pasiūlymas gerintų žmonių gyvenimo kokybę, sumažintų oro taršos sukeltų ligų bei mirčių skaičių [4].

Baigiamojo magistro projekto tikslas – atlikti pasirinktų Kauno LEZ įmonių stacionarių taršos šaltinių emisijų analizę bei sumodeliuoti esamą oro teršalų sklaidą, gautus rezultatus palyginti su Europos Sąjungos oro kokybės standartų vertėmis.

Baigiamojo projekto tikslui pasiekti buvo išsikelti šie uždaviniai:

1. suformuoti stacionarių taršos šaltinių charakteristikų duomenų rinkinį;
2. suformuoti meteorologinių ir reljefo duomenų rinkinius;
3. atlikti teršalų sklaidos modeliavimą;
4. palyginti gautus teršalų sklaidos duomenis su Europos Sąjungos oro kokybės standartų vertėmis;
5. apibendrinti gautus rezultatus ir pateikti išvadas.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Oro kokybė ir tarša

Oro kokybė yra vienas svarbiausių žmogaus gyvenimo kokybę ir sveikatą lemiančių veiksnių. Oro kokybę galima apibrėžti vertinant aplinkos oro taršą – didesnė aplinkos oro tarša lemia mažesnę oro kokybę. Aplinkos oro tarša – tai teršalų, galinčių sukelti neigiamą poveikį žmogaus sveikatai ir aplinkai, buvimas oro aplinkoje. Šie teršalai – įvairios kenksmingos kietos, skystos ar dujinės medžiagos, į aplinką gali patekti natūralių gamtos procesų metu – ugnikalnių išsiveržimai, miškų gaisrai, arba būti išmetami su žmogaus veikla susijusių procesų metu – iškastinio kuro deginimas, gyvulininkystė, transportas, ir t. t. [5, 6]. Oro teršalai gali būti klasifikuojami pagal:

- pagal savo agregatinį būvį oro teršalai yra klasifikuojami į kietąsias daleles ir dujinius teršalus;
- pagal kilmę oro teršalai klasifikuojami į natūralios kilmės ir antropogeninės kilmės:
 - natūralios kilmės teršalams priklauso vulkaninės kilmės dulkės, taip pat smėlio audrų, miškų gaisrų dulkės, žiedadulkės ir t.t.;
 - antropogeninės kilmės oro teršalai, tai tokie teršalai, kurie susidarė dėl žmogaus veiklos – iškastinio kuro deginimas, įvairi pramoninė veikla ir t.t. [7].

Oro teršalai taip pat gali būti skirstomi į pirminius ir antrinius teršalus. Pirminiai oro teršalai yra tokie teršalai, kurie į aplinką yra išmetami tiesiogiai iš taršos šaltinių, pavyzdžiui, CO išmetamas transporto priemonių varikliams nepilnai sudeginus kūrą. Antriniai oro teršalai yra tokie teršalai, kurie susiformuoja atmosferoje vykstant tam tikroms cheminėms reakcijoms, kurias gali daryti įtaką kiti ore esantys cheminiai junginiai, temperatūra, ultravioletiniai spinduliai ir t. t. Svarbu paminėti, kad oro teršalai gali būti ir pirminiai ir antriniai – į aplinką būti išskiriami įvairiais būdais. Oro tarša taip pat gali būti skirstoma į lauko ir vidaus oro taršą [7].

Remiantis *Europos aplinkos agentūros (angl. European Environmental Agency)* pateikiamais duomenimis 2020 metais ES-27 šalyse pagrindinis $KD_{2,5}$ ir KD_{10} dalelių emisijų šaltinis buvo iškastinio kuro deginimas energijos naudojimui, kuris sugeneravo 44 % $KD_{2,5}$ ir 58 % KD_{10} , 46 % CO visų išmetamų teršalų. Gamybos ir gavybos pramonė bei kelių transporto sektorius 2020 metais taip pat buvo reikšmingi $KD_{2,5}$ ir KD_{10} teršalų šaltiniai. Agrokultūros sektoriaus emisijos sudarė 94 % amoniako, 56 % metano, 19 % NO_x 2020 metais. Gamybos ir gavybos pramonės emisijos buvo 15 % NO_x ir 37 % SO_2 2020 metais, o atliekų sektorius – 27 % viso 2020 metais išmestų metano dujų. Transporto sektorius sudarė 37 % NO_x išmetamųjų dujų 2020 metais [8].

Europos Sąjungoje aplinkos oro kokybė ir tarša yra vertinamos pagal aplinkos oro kokybės standartus. Aplinkos oro kokybės standartai – tai Europos Parlamento ir Tarybos „dėl aplinkos oro kokybės ir švaresnio oro Europoje“ 2008/50/EB direktyvos nustatytos oro taršos normos ir ribinės vertės. Šios ribinės vertės nustato maksimalias leidžiamas 12 oro teršalų koncentracijas ore. Šie 12 oro teršalų yra $KD_{2,5}$, KD_{10} , SO_2 , NO_2 , švinas (Pb), CO, benzenas, ozonas, CO, kadmio (Cd), nikelis (Ni), benzo(a)pirenas [9, 10].

Norint paprastai ir nesudėtingai iškomunikuoti aplinkos oro kokybės statusą visuomenei, galima naudoti oro kokybės indeksą (AQI), kuris apibendrina įvairių teršalų koncentracijas į vieningą indeksą tam tikrame regione, mieste ar šalyje. Oro kokybės indeksas (AQI) padeda lyginti oro kokybės pokyčius erdvės ir laiko atžvilgiu. Įvairios valstybinės organizacijos ir agentūros naudoja šį indeksą norint veiksmingai informuoti visuomenę apie oro kokybę, oro kokybės pokyčius, bei oro taršos poveikį sveikatai. Skirtingos šalys ir regionai turi skirtingus oro kokybės indeksus (AQI), kurie

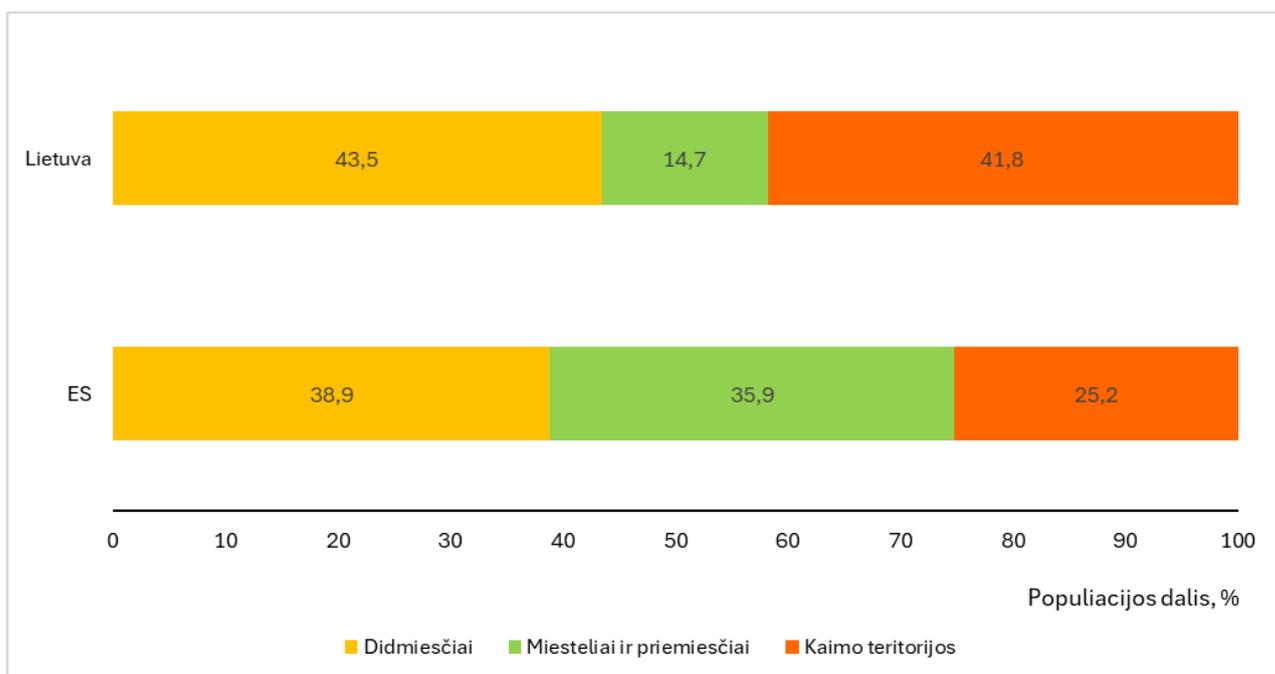
skiriasi savo aprašais ir išpėjamaisiais pranešimais. Europos Sąjungoje naudojamas Europos oro kokybės indeksas (EAQI), kuris įvertina aplinkos oro kokybę pagal šių oro teršalų koncentraciją:

- KD₁₀,
- KD_{2,5},
- NO₂,
- O₃,
- SO₂ [11, 12, 13].

Išpėjamieji pranešimai taip pat gali skirtis ir tiksline auditorija, kuriai skirtas pranešimas – Europos Sąjungoje skirtingi išpėjamieji pranešimai skiriami dviem skirtingoms žmonių populiacijos grupėms – bendrai populiacijai ir labiau pažeidžiamai/jautriai žmonių populiacijos daliai [11, 12].

1.1.1. Oro tarša miesto aplinkoje

Europos Sąjungoje 2021 metų ES statistikos tarnybos (EUROSTAT) pateikiamais duomenimis, pagal urbanizacijos laipsnį priemiesčiai ir miesteliai sudarė 20,5 %, ir didmiesčiai sudarė apie 3,6 % viso Europos Sąjungos ploto. Šiame 24,1 % Europos Sąjungos plote gyveno apie 72,8 % visos Europos Sąjungos žmonių populiacijos. Paminėtina, kad Lietuvos didmiesčiuose 2021 metų duomenimis gyveno apie 43,5 % visos Lietuvos populiacijos, tai yra 10,57 % daugiau žmonių nei bendrai visoje Europos Sąjungoje [14].



1.1 pav. Gyventojų pasiskirstymas pagal urbanizacijos laipsnį (2021 m.) [14]

Remiantis *Europos aplinkos agentūros* (angl. *European Environmental Agency*) pateikiamais duomenimis 2021 metais 97 % miestuose gyvenančių žmonių buvo veikiami kietųjų dalelių (KD_{2,5}) koncentracijomis, kurios viršijo 2021 PSO (angl. *World Health Organization*) gairėse rekomenduojamas ribas – 5 µg/m³, taip pat apie 90 % miestuose gyvenančių žmonių buvo veikiami azoto oksidų (NO_x) koncentracijomis, kurios viršijo 2021 PSO gairėse rekomenduojamas ribas. Lyginant Europos Sąjungos ir 2021 PSO gaires, aiškiai matyti, jog kietųjų dalelių (KD_{2,5}) ir azoto oksidų (NO_x) koncentracijos 2021 metais vos nežymiai viršijo Europos Sąjungos nustatytus

standartus ir mažiau nei 1 % miestuose gyvenančių žmonių populiacijos buvo veikiamos kietųjų dalelių (KD_{2,5}) ir azoto oksidų (NO_x) koncentracijomis, kurios viršijo ES standartus (žr. 1. lentelę). Iš to galima daryti prielaidą, kad Europos Sąjungos oro kokybės standartai turi būti peržiūrėti ir griežtinami [2].

1 lentelė. Europos Sąjungos miestų gyventojų dalis procentais, kurią 2021 metais veikė oro teršalų koncentracija, viršijanti tam tikrus ES standartus ir 2021 m. PSO gaires [2]

Tarša	ES Standartai	2021 m. PSO gairės
KD _{2,5}	<1%	97%
KD ₁₀	10%	76%
NO _x	<1%	90%

Didžioji dalis urbanizuotose vietovėse dominuojančių oro teršalų yra antropogeninės kilmės teršalai. Norėdami patenkinti vis didėjančios žmonių populiacijos poreikius miestuose didžiausius oro teršalų kiekius į aplinką išmeta pramonės ir energetikos sektoriai bei miesto transportas [15].

1.2. Oro taršos poveikis žmogaus sveikatai ir aplinkai

Oro tarša gali kelti įvairų neigiamą poveikį bei neigiamus padarinius žmogaus sveikatai. Oro teršalai į žmogaus organizmą patenka kvėpuojant arba oro taršai darant poveikį dirvožemio ir vandens telkinių kokybei, augalams ir gyvūnijai – dirvožemis ir vandens telkiniai užteršiami krituliais. Daugelis su oro tarša susijusių ligų pasireiškia esant bendram aukštam oro užterštumui, bet dažniausiai oro taršos poveikis bei jos padariniai yra skirstomi pagal konkretų oro teršalą. Oro taršos poveikis žmogaus sveikatai taip pat priklauso nuo poveikio grupės jautrumo – senyvo amžiaus, lėtinėmis ligomis sergantys žmonės bei vaikai yra lengviau paveikiami oro taršos [5, 16].

Oro tarša taip pat gali kelti neigiamus padarinius natūraliajai aplinkai, kaip kad žala augalams ir gyvūnams, įvairių ekosistemų griuvimas ir kt. Vieni iš dažnai sutinkamų oro taršos padarinių yra rūgštiniai lietūs, smogas, vandens telkinių eutrofikacija, laukinių gyvūnų buveinių naikinimas ir kt. [5].

Oro tarša taip pat siejama su klimato kaita ir jos padariniais. Oro teršalai, kaip vandens garai, CO₂, metanas, ir kitos dujos stiprina šiltnamio efektą ir sulaiko į žemės atmosferą patekusią saulės energiją, taip keliant atmosferos ir žemės temperatūrą, dėl kurios prasideda įvairūs klimato kaitos procesai. Prie klimato kaitos padarinių galima priskirti tokius procesus ir reiškinius kaip vandenynų temperatūros kilimas, jūros lygio kilimas, ledynų tirpimas, pasikeitę orų ir klimato ekstremumai, stichinės nelaimės, dažnėjančios sausros ir liūtys, tokie socialiniai ir ekonominiai padariniai kaip – ligų proveržiai ir pandemijos, badas, neigiamas poveikis gyvulininkystei, augalininkystei, turizmui ir kt. [5].

1.2.1. Kietųjų dalelių KD₁₀ ir KD_{2,5} poveikis ir padariniai žmogaus sveikatai

Kietosios dalelės, dėl savo mažo dydžio, gali prasiskverbti į žmogaus plaučius, į kraujotaką bei organizmo audinius, taip sukeldami neigiamą poveikį žmogaus sveikatai. Iš įvairių tyrimų žinoma, kad KD₁₀ ir KD_{2,5} kietųjų dalelių taršos poveikis gali bloginti normalią plaučių veiklą ir silpninti imuninę sistemą taip didinant riziką susirgti kvėpavimo takų uždegimais bei ligomis, kaip astma, kosulys, dusimas, švokštimas, plaučių uždegimas, širdies ir kraujagyslių ligomis [16, 17, 18].

Ilgalaikis poveikis KD_{10} ir $KD_{2,5}$ dalelėmis taip pat siejamas su padidėjusia rizika susirgti insultu, išemine širdies liga, lėtine obstrukcine plaučių liga, lėtinėmis inkstų ligomis, kaip inkstų fibrozė, plaučių vėžiu, antrojo tipo diabetu, hormonų disbalansu, bei įvairiomis neurologinėmis ligomis bei psichologiniais sutrikimais, kaip Alzheimerio, Parkinsono ligomis [16, 17, 18].

Epidemiologiniai tyrimais žinoma, kad neštumo metu KD_{10} ir $KD_{2,5}$ kietųjų dalelių taršos poveikis motinoms yra susijęs su priešlaikiniu gimdymu, mažu naujagimių svoriu ir naujagimių mirtingumu [16, 17, 18].

1.2.2. CO ir CO₂ poveikis žmogaus sveikatai

Anglies dioksido dujų gausu aplinkos ore, vandenyje ir netgi žmogaus kraujyje. Įvairiuose neindustriniuose pastatuose esantis vidaus oras yra pirmiausiai ir labiausiai veikianti žmogaus sveikatą aplinkos terpė. Vidutinė vidaus CO₂ koncentracija svyruoja nuo 800 iki 1000 ppm, o didėjanti aplinkos oro CO₂ koncentracija, taip pat didina ir vidaus anglies dioksido koncentraciją. Didėjant CO₂ kiekiui aplinkoje, jo tirpumas kraujyje taip pat didėja, taip mažėjant kraujo pH ir didinant anglies dioksido dalinį slėgį – visa tai gali sukelti ūmias ar lėtines kvėpavimo takų ligas, tokias kaip acidozė, uždegimus, inkstų kalcifikacijos ir kaulų demineralizacijos procesus. Padidėjusios CO₂ koncentracijos taip pat siejamos su sveikatai žalingo „sergančio pastato sindromu“ (angl. Sick Building Syndrome), gali lempiti kognityvinių funkcijų suprastėjimą. Be poveikio žmogaus sveikatai, anglies dioksidas taip pat daro poveikį ir natūraliai aplinkai bei klimato kaitai [19, 20].

Tuo tarpu anglies monoksido dujų toksiškumas labiausiai susijęs su CO dujų gebėjimu prisijungti prie hemoglobino ir sudarant karboksihemoglobino junginius. CO dujos apie 200 kartų geriau jungiasi prie hemoglobino nei jungiasi deguonis. Jei CO koncentracija kraujyje yra tarp 10 % ir 20 % žmogus gali jausti pykinimą, nuovargį, tachipnėją, jaustis sumišusiu, CO koncentracijai kraujyje esant tarp 21 % iki 30 % gali atsirasti galvos skausmo, dusulio, krūtinės anginos, regos sutrikimų požymiai, CO koncentracija kraujyje tarp 31 % iki 50 % lemia tokius požymius kaip galvos svaigimas, alpimas, vėmimas, CO koncentracija kraujyje viršijanti 51% gali lemti traukulius, komą, sunkią acidozę ar mirtį. Normali CO koncentracija žmogaus kraujyje svyruoja tarp 0,5 % ir 1,5 % [21].

1.2.3. NO_x poveikis žmogaus sveikatai

Azoto oksidų tarša miesto aplinkoje labiausiai siejama su vidaus degimo variklių išmetamosiomis dujomis. NO_x dujomis laikomos NO, NO₂, N₂O, NO₃, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅ dujos. Šie oksidai veikia kaip kvėpavimo sistemos dirgikliai, sukeliantys akių, gerklės ir nosies sudirgimą, kvėpavimo takų ligas, tokias kaip kosulys, švokštimas, dusulys, bronchų spazmas, plaučių edema ir t. t. Ilgalaikis NO_x taršos poveikis siejamas su lėtinėmis kvėpavimo takų ligomis, kvapo joslės praradimu. Tyrimais žinoma, kad padidėjusios NO₂ koncentracijos aplinkos ore gali prailginti ir pabloginti virusinius susirgimus [16, 17, 22].

1.2.4. Ozono poveikis žmogaus sveikatai

NO_x dujos yra taip pat svarbios ozono formavimuisi. Troposferos ozonas susiformuoja cheminių reakcijų tarp azoto oksidų ir lakių organinių junginių metu. Ozonas veikia žmonių kvėpavimo takus ir sukelia įvairias lėtines kvėpavimo ligas, kaip kad astma. Žinoma, kad vaikai gyvenantys vietovėse,

kurios pasižymi aukštomis O₃ koncentracijomis, turi 40 % didesnę tikimybę susirgti astma [16, 17, 22].

1.2.5. SO_x poveikis žmogaus sveikatai

Sieros oksidai – tai SO₂ arba SO₃ dujos. Net trumpalaikis ore esančio SO₂ dujų poveikis yra žalingas žmogaus sveikatai ir yra susijęs su akių, nosies, gerklės sričių sudirginimu ir gali sukelti įvairias kvėpavimo takų ligas, kaip astma, bronchitas. Trumpalaikis poveikis auštos koncentracijos, iki 10,000 ppm, SO₂ dujomis gali sukelti mirtį. Žinoma, kad ilgalaikis poveikis SO₂ teršalais yra susijęs su kvėpavimo sistemos sutrikdymu, širdies ir plaučių ligomis, bei ankstyvomis mirtimis [17, 23].

1.2.6. Oro taršos sukeltos mirtys Europos Sąjungoje

Europoje šiuo metu oro tarša išlieka kaip vienas pagrindinių aplinkos veiksnių keliančių pavojų žmogaus sveikatai. Europoje remiantis naujausiais *Europos aplinkos agentūros* duomenimis, 2021 metais ES-27 šalyse oro tarša KD_{2,5} dalelėmis, viršijančiomis PSO rekomenduojamą 5 µg/m³ koncentraciją, lėmė 253 tūkstančius ankstyvos mirties atvejus, oro tarša azoto dioksidu, viršijanti rekomenduojamą PSO 10 µg/m³ ribą – 52 tūkstančius ankstyvos mirties atvejų, trumpalaikė oro tarša ozonu – 22 tūkstančius mirčių [24]. Įvairūs tyrimai taip pat nustatė ryšį tarp oro taršos ir mirtingumo susijusio su oro tarša, neviršijančia ribinių oro užterštumo verčių ir rekomendacijų [24, 25].

2 lentelė. Papildomai priskaičiuoti mirčių atvejai, susiję su oro tarša neviršijusia rekomenduojamų oro taršos ribų 2021 metais ES-27 šalyse [24]

Oro teršalas	Galimai papildomos mirtys, tūkst.	Bendras galimų mirčių skaičius, tūkst.
KD _{2,5}	179	432
NO ₂	90	142
O ₃	86	108

Tolesnis oro taršos ribinių verčių ir oro kokybės standartų griežtinimas padėtų išvengti šių mirčių.

1.3. ES oro kokybės direktyvų apžvalga

Europos Sąjungoje pagrindiniai teisės aktai reglamentuojantys oro kokybę yra:

- Direktyva 2008/50/EB dėl aplinkos oro kokybės ir švaresnio oro Europoje;
- Direktyva 2004/107/EB dėl arseno, kadmio, gyvsidabrio, nikelio ir policiklinių aromatinių angliavandenilių aplinkos ore;
- Dėl tam tikrų valstybėse narėse į atmosferą išmetamų teršalų kiekio mažinimo Direktyva 2016/2284, kuria iš dalies keičiama Direktyva 2003/35/EB ir panaikinama Direktyva 2001/81/EB;
- Reglamentas (ES) 2016/1628 dėl reikalavimų, susijusių su ne keliais judančių mechanizmų vidaus degimo variklių dujinių ir kietųjų dalelių išmetamųjų teršalų ribinėmis vertėmis ir tipo patvirtinimu, kuriuo iš dalies keičiami reglamentai (ES) Nr. 1024/2012 ir (ES) Nr. 167/2013 ir iš dalies keičiama bei panaikinama Direktyva 97/68/EB;
- Reglamentas (ES) 2016/1628 dėl reikalavimų, susijusių su ne keliais judančių mechanizmų vidaus degimo variklių dujinių ir kietųjų dalelių išmetamųjų teršalų ribinėmis vertėmis ir tipo patvirtinimu, kuriuo iš dalies keičiami reglamentai (ES) Nr. 1024/2012 ir (ES) Nr. 167/2013 ir iš dalies keičiama bei panaikinama Direktyva 97/68/EB;

- Direktyva (ES) 2016/802 dėl sieros kiekio sumažinimo tam tikrose skystojo kuro rūšyse [4];

Dvi iš išvardintų – Direktyvos 2088/50/EB ir 2004/107/EB – aplinkos oro kokybės direktyvų nustato oro kokybės standartus, 13 oro teršalų ribines vertes, leistinus nukrypimo dydžius, siektinas vertes, taip pat nustato bendrus nurodymus, metodus ir kriterijus oro kokybės matavimui, vertinimui ir stebėjimui, oro kokybės planams, visuomenės informavimui, informacijos ir ataskaitų pateikimui ES komisijai [4].

Remiantis *Europos aplinkos agentūros* teikiamais duomenimis, bendros visų oro teršalų emisijos ES-27 šalyse laikotarpiu nuo 2005 metų iki 2020 metų išlaikė mažėjimo tendenciją. Laikotarpiu tarp 2005-2020 metų $KD_{2,5}$ ir KD_{10} kietųjų dalelių emisijos sumažėjo atitinkamai 30 % ir 32 %, amoniako emisijos sumažėjo 8 %, metano emisijos sumažėjo 17 %, sieros oksido emisijos sumažėjo 79 % ir t. t. Nepaisant mažėjančių oro teršalų emisijų, užsilikusi oro tarša, oro taršos sukeltos lėtinės ligos ir priešlaikinio mirtingumo skaičiai (žr. 1.2.6 skyrių) išlaiko oro taršą kaip vieną iš didžiausių aplinkos keliamų rizikų žmogaus sveikatai. Dėl socialinių, ekonominių arba gyvenamosios vietos skirtumų, dalis ES gyventojų vis dar yra veikiami oro taršos, kuri didesnė nei PSO rekomenduojamos oro taršos ribos [1, 2, 4]. Dėl šių ir kitų priežasčių 2022 m. spalio 26 dieną Europos Komisija, iš dalies prisidedama prie Europos žaliojo kurso politikos (angl. *European Green Deal*), pateikė pasiūlymą peržiūrėti Aplinkos oro kokybės direktyvas [4].

1.3.1. ES oro kokybės teisės aktų apžvalga

Pateiktame pasiūlyme, atsižvelgiant į Europos žaliojo kurso politikos pagrindinį tikslą, būtų įtvirtintas „nulinės oro taršos tikslas“, pagal kurį iki 2050 metų visoje Europos Sąjungoje būtų pasiektas oro kokybės lygis, kuris būtų nebelaikomas kenksmingu žmonių sveikatai ir natūralioms ekosistemoms. Pasiiekti šiam tikslui siūloma iki 2030 metų nustatyti naujus tarpinius oro kokybės standartus, kurie būtų labiau suderinti su PSO oro kokybės gairėmis – peržiūrint direktyvas bus vadovaujama Pasaulio Sveikatos Organizacijos tarpiniais tikslais (angl. *interim targets*), kurie yra artimiausi Pasaulio Sveikatos Organizacijos nustatytoms oro kokybės gairėms. Pagal pateiktą pasiūlymą taip pat būtų nustatytos pavojaus slenksčio koncentracijas matuoti trumpalaikiai KD_{10} ir $KD_{2,5}$ dalelių taršai – atitinkamai $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ir $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [4].

3 lentelė. Nauji siūlomi ES oro kokybės standartai lyginant su PSO oro kokybės gairėmis [4].

Teršalas	Vidurkinimo laikotarpis	TT1	TT2	TT3	TT4	PSO gairės	Dabartiniai standartai	Teisinis pobūdis	Nauji siūlomi standartai
$KD_{2,5}$	Metinis	35	25	15	10	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Ribinė vertė	$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
$KD_{2,5}$	24 valandų	75	50	37,5	25	$15 \mu\text{g}/\text{m}^3$	-	Ribinė vertė	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$
KD_{10}	Metinis	70	50	30	20	$15 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Ribinė vertė	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
KD_{10}	24 valandų	150	100	75	50	$45 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Ribinė vertė	$45 \mu\text{g}/\text{m}^3$
O_3	Sezono piko metu	100	70	-	-	$60 \mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-
O_3	Maksimalus 8 valandų	160	120	-	-	$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Tikslinė vertė	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$

4 lentelė. Nauji siūlomi ES oro kokybės standartai lyginant su PSO oro kokybės gairėmis (3 lentelės tęsinys) [4].

O ₃	Maksimalus 8 valandų	-	-	-	-	-	120 µg/m ³	Ilgalaikis tikslas	100 µg/m ³
NO ₂	Metinis	40	30	20	-	10 µg/m ³	40 µg/m ³	Ribinė vertė	20 µg/m ³
NO ₂	24 valandų	120	50	-	-	25 µg/m ³	-	Ribinė vertė	50 µg/m ³
NO ₂	1 valanda	-	-	-	-	-	200 µg/m ³	-	-
SO ₂	Metinis	-	-	-	-	-	-	Ribinė vertė	20 µg/m ³
SO ₂	24 valandų	125	50	-	-	40 µg/m ³	125 µg/m ³	Ribinė vertė	50 µg/m ³
SO ₂	1 valanda						350 µg/m ³		
CO	24 valandų	-	-	-	-	-	-	Ribinė vertė	4
CO	Maksimalus 8 valandų	7	-	-	-	4 mg/m ³	10 mg/m ³	Ribinė vertė	10 mg/m ³

Teršalų, kurie nėra reguliuojami PSO gairėmis, koncentracijų ribos bus išlaikytos tokiomis pačiomis, arba koreguojamos ir griežtinamos – sunkiųjų metalų ir benzo(a)pireno ribinės vertės išliks tokios pačios, benzeno – sumažinta nuo 5 µg/m³ iki 3,4 µg/m³ (vadovaujantis PSO) [4].

Keli kiti svarbūs siūlomi pokyčiai:

- Siūloma įvesti vieną vertinimo ribą kiekvienam teršalui vietoj dabartinių apatinės ir viršutinės vertinimo ribų.
- Mėginių ėmimo vietų skaičiaus ir mėginių ėmimo vietos pasirinkimo kriterijus būtų atnaujintas ir patikslintas.
- ES narės turės stebėti UFP dalelių foninę koncentraciją. Vietose, kur fiksuojama didelė UFP koncentracija – reikės turėti bent vieną mėginių ėmimo vietą per 5 milijonus gyventojų.
- Pagal siūlomus atnaujinimus, oro kokybės planai turėtų būti parengti prieš įsigaliojant naujiems atnaujintiems oro kokybės standartams. Siūloma įvesti papildomus oro kokybės planų atnaujinimo kriterijus, privaloma nurodyti minimalią informaciją.
- Pasiūlyme taip pat siūloma, kad valstybės narės turėtų įsteigti viešai, laisvai prieinamą oro kokybės indeksą.
- Pasiūlyme būtų numatytos aiškios nuostatos dėl teisės kreiptis į teismą, siekiant ginčyti su oro kokybės planais susijusius sprendimus ir veiksmus.
- Siūlomoje direktyvoje būtų nurodyta, kaip valstybės narės turėtų nustatyti sankcijas už nacionalinių direktyvą įgyvendinančių priemonių pažeidimus, įskaitant baudas [4].

Tam, kad būtų užtikrinta, jog oro kokybės standartai yra tinkami, siekiant atnaujintos direktyvos tikslų įgyvendinimo, siūloma įvesti reguliarius peržiūros mechanizmus, kuriuos taikydama Europos Komisija įvertintų poreikį peržiūrėti direktyvos standartus.

1.4. Teršalų sklaida

Tam, kad būtų galima suprasti, kada ir kaip toli nuo taršos šaltinio tarša gali paveikti žmones, svarbu žinoti kaip tarša sklinda erdvėje. Oro teršalai patekę į aplinką gali būti transportuojami dešimtis,

šimtus ar net tūkstančius kilometrų nuo jų šaltinio. Oro taršos pasiskirstymas, judėjimas erdvėje, jiems patekus į aplinkos orą, vadinamas sklaida. Sklaida vyksta įvairių procesų dėka, tokių kaip advekcija, difuzija, turbulencija, cheminės reakcijos, teršalų nusėdimo laipsnis (angl. *deposition*), ir kt. [26]. Oro taršos modeliavimas padeda prognozuoti oro taršą erdvėje ir laike, įvertinti jos poveikį aplinkai, žmogaus sveikatai, leidžia teikti rekomendacijas įstatymų leidėjams ar privataus sektoriaus atstovams. Oro taršos modeliavimui galima pasitelkti įvairius teršalų sklaidos skaitmeninius modelius (angl. *computational models*), tokius kaip dėžės modeliai (angl. *box models*), Eulerio modeliai (angl. *Eulerian Models*), Gauso modeliai (angl. *Gaussian models*), Lagranžo modeliai (angl. *Lagrangian Models*), skaičiuojamosios skysčių dinamikos modeliai (angl. *Computational Fluid Dynamics Models*), gatvės tinklo modeliai (angl. *street network models*) ir kt. [27].

Oro kokybė ir oro taršos sklaida priklauso ne tik nuo išmetamų teršalų koncentracijų, bet ir nuo atmosferos stabilumo, reljefo, taršos šaltinių charakteristikų, cheminių junginių transformacijos reakcijų atmosferoje, meteorologinių sąlygų ir kt.

1.4.1. Atmosferos stabilumas

Atmosferos stabilumas yra vienas svarbiausių veiksnių lemiančių oro taršos sklaidą erdvėje vertikalia atmosferos kryptimi. Atmosferos stabilumą galima apibūdinti, kaip atmosferos būseną, kurioje stabdomas arba skatinamas vertikalus oro srautų (angl. *air parcels*) judėjimas, arba kai mažinama ar stiprina turbulencija. Vertikalus ir horizontalus chaotiškas atmosferos judėjimas vadinamas turbulencija [28]. Atmosferos stabilumą lemia šiluminė arba mechaninė turbulencija. Šiluminė turbulencija dažniausiai pasireiškia dienos metu, kai saulės išildyta žemė sušildo virš jos esančią oro masę, o mechaninė turbulencija būdingesnė nakties metu, kai atšalęs žemės paviršius nebešildo oro masės esančios virš jo ir oro masės yra nešamos vėjo. Kai vyrauja šiluminė turbulencija, o mechaninė turbulencija maža – atmosferos yra nestabilios būsenos ir oro srautai juda vertikalia kryptimi, kai šiluminė turbulencija mažėja, o mechaninė turbulencija didėja, atmosfera yra neutralioje būsenoje – oro paketai nejuda vertikaliai, bet dėl vėjo sukeltos mechaninės turbulencijos, gali judėti horizontalia kryptimi. Kai šiluminės turbulencijos nėra, o mechaninė turbulencija yra slopinama ir nėra vertikalaus maišymosi – atmosfera yra stabilios būsenos ir oro srautai, bei juose esanti oro tarša nesimaišo, akumuluojasi ir nesklinda [29, 30, 31].

Atmosferos stabilumą galima klasifikuoti naudojant Paskvilio klasifikacijos metodą. Paskvilio stabilumo klasifikacija buvo sukurta apibūdinti oro sklaidos sąlygoms bei tiksliai nustatyti difuzijos nuokrypius σ_y ir σ_z (horizontalios ir vertikalios sklaidos standartiniai nuokrypiai), naudojantis vėjo greičio matavimais, debesuotumo ir insoliacijos duomenimis. Vienas iš Paskvilio metodo pranašumų yra tai, kad turbulencijos parametrus galima tiesiogiai įvertinti turint meteorologinius matavimus, lengvai parenkant stabilumo klasę, tačiau apibrėžtų Paskvilio klasių verčių tikslumas dažnai yra mažas, ir neįvertina tokių svarbių aplinkos veiksnių kaip šiluminės dirvožemio savybės, ar prognozuojamos oro sąlygos. Dėl šių ir kitų priežasčių galima naudoti modifikuotos Paskvilio klasifikacijos, pavyzdžiui, Paskvilio -Giffordo, Paskvilio -Turnero, ir kt. [26, 28, 31, 32].

Atmosferos stabilumas pagal Paskvilio skalę gali būti skirstomas į A, B, C, D, E ir F klases priklausomai nuo paviršiaus vėjo greičio, debesuotumo ir insoliacijos (žr. 5 lentelę) [32].

5 lentelė. Paskvilio atmosferos stabilumo klasifikacija [32]

Vėjo greitis, m/s	Dienos metas			Nakties metas	
	Stipri saulės insoliacija	Vidutinė saulės insoliacija	Maža saulės insoliacija	Mažai debesuota arba >4/8 žemi debesys	<3/8 debesys
<2	A	A–B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

A–C klasės rodo nestabilias atmosferos sąlygas, D – neutralią atmosferos būseną, o klasės E-F rodo stabilias atmosferos sąlygas [32].

Atmosferos stabilumas turi didelę įtaką oro teršalų akumuliacijai vietoje zonoje, sklaidai bei cheminėms reakcijoms vykstančioms tarp įvairių teršalų [28, 29].

1.4.2. Monino-Obukhovo panašumo teorija ir Monino-Obukhovo ilgis

Monino-Obukhovo panašumo teorija (angl. *Monin-Obukov similarity theory*) yra naudojama apibūdinti turbulentių srautų elgseną atmosferos ribiniuose sluoksniuose. Ši teorema buvo sukurta rusų mokslininkų A. S. Monino ir A. M. Obukhovo, kurie sugebėjo sujungti vertikalią terminę turbulenciją ir srautų judėjimą į parametą, turintį ilgio matmenis – Monino-Obukhovo ilgis, kuris apibrėžia turbulentių srautą dviem parametrais – trinties greičiu ir turbulentių šilumos srautu [26, 33]:

$$L = \frac{(-\overline{u'w'})^3}{\kappa_T \overline{T'w'}}; \quad (1.4.2.1)$$

čia u' ir w' – horizontalios ir vertikalios turbulencijų svyravimai; g – laisvojo kritimo pagreitis; k – von Karmano konstanta, paprastai laikoma lygi 0,4; T – temperatūra; T' – temperatūros svyravimai.

Monino-Obukhovo panašumo teorema leidžia suprasti ryšį tarp įvairių turbulencijos parametrų [26, 33].

Terminės ir mechaninės turbulencijos santykis apibūdinamas Richardsono skaičiumi (angl. *Richardson number*), čia skaitiklis apibūdina terminę turbulenciją, o vardiklis – vėjo šlytį [26]:

$$Ri = \frac{\frac{g}{p_0} \frac{\partial p}{\partial z}}{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2}; \quad (1.4.2.2)$$

čia g – laisvojo kritimo pagreitis; p_0 – tankis.

Neigiamas Richardsono skaičius reiškia, kad vyrauja terminė turbulencija, mažai teigiamas Richardsono skaičius reiškia, kad terminė turbulencija maža ir vyrauja mechaninė turbulencija, teigiamas Richardsono skaičius – kad ribiniai atmosferos sluoksniai yra stabilūs [26].

6 lentelė. Standartinės Richardsono skaičiaus ir Monino-Obukhovo ilgio vertės ties kiekviena atmosferos stabilumo klase [26]

Stabilumo klasė	Richardsono skaičius	Monino-Obukhovo ilgis (m)
A	$Ri < -0,86$	-2 iki -3
B	$-0,86 \leq Ri < -0,37$	-4 iki -5
C	$-0,37 \leq Ri < -0,10$	-12 iki -15
D	$-0,10 \leq Ri < 0,053$	neribojamas
E	$0,053 \leq Ri < 0,134$	35 iki 75
F	$0,134 \leq Ri$	8 iki 35

Remiantis matmenų analizės teorija (angl. *dimensional analysis theory*), teigiama, kad esant dideliame Reinoldso skaičiui ir nesant vidutiniam vertikaliajam srautui (angl. *mean vertical flow*), esant pastovioms sąlygoms ir esant virš horizontalaus vienalyčio ir plokščio paviršiaus, vienas nedimensinis santykis ζ , sudarytas iš aukščio virš paviršiaus z ir Monino-Obukovo ilgio L santykio, pilnai sucharakterizuoja visus paviršiaus ir atmosferos mainų procesus [33]:

$$\zeta = z/L; \quad (1.4.2.3)$$

čia z – aukštis virš paviršiaus; L – Monino-Obukovo ilgis.

1.4.3. Vėjo greitis ir vėjo kryptis

Kiti veiksniai galintys veikti oro taršos sklaidą yra vėjo greitis ir vėjo kryptis. Nuo vėjo greičio ir krypties priklauso kaip toli ir kur oro teršalai bus transportuojami, ir kokia bus oro taršos koncentracija duotame taške. Kai vėjas yra stiprus – oro teršalai yra nunešami toli nuo taršos šaltinio, vėjas gali sumažinti jų koncentraciją paskleidžiant teršalus virš didesnio ploto. Tuo tarpu, kai vėjo greitis yra mažas (maža ir terminė turbulencija), oro tarša gali užsilikti ir akumuliuotis virš taršos šaltinio, taip skatinant ir intensyvesnę sąveiką tarp teršalų – akumuliuojantis NO_x ir LOJ koncentracijoms, intensyviau vyksta fotocheminės reakcijos, kurių metu susiformuoja ozonas – po tam tikro laiko akumuliuojantis pirminiams ir antriniam teršalams susidaro ozono baseinai (angl. *ozone „pool“*) [34, 35].

Paviršiaus reljefas taip pat lemia tai kaip vėjo srautas vykdo taršos transportavimą ir sklaidą. Esant lygiam paviršiui oro sklaida bus tolygi ir priklausys nuo terminės turbulencijos ir vėjo greičio. Esant kalnuotam paviršiui vėjo srautas yra blokuojamas ar perskiriamas. Kalnai blokuodami oro srautą lemia teršalų akumuliaciją šalia kalnų esančiose vietovėse ar slėniuose [34, 35].

Miestuose teršalų sklaidai ir oro srautui įtakos turi vėjo kryptis. Kai aplinkos oro srautas yra statmenas gatvės ašiai, teršalų sklaida vyksta prastai. Kai aplinkos oro srautas yra lygiagretus gatvės ašiai, vadinami „gatvių kanjonai“ (angl. *street canyon*) ventiliuojasi ir vyksta gera teršalų sklaida [36].

Įprastai vėjo greitis vadinamuose „gatvių kanjonuose“ (angl. *street canyon*) yra mažas, dėl ko atsiranda temperatūrų skirtumas tarp gatvės paviršiuje esančio oro ir virš pastatų esančio oro. Atsiradusi karščio sala (angl. *heat island*) lemia tai, kad oro temperatūra gatvės paviršiuje yra aukštesnė nei aplinkos oro temperatūra virš jos. Dėl to ir dėl gatvėse esančių tankiai išdėsčiusių pastatų, vėjo krypties, greičio ir kt. faktorių, sustiprinami oro sūkuriai „gatvių kanjonuose“, padidinamas bendras oro ir oro taršos maišymasis miesto aplinkoje, gerinama ventiliacija, bet tuo

pačiu, susidarę sūkuriai gali laikinai sukelti lokalius teršalų koncentracijos padidėjimus, taip susidarant teršalų „kišenėms“ [35, 36].

1.4.4. Temperatūra, saulė šviesa ir drėgmė

Aplinkos oro temperatūra ir drėgmė taip pat turi įtakos antrinių teršalų formavimuisi ir taršos sklaidai. Aplinkos oro temperatūra, mažas arba jokio debesuotumo ir saulės šviesa dienos metu turi įtakos ir skatina fotochemines reakcijas – dėl miesto transporto dienos metu suaktyvėjimo ir dėl tarp išmetamų NO_x ir LOJ dujų vykstančių fotocheminių reakcijų formuojasi troposferos ozonas. Formuojantis naujiems – antriniams teršalams mažėja pirminių teršalų koncentracijos aplinkos ore [37].

Aplinkos oro drėgmė gali turėti įtakos KD teršalų nusėdimui – didėjant drėgmės lygiui ore - didėja ir drėgmės dalelių dydis, šios dalelės prilimpa prie teršalų dalelių, taip darant jas sunkesnėmis, kol pasiekiamas sausas nusėdimas (angl. *dry deposition*), kurio metu aplinkos ore sumažinama kietųjų dalelių koncentracija. Didesnė aplinkos oro drėgmė taip pat gali skatinti debesų formavimąsi ir kritulių susidarymą. Kai teršalai yra nusodinami iš aplinkos oro kartu su krituliais, toks nusodinimas vadinamas šlapiu nusėdimu (angl. *wet deposition*) [37, 38].

Žemės paviršiaus ir oro temperatūra, drėgmė, mažas vėjo greitis, mažas debesuotumas gali sudaryti palankias sąlygas atmosferos temperatūrinės inversijos susiformavimui. Atmosferos temperatūrinė inversija tai toks reiškinys, kai priešingai normaliai būsenai (temperatūra mažėja kylant aukščiau virš žemės paviršiaus), virš šaltesnio paviršiaus oro sluoksnio susidaro šiltesnis oro sluoksnis, tokiu atveju kylant aukščiau virš žemės paviršiaus – kyla ir aplinkos oro temperatūra. Dėl temperatūrinės inversijos negali vykti terminė turbulencija ir susidaro stabilūs oro masės sluoksniai, kurie efektyviai sulaiko, akumuliuoja teršalus, neleidžia jiems vertikaliai maišytis ir sklaidytis į atmosferą, skatinant reakcijas tarp oro teršalų, taip susidarant antriniams teršalams. Temperatūrinė inversija dažnai susidaro giedromis ir ramiomis (nėra vėjo) naktimis, kai žemės paviršius greitai praranda/išspinduliuoja šilumą į aplinkos orą. Atvėsus paviršiui, toliau greitai vėsta ir prie paviršiaus esantis oro sluoksnis, tuo tarpu aukščiau esantys oro sluoksniai išlieka stabilūs ir nevėsta - tokiu būdu susidaro šilto oro sluoksnis virš šalto paviršiaus oro sluoksnio [39].

Temperatūrinė inversijos dažnai susidaro miestų aplinkoje naktimis arba šaltesniais metų laikotarpiais, kai yra didelis temperatūrų skirtumas tarp žemės paviršiaus ir virš jo esančio oro. Tuo tarpu kalnuoti regionai yra linkę turėti ilgalaikes temperatūrines inversijas, kadangi šiose vietovėse dienos laikotarpiu mažai įšildomas paviršius ir kalnų slėniuose yra linkęs kauptis šaltas oras [39].

Suprantant temperatūrines inversijos mechanizmus galima prognozuoti oro kokybę ir oro taršos poveikį žmogaus sveikatai, teikti rekomendacijas sprendimų priėmėjams ir privačiam sektoriui [39].

1.4.5. Teršalų transformacijos reakcijos atmosferoje

Išmesti teršalai į aplinkos orą ne tik sklinda ir yra transportuojami, bet ir reaguoja su aplinkos ore esančiomis molekulėmis ir teršalais, taip sudarydami antrinius teršalus. Antriniai teršalai – tai tokie teršalai – cheminiai junginiai, dalelės, aerozoliai, dujos, kurie susiformuoja pirminiems teršalams dalyvaujant įvairiose cheminėse, fotocheminėse, oksidacijos, terminėse ir kt., reakcijose su kitais teršalais ar medžiagomis esančiomis atmosferoje. Daugelis atmosferoje vykstančių reakcijų yra tiesiogiai arba netiesiogiai katalizuojamės saulės šviesos spindulių [40, 41].

Vienas dažniausiai miesto aplinkoje sutinkamų antrinių teršalų yra ozonas. Ozonas susiformuoja fotocheminių reakcijų metu ir kartu su kitais teršalais gali sukelti cheminį smogą. Cheminis smogas dažniausiai susidaro giedromis dienomis miestų aplinkoje aktyvaus transporto, aktyvios saulės spinduliuotės metu, esant silpnam vėjui, mažai kritulių kiekiui ir aukštesnei nei 32°C temperatūrai. Smogas yra ozono, peroksiacetilo nitrato, azoto oksidų ir kitų įvairių teršalų mišinys. Aplinkos ore esant lakiems organiniams junginiams sutrikdomas natūralus NO₂, NO, O₂ ir O₃ skilimo ir susidarymo ciklas. Natūraliai NO₂ suskyla į NO ir O, kur O sureaguoja su O₂ ir sudaro ozoną, kuris vėliau sureaguoja su azoto oksidu ir susiformuoja NO₂ ir O₂ dujas. Lakių organinių junginių buvimo atmosferoje atveju, angliavandeniliai sureaguoja su azoto oksidu, tam įvykus susidaro peroksiacetilo nitratas ir NO₂, NO₂ suskyla į NO ir O, kur O sureaguoja su O₂ ir sudaro ozoną, likęs NO toliau reaguoja su lakiais organiniais junginiais. Tokiu būdu, dėl didelių lakių organinių junginių koncentracijų, ore pradeda akumuliuotis tiek ozonas tiek peroksiacetilo nitratas [40, 41]:



Taigi ozono koncentracijos ore mažinimui, mažinti reikia ne tik azoto oksidų emisijas, bet ir įvairių angliavandenilių emisijas į atmosferą [40, 41].

1.4.6. Taršos šaltinių klasifikacija ir charakteristikos

Taršos šaltiniai gali būti skirstomi į stacionarius ir mobilius taršos šaltinius. Stacionariems šaltiniams priskiriama pramonės ir gyvenamųjų namų išmetama tarša, o mobiliems taršos šaltiniams priskiriama transporto sektoriaus išmetama tarša - automobilių, sunkvežimių, traukinių, laivų ir t.t. išmetami teršalai. Taršos šaltiniai taip pat gali būti skirstomi į:

- taškinius (angl. *point sources*),
- linijinius (angl. *line sources*),
- ploto šaltinius (angl. *area sources*)

1.4.7. Taškinių taršos šaltinių charakteristikos

Taškiniai taršos šaltiniai – tai stacionarieji taršos šaltiniai, kurie išmetamų teršalų inventoriuje pateikiami kaip individualūs taškas, kuriais galima nustatyti išmetamųjų teršalų erdvinę raišką 1x1 km ar mažesniu masteliu. Individualūs pramonės ir energijos gamybos įmonių sklypai dažniausiai bendrai laikomi vienu taškiniu taršos šaltiniu, nebent jų sklypuose tarša išmetama iš skirtingų kelių šaltinių, skirtinguose aukščiuose, tuomet kiekvienas skirtingas taršos emisijų taškas gali būti laikomas kaip atskiras taškinis šaltinis – tai ypač svarbu modeliuojant taršos sklaidą. Taškiniai taršos šaltiniai yra lengviau charakterizuojami nei netaškiniai taršos šaltiniai [42, 43].

Kaip vyks oro teršalų sklaida iš taškinių taršos šaltinių priklauso ne tik nuo teršalų cheminių ir fizikinių savybių, ar procesų, kuriuose susidaro teršalai, bet ir nuo įvairių taršos šaltinių parametrų, būtent dėl to yra labai svarbu prieš modeliuojant taršos sklaidą surinkti išsamią informaciją ir paruošti smulkmenišką taršos šaltinių inventorių, kuriame būtų pateikta tokia informacija, kaip [42, 43, 44]:

- koordinatės (LKS-94),
- teršalų išmetimo šaltinio aukštis,
- teršalų išmetimo šaltinio skersmuo,
- momentinė emisija (angl. *emission rate*),
- išmetamų dujų temperatūra,
- išmetamų dujų srauto greitis,
- tūrio debitas.

1.5. Teršalų sklaidos modeliavimas ir modeliai

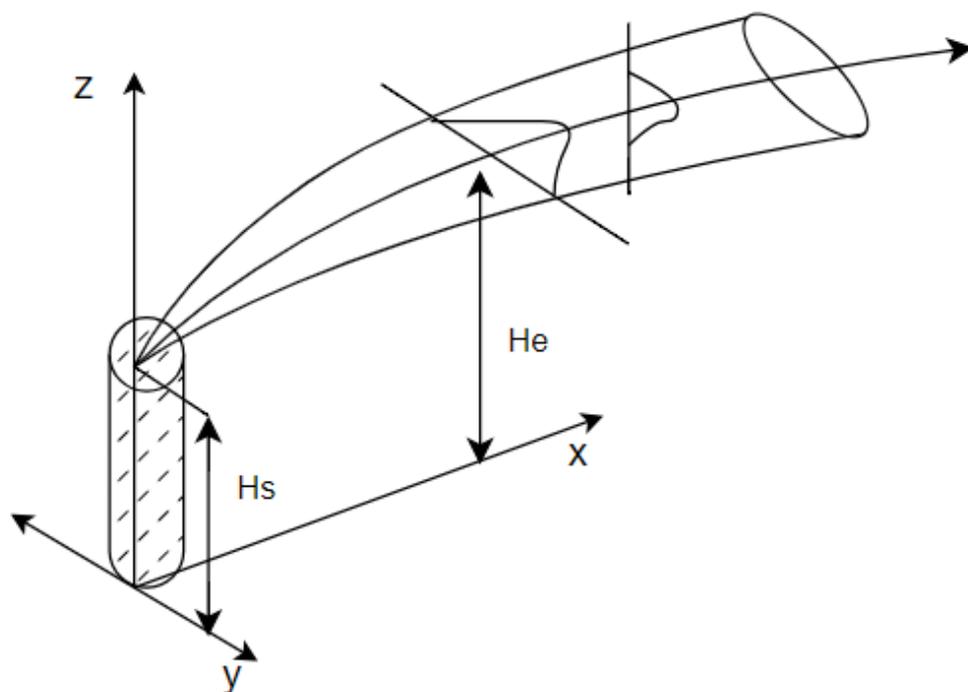
Sklaidos modeliai simuliuoja cheminius ir fizinius atmosferos teršalų sklaidos ir transformacijos procesus, taip įvertinant ir prognozuojant taršos šaltinių išmestų teršalų koncentracijas, jų pokyčius erdvėje ir laike. Teršalų sklaida ore – tai teršalų pasiskirstymas, judėjimas erdvėje jiems patekus į aplinkos orą. Sklaida vyksta dėl vertikalios ir horizontalios oro masių judėjimo (terminės ir mechaninės turbulencijos), taip pat dėl teršalų difuzijos. Modeliai modeliujantys teršalų sklaidą į kelias kryptis ore vadinami aerodinaminiais modeliais, vandenyje – hidrodinaminiais modeliais. Oro taršos sklaidos modeliavimas leidžia prognozuoti taršos sklaidimą ir oro kokybę, teikti rekomendacijas miestų aplinkos planavimui, sprendimų priėmėjams, tirti ir vystyti emisijų mažinimo technologijas. Dėl šių ir kitų priežasčių yra labai svarbu teršalų sklaidos modeliavimui pasirinkti tinkamą modelį. Pasirenkant oro teršalų sklaidos modelį reikėtų atsižvelgti į sklaidos modelio pritaikomumą pasirinktam regionui, modelio sudėtingumą, modelio jautrumą, pranašumus ir trūkumus, modeliuojamos teritorijos ploto dydį ir kt. Vieni dažniausiai naudojamų sklaidos modelių yra:

- Dėžučių modelis (angl. *box model*) – tai vieni paprasčiausių oro taršos sklaidos modelių, kur atmosferos oro erdvė yra traktuojama kaip dėžė, kurioje oro teršalai pasiskirsto tolygiai – daroma prielaida, kad teršalai yra akimirksniu homogeniški ir susimaišę, nesprenžiant teršalų pasiskirstymo erdvėje laiko atžvilgiu. Padidinti tokios sklaidos simuliacijos tikslumui galima taikyti multi-dėžučių principą;
- Eulerio modelis (angl. *Eulerian model*) – šis modelis padalina atmosferą į fiksuoto dydžio tinklelį ir kiekvienoje tinklelio langelyje išsprendžia skysčių dinamikos lygtį, taip numatant teršalų elgesį laiko ir erdvės atžvilgiu;
- Lagranžo modelis (angl. *Lagrangian model*) – tai modeliai darantys prielaidą, kad turbulentinė dispersija yra atsitiktinis procesas, kurį galima numatyti pasiskirstymo funkcija. Lagranžo modeliai kainos atžvilgiu yra ypač efektyvūs modeliuojant trumpo atstumo/ploto simuliacijas;
- Skaičiuojamosios fluidų dinamikos modelis (angl. *Computational Fluid Dynamics*) – tai modelis pagrįstas Navjė-Stokso (angl. *Navier-Stokes*) lygtimis. Navjė-Stokso lygtys gali tiksliai sumodeliuoti atmosferos dujų srautą;
- Gauso sklaidos modelis (angl. *Gaussian model*) – tai modeliai darantys prielaidą, kad teršalų sklaida vyksta pagal Gauso skirstinį, tai yra, teršalų debesies dispersija tiek horizontalia, tiek vertikalia kryptimi vyksta pagal normalųjį skirstinį;
- Ir kt. [26, 45, 46].

1.5.1. Gauso modeliai

Gauso skirstinio pagrindu sukurti dispersijos modeliai yra vieni dažniausiai naudojamų teršalų sklaidos modelių. Gauso modeliai remiasi prielaida, kad teršalų sklaida vyksta nepertraukiamai

visomis kryptimis – horizontaliai ir vertikaliai, pastovios būsenos sąlygomis pagal Gauso skirstinį. Šiuose modeliuose pavėjui esanti dispersija yra vidutinio vėjo greičio, pučiančio pastoviomis sąlygomis per Gauso teršalų stulpą, funkcija [45, 47].



1.2 pav. Schematiškai pavaizduotas Gauso debesies modelis. Čia H_s – taršos šaltinio aukštis virš žemės paviršiaus; H_e – efektyvus aukštis [26, 27, 47]

Taršos debesies plotis yra vienas svarbiausių parametrų naudojamų Gauso taršos debesies sklaidos modeliavimui. Taršos debesio plotį galima apibrėžti apskaičiuojant standartinius nuokrypius difuzijos parametrus σ_y ir σ_z (horizontalios ir vertikalios sklaidos standartiniai nuokrypiai). Gauso debesio modeliai taip pat priima, kad oro tarša yra centruota aplink pavėjui nukreiptą sklaidos ašį, ir kad teršalų normalus pasiskirstymas didėja kartu su pavėjui esančiu atstumu nuo taršos šaltinio. Vykstant teršalų sklaidai teršalų debesies ašis palaipsniui kyla virš efektyvaus taršos šaltinio aukščio – debesies plėsis ir tarša pasklis po vis didesnę plotą. Paprastai išreikšta Gauso dispersijos lygtis apskaičiuoja koncentraciją konkrečiame receptoriuje C esančiame x , y , z atstumu virš žemės lygio: [47, 49]

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left(\exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right]\right); \quad (1.5.1.1)$$

čia $(H - z)$ – receptoriaus atstumas nuo debesies centro; $(H + z)$ – receptorių sukūrinis atstumas nuo debesies centro; u – vėjo greitis ties išmetimo riba, m/s; Q – teršalų emisija, g/s; σ_y ir σ_z – standartiniai sklaidos nuokrypiai.

Gauso modeliai yra naudojami modeliuoti artimą teršalų sklaidą – dešimčių kilometrų atstumu nuo taršos šaltinio. Gauso modeliai yra ypač greiti, kadangi modeliuojant, kiekvienam receptoriui sprendžiama viena dispersijos/sklaidos lygtis, vietoj to, kad būtų sprendžiamos kelios diferencinės lygtys, nors meteorologinių duomenų apdorojimas ar sudėtingi turbulencijos parametrai gali sulėtinti modeliavimą ir pabranginti modeliavimo kainą. Vienas Gauso modelių trūkumų – netikslus teršalų modeliavimas esant mažam vėjo greičiui, kai didėja trimatė difuzija. Į šiuos Gauso modelio trūkumus

yra atsižvelgiama tokiose programinėse įrangose, kaip AEOLIUSF, AERMOD, CTDM, CALINE, ADMS ir kitose, kuriose įvertinami įvairūs fiziniai parametrai, meteorologija, sudėtingas reljefas, terminė turbulencija, norint padidinti modelių tikslumą, ir kiti veiksniai. [26, 27].

1.6. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Pirmajame magistro projekto skyriuje buvo apžvelgta oro kokybės situacija Europos Sąjungoje, apžvelgta oro taršos įtaka žmogaus sveikatai, bei poveikis miesto aplinkoje. Taip pat aptarti oro teršalų sklaidą lemiantys ir įtakos turintys veiksniai. Aptartas Gauso modelis, jo principas ir pritaikomumas realiame gyvenime.

2. Tyrimo metodika

Tyrimo metodikos skyriuje pateikiama informacija apie naudotą AERMOD programinę įrangą, laisvasias ekonomines zonas ir Kauno LEZ, modelių įvesties duomenys, informacija apie tyrime analizuojamas įmones, jų veiklą, oro teršalų emisijas, Kauno miesto foninę taršą.

2.1. AERMOD programinė įranga

Baigiamojo projekto tikslui pasiekti buvo naudojama *Lakes Environmental AERMOD View* programinė įranga. Programinę įrangą suteikė Kauno Technologijos Universitetas.

AERMOD – tai *JAV aplinkos apsaugos agentūros* (EPA) sukurta ir naudojama atviro kodo sklaidos modeliavimo programinė įranga. AERMOD tinkamas naudoti antžeminiam ir aukštai esančių taršos šaltinių modeliavimui, modeliavimams virš paprasto ir sudėtingo reljefo. AERMOD yra netinkamas modeliuoti oro taršai esant nuliniam vėjo greičiui. AERMOD programinė įranga gali tiksliai įvertinti teršalų sklaidą iš įvairių emisijos šaltinių, todėl AERMOD naudojama atliekant ilgalaikio teršalų poveikio aplinkai vertinimą, modeliuojant iki 50 kilometrų nuo taršos šaltinio, vertinant sudėtingus industrinius teršalus, oro taršos kontrolės sistemų projektus, modeliuojant gamyklų, dujomis kūrenamų elektrinių, kelių transporto emisijas [26, 27, 47]. AERMOD yra paremtas pastovios būsenos Gauso sklaidos modeliu. AERMOD naudodamas meteorologinius, reljefo, teršalų, taršos šaltinių parametrų duomenis – lokaciją (koordinatės), teršalų išmetimo šaltinio aukštį, pastatų aukštį, momentinės emisijos (g/s) duomenis, informaciją apie taršos šaltinio tipą ir kt., gali sumodeliuoti tikslią teršalų sklaidos prognozę [49]. AERMOD naudodamas įvestus reljefo, aukščio virš žemės paviršiaus, paviršiaus šiurkštumo duomenis apskaičiuoja turbulencijas, stabilumo klases ir Monino-Obukhovo ilgį [27].

Renkantis modelį ir programinę įrangą oro teršalų emisijų sklaidos modeliavimui, buvo atsižvelgta į šiuos kriterijus:

- modelio pritaikomumas – galima modeliuoti taškinius pramonės, linijinius kelių, ar plotinius taršos šaltinius;
- erdvinė skiriamoji geba;
- naudotojo sąsaja;
- gaunamų rezultatų vizualizacija – teršalų sklaidos skaičiavimų rezultatai pateikiami grafiniu formatu – žemėlapiai, ir tekstiniu formatu;
- kaina ir licencijos.

AERMOD *View* yra vienas iš Aplinkos apsaugos agentūros direktoriaus 2008 m. gruodžio 9 d. įsakyme Nr. AV-200 „Dėl Ūkinės veiklos poveikiui aplinkos orui vertinti teršalų sklaidos skaičiavimo modelių pasirinkimo rekomendacijų patvirtinimo“ rekomenduojamų taršos sklaidos modeliavimo modelių [48].

2.2. Specialiosios ir laisvosios ekonominės zonos

Miestuose ir priemiesčiuose pramonės sektorius dažnai gali būti susitelkęs specialiose ekonominėse zonos. Specialios ekonominės zonos, tai įstatymiškai apibrėžto ploto teritorija, apimanti įvairias industrines veiklas, tokias kaip mokslo ir technologijų parkai, logistikos parkai, oro uostų zonos, naftos, chemijos, gamybos pramonės zonos. Specialiosios ekonominės zonos laikomos veiksminga vyriausybine priemone pritraukti užsienio šalių investicijas, taip skatinant šalies prekybos ir

ekonomikos augimą. Tokiose zonose valstybės, nacionaliniu lygiu reglamentuojančiais teisės aktais taiko įvairias lengvatines mokestines ar rinkliavos sąlygas ar kitokias nustatytų veiklų sąlygas, norint skatinti investavimą ir įmonių kūrimąsi [49].

Kinijoje specialių ekonominių zonų politika yra pripažinta kaip viena sėkmingiausių taikomų ekonomikos plėtros būdų šalyje. Norint atitikti ir prisitaikyti prie skirtingų šalies ar regionų poreikių, Kinija įgyvendino skirtingas specialiąsias ekonomines zonas – ekonominės ir technologinės plėtros zonos, vystymosi zonos (vadinamos *Kai Fa Qu*), laisvosios prekybos zonos, eksporto zonos, pažangiųjų technologijų plėtros zonos ir t. t. Šios zonos buvo ir yra vienas svarbiausių elementų auginant Kinijos ekonomiką, pavyzdžiui, 2021 metais ekonomikos ir technologijų plėtros zonos pajamos sudarė 11,98 % Kinijos Bendro vidaus produkto [50].

Nors specialiųjų ekonominių zonų atžvilgiu ekonominiai privalumai yra lengvai matomi, tačiau jų poveikis aplinkai nėra plačiai išnagrinėtas, todėl reikalingi moksliniai tyrimai specialiųjų ekonominių zonų poveikiui aplinkai ir žmonių sveikatai ištirti [50, 51].

Laisvosios ekonominės zonos, tai specialiųjų ekonominių zonų subkategorija, kuriose įsikūrusioms įmonėms taikomos įvairios specialios ekonominės ir teisinės funkcionavimą lengvinančios sąlygos, pavyzdžiui, mokestinės lengvatos [49, 52]. Lietuvoje yra septynios specialiosios ekonominės zonos ir visos turi laisvosios ekonominės zonos pavadinimą:

- Kauno laisvoji ekonominė zona;
- Klaipėdos laisvoji ekonominė zona;
- Akmenės laisvoji ekonominė zona;
- Kėdainių laisvoji ekonominė zona;
- Marijampolės laisvoji zona;
- Panevėžio ekonominė zona;
- Šiaulių ekonominė zona [53].

Kauno LEZ yra seniausia Lietuvoje įsteigta laisvoji ekonominė zona. Kauno LEZ pateikiamais duomenimis bendra Kauno LEZ investicijų vertė siekia 1,35 mlrd. eurų. Kauno LEZ užima 534 hektarų plotą ir 2023 metais Lietuvos Respublikos Vyriausybė taip pat pritarė dėl Kauno LEZ plėtros – Kauno LEZ leista plėstis iki 1054 ha ploto. Prognozuojama, kad papildomos 520 hektarų Kauno LEZ teritorijos preliminariai kainuos apie 114,68 mln. eurų, iš jų – 101,77 mln. eurų valstybės išlaidomis [54, 55, 56].



2.1 pav. Kauno LEZ teritorija [57]

Kauno LEZ pritraukia įvairias įmones dėl:

- mokesčių lengvatų – pelno mokesčio ir nekilnojamo turto lengvatos;
- patogios geografinės lokacijos – Kauno LEZ įsikūręs šalia Kauno oro uosto, patogus susisiekimas su Klaipėdos valstybiniu jūros uostu, patogi lokacija Europos mastu;
- patogi infrastruktūra ir inžineriniai tinklai – asfaltuotas vidinis kelių tinklas, vandentiekis, buitinių nuotekų sistema, dujotiekis, lietaus nuotekų sistema [55, 58].

Kauno LEZ teritorijoje įsikūrę apie 100 įmonių, kurias Kauno LEZ skirsto į paslaugų sektoriaus ir gamybos sektoriaus įmones [55, 59]. Paslaugų sektoriaus įmonėms priklauso tokios įmonės kaip UAB Skubios siuntos (UPS atstovas Lietuvoje), UAB „DPD LIETUVA“ terminalas, UAB FL Technics, UAB Polylema, Omniva LT UAB, UAB „Elektros logistika“, „KMI projektai“, UAB ir kitos. Gamybos įmonėms priskiriamos tokios įmonės kaip Continental Automotive Lithuania UAB, UAB HELLA Lithuania, Hollister Lietuva UAB, Uždaroji akcinė bendrovė „Elinta“, UAB FREDA II, Uždaroji akcinė bendrovė „Aconitum“, Žemės ūkio kooperatyvas „Pienas LT“, UAB „Finnfoam“, PRESS GLASS UAB, UAB „Axioma Metering“ ir kt. [59].

2.3. Taršos objektų parinkimas

Baigiamojo projekto tyrimui atlikti buvo pasirinktos 4 Kauno LEZ teritorijoje esančios gamybos įmonės – UAB „Axioma Metering“, UAB FREDA II ir UAB „Finnfoam“, Žemės ūkio kooperatyvas „Pienas LT“.



2.2 pav. Kauno LEZ teritorija. 1 – UAB „Axioma Metering“; 2 – UAB FREDA II; 3 – UAB „Finnfoam“; 4 – Žemės ūkio kooperatyvas „Pienas LT“.

Modeliuojant tam tikrų pramoninių objektų/įmonių oro teršalų emisijas labai svarbu atsižvelgti į šių objektų/įmonių charakteristikas, veiklos sritis, skirtumus, panašumus ir t. t., tam, kad būtų galima teisingai interpretuoti gautus rezultatus, juos lyginti ir duoti tikslingas rekomendacijos oro teršalų emisijų mažinimui.

Modeliuojamų pramoninių objektų/įmonių aprašyme buvo nagrinėjami ir aprašomi (neapsiribojant jais) šie pagrindiniai duomenys:

- Vieta – adresas;
- Veiklos rūšis/ pramonės sektorius;
- Taršos šaltinių duomenys – katilai, kaminai ir t.t.;
- Oro teršalų duomenys – oro teršalų emisijų kiekiai;
- Taršos šaltinių parametrai – kaminų vidinis diametras, oro teršalų išmetimo į aplinką aukštis;
- Teršalų momentinės emisijos apskaičiavimas;
- Procentiliai – tai NO₂ – 99,8 procentilis, KD₁₀ – 90,4 procentilis.

2.3.1. UAB „Axioma Metering“

UAB „Axioma Metering“ – šilumos ir vandens apskaitos ir duomenų valdymo prietaisus gaminanti įmonė įsikūrusi Kauno LEZ teritorijoje, adresu Veterinarų g. 52, Biruliškių k., Kauno r. UAB „Axioma Metering“ gamybos įmonė eksploatuoja apie 3,0998 ha ploto sklypą. 2024 metais balandžio mėnesį įvyko naujos gamybos linijų atidarymas, planuojama, kad bendras gamybos pajėgumas per metus padidės apie tris kartus [60, 61].

Atliekant teršalų sklaidos modeliavimą buvo vertinama 4 taškinių taršos šaltinių – dujinių vandens šildymo katilų išmetami oro teršalai. Toliau lentelėje pateikiami taršos šaltinių duomenys reikalingi atlikti teršalų sklaidos modeliavimui:

7 lentelė. UAB „Axioma Metering“ taršos šaltinių duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Axioma Metering“ PŪV ataskaitos [62]

Taršos šaltiniai					Išmetamųjų dujų rodikliai paėmimo vietoje		
Pavadinimas	Nr.	Koordinatės (X; Y)	Aukštis, m	Išmetimo angos matmenys, m	Srauto greitis, m/s	Temperatūra, °C	Tūrio debitas, Nm ³ /s
Dujinių vandens šildymo katilų "BOSCH GC9000" kaminai	006	501104; 6089349	6,8	0,15	1,18	50,8	0,018
Dujinių vandens šildymo katilų "BOSCH GC9000" kaminai	007	501104; 6089347	6,8	0,15	1,18	53,6	0,018
Dujinių vandens šildymo katilų "CeraPur ZBR 100-3A" kaminai	009	501169; 6089348	10,8	0,15	2,79	44,6	0,019
Dujinių vandens šildymo katilų "CeraPur ZBR 100-3A" kaminai	010	501172; 6089344	10,8	0,15	2,98	45,7	0,020

Momentinė tarša (g/s) apskaičiuota:

$$M = \frac{C (mg/Nm^3) * V (Nm^3/s)}{1000}, \quad (2.3.1.1)$$

čia: M – momentinė tarša; V – tūrio debitas; C – maksimalus vienkartinis dydis.

8 lentelė. Taršos į aplinkos orą duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Axioma Metering“ PŪV ataskaitos [62]

Taršos šaltinis		Teršalai	Maksimalus vienkartinis taršos dydis, mg/Nm ³	Momentinė tarša, g/s
Pavadinimas	Nr.			
Dujinių vandens šildymo katilų "BOSCH GC9000" kaminai	006	Anglies monoksidas (A)	8,3	0,0001
		Azoto oksidai (A)	30	0,0005
Dujinių vandens šildymo katilų "BOSCH GC9000" kaminai	007	Anglies monoksidas (A)	10,7	0,0002
		Azoto oksidai (A)	30,4	0,0005

9 lentelė. Taršos į aplinkos orą duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Axioma Metering“ PŪV ataskaitos (8 lentelės tęsinys) [62]

Dujinių vandens šildymo katilų "CeraPur ZBR 100-3A" kaminais	009	Anglies monoksidas (A)	14,6	0,0003
		Azoto oksidai (A)	23,9	0,0005
	010	Anglies monoksidas (A)	9	0,0002
		Azoto oksidai (A)	29,6	0,0006

2.3.2. UAB FREDA II

UAB „Geras Baldų Fabrikas“ užsakymu pastatyta UAB FREDA II modernus A++ energetinio efektyvumo klasės baldų gamybos įmonė. UAB FREDA II gamybos įmonė įsikūrusi Kauno LEZ teritorijoje, adresu Fredos g. 2, Biruliškės, Kauno r. UAB FREDA II gamykloje gaminami tokie produktai, kaip komodos, batų dėžės, spintelės, lentynos ir t. t. Statant UAB FREDA II gamyklą buvo panaudoti energiją taupantys šildymo, apšvietimo, konstrukciniai sprendimai [63, 64, 65].

Atliekant oro teršalų sklaidos modeliavimą buvo vertinama 18 taškinių taršos šaltinių – kieto kuro vandens šildymo katilo, baldų gamybos cecho ir pjuvenų pakrovimo į autotransportą, išmetami oro teršalai. Toliau lentelėje pateikiami taršos šaltinių duomenys reikalingi atlikti oro teršalų sklaidos modeliavimui atlikti:

10 lentelė. UAB FREDA II taršos šaltinių duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Gero Baldų Fabrikas“ atrankos dėl PŪV [63]

Taršos šaltiniai					Išmetamųjų dujų rodikliai paėmimo vietoje		
Pavadinimas	Nr.	Koordinatės (X; Y)	Aukštis, m	Išmetimo angos matmenys, m	Srauto greitis, m/s	Temperatūra, °C	Tūrio debitas, Nm ³ /s
Katilinė 3,5 MW. Multiciklonas ir elektrostatinis filtras. Katilinės kaminais.	008	500337; 6088896	16,0	0,71	3,9937	128	1,5803
Baldų gamybos cechas. Baldinių plokščių apdirbimas. Rankovinis filtras. Oro šalinimas	010	500163; 6089068	8	0,8x0,8	17,9	21,9	10,36
	011	500167; 6089064	8	0,8x0,8	17,9	21,9	10,36
	012	500176; 6089053	8	0,8x0,8	8,5	27	4,98
	013	500179; 6089049	8	0,8x0,8	8,5	27	4,98
	014	500188; 6089040	8	0,8x0,8	9	28,1	5,28
	015	500191; 6089036	8	0,8x0,8	9	28,1	5,28
	016	500200; 6089025	8	0,8x0,8	10,5	28,3	6,16

11 lentelė. UAB FREDA II taršos šaltinių duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Gero Baldų Fabrikas“ atrankos dėl PŪV (10 lentelės tęsinys) [63]

Baldų gamybos cechas. Baldinių plokščių apdirbimas. Rankovinis filtras. Oro šalinimas	017	500203; 6089022	8	0,8x0,8	10,5	28,3	6,16
	018	500211; 6089012	8	0,8x0,8	9,7	26,8	5,72
	019	500215; 6089009	8	0,8x0,8	9,7	26,8	5,72
	020	500223; 6088998	8	0,8x0,8	11,8	26,5	6,96
	021	500226; 6088994	8	0,8x0,8	11,8	26,5	6,96
	022	500243; 6088975	8	0,7x1	9,6	24	4,28
	023	500246; 6088972	8	0,7x1	8,6	25,2	5,97
	024	500253; 6088964	8	0,7x1	9,6	24	4,28
	025	500256; 6088960	8	0,7x1	8,6	25,2	5,97
	026	500230; 6088992	8	0,8x0,8	9	28,1	5,28
	027	500232; 6088989	8	0,8x0,8	9,7	26,8	5,72

12 lentelė. Taršos į aplinkos orą duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Geras Baldų Fabrikas“ atrankos dėl PŪV [63]

Taršos šaltinis		Teršalai	Maksimalus vienkartinis taršos dydis, mg/Nm ³	Momentinė tarša, g/s
Pavadinimas	Nr.			
Katilinė 3,5 MW. Multiciklonas ir elektrostatinis filtras. Katilinės kameras.	008	Anglies monoksidas (A)	-	4,0363
		Azoto oksidai (A)	-	1,0272
		Kietosios dalelės (A)	-	0,0790
Baldų gamybos cechas. Baldinių plokščių apdirbimas. Rankovinis filtras. Oro šalinimas	010	Kietosios dalelės (C)	-	0,0259
	011	Kietosios dalelės (C)	-	0,0259
	012	Kietosios dalelės (C)	-	0,0159
	013	Kietosios dalelės (C)	-	0,0159
	014	Kietosios dalelės (C)	-	0,0169
	015	Kietosios dalelės (C)	-	0,0169
	016	Kietosios dalelės (C)	-	0,0253
	017	Kietosios dalelės (C)	-	0,0253
	018	Kietosios dalelės (C)	-	0,0172

13 lentelė. Taršos į aplinkos orą duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Geras Baldų Fabrikas“ atrankos dėl PŪV (12 lentelės tęsinys) [63]

Baldų gamybos cechasis. Baldinių plokščių apdirbimas. Rankovinis filtras. Oro šalinimas	019	Kietosios dalelės (C)	-	0,0172
	020	Kietosios dalelės (C)	-	0,0244
	021	Kietosios dalelės (C)	-	0,0244
	022	Kietosios dalelės (C)	-	0,0103
	023	Kietosios dalelės (C)	-	0,0137
	024	Kietosios dalelės (C)	-	0,0103
	025	Kietosios dalelės (C)	-	0,0137
	026	Kietosios dalelės (C)	-	0,0169
	027	Kietosios dalelės (C)	-	0,0172

Pagal Aplinkos Apsaugos Agentūros direktoriaus įsakymą Nr. AV-112 „dėl foninio aplinkos oro užterštumo naudojimo planuojamos ūkinės veiklos poveikiui aplinkos orui įvertinti rekomendacijų patvirtinimo“ teršalų sklaidos skaičiavimo modeliuose, kuriais negalima tiesiogiai apskaičiuoti KD_{10} ir $KD_{2,5}$ koncentracijos aplinkos ore, reikia naudoti 0,7 koeficientą perskaičiuojant kietąsias daleles į KD_{10} , ir 0,5 koeficientą – perskaičiuojant daleles į $KD_{2,5}$. Tačiau atliekant tyrimą buvo priimti blogiausio scenarijaus atvejai – priimta, kad vienu atveju visa susidariusi KD tarša buvo KD_{10} , ir kitu atveju visa susidariusi KD tarša buvo $KD_{2,5}$ [66].

2.3.3. UAB „Finnfoam“

UAB „Finnfoam“ – tai suomių kapitalo įmonė gaminanti termoizoliacines medžiagas. UAB „Finnfoam“ įsikūrusi Kauno LEZ teritorijoje, adresu kokybės g. 5, Biruliškės, Kauno r. UAB „Finnfoam“ produkcija naudojama pamatų, grindų, stogo, sienų šiltinimui ir kt. [67, 68].

Atliekant oro teršalų sklaidos modeliavimą buvo vertinamas 1 taškinis taršos šaltinis. Toliau lentelėje pateikiami taršos šaltinio duomenys reikalingi oro teršalų sklaidos modeliavimui atlikti:

14 lentelė. UAB „Finnfoam“ taršos šaltinio duomenys. Duomenys paimti iš atrankos dėl poveikio aplinkai vertinimo informacijos [69]

Taršos šaltinis					Išmetamųjų dujų rodikliai paėmimo vietoje		
Pavadinimas	Nr.	Koordinatės (X; Y)	Aukštis, m	Išmetimo angos matmenys, m	Srauto greitis, m/s	Temperatūra, °C	Tūrio debitas, Nm ³ /s
Garo katilinė	007	500446; 6089172	13,5	0,3	3,706	174,1	-

15 lentelė. Taršos į aplinkos orą duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Finnfoam“ atrankos dėl poveikio aplinkai vertinimo informacijos [69]

Taršos šaltinis		Teršalai	Maksimalus vienkartinis taršos dydis, mg/Nm ³	Momentinė tarša, g/s
Pavadinimas	Nr.			
Garo katilinė	007	Azoto dioksidas	-	0,05600
		Anglies monoksidas	-	0,06400

2.3.4. Žemės ūkio kooperatyvas „Pienas LT“

Žemės ūkio kooperatyvas „Pienas LT“ yra vienas didžiausių Baltijos šalyse pieno kooperatyvų, tiekiantis pieną ir pieno produktus. Didžiausia Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ investicija – Kauno LEZ teritorijoje įsikūrusi, adresu kokybės g. 1, Biruliškių k., pieno perdirbimo gamykla, kurioje gaminama ir eksportuojama grietinėlė ir sausi pieno produktai [70].

16 lentelė. Žemės ūkio kooperatyvas „Pienas LT“ taršos šaltinio duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Axioma Metering“ atrankos dėl poveikio aplinkai vertinimo informacijos [71]

Taršos šaltinis					Išmetamųjų dujų rodikliai paėmimo vietoje		
Pavadinimas	Nr.	Koordinatės (X; Y)	Aukštis, m	Išmetimo angos matmenys, m	Srauto greitis, m/s	Temperatūra, °C	Tūrio debitas, Nm ³ /s
Garų katilo Nr.2 (3,8 MW) kaminas	001	500270 6089335	19,0	0,50	5,0	115,5	0,70
Garų katilo Nr.1 (3,8 MW) kaminas	002	500273 6089338	19,0	0,50	4,9	110,11	0,70
Vandens šildymo katilo Nr.3 (0,55 MW) kaminas	003	500279 6089343	19,0	0,45	3,7	67,1	0,21
Vandens šildymo katilų Nr.1 ir Nr.2 (2 x 0,5 MW) kaminas	004	500281 6089345	19,0	0,45	4,0	62,5	0,23
Pieno produktų džiovykla Nr.16	005	500260 6089388	30,5	2,45x2,60	16,1	70,0	24,10
Pieno produktų džiovykla Nr.15	006	500255 6089387	30,5	2,93x2,74	20,1	77,4	29,60
Pieno produktų džiovykla Nr.14	007	500241 6089377	29,5	1,65x1,49	13,8	75,5	9,15
Pieno produktų džiovyklos Nr.16 gamtinių dujų degiklis „ELCO“ (2,85 MW)	008	500262 6089383	30,5	0,50	5,5	81,3	0,86
Pieno produktų džiovyklos Nr.15 gamtinių dujų degiklis „ELCO“ (4,2 MW)	009	500260 6089379	30,5	0,50	9,3	170,1	1,15
Pieno produktų džiovyklos Nr.14 gamtinių dujų degiklis „ELCO“ (2,3 MW)	010	500247 6089369	30,0	0,30	6,8	91,0	0,37

Momentinė tarša (g/s) gauta naudojant (2.3.1.1) formulę.

17 lentelė. Taršos į aplinkos orą duomenys. Duomenys paimti iš UAB „Axioma Metering“ atrankos dėl poveikio aplinkai vertinimo informacijos [71]

Taršos šaltinis		Teršalai	Maksimalus vienkartinis taršos dydis, mg/Nm ³	Momentinė tarša, g/s
Pavadinimas	Nr.			
Garo katilo Nr.2 (3,8 MW) kaminas	001	Anglies monoksidas (A)	3,8	0,0027
		Azoto oksidai (A)	93,1	0,0652
Garo katilo Nr.1 (3,8 MW) kaminas	002	Anglies monoksidas (A)	0,0	0,0000
		Azoto oksidai (A)	94,9	0,0664
Vandens šildymo katilo Nr.3 (0,55 MW) kaminas	003	Anglies monoksidas (A)	2,9	0,0006
		Azoto oksidai (A)	132,5	0,0278
Vandens šildymo katilų Nr.1 ir Nr.2 (2 x 0,5 MW) kaminas	004	Anglies monoksidas (A)	5,8	0,0013
		Azoto oksidai (A)	143,0	0,0329
Pieno produktų džiovykla Nr.16	005	Kietosios dalelės (C)	-	0,35427
Pieno produktų džiovykla Nr.15	006	Kietosios dalelės (C)	-	0,45584
Pieno produktų džiovykla Nr.14	007	Kietosios dalelės (C)	-	0,12719
Pieno produktų džiovyklos Nr.16 gamtinių dujų degiklis „ELCO“ (2,85 MW)	008	Anglies monoksidas (A)	1,2	0,0010
		Azoto oksidai (A)	47,0	0,0404
Pieno produktų džiovyklos Nr.15 gamtinių dujų degiklis „ELCO“ (4,2 MW)	009	Anglies monoksidas (A)	1,3	0,0015
		Azoto oksidai (A)	53,2	0,0612
Pieno produktų džiovyklos Nr.14 gamtinių dujų degiklis „ELCO“ (2,3 MW)	010	Anglies monoksidas (A)	1,3	0,0005
		Azoto oksidai (A)	49,2	0,0182

2.3.5. Foninė aplinkos oro tarša

Foninė aplinkos oro tarša buvo įvertinta pagal Aplinkos apsaugos agentūros direktoriaus įsakymą 2008 m. liepos 10 d. Nr. AV-112 „Dėl Foninio aplinkos oro užterštumo duomenų naudojimo ūkinės veiklos poveikiui aplinkos orui įvertinti rekomendacijų patvirtinimo“ naudojant 2022 metų vidutines metines teršalų koncentracijas Kauno miesto aplinkos ore [66].

18 lentelė. Foninės taršos koncentracijos, µg/m³ [72]

Miestas \ Teršalas	KD ₁₀ , µg/m ³	KD _{2,5} , µg/m ³	NO ₂ , µg/m ³	CO, mg/m ³
Kaunas	17-19	8,1-9	35	0,24

Ozono foninį koncentracija buvo įvertinta naudojant 2022 metų vidutines metines aplinkos oro teršalų kaimo foninių koncentracijų reikšmes:

19 lentelė. Ozono foninė taršos koncentracija, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [73]

Miestas	Teršalas	O ₃ , $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Kaunas		50

2.3.6. Meteorologiniai duomenys

Meteorologiniai duomenys buvo naudojami atliejant oro teršalų sklaidos modeliavimą AERMOD programine įranga, sudarant vėjo rožes ir atliekant meteorologinių duomenų analizę. Meteorologinius duomenis suteikė Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. Meteorologiniai duomenys, naudoti sklaidos modeliavimui ir vėjo rožių sudarymui, apima 2014-2022 metų laikotarpį.

Meteorologinių duomenų rinkinį sudarė šie duomenys:

- vėjo greitis, m/s;
- vėjo kryptis, laipsniai;
- kritulių kiekis, mm;
- slėgis, hPa;
- santykinė drėgmė, %;
- oro temperatūra, °C;
- bendras debesuotumas, oktai;
- saulės spinduliuotė, W/m^2 ;
- debesų pado aukštis, m.

2014-2022 metų laikotarpį apimantys meteorologinių duomenų matavimai buvo atliekami kas valandą. Stotelės koordinatės – X: 500577, Y: 6089779 (LKS-94).

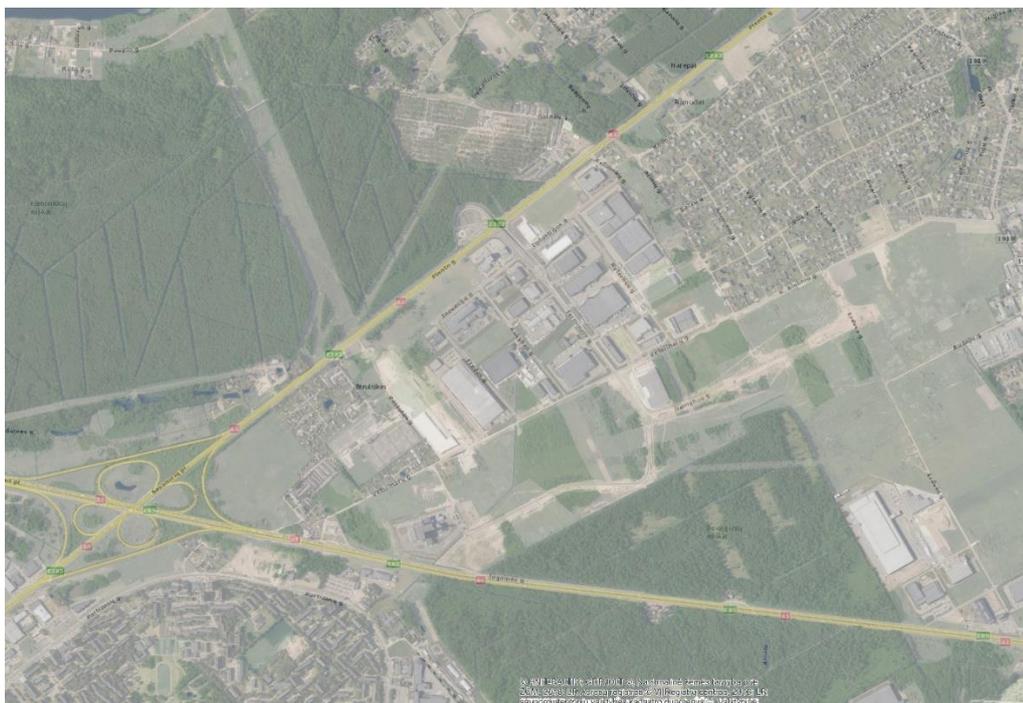
2.3.7. Reljefo duomenys ir koordinačių sistema

Vietovės reljefui buvo naudojami Nacionalinės žemės tarnybos prie Aplinkos ministerijos suteikti reljefo duomenys.

Oro sklaidos žemėlapiai buvo sudaryti naudojant LKS-94 koordinačių sistemą.

2.3.8. „Base Map“

Norint grafiškai vizualizuoti gautus oro teršalų sklaidos skaičiavimus, reikalingas bazinis žemėlapis. Bazinis žemėlapis buvo gautas naudojantis ArcGIS programine įranga.



2.3 pav. Modeliavimui naudotas bazinis žemėlapis

2.3.9. NO₂ modeliavimas

Modeliuojant NO₂ teršalų koncentracijas buvo naudojamas OLM (angl. *ozone limiting method*) metodas. OLM metodas yra vienas iš AERMOD View programinėje įrangoje galimų pasirinkti NO_x dujų konvertavimo į NO₂ dujas metodų. OLM metodas daro prielaidą, kad NO dujos reaguodamos su aplinkos oro ozonu sudaro NO₂ dujas [74]:



NO₂/NO_x konvertavimo pusiausvyros santykis (angl. *equilibrium NO₂/NO_x ratio*) buvo paimta 0,900 – automatinis numatytasis santykis. Kaip automatinis nustatytas kamino viduje esantis NO₂/NO_x konvertavimo pusiausvyros santykis buvo paimtas – 0,500.

2.3.10. Meteorologinių duomenų analizė

Atliekant meteorologinių duomenų analizę buvo vertinami vidutiniai metiniai vėjo greičiai, temperatūros, krituliai, 2014 - 2022 m. kilimo ar mažėjimo tendencijos, sudarytos vėjų rožės. Meteorologiniai duomenys buvo matuojami stoties esančios x: 500577; y: 6089778 LKS-94 koordinatėmis.

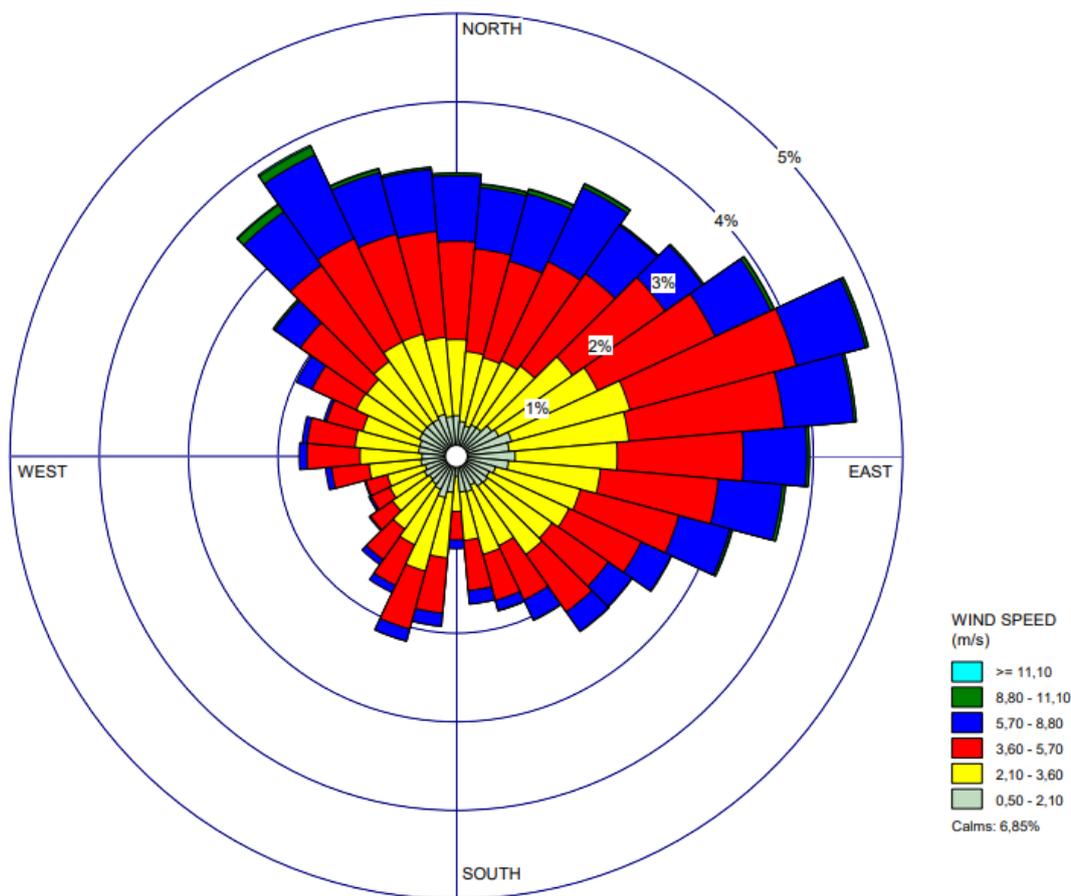
Receptorių tinklas (angl. *cartesian grid*) visais modeliuotais atvejais buvo 1,2 x 1,2 km stačiakampis, bendras receptorių skaičius – 625 receptoriai. Receptoriai išsidėstę vienodais atstumais, o receptorių aukštis – 1,5 metro.

3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Trečiame skyriuje pateikiami ir aptariami atliktos meteorologinių duomenų analizės rezultatai, gauti teršalų sklaidos žemėlapiu. Gauti teršalų sklaidos duomenys taip pat buvo palyginti su siūlomais iki 2030 metų atnaujinti Europos Sąjungos oro kokybės standartais.

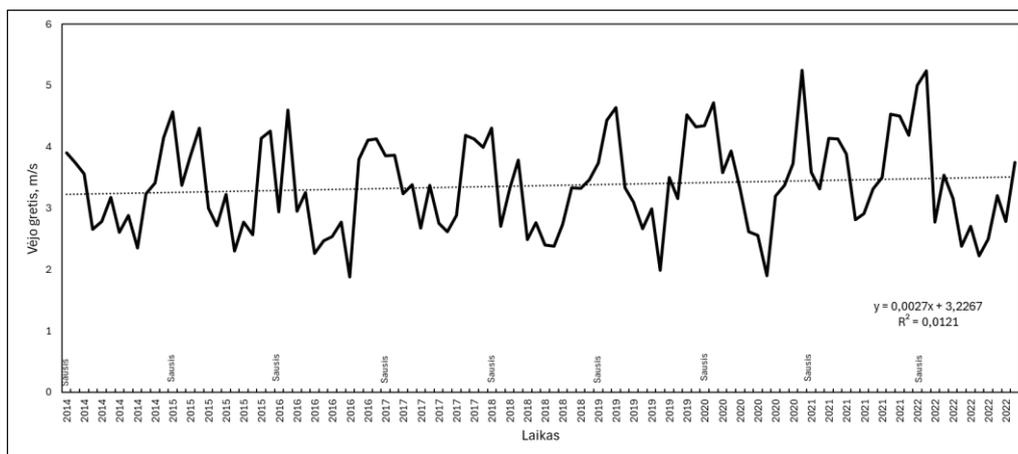
3.1. Meteorologinių duomenų analizė

Analizuojant 2014-2022 metų meteorologinius duomenis buvo sudaryta vėjų rožė, iš kurios galima matyti, kokia kryptimi, koku greičiu ir kiek laiko (%) vėjai pučia į Kauno miesto LEZ teritoriją. Iš vėjų rožės matyti, jog 2014-2022 metais Kauno LEZ teritorijoje vyraavo šiaurės, rytų, šiaurės vakarų ir šiaurės rytų vėjai. Šiaurės rytų vėjas pučia link šiaurės rytuose nuo Kauno LEZ įsikūrusį Ramučių kaimą. Vertinant ilgiausią pietryčių vėjo krypties trukmę matyti, kad 2014-2022 metų laikotarpyje labiausiai vyraavo 3,60-5,70 vėjo greitis – 32,1 % (raudona spalva), ramūs vėjai sudarė 6,85 % vėjų trukmės, 0,50-2,10 m/s greičio vėjai vyraavo 15,8 %, 2,10-3,60 m/s vyraavo 29,6 %, 5,70-8,0 m/s vyraavo 14,7 %, 8,80-11,10 m/s vyraavo 0,7 %, vėjai viršijantys 11,10 m/s sudarė mažiau nei 0,1 % trukmės. 2014-2022 metų laikotarpyje vidutinis vėjo greitis buvo 3,38 m/s.



3.1 pav. Vėjų rožė – vėjas pučia į LEZ teritoriją (2014-2022 m.)

Analizuojant vėjo greičio duomenis 2014-2022 metų laikotarpyje matyti jog vidutinis vėjo greitis pakilo per 0,27 %.



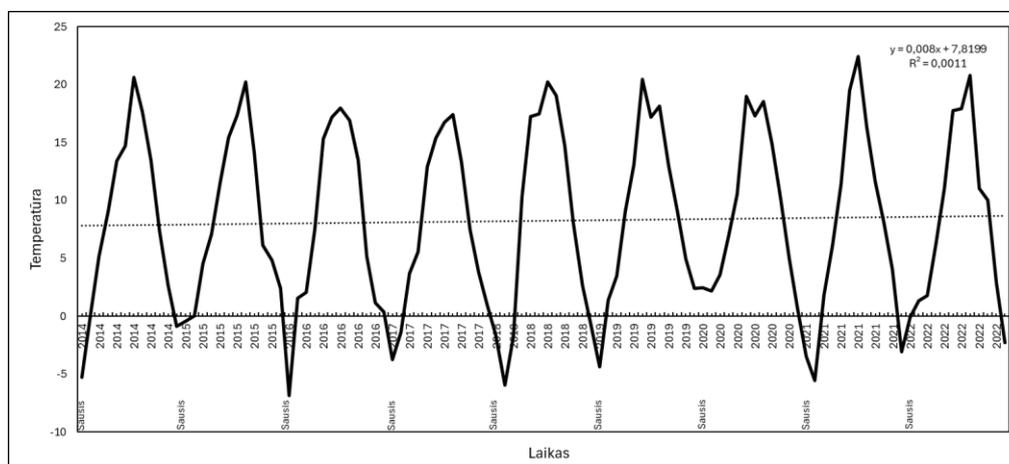
3.2 pav. Vėjo greičio pokyčio laike grafikas (2014-2022 m.)

Didžiausias vidutinis vėjo greitis 2014-2022 metų laikotarpyje vyravo 2021 metais – 3,75 m/s, mažiausias vidutinis vėjo greitis – 3,09 m/s.

20 lentelė. Vidutinis vėjo greitis (2014-2022 m.)

Metai	Vidutinis vėjo greitis, m/s
2014	3,24
2015	3,42
2016	3,14
2017	3,41
2018	3,09
2019	3,53
2020	3,55
2021	3,75
2022	3,26
Vidurkis	3,38

Analizuojant temperatūros duomenis 2014-2022 metų laikotarpyje matyti jog vidutinė temperatūra pakilo per 0,8 %.



3.3 pav. Temperatūros pokyčio laike grafikas (2014-2022 m.)

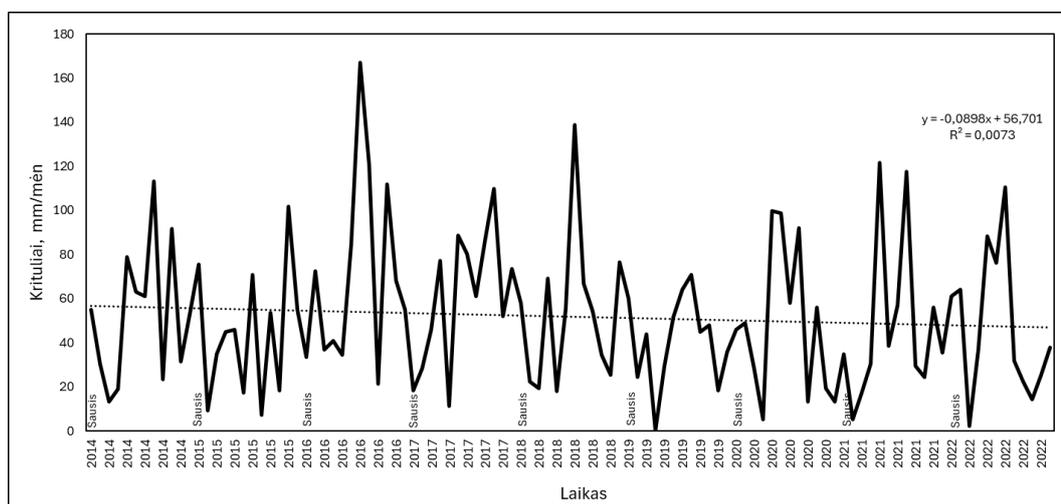
Didžiausia vidutinė metinė temperatūra 2014-2022 metų laikotarpyje buvo 2020 metais – 9,28°C, mažiausia vidutinė temperatūra buvo 2021 metais - 7,53°C.

21 lentelė. Vidutinė metinė temperatūra (2014-2022 m.)

Metai	Vidutinė temperatūra, °C
2014	8,21
2015	8,67
2016	7,66
2017	7,73
2018	8,39
2019	9,02
2020	9,28
2021	7,53
2022	8,24
Vidurkis	8,30

Remiantis Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos duomenimis vidutinė metų Lietuvos oro temperatūra yra 7,4 °C (pagal 1991-2020 m. standartinę klimato normą).

Analizuojant kritulių duomenis matyti, kad 2014-2022 metų laikotarpyje kritulių kiekis sumažėjo per 8,98 %, nors remiantis Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerijos užsakytos „Klimato kaitos prognozių sudarymo, nacionalinės studijos apie Lietuvos savivaldybių jautrumą ir pažeidžiamumą klimato kaitai bei jautriausios savivaldybės pritaikymo prie klimato kaitos plano parengimas“ ataskaitos duomenimis, prognozuojama, jog metinis kritulių kiekis Lietuvoje iki 2035 metų kils iki 684 mm.



3.4 pav. Kritulių kiekio sumos pokytis per metus (2014-2022 m.)

Daugiausiai kritulių per metus 2014-2022 metų laikotarpyje iškrito 2016 metais – apie 847 mm, mažiausiai kritulių iškrito 2019 metais – 491 mm.

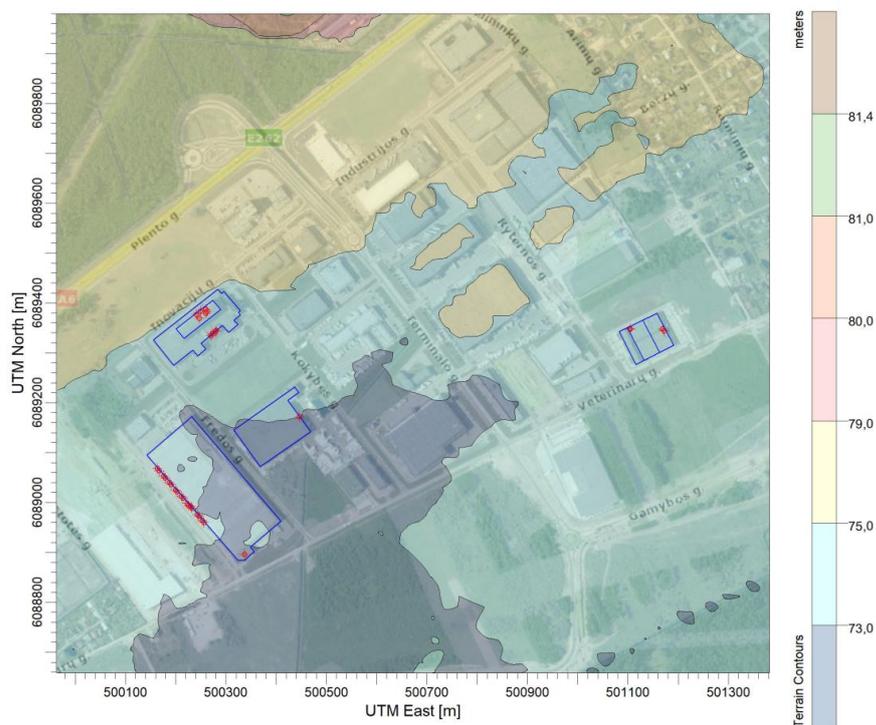
22 lentelė. Kritulių kiekis per metus (2014-2022 m.)

Metai	Krituliai per metus, mm
2014	634
2015	534
2016	847
2017	733
2018	639
2019	491
2020	579
2021	568
2022	571
Vidurkis	622

Jau iš anksčiau aptartų skyrių žinoma, jog temperatūra, vėjo greitis, krituliai daro įtaką teršalų sklaidai.

3.2. Teršalų sklaidos modeliavimas

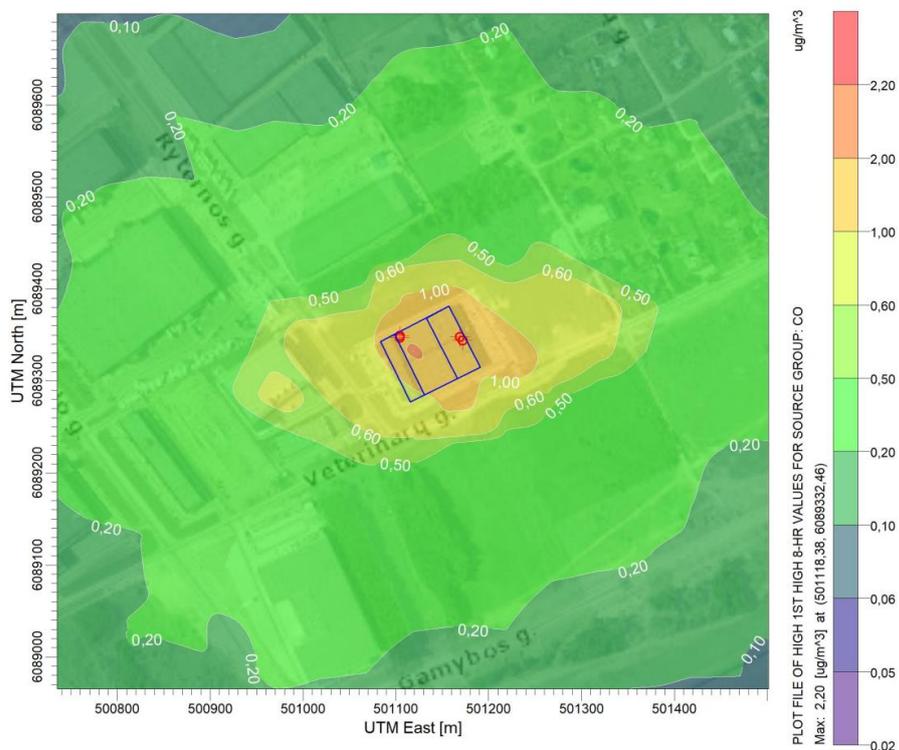
Teršalų sklaidos modeliavimas atliktas naudojantis AERMOD View programine įranga. Žemiau pateiktame žemėlapyje su reljefo duomenimis, matyti visų keturių įmonių, esančių Kauno LEZ teritorijoje, oro taršos šaltinių išdėstymo schema:



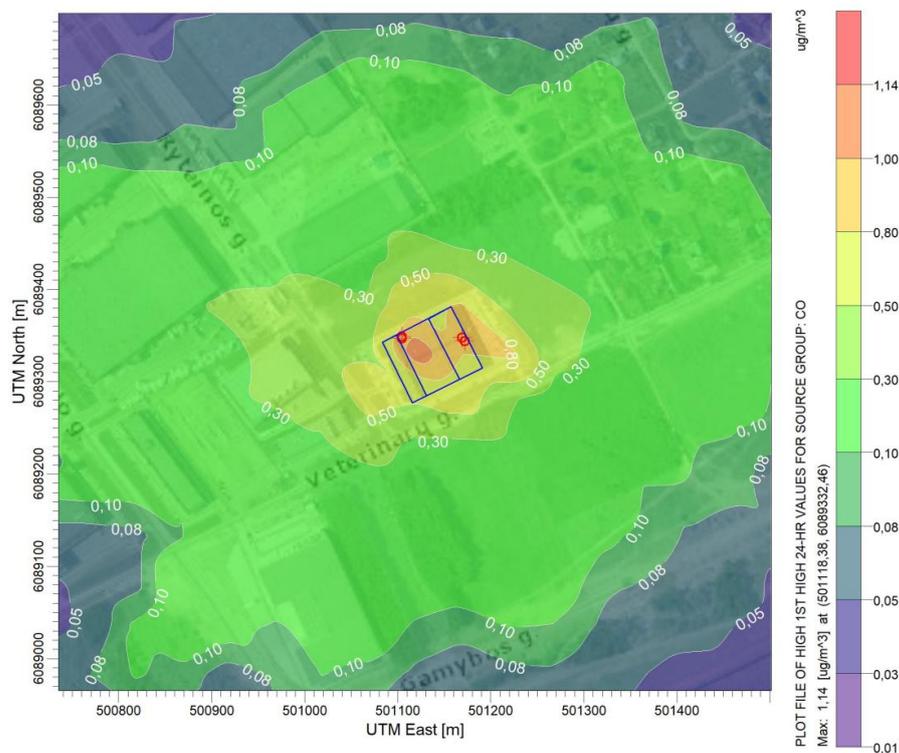
3.5 pav. UAB „Axioma Metering“, UAB FREDA II, UAB „Finnfoam“, Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ taršos šaltiniai

3.2.1. UAB „Axioma Metering“ teršalų sklaidos modeliavimas

Anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymą taikant 8 valandų ir 24 valandų vidurkinimo laikotarpius galima matyti 3.6 pav. ir 3.7 pav.

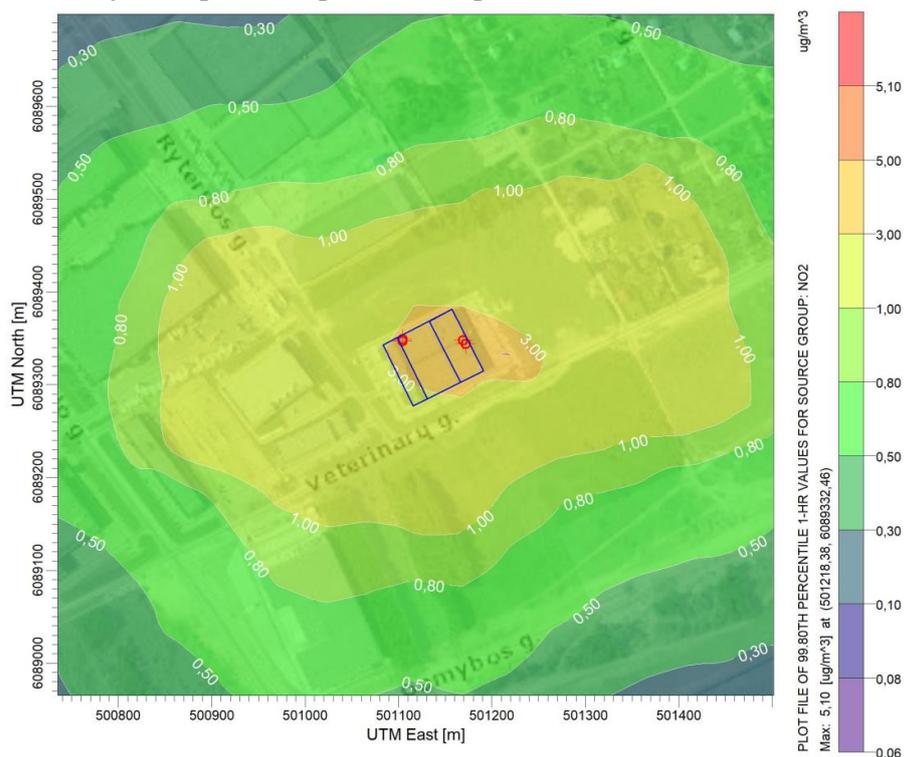


3.6 pav. UAB „Axioma Metering“ anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymas taikant 8 valandų vidurkinimo laikotarpį.

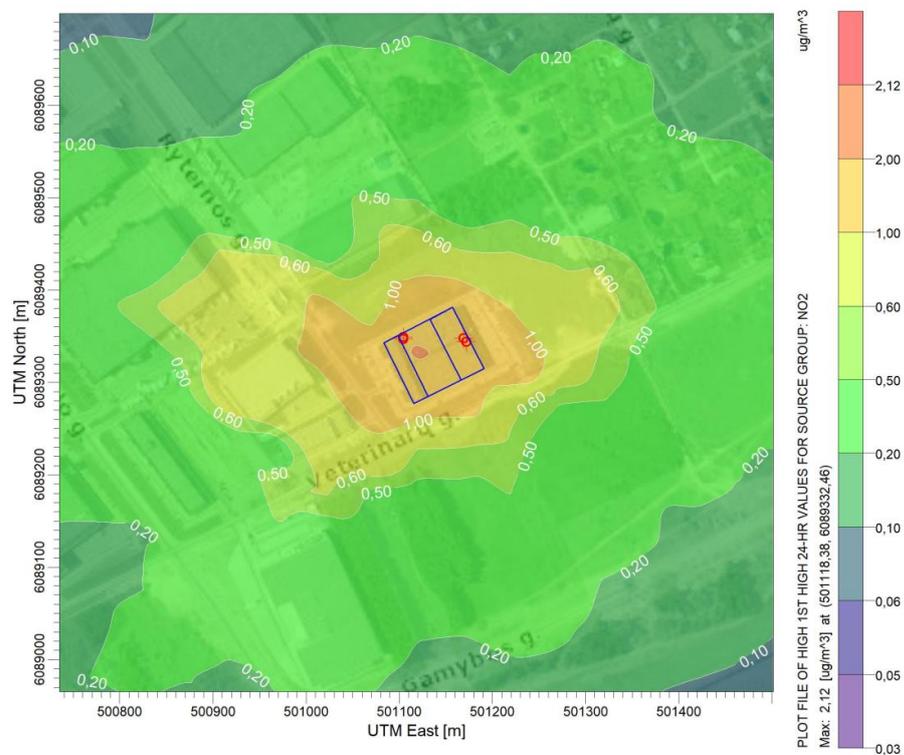


3.7 pav. UAB „Axioma Metering“ anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymas taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį.

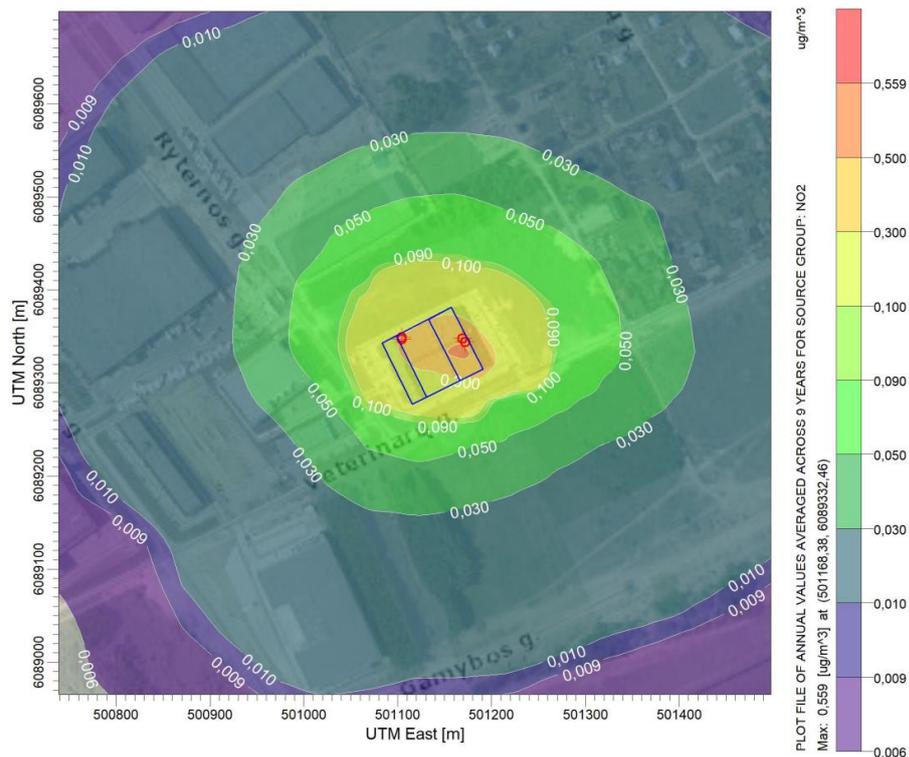
Azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymą taikant 1 valandos, 24 valandų ir metinio vidurkinimo laikotarpius galima matyti 3.8 pav., 3.9 pav. ir 3.10 pav.



3.8 pav. UAB „Axioma Metering“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 1 valandos vidurkinimo laikotarpį



3.9 pav. UAB „Axioma Metering“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandos vidurkinimo laikotarpį



3.10 pav. UAB „Axioma Metering“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant metinį vidurkinimo laikotarpį

Atlikus šiluminės energijos gamybos metu susidariusių anglies monoksido ir azoto dioksido esamos būklės sklaidos modeliavimą buvo nustatytos šios vertės (žr. 23 lentelę). Aukščiausia 8 valandų vidurkio CO koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia $241,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia 24 valandų vidurkio, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia $241,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuo tarpu aukščiausia 8 valandų vidurkio CO koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia $2,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia 24 valandų vidurkio CO koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia $1,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aukščiausia 1 valandos vidurkio NO_2 koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia $40,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, aukščiausia 24 valandų vidurkio NO_2 koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia $37,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia metinė vidurkio NO_2 koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia $35,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuo tarpu aukščiausia 1 valandos vidurkio NO_2 koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia $5,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, aukščiausia 24 valandų vidurkio NO_2 koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia $2,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia metinė vidurkio NO_2 koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia $0,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

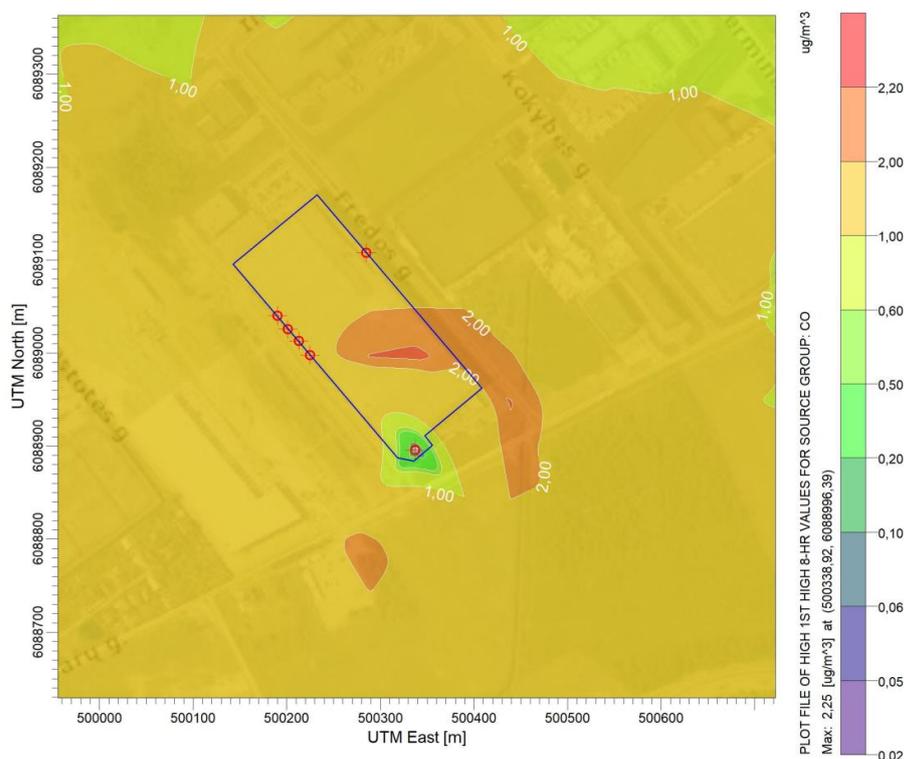
Šiluminės energijos gamybos metu susidariusių anglies monoksido ir azoto dioksido sklaidos modeliavimas taip pat buvo atliktas įvertinant skirtingus darbo režimus – 1 pamaina, 2 pamainom ir 3 pamainom, gauti rezultatai pateikti 23 lentelėje. Iš lentelėje pateiktų duomenų matyti, jog dirbant visais darbo režimais susidaranti azoto dioksido maksimali teršalų koncentracija, kai vidurkinimo laikotarpis metinis, vertinant foninę taršą, viršija siūlomas naujas ES metines taršos ribines vertes ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) – 1 pamaina – $35,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2 pamainos – $35,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 3 pamainos – $35,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuo tarpu 1 valandos ir 24 valandų vidurkinimo metu susidaranti azoto dioksido tarša neviršija siūlomų ES taršos ribinių verčių. CO sumodeliuota tarša nei vienu darbo režimu neviršijo siūlomų ES taršos ribinių verčių.

23 lentelė. UAB „Axioma Metering“ anglies monoksido ir azoto dioksido sklaidos modeliavimo metu nustatytos maksimalios išsiskyrusių teršalų koncentracijų vertės

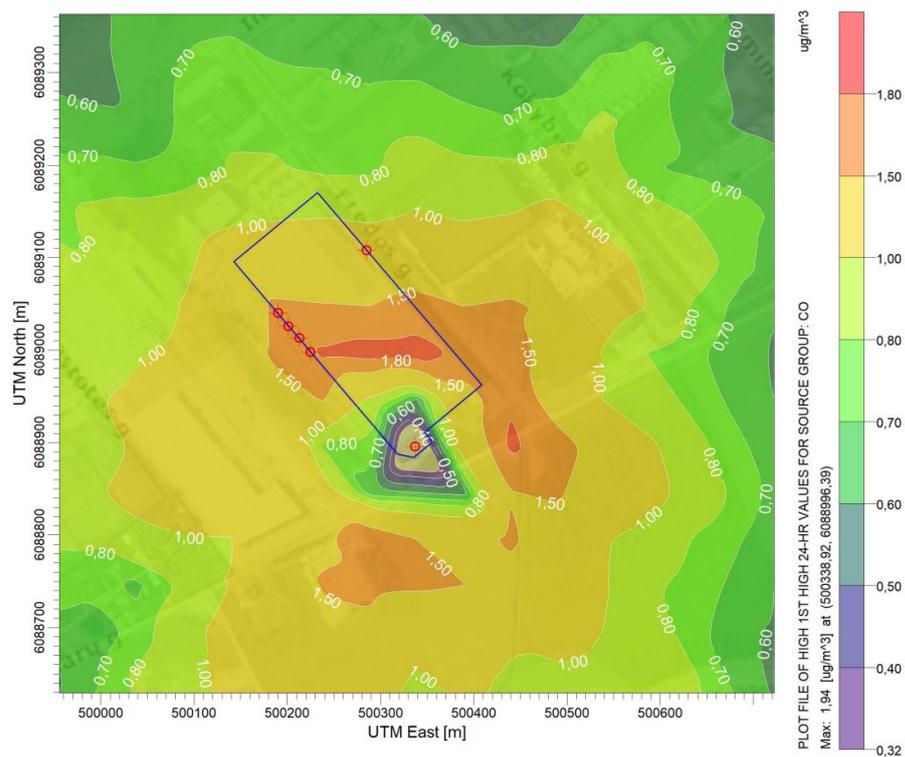
Teršalai	Vidurkinimas	Ribinė vertė, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ES siūloma ribinė vertė, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 pamaina (8 val.)		2 pamainos (16 val.)		3 pamaina (24 val.)	
				Maksimali teršalų koncentracija įvertinus foninę taršą	Maksimali teršalų koncentracija nevertinant foninės taršos	Maksimali teršalų koncentracija įvertinus foninę taršą	Maksimali teršalų koncentracija nevertinant foninės taršos	Maksimali teršalų koncentracija įvertinus foninę taršą	Maksimali teršalų koncentracija nevertinant foninės taršos
Anglies monoksidas	8 valandos	10000	10000	241,21	1,21	241,45	1,45	241,65	2,20
	24 valandos	-	4000	240,50	0,50	240,74	0,74	241,14	1,14
Azoto dioksidas	1 valandos	200	-	37,25	2,25	38,49	3,49	40,10	5,10
	24 valandų	-	50	35,98	0,98	36,51	1,51	37,12	2,12
	Metinis	40	20	35,19	0,19	35,34	0,34	35,56	0,56

3.2.2. UAB FREDA II teršalų sklaidos modeliavimas

Anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymą taikant 8 valandų ir 24 valandų vidurkinimo laikotarpius galima matyti 3.11 pav. ir 3.12 pav.

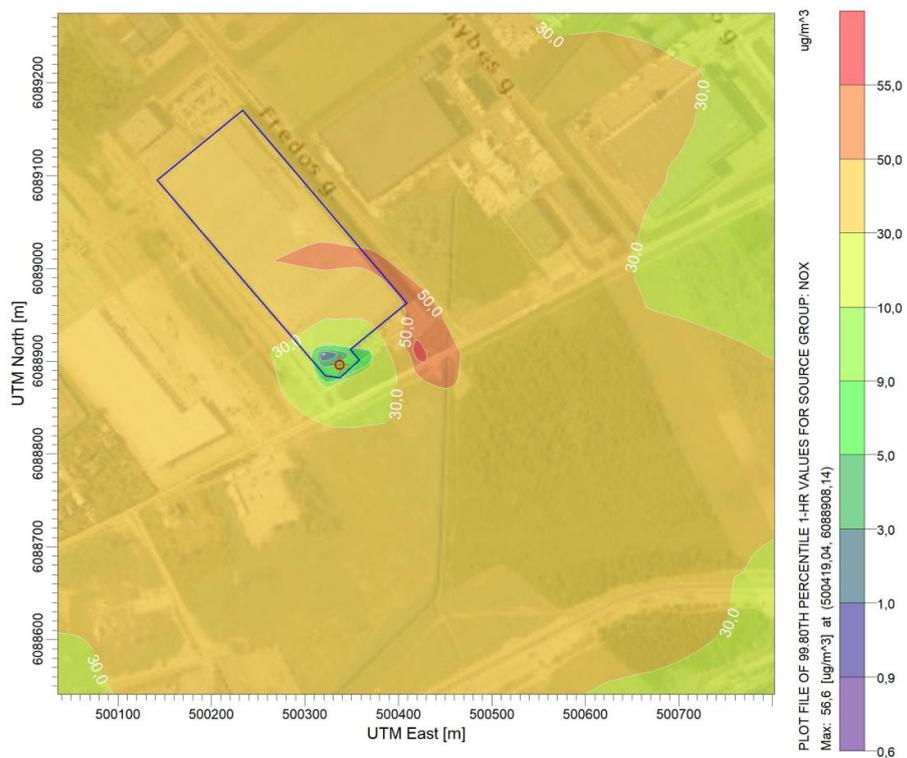


3.11 pav. UAB FREDA II anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymas taikant 8 valandų vidurkinimo laikotarpį.

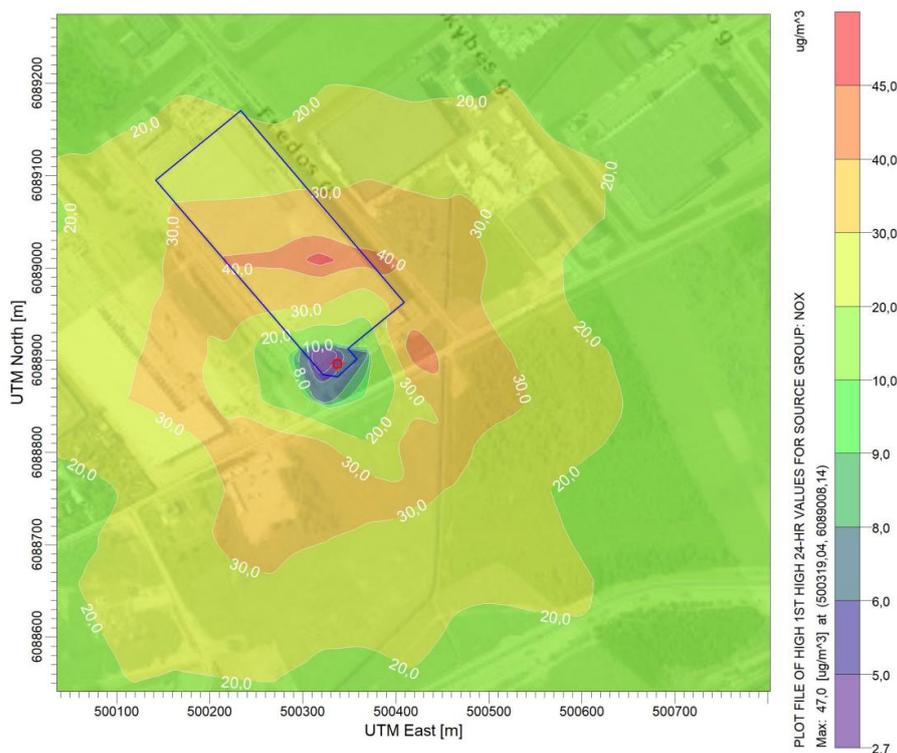


3.12 pav. UAB FREDA II anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymas taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį.

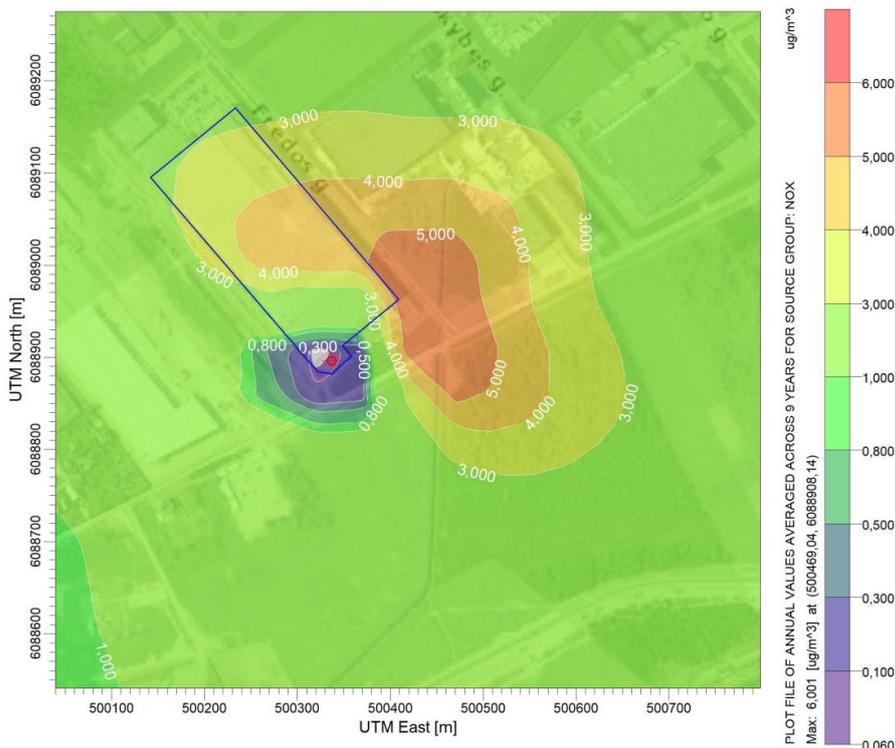
Azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymą taikant 1 valandos, 24 valandų ir metinio vidurkinimo laikotarpius galima matyti 3.13 pav., 3.14 pav. ir 3.15 pav.



3.13 pav. UAB FREDA II azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 1 valandos vidurkinimo laikotarpį

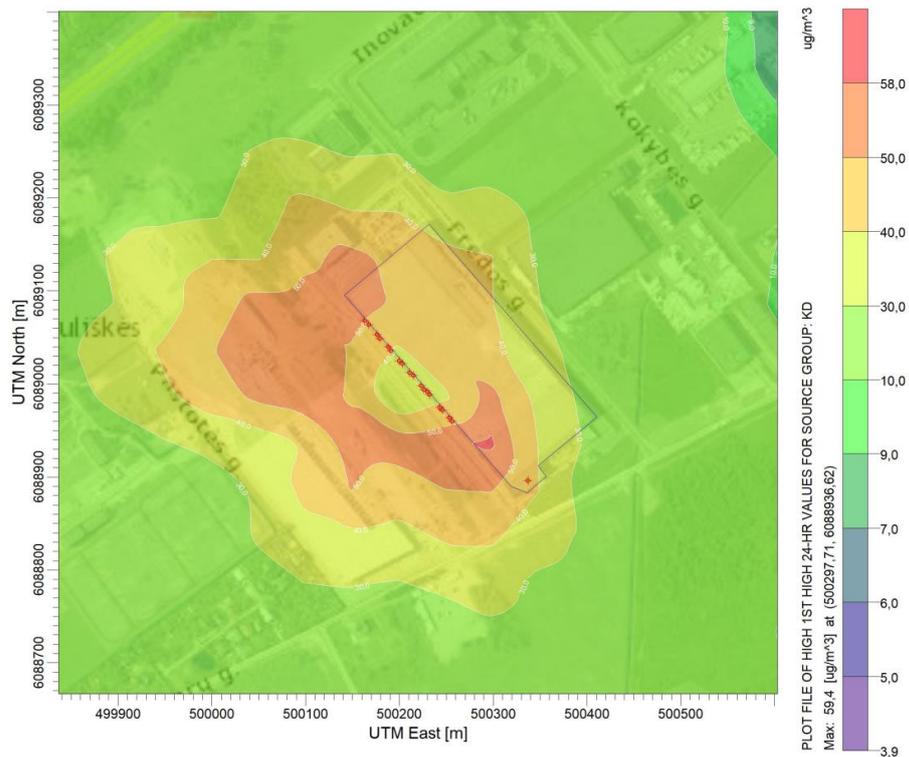


3.14 pav. UAB FREDA II azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį

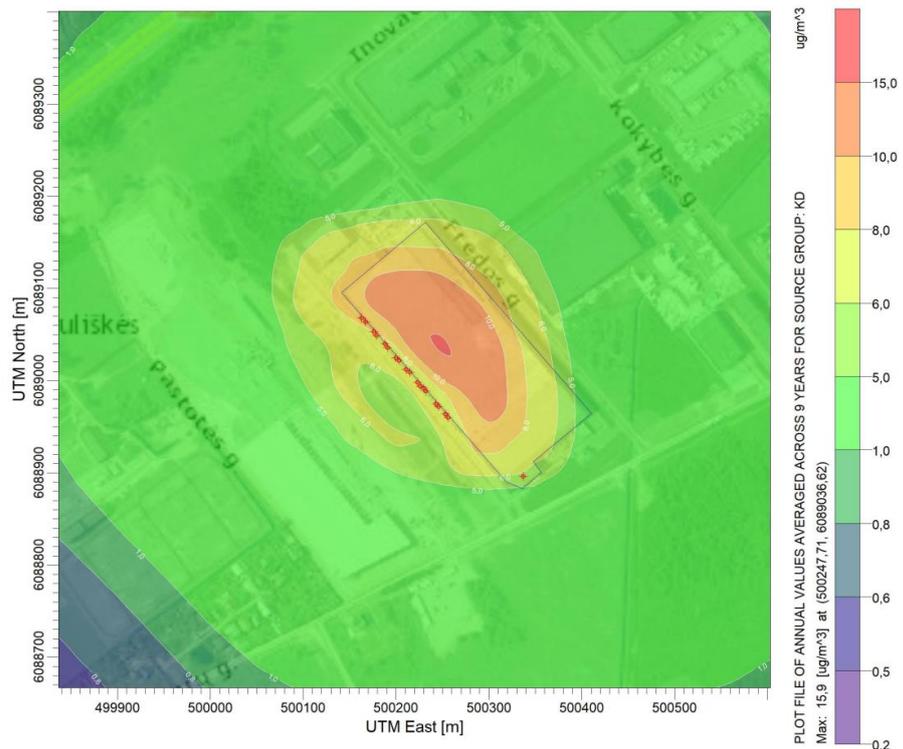


3.15 pav. UAB FREDA II azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant metinį vidurkinimo laikotarpį

Atlikus blogiausio scenarijaus $KD_{2.5}$ dalelių sklaidos modeliavimą, gautą $KD_{2.5}$ koncentracijų pasiskirstymą, nevertinant foninės oro taršos, taikant 24 valandų ir metinį vidurkinimo laikotarpius galima matyti 3.16 pav. ir 3.17 pav.

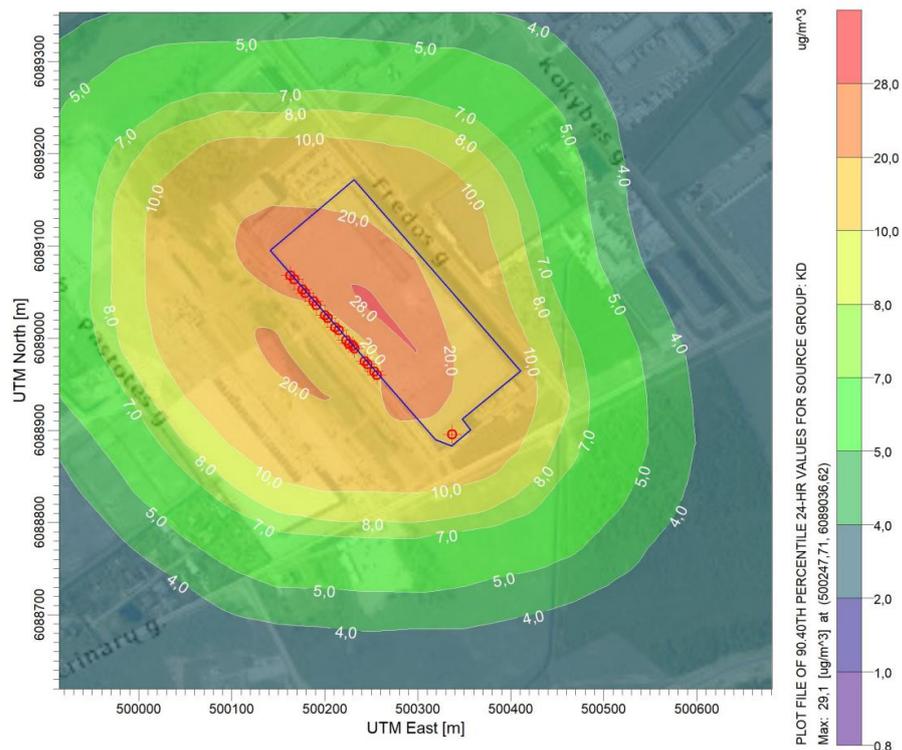


3.16 pav. UAB FREDA II $KD_{2,5}$ koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį

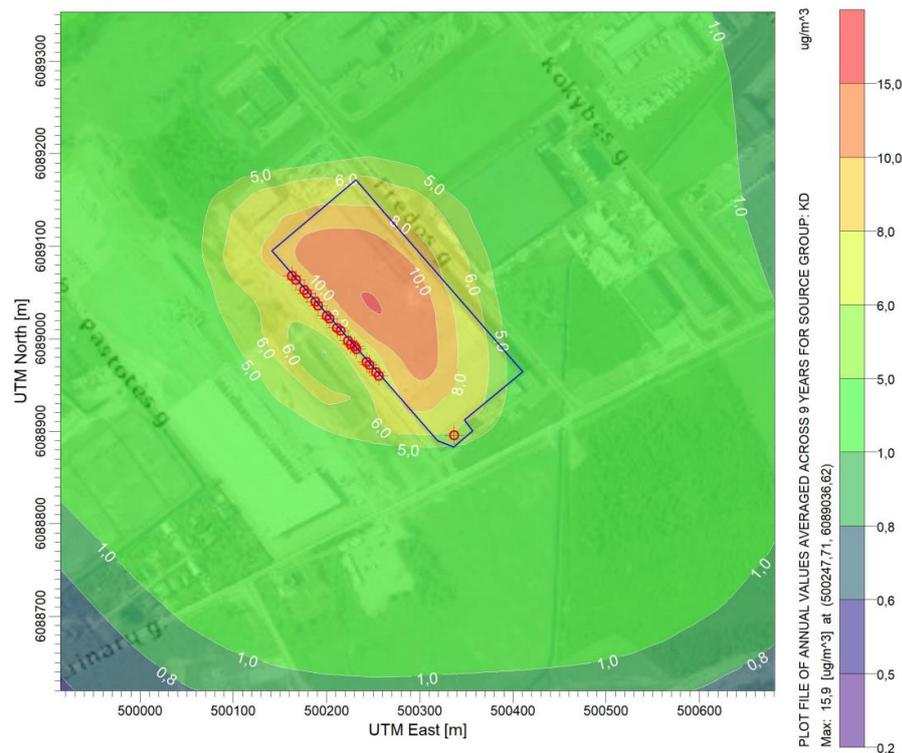


3.17 pav. UAB FREDA II $KD_{2,5}$ koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant metinį vidurkinimo laikotarpį

Atlikus blogiausio scenarijaus KD_{10} dalelių sklaidos modeliavimą, gautą KD_{10} koncentracijų pasiskirstymą, nevertinant foninės oro taršos, taikant 24 valandų ir metinį vidurkinimo laikotarpius galima matyti 3.18 pav. ir 3.19 pav.



3.18 pav. UAB FREDA II KD₁₀ koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį



3.19 pav. UAB FREDA II KD₁₀ koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant metinį vidurkinimo laikotarpį

Atlikus šiluminės energijos gamybos metu susidariusių anglies monoksido ir azoto dioksido esamos būklės sklaidos modeliavimą buvo nustatytos šios vertės (žr. 24 lentelę): aukščiausia 8 valandų vidurkio CO koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 245,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia 24

valandų vidurkio, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 243,20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuo tarpu aukščiausia 8 valandų vidurkio CO koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 2,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia 24 valandų vidurkio CO koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 1,94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aukščiausia 1 valandos vidurkio NO₂ koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 91,64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, aukščiausia 24 valandų vidurkio NO₂ koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 81,96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia metinė vidurkio NO₂ koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 41,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuo tarpu aukščiausia 1 valandos vidurkio NO₂ koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 56,64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, aukščiausia 24 valandų vidurkio NO₂ koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 46,96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia metinė vidurkio NO₂ koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 6,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Atlikus gamybinių procesų metu susidariusių KD_{2,5} ir KD₁₀ sklaidos modeliavimą buvo nustatytos šios vertės (žr. 24 lentelę): aukščiausia 24 valandų vidurkio KD_{2,5} koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 68,38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia metinė KD_{2,5} koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 25,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuo tarpu aukščiausia 24 valandų vidurkio KD_{2,5} koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 59,38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia metinė KD_{2,5} koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 15,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aukščiausia 24 valandų vidurkio KD₁₀ koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 48,06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia metinė KD₁₀ koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 35,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuo tarpu aukščiausia 24 valandų vidurkio KD₁₀ koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 29,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia metinė KD₁₀ koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 15,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Šiluminės energijos gamybos metu bei produktų gamybos procesų metu susidariusių anglies monoksido, azoto dioksido ir KD_{2,5} ir KD₁₀ sklaidos modeliavimas taip pat buvo atliktas įvertinant skirtingus darbo režimus – 1 pamaina, 2 pamainom ir 3 pamainom, gauti rezultatai pateikti 24 lentelėje. Iš 24 lentelėje pateiktų duomenų matyti, jog dirbant visais darbo režimais susidaranti maksimali azoto dioksido teršalų koncentracija, kai vidurkinimo laikotarpis yra 24 valandos, vertinant foninę taršą, viršija siūlomas naujas ES 24 valandų taršos ribines vertes (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 1 pamaina – 52,88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2 pamainos – 69,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3 pamainos – 81,96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o dirbant 3 pamainomis 24 valandų vidurkinimo NO₂ tarša, nevertinant foninės, yra labai arti naujai siūlomos ES 24 valandų taršos ribines vertes (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 46,96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Metinė susidarančio azoto oksido tarša vertinant su fonine tarša, taip pat viršija naujas siūlomas ES metines taršos ribines vertes (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) visais darbo režimo atvejais – 1 pamaina – 37,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2 pamainos – 39,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3 pamainos – 41,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuo tarpu susidaranti 24 valandų KD_{2,5} tarša, vertinant ir nevertinant foninės taršos, visais darbo režimais, viršija naujai siūlomą ES ribinę taršos vertę (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 1 pamaina su fonu – 37,951 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1 pamaina be fonu – 28,95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2 pamainos su fonu – 61,93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2 pamainos be fonu – 52,93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3 pamainos su fonu – 68,38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3 pamainos be fonu – 59,38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Metinė susidaranti KD_{2,5} tarša vertinant su fonine tarša ir be foninės taršos, taip pat viršija naujas siūlomas ES metines taršos ribines vertes (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) visais darbo režimo atvejais, išskyrus per 8 valandų pamainą susidarančių teršalų koncentraciją vertinant be foninės taršos – 1 pamaina su fonu – 14,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2 pamainos su fonu – 19,56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2 pamainos be fonu – 10,29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3 pamainos su fonu – 25,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3 pamainos be fonu – 15,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. KD₁₀ susidaranti tarša esant 24 valandų vidurkinimui viršijo naują siūlomą ES ribinę taršos vertę (45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) tik esant 3 pamainų darbo

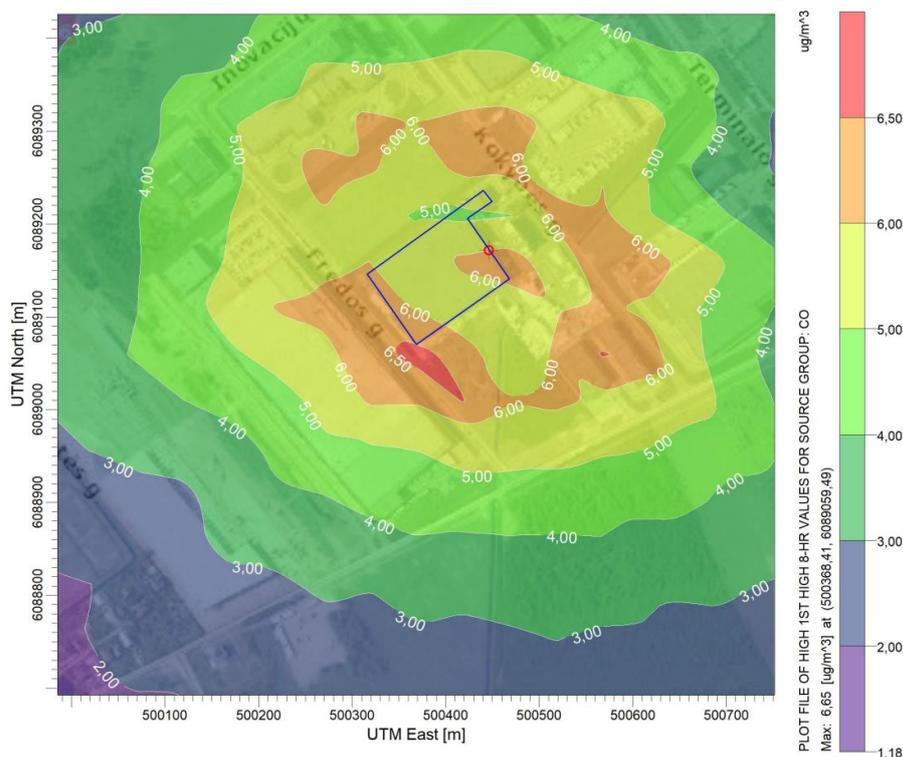
režimui vertinant susidarančią taršą kartu su fonine tarša – 48,06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. KD_{10} susidaranti metinė tarša vertinant kartu su fonine tarša viršijo naująją siūlomą ES ribinę taršos vertę (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dirbant visais trimis režimais – 1 pamaina – 23,59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2 pamainos – 29,56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3 pamainos – 35,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. KD_{10} susidaranti metinė tarša nevertinant foninės taršos taip pat viršijo naująją siūlomą ES ribinę taršos vertę (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dirbant 24 val. pamaina – 15,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. CO sumodeliuota tarša nei vienu darbo režimu neviršijo siūlomų ES taršos ribinių verčių.

24 lentelė. UAB FREDA II Anglies monoksido, azoto oksido, $\text{KD}_{2,5}$ ir KD_{10} sklaidos modeliavimo metu nustatytos maksimalios išsiskyrusių teršalų koncentracijų vertės

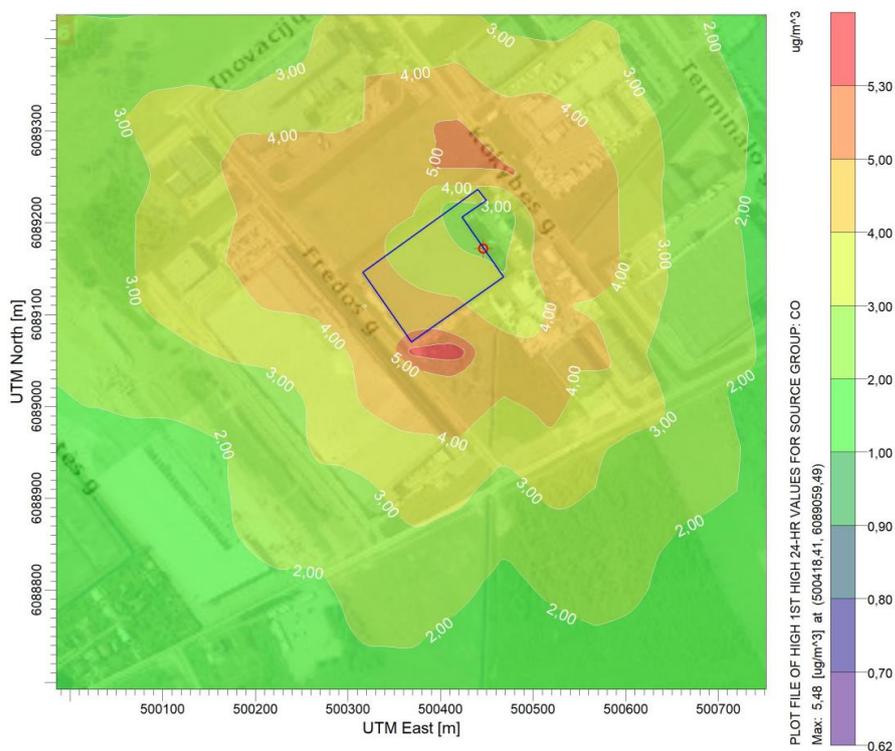
Teršalai	Vidurkinimas	Ribinė vertė, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ES siūloma ribinė vertė, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 pamaina (8 val.)		2 pamainos (16 val.)		3 pamaina (24 val.)	
				Maksimali teršalų koncentracija įvertinus foninę taršą	Maksimali teršalų koncentracija nevertinant foninės taršos	Maksimali teršalų koncentracija įvertinus foninę taršą	Maksimali teršalų koncentracija nevertinant foninės taršos	Maksimali teršalų koncentracija įvertinus foninę taršą	Maksimali teršalų koncentracija nevertinant foninės taršos
Anglies monoksidas	8 valandų	10000	10000	243,37	2,17	244,49	2,19	245,27	2,25
	24 valandų	-	4000	241,28	0,79	242,19	1,37	243,20	1,94
Azoto dioksidas	1 valandų	200	-	87,86	52,86	91,49	56,49	91,64	56,64
	24 valandų	-	50	52,88	17,88	69,07	34,07	81,96	46,96
	Metinis	40	20	37,35	2,35	39,07	4,44	41,00	6,00
$\text{KD}_{2,5}$	24 valandų	-	25	37,95	28,95	61,93	52,93	68,38	59,38
	Metinis	25	10	14,11	4,96	19,56	10,29	25,30	15,91
KD_{10}	24 valandų	50	45	27,28	8,58	37,98	19,40	48,06	29,10
	Metinis	40	20	23,59	4,46	29,56	10,29	35,30	15,91

3.2.3. UAB „Finnfoam“ teršalų sklaidos modeliavimas

Anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymą, nevertinant foninės oro taršos, taikant 8 valandų ir 24 valandų vidurkinimo laikotarpius galima matyti 3.20 pav. ir 3.21 pav.

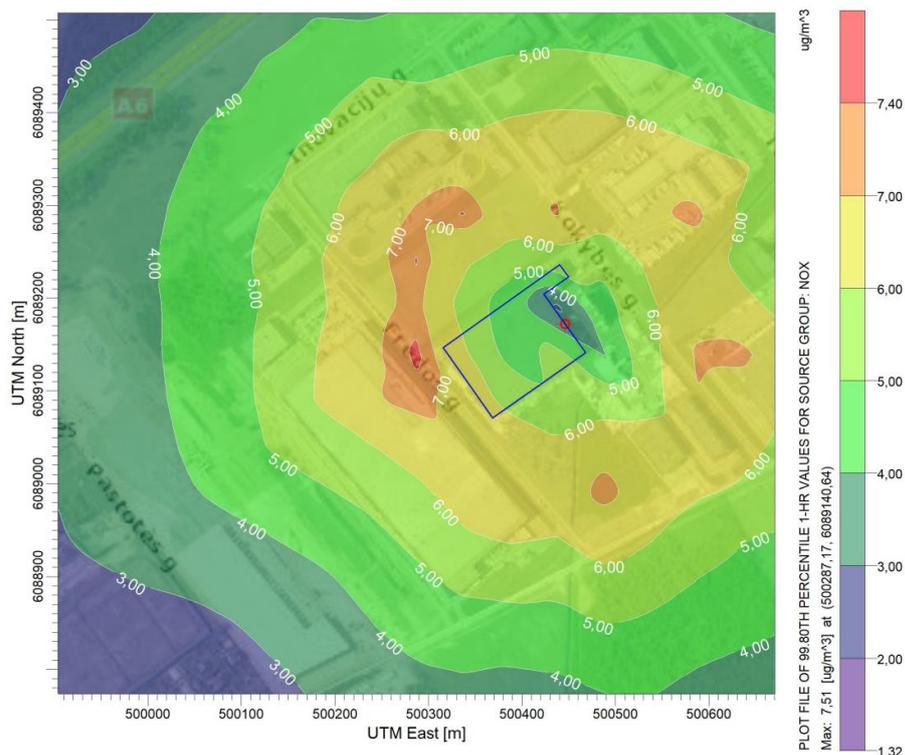


3.20 pav. UAB „Finnfoam“ anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 8 valandų vidurkinimo laikotarpį

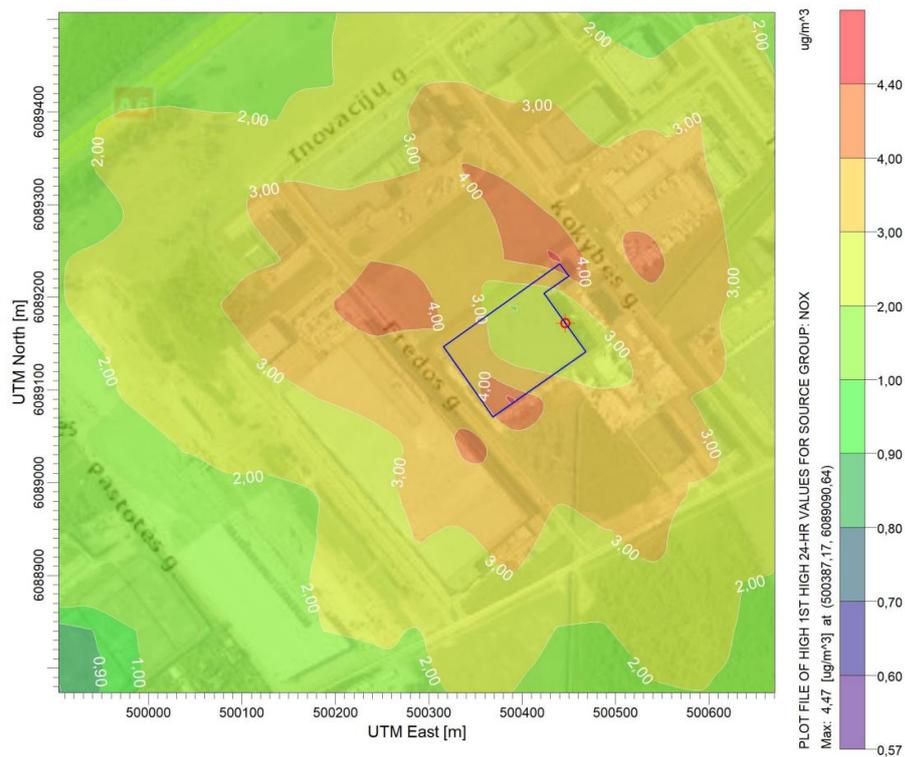


3.21 pav. UAB „Finnfoam“ anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį

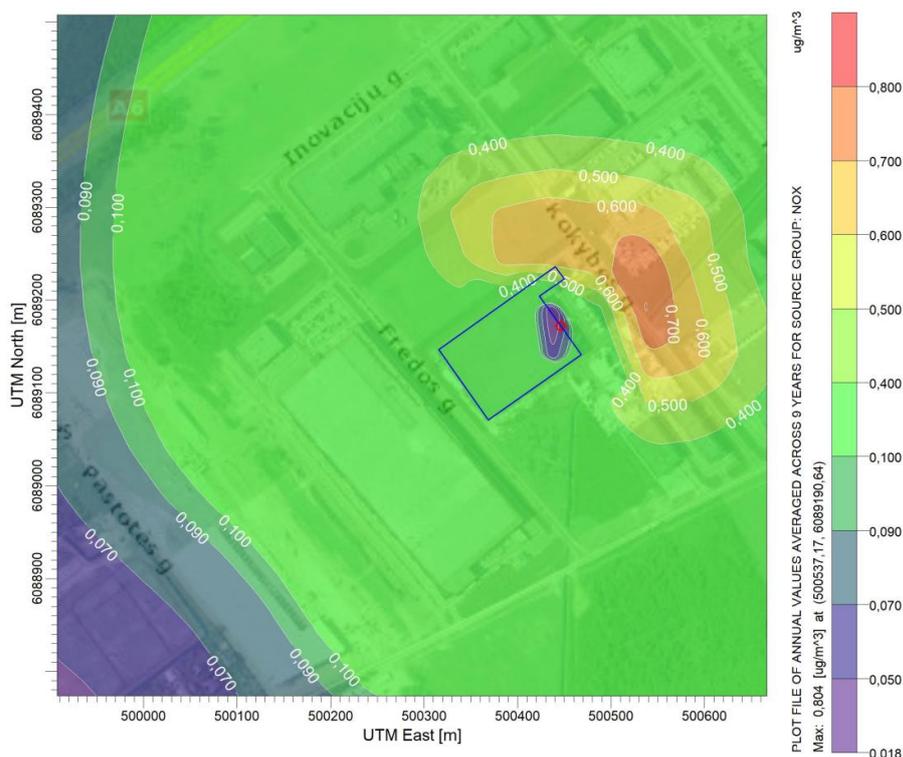
Azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymą, nevertinant foninės oro taršos, taikant 1 valandos, 24 valandų ir metinio vidurkinimo laikotarpius galima matyti 3.22 pav., 3.23 pav. ir 3.24 pav.



3.22 pav. UAB „Finnfoam“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 1 valandos vidurkinimo laikotarpį



3.23 pav. UAB „Finnfoam“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį



3.24 pav. UAB „Finnfoam“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant metinį vidurkinimo laikotarpį

Atlikus šiluminės energijos gamybos metu susidariusių anglies monoksido ir azoto dioksido sklaidos modeliavimą buvo nustatytos šios vertės (žr. 25 lentelėje). Aukščiausia 8 valandų vidurkio CO koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 246,65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia 24 valandų vidurkio CO koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 245,48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuo tarpu aukščiausia 8 valandų vidurkio CO koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 6,65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia 24 valandų vidurkio CO koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 5,48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aukščiausia 1 valandos vidurkio NO_2 koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 42,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, aukščiausia 24 valandų vidurkio NO_2 koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 39,47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia metinė vidurkio NO_2 koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 35,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuo tarpu aukščiausia 1 valandos vidurkio NO_2 koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 7,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, aukščiausia 24 valandų vidurkio NO_2 koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 4,47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia metinė vidurkio NO_2 koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 0,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

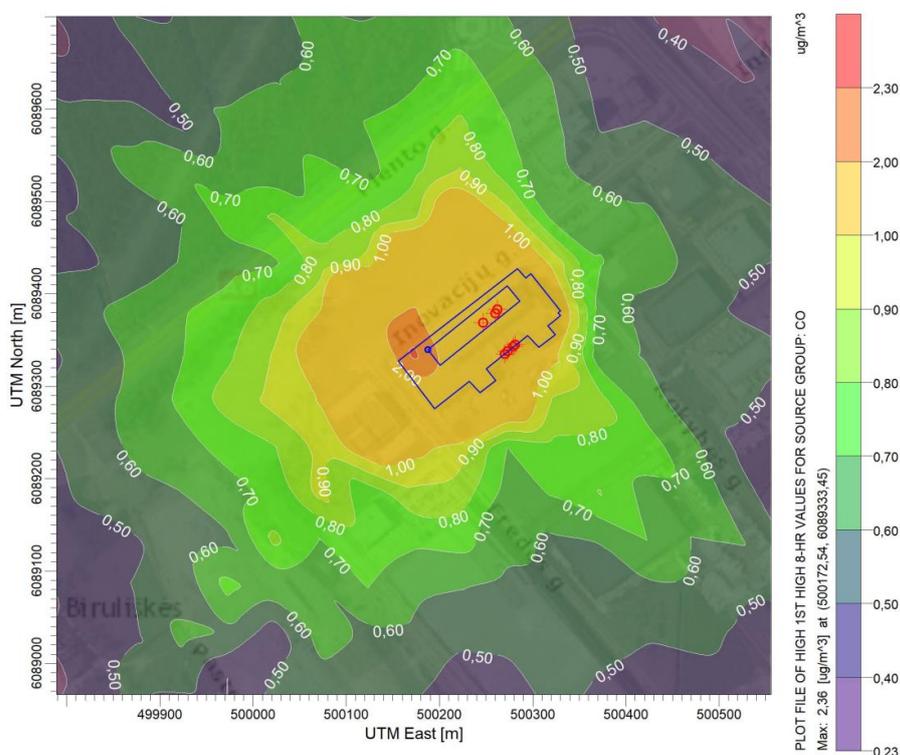
Šiluminės energijos gamybos metu susidariusių anglies monoksido ir azoto dioksido sklaidos modeliavimas taip pat buvo atliktas įvertinant skirtingus darbo režimus – 1 pamaina, 2 pamainom ir 3 pamainom, gauti rezultatai pateikti 25 lentelėje. Iš lentelėje pateiktų duomenų matyti, jog dirbant visais darbo režimais susidaranti azoto oksido maksimali metinė teršalų koncentracija, vertinant foninę taršą, viršija siūlomas naujas ES metines taršos ribines vertes (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 1 pamaina – 35,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2 pamainos – 35,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3 pamainos – 35,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuo tarpu 1 valandos ir 24 valandų vidurkinimo metu susidaranti azoto oksidų tarša neviršija siūlomų ES taršos ribinių verčių. CO sumodeliuota tarša nei vienu darbo režimu neviršijo siūlomų ES taršos ribinių verčių.

25 lentelė. UAB „Finnfoam“ anglies monoksido ir azoto dioksido sklaidos modeliavimo metu nustatytos maksimalios išsiskyrusių teršalų koncentracijų vertės

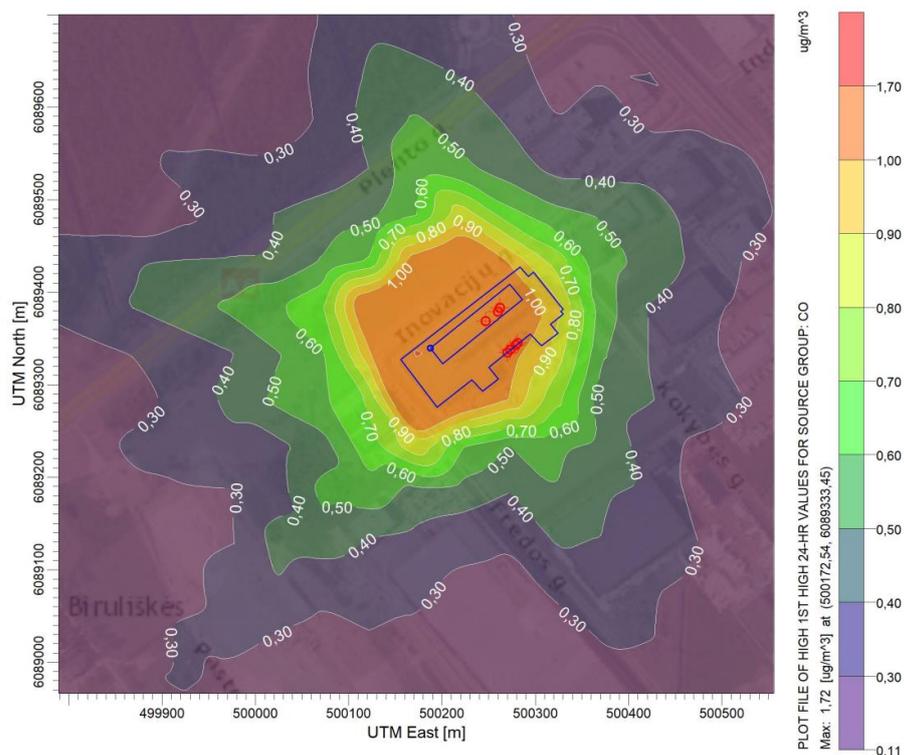
Teršalai	Vidurkinimas	Ribinė vertė, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ES siūloma ribinė vertė, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 pamaina (8 val.)		2 pamainos (16 val.)		3 pamaina (24 val.)	
				Maksimali teršalų koncentracija įvertinus foninę taršą	Maksimali teršalų koncentracija nevertinant foninės taršos	Maksimali teršalų koncentracija įvertinus foninę taršą	Maksimali teršalų koncentracija nevertinant foninės taršos	Maksimali teršalų koncentracija įvertinus foninę taršą	Maksimali teršalų koncentracija nevertinant foninės taršos
Anglies monoksidas	8 valandų	10000	10000	246,46	6,46	246,37	6,37	246,65	6,65
	24 valandų	-	4000	242,54	2,87	243,67	3,71	245,48	5,48
Azoto dioksidas	1 valandų	200	-	40,15	5,15	41,23	6,26	42,51	7,51
	24 valandų	-	50	37,24	2,24	38,04	3,27	39,47	4,47
	Metinis	40	20	35,30	0,30	35,51	0,51	35,80	0,80

3.2.4. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ teršalų sklaidos modeliavimas

Anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymą taikant 8 valandų ir 24 valandų vidurkinimo laikotarpius galima matyti 3.25 pav. ir 3.26 pav.

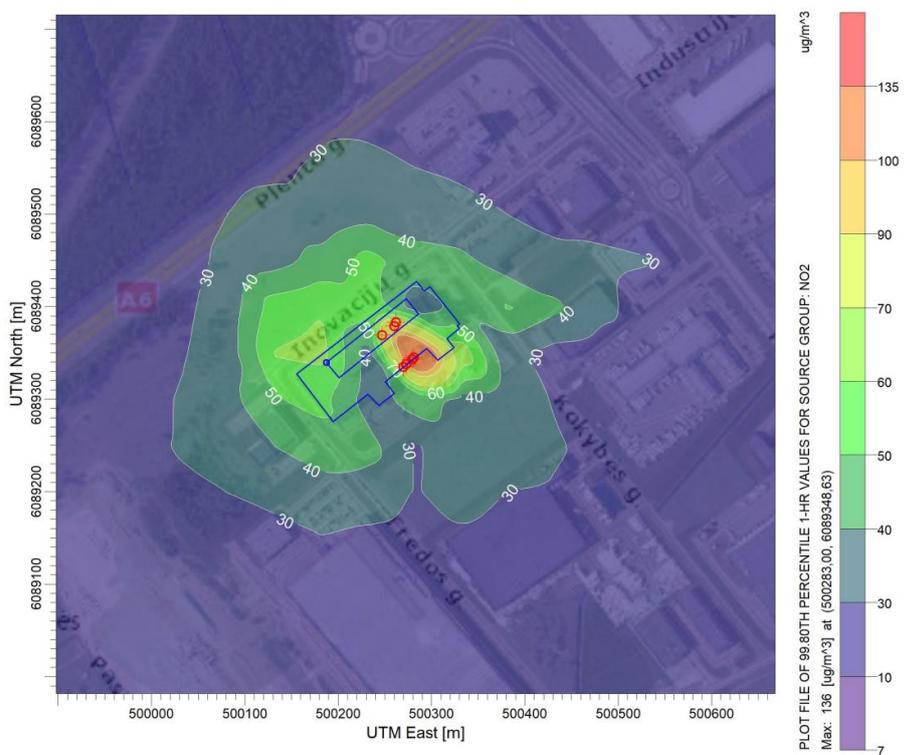


3.25 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 8 valandų vidurkinimo laikotarpį

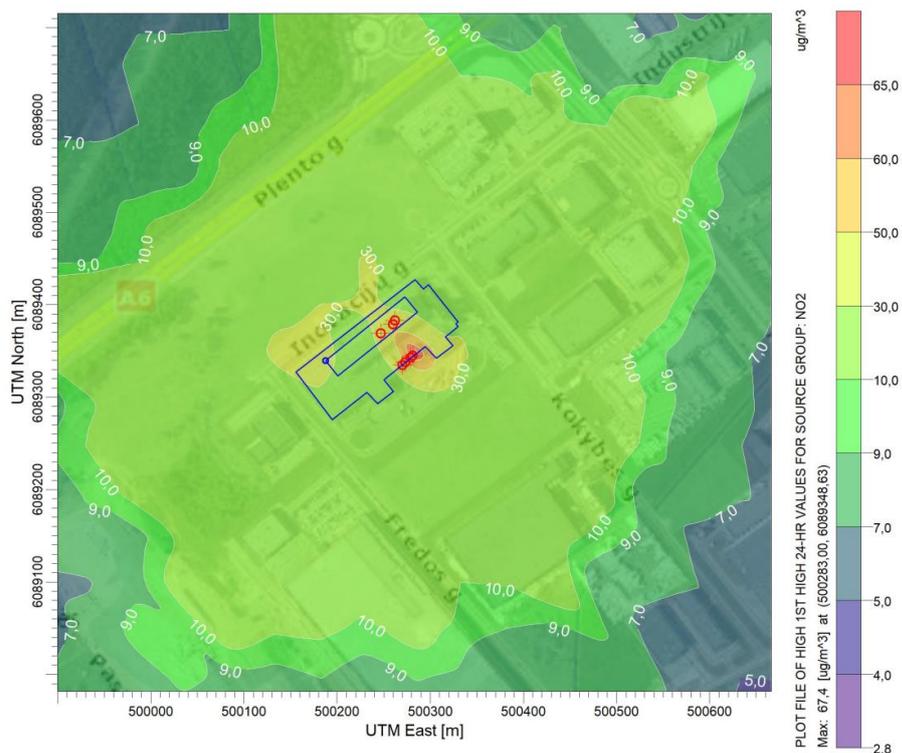


3.26 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ anglies monoksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį

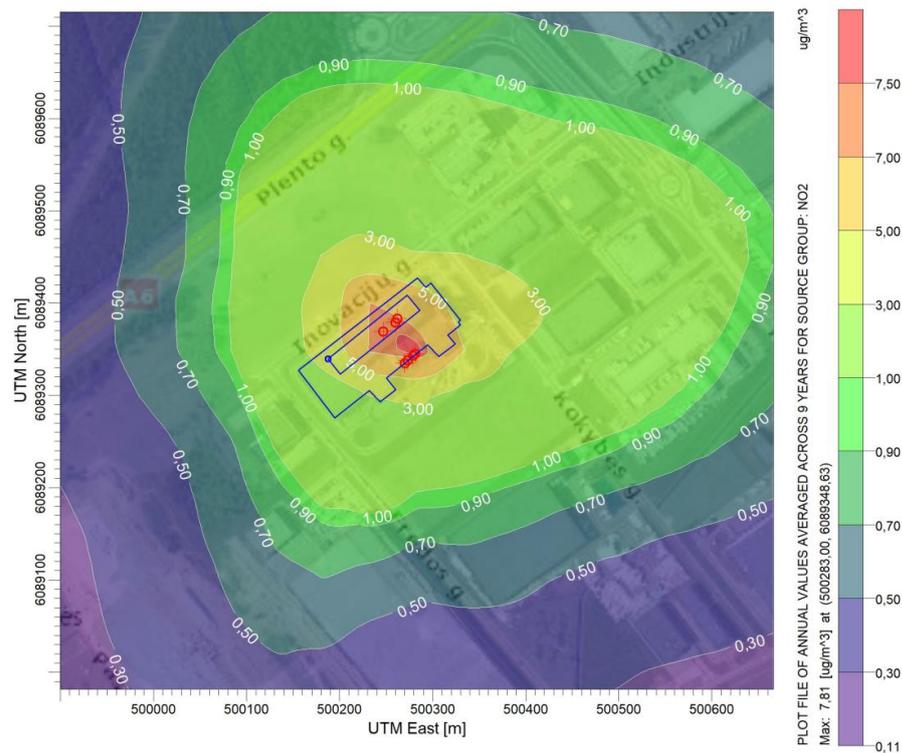
Azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymą, nevertinant foninės oro taršos, taikant 1 valandos, 24 valandų ir metinio vidurkinimo laikotarpius galima matyti 3.27 pav., 3.28 pav. ir 3.29 pav.



3.27 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 1 valandos vidurkinimo laikotarpį

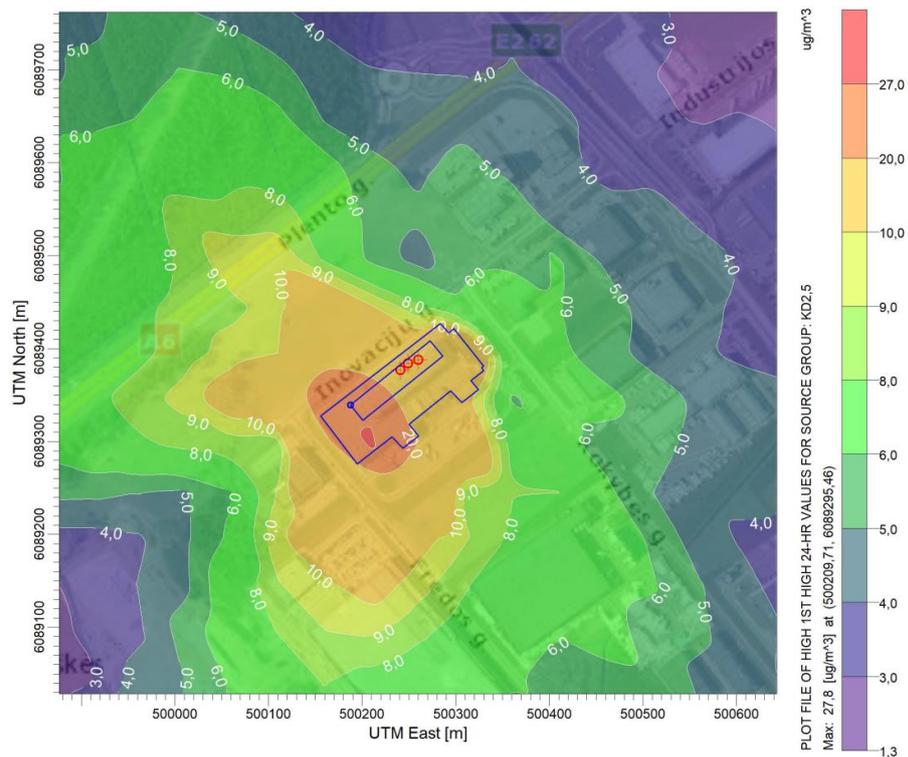


3.28 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį

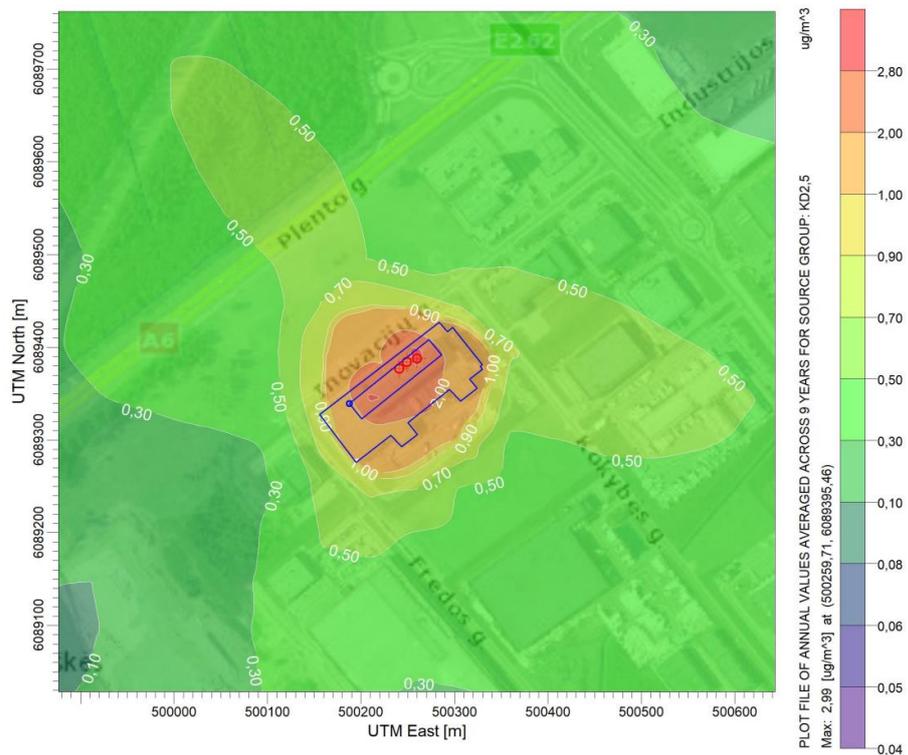


3.29 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ azoto dioksido koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant metinį vidurkinimo laikotarpį

Atlikus blogiausio scenarijaus $KD_{2.5}$ dalelių sklaidos modeliavimą, gautą $KD_{2.5}$ koncentracijų pasiskirstymą, nevertinant foninės oro taršos, taikant 24 valandų ir metinį vidurkinimo laikotarpius galima matyti 3.30 pav. ir 3.31 pav.

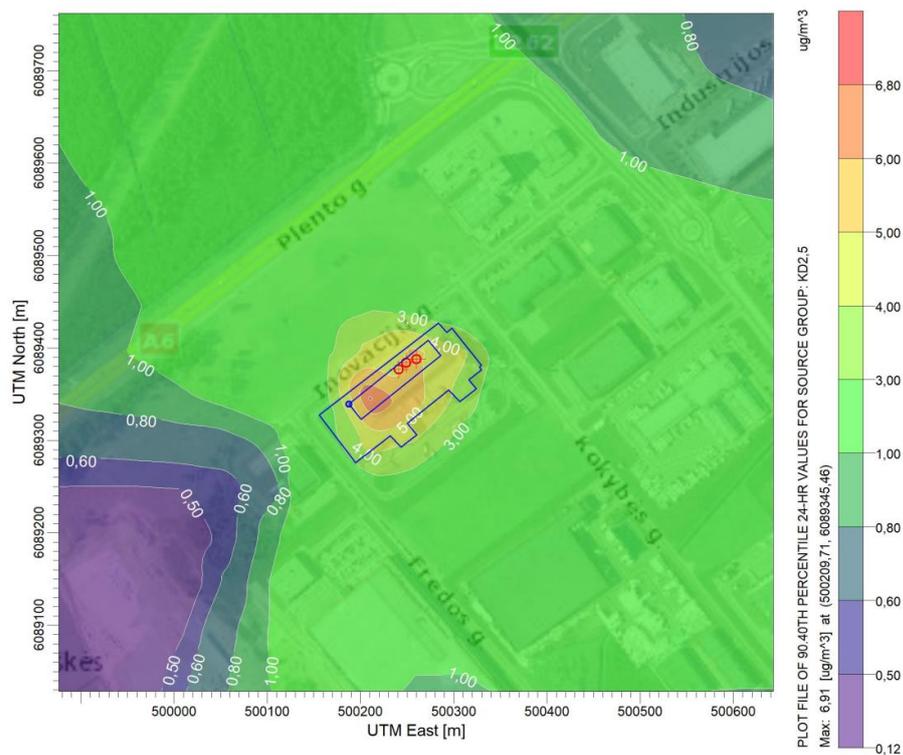


3.30 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ $KD_{2,5}$ koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį

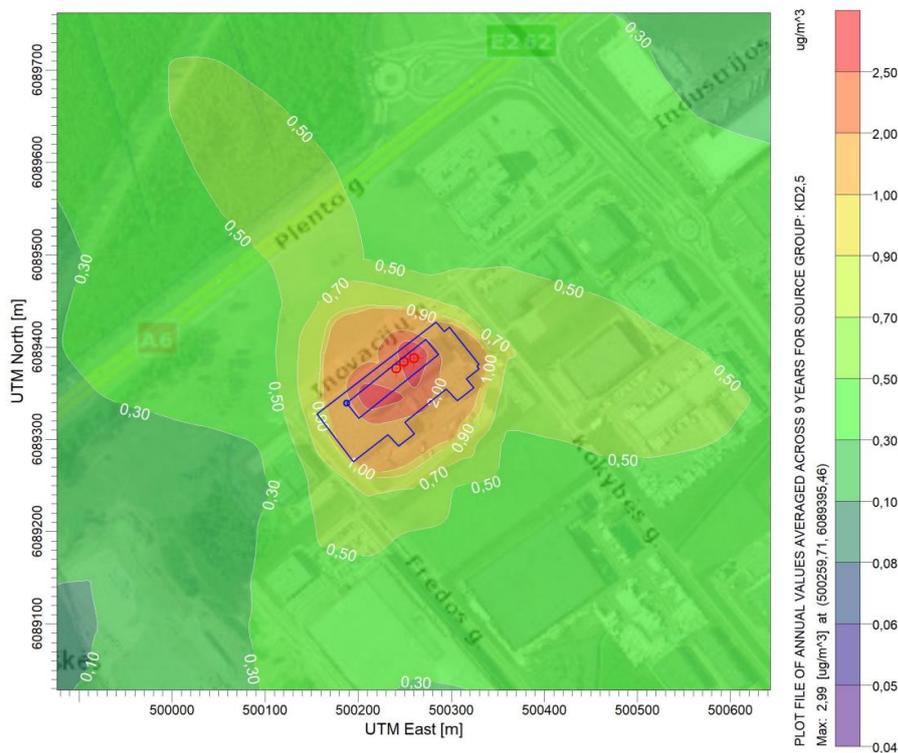


3.31 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ $KD_{2,5}$ koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant metinį vidurkinimo laikotarpį

Atlikus blogiausio scenarijaus KD_{10} dalelių sklaidos modeliavimą, gautą KD_{10} koncentracijų pasiskirstymą, nevertinant foninės oro taršos, taikant 24 valandų ir metinį vidurkinimo laikotarpius galima matyti 3.32 pav. ir 3.33 pav.



3.32 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ KD₁₀ koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant 24 valandų vidurkinimo laikotarpį



3.33 pav. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ KD₁₀ koncentracijų pasiskirstymas nevertinant foninės taršos taikant metinį vidurkinimo laikotarpį

Atlikus šiluminės energijos gamybos metu susidariusių anglies monoksido ir azoto dioksido sklaidos modeliavimą buvo nustatytos šios vertės (žr. 26 lentelę). Aukščiausia 8 valandų vidurkio CO koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 242,37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia 24 valandų vidurkio

CO koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 241,75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuo tarpu aukščiausia 8 valandų vidurkio CO koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 2,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia 24 valandų vidurkio CO koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 1,72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aukščiausia 1 valandos vidurkio NO_2 koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 171,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, aukščiausia 24 valandų vidurkio NO_2 koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 102,41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia metinė vidurkio NO_2 koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 42,81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuo tarpu aukščiausia 1 valandos vidurkio NO_2 koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 136,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, aukščiausia 24 valandų vidurkio NO_2 koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 67,41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia metinė vidurkio NO_2 koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 7,81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Atlikus gamybinių procesų metu susidariusių $\text{KD}_{2,5}$ ir KD_{10} sklaidos modeliavimą buvo nustatytos šios vertės (žr. 26 lentelę). Aukščiausia 24 valandų vidurkio $\text{KD}_{2,5}$ koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 36,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia metinė $\text{KD}_{2,5}$ koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 11,99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuo tarpu aukščiausia 24 valandų vidurkio $\text{KD}_{2,5}$ koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 27,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia metinė $\text{KD}_{2,5}$ koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 2,29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aukščiausia 24 valandų vidurkio KD_{10} koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 24,59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia metinė KD_{10} koncentracija, įvertinus foninę aplinkos taršą, siekia 21,99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuo tarpu aukščiausia 24 valandų vidurkio KD_{10} koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 6,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aukščiausia metinė KD_{10} koncentracija, nevertinant foninės aplinkos taršos, siekia 2,99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Šiluminės energijos gamybos metu bei produktų gamybos procesų metu susidariusių anglies monoksido, azoto dioksido, $\text{KD}_{2,5}$ ir KD_{10} sklaidos modeliavimas taip pat buvo atliktas įvertinant skirtingus darbo režimus – 1 pamaina, 2 pamainom ir 3 pamainom, gauti rezultatai pateikti 22 lentelėje. Iš 26 lentelėje pateiktų duomenų matyti, jog dirbant visais darbo režimais susidarancios maksimalios metinės KD_{10} ir $\text{KD}_{2,5}$ teršalų koncentracijos, vertinant foninę taršą, viršijo naujas siūlomas ES KD_{10} ir $\text{KD}_{2,5}$ metines ribines vertes (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ir 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), KD_{10} – 1 pamaina – 20,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2 pamainos – 21,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3 pamainos – 21,99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{KD}_{2,5}$ – 1 pamaina – 10,13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2 pamainos – 11,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3 pamainos – 11,99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dirbant 2 pamainomis ir 3 pamainomis taip pat buvo viršijamos 24 valandų vidurkinimo, vertinant su fonine tarša, ir 3 pamainomis, vertinant be foninės taršos, $\text{KD}_{2,5}$ teršalų siūloma nauja ES ribinė vertė (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 2 pamainos su fonu – 30,63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3 pamainos su fonu – 36,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3 pamainos be fonu – 27,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Visais darbo režimais susidaranti azoto oksido maksimali teršalų koncentracija, kai vidurkinimo laikotarpis metinis, vertinant foninę taršą, viršija siūlomas naujas ES metines taršos ribines vertes (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 1 pamaina – 38,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2 pamainos – 42,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3 pamainos – 42,81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Visais darbo režimais susidaranti 24 valandų azoto oksido maksimali teršalų koncentracija, vertinant foninę taršą, viršija siūlomas naujas ES metines taršos ribines vertes (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 1 pamaina – 57,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2 pamainos – 68,44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3 pamainos – 102,41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, be foninės taršos dirbant 3 pamainomis taip pat buvo viršijama ir azoto 24 valandų tarša nevertinant foninės taršos – 67,41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. NO_2 per 1 valandą neviršijo naujai siūlomos ES ribinės vertės. CO sumodeliuota tarša nei vienu darbo režimu neviršijo siūlomų ES taršos ribinių verčių.

26 lentelė. Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ anglies monoksido, azoto dioksido, KD_{2,5} ir KD₁₀ sklaidos modeliavimo metu nustatytos maksimalios išsiskyrusių teršalų koncentracijų vertės

Teršalai	Vidurkinimas	Ribinė vertė, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ES siūloma ribinė vertė, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 pamaina (8 val.)		2 pamainos (16 val.)		3 pamaina (24 val.)	
				Maksimali teršalų koncentracija įvertinus foninę taršą	Maksimali teršalų koncentracija nevertinant foninės taršos	Maksimali teršalų koncentracija įvertinus foninę taršą	Maksimali teršalų koncentracija nevertinant foninės taršos	Maksimali teršalų koncentracija įvertinus foninę taršą	Maksimali teršalų koncentracija nevertinant foninės taršos
Anglies monoksidas	8 valandos	10000	10000	241,88	1,80	242,03	2,03	242,37	2,36
	24 valandų	-	4000	240,83	0,80	241,33	1,30	241,75	1,72
Azoto dioksidas	1 valandos	200	-	99,25	64,25	102,52	67,52	171,49	136,49
	24 valandų	-	50	57,77	22,77	68,44	33,44	102,41	67,41
	Metinis	40	20	38,45	3,45	42,23	7,23	42,81	7,81
KD _{2,5}	24 valandų	-	25	21,07	12,07	30,63	21,94	36,77	27,77
	Metinis	25	10	10,13	1,13	11,10	2,10	11,99	2,29
KD ₁₀	24 valandų	50	45	20,93	2,68	22,70	4,94	24,59	6,91
	Metinis	40	20	20,10	1,10	21,10	2,10	21,99	2,99

3.3. Tyrimo neapibrėžtumai

Taršos modeliavimas yra sudėtingas procesas, būtent dėl to būtina įvertinti atlikto tyrimo metu naudotų įvesties duomenų ar parametrų ir modelio neapibrėžtumus ir kaip jie galėjo paveikti gautus rezultatus. Neapibrėžtumo ignoravimas gali vesti prie neteisingų tyrimo išvadų bei neteisingų rekomendacijų [75].

Tyrimo metu buvo naudojami Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos pateikti stebėjimo stoties matuoti meteorologiniai duomenys, kurie apėmė 9 metų laikotarpį. Miestų pramoniniuose regionuose esančių meteorologinės stotelių stebėjimo duomenys išmatuotų duomenų tikslumui bei sumodeliuotos taršos sklaidos rezultatams įtakos gali turėti topografija, meteorologinių stotelių skaičius, skirtingas oro teršalų išmetimo aukštis. Viename tyrime modeliuojant su AERMOD buvo lyginami realiai išmatuoti ir WRF sugeneruoti meteorologiniai duomenys. Lyginant ir validuojant temperatūros ir vėjo greičio WRF su realiai išmatuotais duomenimis buvo gauta, jog šio tyrimo konkrečiu atveju, WRF sugeneruoti duomenys leido sumodeliuoti tikslesnius, išmatuotą taršą atitinkančius, oro kokybės modelio rezultatus. Tyrimo autoriai mano, jog taip nutikti galėjo dėl to, nes tyrimui buvo naudojama nuo modeliuojamos vietovės nedideliu atstumu nutolusios vienos meteorologinių duomenų matavimo stoties duomenys, neįvertinant topografijos ar pramoninių taršos šaltinių (pastatų aukščio, temperatūros skirtumo) įtakos meteorologinių duomenų matavimui. Naudojant kelių skirtingų meteorologinių stočių duomenis ir vertinant jų skirtumus, būtų galima gauti

pramoniniam regionui taikomą tikslesnį bei labiau realybę atitinkantį meteorologinių duomenų rinkinį. WRF meteorologinių duomenų generavimo naudojimas buvo vertinamas, kaip ekonomiškai ir greitas. [76]. Taigi, nors paviršiuje esančių stočių išmatuoti duomenys laikomi kaip artimiausi esamoms tyrimo sąlygoms ir pagal įvairius standartus turi būti naudojami pirmiausia, bet įvertinant surinktų duomenų apribojimus galima sudaryti tikslesnius duomenų rinkinius.

Taip pat baigiamojo darbo metu buvo naudotas trumpo laikotarpio meteorologinių duomenų rinkinys – 9 metai. To pasėkoje, atliekant meteorologinių duomenų analizę ir sklaidos modeliavimo vertinimą skirtingais metais, per mažas/trumpas meteorologinių duomenų rinkinys galėjo lemti sunkumus pastebint ir vertinant įvairias sklaidos ir meteorologijų duomenų tendencijas per metus. Naudojant ilgesnio laikotarpio meteorologinių duomenų rinkinį būtų galima daryti tikslesnes išvadas.

Kitas svarbus neapibrėžtumas kyla iš to, kad gauti teršalų sklaidos modelių rezultatai negalėjo būti palyginti su išmatuotomis taršos vertėmis. Baigiamojo darbo metu oro teršalų sklaidos modeliavimui buvo naudojami iš planuojamų ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimo ataskaitų imami taršos šaltinių įvesties duomenys. Paimti taršos šaltinių įvesties duomenys galėjo būti netikslūs dėl matavimo klaidų, matavimų įvertinimo klaidų, dėl žmogaus klaidų. Dėl šių ir kitų priežasčių gauti teršalų sklaidos modelių rezultatai validuojami ir yra vertinamas modelių tikslumas.

Atlikus baigiamojo darbo oro teršalų sklaidos modeliavimą, gauti rezultatai negalėjo būti palyginti su realiai išmatuotomis oro teršalų koncentracijomis, o gautų modelių tikslumas (angl. *Accuracy*) negalėjo būti validuotas naudojant realius matavimo rezultatus. Urbanizuotų ar pramoninių teritorijų modeliuojamos emisijos turi platų neapibrėžties diapazoną, dėl sudėtingos topografijos, sudėtingais taršos šaltiniais, kur kiekvienas taršos šaltinis turi skirtingas charakteristikas, naudoja skirtingas kuro rūšis ir pasižymi skirtingais emisijų intensyvumais, kurių įtaką galutiniams rezultatams yra sunku įvertinti [77].

Neapibrėžtumas taip pat kyla iš AERMOD programinės įrangos ribotumo modeliuojant. AERMOD turi funkcijas [78] (baigiamojo darbo metu buvo naudojamas OLM metodas įvertinti NO_x/NO₂ konvertavimui), kurios įvertina cheminių reakcijų, vykstančių atmosferoje, buvimą, tačiau, kaip ir visos modeliavimo įrangos, AERMOD supaprastina atmosferoje vykstančias chemines reakcijas ir negali atvaizduoti realių trumpalaikių ir atsitiktinių reakcijų. Kompiuterinis mokymosi (angl. *Machine learning*) algoritmų taikymas gali leisti atlikti tikslesnį atmosferos cheminių procesų modeliavimą [79, 80].

Išvados

1. Normatyvinių ES dokumentų, reglamentuojančių oro kokybę, apžvalga atskleidė nuostatą, kad nuo 2030 m. Europos Komisija planuoja sugriežtinti $KD_{2,5}$, KD_{10} , NO_2 , O_3 , SO_2 ir CO leistinas ribines vertes, todėl oro teršalų sklaidos modeliavimui bus skiriamas ypatingas dėmesys.
2. Teršalų sklaidos modeliavimui buvo pasirinktos šios skirtingo gamybinio profilio Kauno LEZ įmonės: UAB „Axioma Metering“ – šilumos ir vandens skaitiklių gamyba, UAB FREDA II – korpusinių baldų iš medienos drožlių gamyba, UAB „Finnfoam“ – termoizoliacinių medžiagų gamyba, žemės ūkio kooperatyvas „Pienas LT“ – aukštos pridėtinės vertės pieno produktų gamyba.
3. Atlikus oro teršalų sklaidos modeliavimą ir išanalizavus gautus rezultatus buvo nustatyta, kad visų išnagrinėtų įmonių atvejais sumodeliuotos CO aštuonių valandų maksimalios koncentracijos svyravo nuo $2,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $6,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o įvertinus foninę taršą – nuo $241,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $246,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuo tarpu sumodeliuotos maksimalios 24 valandų CO koncentracijos, svyravo nuo $1,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $5,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o įvertinus foninę taršą nuo $241,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $245,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Buvo nustatyta, kad esminį indėlį koncentracijų pasiskirstymui turi foninės CO koncentracijos.
4. Atlikus oro teršalų sklaidos modeliavimą ir išanalizavus gautus rezultatus buvo nustatyta, kad visų išnagrinėtų įmonių atvejais sumodeliuotos vienos valandos NO_2 maksimalios koncentracijos svyravo nuo $5,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $136,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o įvertinus foninę taršą – nuo $40,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $171,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sumodeliuotos 24 valandų NO_2 maksimalios koncentracijos svyravo nuo $2,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $67,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o įvertinus foninę taršą – nuo $37,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $102,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Atitinkamai, sumodeliuotos metinės NO_2 maksimalios koncentracijos kito nuo $0,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $7,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o įvertinus foninę taršą – nuo $35,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $42,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Buvo nustatyta, kad esminį indėlį koncentracijų pasiskirstymui turi foninės NO_2 koncentracijos.
5. Atlikus oro teršalų sklaidos modeliavimą ir išanalizavus gautus rezultatus buvo nustatyta, kad visų išnagrinėtų įmonių atvejais sumodeliuotos 24 valandų $KD_{2,5}$ maksimalios koncentracijos svyravo nuo $27,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $59,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, įvertinus foninę taršą – nuo $36,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $68,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o sumodeliuotos metinės $KD_{2,5}$ maksimalios koncentracijos svyravo nuo $2,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $15,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o įvertinus foninę taršą – nuo $11,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $25,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuo tarpu sumodeliuotos 24 valandų KD_{10} maksimalios koncentracijos svyravo nuo $6,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $29,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o įvertinus foninę taršą – nuo $24,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $48,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sumodeliuotos metinės KD_{10} maksimalios koncentracijos kito nuo $2,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $15,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o įvertinus foninę taršą – nuo $21,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $35,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Buvo nustatyta, kad esminį indėlį koncentracijų pasiskirstymui turi įmonių išmetamos $KD_{2,5}$ ir KD_{10} teršalų koncentracijos.
6. Palyginus oro teršalų sklaidos modeliavimo rezultatus su siūlomomis naujomis ES teršalų ribinėmis vertėmis buvo nustatyta, jog nei vienos įmonės sumodeliuotos CO koncentracijos neviršija naujos siūlomos ES CO 24 valandų ribinės vertės ($4000 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Tuo tarpu sumodeliuotos UAB FREDA II ir Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ maksimalios 24 valandų NO_2 koncentracijos, viršijo naują siūlomą ES NO_2 24 valandų ribinę vertę ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), o sumodeliuotos maksimalios metinės NO_2 koncentracijos, taip pat viršijo naują siūlomą ES NO_2 metinę ribinę vertę ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
7. Atlikus visų gautų rezultatų palyginimą su siūlomomis naujomis ES teršalų ribinėmis vertėmis buvo nustatyta, kad UAB FREDA II ir Žemės ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ sumodeliuotos maksimalios 24 valandų $KD_{2,5}$ koncentracijos, viršija naują siūlomą ES $KD_{2,5}$ 24 valandų ribinę vertę ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), o sumodeliuotos metinės maksimalios $KD_{2,5}$ koncentracijos, taip pat viršija naują siūlomą ES $KD_{2,5}$ metinę ribinę vertę ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Sumodeliuotos UAB FREDA II ir Žemės

ūkio kooperatyvo „Pienas LT“ maksimalios metinės KD_{10} teršalų koncentracijos viršija naują siūlomą ES KD_{10} metinę ribinę vertę – $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tuo tarpu sumodeliuotos UAB FRED A II 24 valandų KD_{10} maksimalios koncentracijos viršija naują siūlomą ES KD_{10} 24 valandų ribinę vertę ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Literatūros sąrašas

1. European Environment Agency. *Air pollution in Europe: 2023 reporting status under the National Emission reduction Commitments Directive*. Interaktyvus. 2022. Prieiga per: <https://www.eea.europa.eu/publications/national-emission-reduction-commitments-directive-2023> [žiūrėta 2024-03-22]
2. European Environment Agency. Europe's air quality status 2023. Interaktyvus. 2023. Prieiga per: <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-air-quality-status-2023> [žiūrėta 2024-03-01]
3. AUKŠČIAUSIOJI AUDITO INSTITUCIJA. *Valstybinio audito ataskaita, Nr. VAE-6 „Aplinkos Oro Būklės Vertinimas“*. Interaktyvus. 2022. Prieiga per: <https://www.valstybeskontrole.lt/LT/Product/24092/aplinkos-oro-bukles-vertinimas> [žiūrėta 2024-03-29]
4. HALLEUX, V. BRIEFING EU. *Legislation in Progress Revision of EU air quality legislation: Setting a zero pollution objective for air*. Interaktyvus. 2024. Prieiga per: [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2023\)747087](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2023)747087) [žiūrėta 2024-03-08]
5. MANISALIDIS I.; STAVROPOULOU, E.; STAVROPOULOS, A.; BEZIRTZOGLU, E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in public health*, 8, 2020, 14. Interaktyvus. ISSN 2296-2565. Prieiga per: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014> [žiūrėta 2024-03-01]
6. European Environment Agency. *Air pollution*. Interaktyvus. 2024. Prieiga per: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution> [žiūrėta 2024-03-01]
7. TIWARY, A. ir WILLIAMS, I. *Air pollution: measurement, modeling and mitigation*. 4-oji laida. Boca Raton: CRC Press, 2018. ISBN 9781498719469
8. European Environment Agency. *Sources and emissions of air pollutants in Europe*. Interaktyvus. 2022. Prieiga per: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/sources-and-emissions-of-air> [žiūrėta 2024-03-01]
9. European Commission. *Air Quality*. Interaktyvus. Prieiga per: https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality_en [žiūrėta 2024-03-02]
10. EUROPOS PARLAMENTAS IR EUROPOS SAJUNGOS TARYBA. *Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2008/50/EB 2008 m. gegužės 21 d. dėl aplinkos oro kokybės ir švaresnio oro Europoje*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0050> [žiūrėta 2024-03-02]
11. XIAORUI T.; HAN, L.; ZHANG, X.; ZHOU, W.; LI, W.; QIAN, Y.; et al. A review of current air quality indexes and improvements under the multi-contaminant air pollution exposure. *Journal of Environmental Management*. 279, 2021. Interaktyvus. ISSN 0301-4797. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111681> [žiūrėta 2024-03-01]
12. WU, Y.; ZHANG, L.; WANG, J.; MOU, Y. Communicating Air Quality Index Information: Effects of Different Styles on Individuals' Risk Perception and Precaution Intention. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 2021, 19, 10542. Interaktyvus. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/ijerph181910542> [žiūrėta 2024-03-02]
13. European Environment Agency. *European Air Quality Index: current air quality information at your finger tips*. Interaktyvus. 2017. Prieiga per: <https://www.eea.europa.eu/highlights/european-air-quality-index-current> [žiūrėta 2024-03-02]

14. European Commission. *Urban-rural Europe – introduction*. Interaktyvus. 2022. Prieiga per: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Urban-rural_Europe_-_introduction#Area_and_population [žiūrėta 2024-03-02]
15. BIKIS, A. Urban Air Pollution and Greenness in Relation to Public Health. *Journal of Environmental and Public Health*. 2023. Interaktyvus. Prieiga per: <https://doi.org/10.1155/2023/8516622> [žiūrėta 2024-03-02]
16. MANISALIDIS, I.; STAVROPOULOU E.; STAVROPOULOS A.; BEZIRTZOGLU E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in Public Health*. 8, 2020. Interaktyvus. ISSN 2296-2565. Prieiga per: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014> [žiūrėta: 2024-03-08]
17. ALMETWALLY, A., A.; BIN-JUMAH, AHMED A.; ALLAM, A. A. Ambient air pollution and its influence on human health and welfare: an overview. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 2020, 24815-24830. Interaktyvus. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09042-2> [žiūrėta 2024-03-08]
18. THANGAVEL, P.; PARK D.; LEE, Y-C. Recent Insights into Particulate Matter (PM2.5)-Mediated Toxicity in Humans: An Overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 2022, 12, 7511. Interaktyvus. ISSN 1661-7827. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/ijerph19127511> [žiūrėta 2024-03-08]
19. AZUMA, K.; KAGI, N.; YANAGI, U.; OSAWA, H. Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance. *Environment International*, 121, 2018, pp. 51-56. Interaktyvus. ISSN 0160-4120. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.059> [žiūrėta 2023-04-20]
20. JACOBSON, T., A., KLER, J., S., HERNKE, M., T.; BRAUN, R. K.; MEYER, K. C. et al. Direct human health risks of increased atmospheric carbon dioxide. *Nature Sustainability*, 2, 2019 pp. 691-701. Interaktyvus. ISSN 2398-9629. Prieiga per: <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0323-1> [žiūrėta 2024-03-30]
21. MATTIUZZI C., LIPPI G. Worldwide epidemiology of carbon monoxide poisoning. *Human & Experimental Toxicology*. SAGE Publications, 39, 2020, 4, pp. 387-392. Interaktyvus. ISSN 0960-3271. Prieiga per: <https://doi.org/10.1177/0960327119891214> [žiūrėta 2024-03-30]
22. DE VRIES, W. Impacts of nitrogen emissions on ecosystems and human health: A mini review. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 21, 2021, 100249. Interaktyvus. ISSN 2468-5844. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100249> [žiūrėta 2024-03-08]
23. ORELLANO, P., REYNOSO, J., QUARANTA, N. Short-term exposure to sulphur dioxide (SO₂) and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 150, 2021, 106434. Interaktyvus. ISSN 0160-4120. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106434> [žiūrėta 2024-03-08]
24. European Environment Agency. *Harm to human health from air pollution in Europe: burden of disease 2023*. Interaktyvus. 2023. Prieiga per: <https://www.eea.europa.eu/publications/harm-to-human-health-from-air-pollution/> [žiūrėta 2024-03-06]
25. KHOMENKO, S.; CIRACH, M.; PEREIRA-BARBOZA, E.; MUELLER, N.; BARRERA-GOMEZ, J. et al. Premature mortality due to air pollution in European cities: a health impact assessment. *Lancet Planet Health*, 5, 2021. Interaktyvus. Prieiga per: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30272-2](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30272-2) [žiūrėta 2024-03-06]
26. LEELÓSSY, A.; MOLNAR, F.; IZSAK, F.; HAVASI, A.; LAGZI, I. et al. Dispersion modeling of air pollutants in the atmosphere: a review. *Open Geosciences*, 6, 2014, 3, pp. 257-278. Interaktyvus. Prieiga per: <https://doi.org/10.2478/s13533-012-0188-6> [žiūrėta 2024-03-08]

27. JOHNSON, J.B. An Introduction to Atmospheric Pollutant Dispersion Modelling. *Environmental Sciences Proceedings*, 19, 2022, 18. Interaktyvus. ISSN 2673-4931. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/ecas2022-12826> [žiūrėta 2024-03-08]
28. HU, T., YOSHIE, R. Effect of atmospheric stability on air pollutant concentration and its generalization for real and idealized urban block models based on field observation data and wind tunnel experiments. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 207, 2020, 104380. Interaktyvus. ISSN 0167-6105. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104380> [žiūrėta 2024-03-08]
29. SALEH, S., H., HASSOON, A. F. Atmospheric stability classes and its effect on co concentration emission around Kirkuk refinery. *Journal of Physics: Conference Series*, 1963, 2021, 012034. Interaktyvus. ISSN 1742-6596. Prieiga per: <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1963/1/012034> [žiūrėta 2024-03-08]
30. RABEY, R. E., ALMUTAIRI, S. J. Modeling the Atmospheric Stability and the Mixing Layer Depth and their Relationship with Sandstorms in an Arid Area. *Environmental Research, Engineering and Management*, 78, 2022, 2, pp. 118-128. Interaktyvus. ISSN: 2029-2139. Prieiga per: <https://doi.org/10.5755/j01.arem.78.2.29971> [žiūrėta 2024-03-08]
31. HEMOND, H. F., FEXHNER, E. J. Chapter 4 – The Atmosphere: In: *Chemical Fate and Transport in the Environment*, pp. 311-454. Interaktyvus. JAV: Academic Press, 2015. ISBN 9780123982568. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398256-8.00004-9> [2024-03-08]
32. KAHL, J., D., W., CHAPMAN, H., L. Atmospheric stability characterization using the Pasquill method: A critical evaluation. *Atmospheric Environment*. Interaktyvus. 2018, vol. 187, pp. 196-209. ISSN 1352-2310. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.05.058> [žiūrėta 2024-03-08]
33. STIPERSKI, I., CALAF, M. Generalizing Monin-Obukhov Similarity Theory (1954) for Complex Atmospheric Turbulence. *Physical Review Letters*, 130, 2023, 12, 124001. Interaktyvus. Prieiga per: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.130.124001> [žiūrėta 2024-03-09]
34. AKINYEMI, M. L.; EMETERE, M.; AKINWUMI, S. A. Dynamics of Wind Strength and Wind Direction on Air Pollution Dispersion. *Asian Journal of Applied Sciences*, 4, 2016, 2 . Interaktyvus. ISSN: 2321 – 0893. Prieiga per: https://core.ac.uk/display/79124069?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1 [žiūrėta 2024-03-09]
35. PEREZ, I. A.; GARCIA, M. A; SANCHEZ, M. L.; PARDO, N.; FERNANDEZ-DUQUE, B. Key Points in Air Pollution Meteorology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 2020, 22, 8349. Interaktyvus. ISSN 1660-4601. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/ijerph17228349> [žiūrėta 2024-03-09]
36. LV. W.; WU, Y.; ZANG, J. A Review on the Dispersion and Distribution Characteristics of Pollutants in Street Canyons and Improvement Measures. *Energies*, 14, 2021, 19, 6155. Interaktyvus. ISSN 1996-1073. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/en14196155> [žiūrėta 2024-03-09]
37. EMEKWURU, N., EJOHWOMU, O. Temperature, Humidity and Air Pollution Relationships during a Period of Rainy and Dry Seasons in Lagos, West Africa. *Climate*, 11, 2023, 5, 133. Interaktyvus. ISSN 2225-1154. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/cli11050113> [žiūrėta 2024-03-10]

38. WU, Y.; LIU, J.; ZHAI, J.; CONG, L.; WANG, Y. et al. Comparison of dry and wet deposition of particulate matter in near-surface waters during summer. *PLoS ONE*, 13, 2018, 6. Interaktyvus. ISSN 1932-6203. Prieiga per: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199241> [žiūrėta 2024-03-10]
39. NEJAD, M., T.; GHALEHTEIMOURI, K.J.; TALKHABI, H.; DOLATSHAHI, Z. The relationship between atmospheric temperature inversion and urban air pollution characteristics: a case study of Tehran, Iran. *Discover Environment*, 1, 2023, 17. Interaktyvus. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s44274-023-00018-w> [žiūrėta 2024-03-11]
40. BRUSSEAU, M.L.; MATTHIAS, A.D.; COMRIE, A.C.; MUSIL, S.A. Chapter 17 – Atmospheric Pollution: In: *Environmental and Pollution Science*. Academic Press, 2019, pp. 293-309. Interaktyvus. ISBN 9780128147191. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814719-1.00017-3> [žiūrėta 2024-03-12]
41. ERICKSON, L. E.; NEWMARK, G. L.; HIGGINS, M. J.; WANG, Z. Nitrogen oxides and ozone in urban air: A review of 50 plus years of progress. *Environmental progress & sustainable energy*, 39, 2020, 6. Interaktyvus. ISSN 1944-7442. Prieiga per: <https://doi.org/10.1002/ep.13484> [žiūrėta 2024-03-14]
42. World Health Organization. *Air quality guidelines global update 2005*. Interaktyvus. 2006. Prieiga per: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-SDE-PHE-OEH-06.02> [žiūrėta 2024-03-11]
43. KEITH, L.; CORWIN, D. L. Point and NonPoint Source Pollution. In: *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. John Wiley & Sons, Ltd, 2006. Interaktyvus. ISBN: 9780470848944. Prieiga per: <https://doi.org/10.1002/0470848944.hsa097> [žiūrėta 2024-03-12]
44. ZANNETTI, P. AIR QUALITY MODELING. In: *Theories, Methodologies, Computational Techniques, and Available Databases and Software. Volume III – Special Issues*. USA, Pittsburgh: The EnviroComp Institute ir Air & Waste Management Association, 2008. ISBN 978-1-9334740-0-7
45. XIE, X.; SEMNJSKI, I.; GAUTAMA, S.; TSILIGIANNI, E.; DELIGIANNIS, N. et al. A Review of Urban Air Pollution Monitoring and Exposure Assessment Methods. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6, 2017, 12, 389. Interaktyvus. ISSN 2220-9964. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/ijgi6120389> [žiūrėta 2024-03-12]
46. VALLERO, D. A. Chapter 14 – Air pollution dispersion models: In: *Air Pollution Calculations*, 2-oji laida, 2024, pp. 499-524. Interaktyvus. ISBN 978-0-443-13987-1. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13987-1.00022-3> [žiūrėta 2024-03-12]
47. SNOUN, H., KRICHEN, M., CHÉRIF, H. A comprehensive review of Gaussian atmospheric dispersion models: current usage and future perspectives. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 8, 2023, pp. 219-242. Interaktyvus. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s41207-023-00354-6> [žiūrėta 2024-03-12]
48. APLINKOS APSAUGOS AGENTŪROS DIREKTORIUS. Aplinkos apsaugos agentūros direktoriaus įsakymas „dėl ūkinės veiklos poveikiui aplinkos orui vertinti teršalų sklaidos skaičiavimo modelių pasirinkimo rekomendacijų patvirtinimo“, 2008 m. gruodžio 9 d. Nr. AV-200, Vilnius. Interaktyvus. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.332995/asr> [žiūrėta 2024-03-12]
49. ALANSARY, O. S., AL-ANSARI, T. Defining ‘free zones’: A systematic review of literature. *Heliyon*, 9, 2023. Interaktyvus. ISSN 2405-8440. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15344> [žiūrėta 2024-03-03]
50. CHEN, J.; LONG, X.; LIN, S. Special Economic Zone, Carbon Emissions and the Mechanism Role of Green Technology Vertical Spillover: Evidence from Chinese Cities. *International*

- Journal of Environmental Research and Public Health*. 19, 2022, 18, 11535 Interaktyvus. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/ijerph191811535> [žiūrėta 2024-03-05]
51. AUNG, T. S.; OVERLAND, I.; VAKULCHUK, R.; XIE, Y. The environmental burdens of special economic zones on the coastal and marine environment: A remote sensing assessment in Myanmar. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 28, 2022, 100809. Interaktyvus. ISSN 2352-9385. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100809> [žiūrėta 2024-03-05]
 52. Lietuvos Respublikos Seimas. *Lietuvos Respublikos laisvųjų ekonominių zonų pagrindų įstatymas, 1995 m. birželio 28 d. Nr. I-976*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.18363/asr> [žiūrėta 2024-03-03]
 53. ESPON. *Special Economic Zones*. Interaktyvus. 2020. Prieiga per: <https://www.espon.eu/topics-policy/case-studies/special-economic-zones> [žiūrėta 2023-03]
 54. INVESTUOK LIETUVOJE. Laisvosios Ekonominės zonos Lietuvoje. Interaktyvus. 2019. Prieiga per: <https://eimin.lrv.lt/uploads/eimin/documents/files/Investicijos/IL/LEZ-Lietuvoje.pdf> [žiūrėta 2024-03-03]
 55. Kauno laisvoji ekonominė zona. *Sklypai su parengta infrastruktūra*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://ftz.lt/> [žiūrėta 2024-03-04]
 56. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Lietuvos Respublikos Kauno laisvosios ekonominės zonos įstatymo Nr. I-1591 3, 7 ir 8 straipsnių pakeitimo įstatymas 2023*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAP/3ad593a0723611eadbcc0bf53e6c339?jfwid=iov1g77zo> [žiūrėta 2024-03-04]
 57. Kauno Laisvoji Zona. *Kauno LEZ Planas*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://ftz.lt/lt/kauno-lez-zemelapis/> [žiūrėta 2024-04-05]
 58. Kauno Laisvoji Zona. *Priežastys investuoti*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://ftz.lt/lt/priezastys-investuoti/> [žiūrėta 2024-04-05]
 59. Kauno Laisvoji Zona. *KaunoLEZ_presentation_LT.pdf*. PDF. Interaktyvus. Prieiga per: https://api.ftz.lt/files/documents/KaunoLEZ_presentation_LT.pdf [žiūrėta 2024-04-06]
 60. Rekvizitai. *Axioma Metering, UAB*. Interaktyvus. Prieiga per: https://rekvizitai.vz.lt/imone/axioma_metering/ [žiūrėta 2024-04-06]
 61. Kauno rajono savivaldybė. *Projekto Nr. 410. Gamybos ir pramonės paskirties pastato veterinarų g. 52, Biruliškių k., Karmėlavos sen., Kauno r. sav. statinio rekonstravimas. Statytojas: UAB „Axioma Metering“, užsakovas: UAB „veiksmės Statyba“, 2021, Kaunas. PDF. Prieiga per: <https://www.krs.lt/media/28783/projektiniai-pasi%C5%ABlymai.pdf> [žiūrėta 2024-04-06]*
 62. Lietuvos aplinkos agentūra. *Skaitiklių gamybos gamyklos (Veterinarų g. 52, Rytėnos g. 10, Biruliškių k., Karmėlavos sen., Kauno r. sav.) plėtros ir eksploatacijos. Informacija atrankai dėl poveikio aplinkai vertinimo. 2021, Kaunas. Užsakovas: UAB „Bendrieji statybos projektai“. Organizatorius: UAB „Axioma Metering“, dokumentų rengėjas: UAB „Infraplanas“. 2021, Kaunas. PDF. Prieiga per: https://drive.google.com/drive/folders/1UpjBo6tTQRA1m3sWGJp_IceQajmQEftS [žiūrėta 2024-04-06]*
 63. Lietuvos aplinkos agentūra. *Baldų gamybos įmonės, statomos Kauno LEZ teritorijoje (Biruliškių k., Karmėlavos sen., Kaunor., sav.) statybos ir eksploatacijos informacija atrankai dėl poveikio aplinkai vertinimo. 2017, Kaunas. Užsakovas: UAB „Geras baldų fabrikas“, dokumentų rengėjas: UAB „Infraplanas“. 2017, Kaunas. PDF. Prieiga per:*

- <https://old.gamta.lt/files/Informacija%20Baldu%20%C4%AFmone%20LEZ.pdf> [žiūrėta 2024-04-06]
64. Rekvizitai. *FREDA II, UAB*. Interaktyvus. Prieiga per: https://rekvizitai.vz.lt/imone/geras_baldu_fabrikas/ [žiūrėta 2024-04-07]
65. FREDA II apie mus. *freda.eu* [žiūrėta 2024-04-07] Prieiga per: <https://www.freda.eu/freda-ii-apie-mus/>
66. APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. *Aplinkos apsaugos agentūros direktoriaus įsakymas „Dėl Foninio aplinkos oro užterštumo duomenų naudojimo ūkinės veiklos poveikiui aplinkos orui įvertinti rekomendacijų patvirtinimo“ 2008 m. liepos 10 d. Nr. AV-112, Vilnius*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.324955/asr> [žiūrėta 2024-04-10]
67. Finnfoam. *Apie*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://finnfoam.rsdev.lt/finnfoam/> [žiūrėta 2024-04-10]
68. Rekvizitai. *Finnfoam, UAB*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://rekvizitai.vz.lt/imone/finnfoam/> [žiūrėta 2024-04-10]
69. Aplinkos Apsaugos Agentūra. *5 priedas Aplinkos oro teršalų sklaidos skaičiavimai. UAB „Finnfoema“ ūkinės veiklos metu išmetamų aplinkos oro teršalų sklaidos modeliavimas*. Interaktyvus. 2020. Prieiga per: <https://drive.google.com/drive/folders/1ZrxFS5dSRtJp3I04X0Kvt5c3kSC5hjIX> [žiūrėta 2024-04-10]
70. Rekvizitai. *Žemės ūkio kooperatyvas „Pienas LT“*. Interaktyvus. Prieiga per: https://rekvizitai.vz.lt/imone/zemes_ukio_kooperatyvas_pienas_lt/ [žiūrėta 2024-04-29]
71. Aplinkos Apsaugos Agentūra. *3,4,5,6 priedai viešinimui. Skaitiklių gamybos gamyklos (Veterinarų g. 52, Rytėnos g. 10, Biruliškių k., Karmėlavos sen., Kauno r. sav.) plėtros ir eksploatacijos. Informacija atrankai dėl poveikio aplinkai vertinimo. 2021, Kaunas*. Užsakovas: UAB „Bendrieji statybos projektai“. Organizatorius: UAB „Axioma Metering“. PAV dokumentų rengėjas: UAB „Infraplanas“. 2021, Kaunas. PDF. Prieiga per: <https://drive.google.com/file/d/18QNaFHotURfherVCO2g7FYj7QJmDesYl/view> [žiūrėta 2024-04-29]
72. Aplinkos Apsaugos Agentūra. *2022 metų vidutinės metinės koncentracijos Kauno miesto aplinkos ore*. Interaktyvus. 2022. Prieiga per: <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/oras/oro-uzterstumo-sklaidos-zemelapiai-duomenys-fonines-koncentracijos-paov-skaiciavimams/2022-m-fonines-koncentracijos-paov-skaiciavimams-duomenys-ir-zemelapiai/> [žiūrėta 2024-04-10]
73. Aplinkos Apsaugos Agentūra. *2022 m. vidutinės metinės aplinkos oro teršalų kaimo foninių koncentracijų reikšmės*. Interaktyvus. 2022. Prieiga per: <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/oras/oro-uzterstumo-sklaidos-zemelapiai-duomenys-fonines-koncentracijos-paov-skaiciavimams/2022-m-fonines-koncentracijos-paov-skaiciavimams-duomenys-ir-zemelapiai/> [žiūrėta 2024-04-16]
74. U.S. Environmental Protection Agency. *Technical support document (TSD) for NO2-related AERMOD modifications*. Interaktyvus. 2015. PDF. Prieiga per: https://gaftp.epa.gov/Air/aqmg/SCRAM/models/preferred/aermod/AERMOD_NO2_Changes_TSD.pdf [žiūrėta 2024-04-18]
75. HOLNICKI, P., NAHORSKI, Z. Emission Data Uncertainty in Urban Air Quality Modeling—Case Study. *Environmental Modeling & Assessment* [interaktyvus]. 2015, vol. 20, pp. 583-597 [žiūrėta 2024-05-16]. ISSN 1420-2026. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s10666-015-9445-7>
76. KUMAR, A.; DIKSHIT, A. K.; PATIL, R.S. Use of Simulated and Observed Meteorology for Air Quality Modeling and Source Ranking for an Industrial Region. *Sustainability*, 13, 2021, 4276. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/su13084276> [žiūrėta 2024-05-16]

77. HOLNICKI, P. Uncertainty in Integrated Modelling of Air Quality: In: *Advanced Air Pollution*. 2011. Interaktyvus. ISBN 9789533075112. Prieiga per: <https://www.intechopen.com/books/193> [žiūrėta 2024-05-16]
78. THEOBALD, M. R.; SANZ-COBENA, A.; VALLEJO, A.; SUTTON, M. A. Suitability and uncertainty of two models for the simulation of ammonia dispersion from a pig farm located in an area with frequent calm conditions. *Atmospheric Environment*, 102, 2015, pp. 167-175. Interaktyvus. ISSN 1352-2310. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.056> [žiūrėta 2024-05-16]
79. PENG, Z.; ZHANG, B.; WANG, D.; NIU, X.; SUN, J., et al. Application of machine learning in atmospheric pollution research: A state-of-art review. *Science of The Total Environment*, 910, 2024, 168588. Interaktyvus. ISSN 0048-9697. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168588> [žiūrėta 2024-05-16]
80. LI, Y., SHA, Z., TANG, A., GOULDING, K., LIU, X. The application of machine learning to air pollution research: A bibliometric analysis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 257, 2023, 114911. Interaktyvus. ISSN 0147-6513. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114911>. [žiūrėta 2024-05-16].