

LATVIJAS UNIVERITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
VIDES ZINĀTNES NODAĻA

Atmosfēras piesārņojuma dozimetriskais novērtējums

BAKALaura DARBS

Autore: Laura Kurzemiece

Stud. Apl. Ik19098

Darba vadītāja:

Dr. Geogr. Asoc. prof., Iveta Šteinberga

RĪGA 2022

ANOTĀCIJA

Bakalaura darba "Atmosfēras piesārņojuma dozimetriskais novērtējums" ir apkopota zinātniskā literatūra par atmosfēras piesārņojumu pilsētvidē, tā ietekmi uz cilvēku veselību, meteoroloģisko parametru ietekmi uz gaisa kvalitāti, maršruta izvēles nozīmi, lai mazinātu uzņemto gaisa piesārņojuma daudzumu. Darba praktiskajā daļā veikti mērījumi piesārņotājiem $PM_{2.5}$, PM_{10} , PM_1 un gaistošajiem organiskajiem savienojumiem laika periodā no 03.10.2021. līdz 14.04.2022. dažādās nedēļas dienās un ekspozīcijas laikos. Mērījumi veikti, izmantojot personificētu gaisa piesārņojuma mērītāju dozimetru. Iegūtie piesārņojošo vielu koncentrāciju mērījumi analizēti, izmantojot korelāciju analīzi un dispersijas analīzi ANOVA, vērtēta arī meteoroloģisko parametru ietekme uz atmosfēras piesārņojuma līmeni. Analīzē būtiska uzmanība pievērsta ekspozīcijas laikam un transporta satiksmes intensitātei uz cieto daļiņu piesārņojumu dažādos pārvietošanās maršrutos.

Atslēgas vārdi: atmosfēras piesārņojums, cietās daļiņas, $PM_{2.5}$, PM_{10} , PM_1 , gaistošie organiskie savienojumi, pilsētvide.

ANNOTATION

The bachelor's thesis "Dosimetric assessment of atmospheric pollution summarizes scientific literature about atmospheric pollution in urban environment, effects on health, the importance of selecting a route to reduce exposure to air pollution and meteorological parameters effect on air quality. In the practical part of the work measurements of pollutants PM_{2,5}, PM₁₀, PM₁ and volatile organic compounds were performed from 03.10.2022. until 14.04.2022. on different days of the week and exposure times. Measurements were performed by using a personalized air pollution meter dosimeter. The obtained measurements of pollutant concentrations were analyzed using correlation analysis and analysis of variance ANOVA, and the influence of meteorological parameters on the level of atmospheric pollution was also assessed. The analysis pays significant attention to the time of exposure and the intensity of transport traffic to particulate matter pollution in different routes.

Key words: atmospheric pollution, particulate matter, PM_{2,5}, PM₁₀, PM₁, volatile organic compounds, urban environment.

SATURS

IEVADS	5
1. LITERATŪRAS APSKATS.....	7
1.1. Atmosfēras piesārņojums un tā avoti pilsētvidē.....	7
1.3. Atmosfēru piesārņojošās vielas	10
1.3.1. Primārie atmosfēras piesārņotāji.....	10
1.3.2. Sekundārie atmosfēras piesārņotāji	13
1.4. Atmosfēras piesārņojuma ietekme uz cilvēka veselību.....	14
1.5. Meteoroloģisko apstākļu ietekme uz atmosfēras piesārņojumu.....	16
1.6. Maršruta plānošana un atmosfēras piesārņojums	19
2. MATERIĀLI UN METODES	22
2.1. Pētāmās teritorijas raksturojums	22
2.2. Pētījuma maršruti un mērījumu biežums.....	23
2.3. Mērījumu metodes raksturojums.....	24
2.4. Datu statistiskās apstrādes un analīzes metodes.....	25
3. REZULTĀTU ANALĪZE UN DISKUSIJA.....	27
3.1. Atmosfēras piesārņotāju koncentrāciju analīze.....	27
3.4. Transporta satiksmes intensitātes ietekme uz atmosfēras piesārņojumu.....	33
3.5. Dozas aprēķini un iegūtie rezultāti	38
SECINĀJUMI.....	41
IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI.....	43
PIELIKUMI	48

IEVADS

Mūsdienās atmosfēras piesārņojums ir viena no lielākajām problēmām apdzīvotās teritorijās, tas rada negatīvu ietekmi uz vidi, ekonomiku un cilvēka veselību, rodas dažādas elpošanas ceļu saslimšanas, sirds un asinsvadu slimības, saasinās alerģijas, kā arī samazinās dzīves ilgums (Piesārņojuma ietekme 2020). 2019. gadā Pasaules Veselības organizācija (PVO) atzina, ka lielākais vides risks cilvēka veselībai ir iekštelpu un ārtelpu gaisa piesārņojums. Katru gadu pasaulē priekšlaicīgi mirst ~ 7 miljoni cilvēku gaisa piesārņojuma dēļ. Pētījumā 2018. gadā atklāja, ka 9 no 10 cilvēkiem katru dienu elpo gaisu, kurā ir paaugstinātas piesārņotāju (CO_2 , NO_2 , O_3 , cieto daļiņu $\text{PM}_{2.5}$ un PM_{10}) koncentrācijas (Roberts 2021). Lai aizsargātu cilvēku veselību, pašas valstis un PVO ir noteikusi robežvērtības piesārņojošajām vielām, taču tās nav tik viegli sasniedzamas. Salīdzinot 2021. gadu ar 2022. gadu, var novērot tendenci, ka lielākajā daļā Eiropas valstu galvaspilsētu, gada vidējās piesārņojošo vielu vidējās koncentrācijas samazinās. Sarajevo, kas ir Bosnijas un Hercegovinas galvaspilsēta, gan 2020. gadā, gan 2021. gadā bija vislielākās $\text{PM}_{2.5}$ vidējās koncentrācijas Eiropā, lai gan pilsētai izdevās samazināt vidējās koncentrācijas no $42,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2020. gads) uz $29,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2021.gads), lai sasniegtu PVO noteiktu robežvērtību cilvēka veselības aizsardzībai, kas ir $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pilsētai būtu nepieciešams samazināt emitēto $\text{PM}_{2.5}$ daudzumu 6 reizes, taču šī problēma pastāv visās Eiropas galvaspilsētās, visās galvaspilsētās 2021. gadā tiek pārsniegta PVO rekomendētā robežvērtība Salīdzinot ar pasaules galvaspilsētām, Eiropā situācija nav kritiskākā, Deli, Indijā 2021. gada vidējā $\text{PM}_{2.5}$ koncentrācija bija $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kas 16 reizes pārsniedz PVO rekomendēto robežvērtību (Tiseo 2022).

Neatņemama cilvēka dzīves sastāvdaļa ir pārvietošanās: nonākšana vēlamajā galamērķī, došanās uz skolu, darbu, veikalu, kā arī ikdienišķas pastaigas. Tradicionālie faktori, izvēloties maršrutu, ir īsāka distance, ceļā pavadītais laiks, labāks ceļa segums, zemākas izmaksas. Šajos faktoros nav ņemta vērā cilvēka ekspozīcija gaisa piesārņojumam, vai pasākumi, lai to mazinātu (Zou et al. 2020). Pilsētvidē nevar pilnībā izvairīties no gaisa piesārņojuma, taču, izvērtējot iespējamus maršrutus, izvēloties diennakts laiku, kurā doties ārpus mājas, kā arī pārvietošanās līdzekli, ir iespējams būtiski samazināt uzņemto piesārņojuma daudzumu un risku veselībai, kā arī neradīt vēl lielāku gaisa piesārņojumu. Lai noskaidrotu atmosfēras piesārņojuma variācijas dažādos maršrutos un diennakts stundās, var izmantot dažādas gaisa monitoringa ierīces, piemēram, personificētu gaisa piesārņojuma mērītāju dozimetrus, ar kuru palīdzību iespējams nomērīt dažādu piesārņojošo vielu koncentrācijas indivīdam atrodoties konkrētā punktā.

Darba mērķis ir noskaidrot, kā mainās indivīda ekspozīcija atmosfēras piesārņojumam, dažādos maršrutos, nedēļas dienās un diennakts periodos pārvietojoties kājām pilsētvidē.

Darba mērķa sasniegšanai izvirzīti sekojoši uzdevumi:

1. Raksturot atmosfēras piesārņojumu, tā ietekmējošos faktorus, noteikt galvenos piesārņojuma avotus un piesārņojošās vielas pilsētvidē.
2. Apgūt atmosfēras piesārņojuma dozimetriskās kontroles mērījumu metodi, izstrādāt mērījumu veikšanas maršrutus un programmu, atbilstoši tam veikt mērījumus.
3. Izveidot mērījumu datu bāzi, apstrādāt iegūtos rezultātus statistiskai analīzei.
4. Salīdzināt atmosfēras piesārņojumu dažādās nedēļas dienās, diennakts periodos un mēnešos.

Darba eksperimentālā daļa realizēta Rīgā, Āgenskalna apkaimē.

Bakalaura darba struktūra: 53 lapas, 1 tabula, 20 attēli, 2 pielikumi.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Atmosfēras piesārņojums un tā avoti pilsētvidē

Atmosfēras piesārņojums rodas, kad dažādas gāzes, cietās daļiņas, vai aerosoli gaisā ir tik lielās koncentrācijās, kuras ir pārāk lielas, lai vide dabiski spētu tos izkliedēt vai absorbēt. Kad piesārņojošās vielas gaisā atrodas augstās koncentrācijās, tās rada negatīvu ietekmi uz veselību, ekonomiku un cilvēku labklājību (Nathanson 2009).

Tīrs, sauss gaiss sastāv no 78% slāpekļa, 21% skābekļa. Atlikušais 1% ir dažādu citu gāzu sajaukums galvenokārt tas sastāv no argona (0,9%), oglekļa dioksīda, metāna, ūdeņraža, hēlija u.c. Arī ūdens tvaiki ir normāla, lai gan mainīga, atmosfēras sastāvdaļa, parasti svārstās no 0,01 līdz 4 %, ļoti mitros apstākļos mitruma sastāvs gaisā var sasniegt 5%. ASV Vides aizsardzības aģentūra ir noteikusi sešus "kritēriju" piesārņotājus – šo piesārņotāju koncentrācija atmosfērā ir svarīga, jo tie darbojas, kā indikatori, lai noteiktu gaisa kvalitāti. "Kritēriju" piesārņotāji ir tvana gāze (CO), slāpekļa oksīdi (NO, NO₂), sēra dioksīds (SO₂), ozons (O₃), cietās daļiņas un svins (Nathanson 2009; He et al. 2017).

Atmosfēras piesārņojums ir viens no visnozīmīgākajiem klimata pārmaiņu cēloņiem, it īpaši globālās sasilšanas. Kopš 1900. gada, pasaulē pieaugošā fosilā kurināmā dēļ, oglekļa dioksīda koncentrācija atmosfērā ir nepārtraukti pieaugusi un pieauguma temps turpinās. Ir aprēķināts, ja oglekļa dioksīda daudzums, kas nonāk gaisā, netiks samazināts, vidējā gaisa temperatūra pasaulē līdz 21. gadsimta beigām var paaugstināties vēl par 4 °C. Tik liela temperatūras maiņa var izraisīt polārā ledus kušanu, jūras līmeņa celšanos, līdz ar to piekrastes zonu applūšanu. Globālās sasilšanas izraisītās izmaiņas nokrišņu daudzumā var nelabvēlīgi ietekmēt lauksaimniecību un mežu ekosistēmas, kā arī augstāka temperatūra un mitrums dažās pasaules daļās var palielināt cilvēku un dzīvnieku slimību izplatību. Lai aizsargātu globālo gaisa kvalitāti un mazinātu globālās sasilšanas sekas, pasaulē tiek īstenoti starptautiski līgumi un konvencijas par siltumnīcas efekta gāzu samazināšanu (Nathanson 2009). Piemēram, starptautiskā kontekstā Eiropas Savienības dalībvalstis sadarbojas ar citām ANO Eiropas Ekonomikas komisijas dalībvalstīm, lai kontrolētu starptautisko gaisa piesārņojuma saskaņā ar Konvenciju par pārrobežu gaisa piesārņojumu lielos attālumos (*Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution*), kura tika pieņemta 1979. gadā. Konvencijas ietvaros vairākas darba grupas, centri un starptautiskās sadarbības programmas nodrošina pētniecību, zinātniskus novērtējumus un dialogu par kopējo zināšanu bāzi par gaisa kvalitātes problēmām (The EU and... S.a.).

Lai gan visa pasaule sniedzas uz kopēju mērķi – samazināt emisijas, kuras nonāk atmosfērā – dažādi konflikti un kari pasaulē var apgrūtināt sasniegt izvirzītos starptautiskos mērķus un pat radīt ekoloģiskas katastrofas. Ir svarīgi zināt notiekošos konfliktus un iespējamo gaisa piesārņojumu, ko tie var radīt, jo piesārņojošās vielas pakāpeniski var pārvietoties uz kaimiņvalstīm un vēl tālāk. Karos un konfliktos emisijas rodas no visdažādākajiem avotiem, kā munīcijas izmantošanas un ražošanas, degvielas izmantošanas transportā, infrastruktūras iznīcināšanas: pilsētu, apdzīvotu vietu, degvielas noliktavu, spēkstaciju, lidostu, ostu utt. Piemēram, konflikts Kuveitā 1991. gada janvārī noslēdzās ar ~ 6-8 miljonu barelu naftas noplūdi, kam sekoja vairāk nekā 600 naftas urbumu aizdegšanās un notekūdeņu attīrīšanas iekārtu iznīcināšana. Kopējais aprēķinātais jēlnaftas sadedzinātais apjoms Persijas līča kara laikā bija 52,5 miljoni tonnu, radot 29,2 tonnas dūmgāzu dienā, kas rezultējas 1,2 miljonus tonnu SO₂ un 0,3 miljonus tonnu NO_x (Chandrappa et al. 2015). Šādi ārkārtas gadījumi rada negatīvu ietekmi uz gaisa kvalitāti, taču 2020. gadā bija iespējams novērot, cik liela ir antropogēnā ietekme uz gaisa piesārņojumu un kā neparedzēti notikumi pasaulē var tieši uzlabot gaisa kvalitāti.

Pēc pirmā koronavīrusa SARS-CoV-2 gadījuma atklāšanas Ķīnā 2019. gadā, Covid-19 pandēmija ir radījusi ievērojamas cilvēku veselības un ekonomiskās sekas visā pasaulē. Eiropā un citviet pasaulē ar 2020. gada martu sāka ieviest pirmās mąjsēdes (*lockdown*), ierobežojot dažādus pakalpojumu sniedzējus, slēdzot veikalus, kas nav pirmās nepieciešamības, mudinot darba vietas pāriet attālinātā režīmā, slēdzot mācību iestādes un uzsākot mācības attālināti, pat slēdzot valstu robežas un pasažieru pārvadājumus gan pa sauszemi, gan jūru, gan gaisu. Pēkšņa saimnieciskās darbības samazināšanās radīja gaisu piesārņojošo vielu emisiju izmaiņas, līdz ar to būtiski ietekmēja gaisa kvalitāti, it īpaši lielākajās pasaules pilsētās. Eiropā, izmantojot augšupejošo pieeju (*bottom-up*), kas ietvēra plašu diapazonu ar informācijas avotiem (indikators, reāllaika monitoringa stacijas utt.) secināja, ka vidējais emisiju samazinājums Covid-19 pandēmijas ietekmē ir 33%, NO_x emisiju samazinājums par 8%, SO_x un cietajām daļiņām PM_{2,5} par 7%. 30 Eiropas valstīs (ES-27, Lielbritānijā, Norvēģijā un Šveicē) visiem piesārņotājiem, izņemot SO_x, 85% no kopējā emisiju samazinājuma bija saistīti ar autotransportu (Concawe 2021). Piemēram, Dienvidkorejā PM_{2,5} emisijas samazinājās par 45,45%, PM₁₀ par 35,56%, NO₂ par 20,41% un CO par 17,33% (Ju et al. 2021). Būtiska gaisa kvalitātes uzlabošanās tika fiksēta arī Deli, Indijā, kur PM_{2,5} vidējā koncentrācija mąjsēdes laikā samazinājās par 71%, to uzskatāmi parādīja ne tikai monitoringa stacijās un pētījumos, bet iedzīvotāji to varēja novērot ar neapbruņotu aci (1.1. att.) (Wright 2020).



1.1. att. Gaisa piesārņojums Deli, Indijā Covid-19 pandēmijas ietekmē (CNN S.a.)

Atmosfēra atrodas nepārtrauktā kustībā, piesārņojums, kurš rodas no avotiem kādā reģionā, var tikt transportēts uz citiem reģioniem vairāku simtu kilometru attālumā. Piemēram, kad Latviju skāra radioaktīvais piesārņojums, kurš nonāca atmosfērā no Černobiļas kodolspēkstacijas avārijas (Atmosfēra S.a.). Atmosfēras piesārņojuma avotus var klasificēt dažādi. Pirmkārt, ir jānodala antropogēnas izcelsmes avoti un biogēnas izcelsmes avoti (Atmosfēra S.a.).

Biogēnas jeb dabīgas izcelsmes avoti ir jūras sāls aerosoli, gaistošo organisko savienojumu emisijas no augiem, vēja nesti putekļi (Air pollution sources 2020). Gaisa piesārņojums rodas arī no dabas katastrofām, piemēram, no vulkānu izvirdumiem un mežu ugunsgrēkiem (Sources of pollution S.a.). No vulkānu izvirdumiem atmosfērā tiek emitēts liels daudzums siltumnīcas efekta gāzu un citu aerosolu, šīs gāzes veido lielus mākoņus, kuri akumulējas atmosfērā. Papildus magmas daļiņām, kuras ir pazīstamas kā pelnu vai piroklastiskās plūsmas, vulkānu izvirdumu laikā tiek izdalīti arī ūdens tvaiki (H_2O), oglekļa dioksīds (CO_2), sēra dioksīds (SO_2), sērūdeņradis (H_2S), tvana gāze (CO), ūdeņraža hlorīds (HCl) un fluorūdeņradis (HF). Šo vielu kombinācija var radīt ievērojamu, kaitīgu ietekmi ne tikai uz reģionu, kurā atrodas vulkāns, bet arī uz pārējo pasauli (George 2014). Mežu ugunsgrēki var izraisīt lielu gaisā esošo cieta daļiņu pieaugumu un būtisku gāzveida gaisa piesārņotāju, piemēram, oglekļa oksīda (CO), slāpekļa dioksīda (NO_2), formaldehīda ($HCHO$) un acetaldehīda (C_2H_4O) palielināšanos. Lielu mežu ugunsgrēki var palielināt gaisa piesārņojumu vairāku tūkstošu kvadrātkilometru platībā (Fisk S.a.).

Lai gan gaisa piesārņojums rodas arī no dabiskas izcelsmes avotiem, piesārņojums, kas rodas cilvēka darbības rezultātā, it īpaši pilsētvidē, ir sastopams daudz biežāk un piesārņojuma

avotu variācijas arī ir plašākas. Antropogēnais piesārņojums nav tikai 20. un 21. gadsimta problēma. Jau senatnē, līdz ar uguns atklāšanu, cilvēku veselību un dzīvību apdraudēja gaisa piesārņojums, piemēram, izdaloties tvana gāzei (CO), kurināmā nepilnīgas sadegšanas rezultātā (Kļaviņš 2012). Kā arī jau 1306. gadā Londonā cilvēka radītais gaisa piesārņojums bija tik liels, ka Edvards I pieņēma likumu, kura mērķis bija panākt gaisa piesārņojuma, kurš radās, sadedzinot ogles, samazināšanos (Kovarik 2017).

Antropogēnas izcelsmes avotus var iedalīt stacionārajos avotos un mobilajos avotos. Stacionārie gaisu piesārņojošie avoti atrodas noteiktā vietā, bez iespējas tos pārvietot, tos var dēvēt arī par punktveida avotiem. Stacionārie avoti ir rūpnīcas, elektrostacijas, koģenerācijas stacijas (Fisher 2018). Elektrostacijas un koģenerācijas stacijas sadedzina kurināmo, piemēram, ogles, dabasgāzi, lai ražotu un iegūtu elektrību, kad kurināmais sadeg, atmosfērā nonāk slāpekļa dioksīds (NO₂), sēra dioksīds (SO₂), cietās daļiņas un siltumnīcas efekta gāzes (Sources of pollution S.a.). Pie stacionārajiem avotiem pieder arī laukuma avoti, laukuma avoti ir vairāki mazi piesārņojumu veidojoši avoti, kuri paši par sevi nerada lielas emisijas, taču, tā kā tie atrodas vienā teritorijā, nelielā attālumā, kopējās emisijas var radīt nopietnus piesārņojuma draudus. Privātmājas, kuras sadedzina kurināmo ir labs piemērs mazajiem piesārņojuma avotiem, kur visi šie avoti kopā ir laukuma avots, šāds avots, it īpaši ziemā, var veicināt gaisa piesārņojumu gan lokālā, gan reģionālā līmenī (Fisher 2018). Mobilie gaisu piesārņojošie avoti ir ar spēju pārvietoties. Pazīstamākie mobilie avoti ir autotransports. Emisijas no autotransporta ir atkarīgas no braukšanas un motora darbības režīma, degvielas veida, pieplūdes un kvalitātes. Tūkšgaitā vai, pārvietojoties ar maziem motora apgriezieniem, visvairāk atmosfērā tiek emitēts oglekļa monoksīds (CO) un ogļūdeņraži. Kad nepilnīgi sadeg benzīna sastāvā esošie ogļūdeņraži, notiek to pārvērtības, to rezultātā izveidojas kancerogēnas vielas – poliaromātiskie ogļūdeņraži. Mūsdienu urbānajā vidē autotransports ir ļoti nozīmīgs un liels piesārņotājs (Kļaviņš 2012). Mobilie avoti ir arī ar degvielu darbināmi zāles pļāvēji, zemkopības tehnika, lidmašīnas, vilcieni, kuģi u.c. (Fisher 2018).

1.3. Atmosfēru piesārņojošās vielas

1.3.1. Primārie atmosfēras piesārņotāji

Primārie atmosfēras piesārņotāji nonāk atmosfērā, kā tiešas emisijas no piesārņojuma avota, tie var rasties gan no stacionārajiem (punktveida, laukumveida) avotiem un mobilajiem avotiem. No punktveida avotiem visbiežāk piesārņotāji izplatās lielā platībā, kā arī piesārņotāju koncentrācijas ir augstas plašā teritorijā. Piesārņotāji no laukumveida avotiem izkļiedējas lielās teritorijās, taču no šāda veida avotiem piesārņotāju koncentrācijas var būt zemas, bet jebkurā

brīdī strauji paaugstināties. No mobilajiem avotiem piesārņotāju koncentrācijas ir augstas vietās, kur pārvietojas piesārņojuma avoti, piemēram, pie automaģistrālēm un pilsētās, kur pārvietojas automašīnas, piesārņotāju koncentrācijas būs augstas, taču nedaudz attālinoties, tās ievērojami samazināsies (Outdoor air pollution 2015). Visizplatītākie primārie atmosfēras piesārņotāji ir oglekļa monoksīds jeb tvana gāze (CO), gaistošie organiskie savienojumi (GOS), cietās daļiņas (PM) slāpekļa oksīdi (NO_x), sēra dioksīds (SO₂) (Fisher 2018).

Oglekļa monoksīds (CO) jeb tvana gāze ir primārais atmosfēras piesārņotājs, kuram nav smaržas un krāsas (Fisher 2018). Oglekļa monoksīds izdalās gan no antropogēniem, gan dabiskiem avotiem. Dabiskos procesos tas rodas, sadaloties dzīvajiem organismiem, kā arī augu galvenokārt jūras organismu metaboliskajos procesos. Antropogēnie CO emisijas avoti sastāda aptuveni 6% no kopējā tā daudzuma atmosfērā (Kļaviņš 2012). Pilsētvidē oglekļa monoksīds lielākoties izdalās no mobilajiem piesārņojuma avotiem (Fisher 2018). Respektīvi, no iekšdedzes dzinējiem, tas ir izplūdes gāžu sastāvā, taču CO var tikt emitēts arī no stacionārajiem avotiem, kad fosilais kurināmais pilnībā nesadeg. Tā kā oglekļa monoksīds ir ļoti toksisks, it īpaši cilvēka dzīves vidē, ir svarīgi samazināt CO emisijas. Oglekļa monoksīda toksiskā ietekme ir tieši saistīta ar to, cik lielā daudzumā piesārņotais gaiss tiek ieelpots, jau pat neliels tā daudzums var ietekmēt cilvēka rīcības spēju (Kļaviņš 2012). Astoņu stundu robežlielums cilvēka veselības aizsardzībai pēc Ministru kabineta noteikumiem Nr. 1290 ir 10 mg/m³ (Noteikumi par... 2009).

Gaistošie organiskie savienojumi (GOS) sastāv no gaistošiem ogļūdeņražu molekulām un citām organiskām molekulām, kuras tiek emitētas atmosfērā. GOS atmosfērā var nonākt gan no dabiskiem avotiem, piemēram, no veģetācijas, gan arī no antropogēnas izcelsmes avotiem. Piemēram, Lielbritānijā tikai 5% GOS atmosfērā ir emitēti no dabiskas izcelsmes avotiem, vislielākās GOS emisijas rada transports, tas sastāda 50%, 30% emisiju rada šķīdinātāju lietošana un 15% rodas no industriāliem procesiem (Volatile Organic Compounds 2016). Pilsētvidē visbiežāk GOS tiek emitēti no dīzeļdzinējiem, degošas koksnes, kā arī kopā ar industriālajām emisijām. Ieelpojot GOS augstā koncentrācijā, var tikt kairinātas acis, deguns, kakls, var rasties problēmas ar elpošanu un parādīties nelabums.

Cietās daļiņas ir atmosfēras aerosols, kurš sastāv no cietu daļiņu un šķidrums pilieniņu maisījuma, daļiņām var būt dažādi izmēri un ķīmiskie sastāvi (Valsts rīcības programma.. 2014). Cieto daļiņu piesārņojumā var atrasties organiskas, neorganiskas vielas, metāli, augsnes daļiņas u.c. (Fisher 2018). Kā primārais piesārņotājs cietās daļiņas ir emitētas no piesārņojuma avota, piemēram, no būvlaukumiem, bruģētiem ceļiem (Particulate Matter S.a.), transporta, kad

nepilnīgi sadeg degviela, enerģijas ieguves, celtniecības materiālu ražošanas u.c. Dabiskie cieta daļiņu avoti ir augsnes erozija, spēcīgs vējš, vulkānu izvirdumi, sālūdens iztvaikošana no jūras virsmas, mežu un kūlas ugunsgrēki. Pilsētvidē tieši autotransports ir galvenais cieta daļiņu avots, mazgabarīta transportlīdzekļi ar dīzeļdzinēju rada vidēji 4-7 g PM_x, sadegot 1 litram degvielas. Eiropā no visām atmosfēru piesārņojošajām vielām vislielāko kaitējumu cilvēka veselībai nodara tieši cietās daļiņas. Cietās daļiņas PM_{2.5} un PM₁₀ ir pietiekoši mazas, lai nokļūtu ne tikai plaušās, bet arī asinsritē (Valsts rīcības programma.. 2014). Kad cilvēks ilgstoši tiek pakļauts cieta daļiņu piesārņojumam, var sākt attīstīties plaušu un sirds slimības (Particulate Matter S.a.). Cietajām daļiņām PM₁₀ dienas robežlielums cilvēka veselības aizsardzībai pēc Ministru kabineta noteikumiem Nr. 1290 ir 50 µg/m³, to nedrīkst pārsniegt vairāk kā 35 reizes kalendāra gadā (Noteikumi par... 2009). Taču Pasaules Veselības organizācijas noteiktās vadlīnijas un robežlielumi ir daudz stingrāki un praktiski nesasniedzami, it īpaši pasaules lielākajām pilsētām, 2005. gadā dienas robežlielums cilvēka veselības aizsardzībai bija tāds pats kā MK noteikumos Nr. 1290, 2021. gadā tika pieņemtas jaunas vadlīnijas un jaunais robežlielums cilvēka veselības aizsardzībai ir 45 µg/m³. Lai gan pēc MK noteikumiem Nr. 1290 PM₁₀ gada robežlielums ir 40 µg/m³, jau 2005. gadā PVO rekomendētais robežlielums cilvēka veselības aizsardzībai atšķīrās par pusi un bija 20 µg/m³, kopš 2021. gada robežlielums ir noteikts 15 µg/m³. Cietajām daļiņām PM_{2.5} gada robežlielums cilvēka veselības aizsardzībai pēc Ministru kabineta noteikumiem Nr. 1290 ir 20 µg/m³, turpretim pēc PVO 2021. gada noteiktajām vadlīnijām, robežlielums cilvēka veselības aizsardzībai ir 4 reizes mazāks: 5 µg/m³ (What are the... 2021; Noteikumi par... 2009).

Sēra dioksīds (SO₂) galvenokārt mūsdienās atmosfērā nonāk no saimnieciskās darbības, galvenie avoti ir siltumenerģijas uzņēmumi, transportlīdzekļi, kas izmanto dīzeļdegvielu, privātmāju kurtuves un apkures katli, kuros tiek sadedzināts sēru saturošs kurināmais, kā piemēram ogles (Atmosfēra S.a.). Kā arī, sēra dioksīds, kas izdalās, sadegot oglēm, ir viens no galvenajiem avotiem, lai veidotos skābie nokrišņi (Chou 2012). Tā kā galvenie avoti ir saistīti ar siltumenerģijas iegūšanu un apkuri, sēra dioksīda koncentrācija gaisā ir atkarīga no sezonas, apkures sezonas laikā koncentrācija gaisā būs lielāka (Atmosfēra S.a.). SO₂ atmosfērā var nonākt arī no dabiskiem avotiem, piemēram, no vulkāniem, kad notiek izvirdums (Sulfur Dioxide Pollution 2019). SO₂ izmeši var tikt aiznesti lielos attālumos ar vēja palīdzību. SO₂ koncentrācija ir lielāka pilsētvidē, taču gaisa pārnesei dēļ arī lauku teritorijās veidojas piesārņojums, jo tas tiek pārnesti no industriālajiem reģioniem (Atmosfēra S.a.) Ja cilvēks ir pakļauts augstai SO₂ koncentrācijai neilgu laiku, var novērot elpošanas sistēmas traucējumus un var rasties grūtības elpot, cilvēki, kuriem ir astma ir jūtīgāki it īpaši bērni, saskaroties ar sēra

dioksīdu (Sulfur Dioxide Pollution 2019). Dienas robežlielums pēc Ministru kabineta noteikumiem Nr. 1290 sēra dioksīdam ir $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$, to nedrīkst pārsniegt vairāk kā 24 reizes kalendārā gadā (Noteikumi par... 2009). SO_2 robežvērtība ir vienīga robežvērtība, kura pēc PVO jaunajām vadlīnijām ir noteikta augstāka, 2005. gadā tā bija $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, taču 2021. gadā $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (What are the... 2021). Lai gan tā tika paaugstināta, Latvijā noteiktais robežlielums cilvēka veselības aizsardzībai tik un tā ir vairāk kā 3 reizes augstāks. Tas nozīmē, ja Latvijas teritorijā pēc PVO standartiem būtu paaugstināta SO_2 koncentrācija gaisā, ko var attiecināt uz sliktu gaisa kvalitāti un veselībai bīstamu piesārņojumu, pēc MK noteikumiem Nr. 1290 gaisa kvalitāti varētu attiecināt kā relatīvi labu un nekaitīgu cilvēka veselībai.

Pilsētvidē slāpekļa oksīdi (NO_x) atmosfērā galvenokārt tiek emitēti no transporta, kas sastāda ~ 60 – 85% no radītā NO_x piesārņojuma, līdz ar to tā koncentrācija gaisā ir atkarīga no nedēļas dienas (darba diena vai nedēļas nogale), diennakts laika, sezonas, kā arī no meteoroloģiskajiem apstākļiem. Piemēram, Rīgā monitoringa rezultāti liecina, ka paaugstināta slāpekļa dioksīda koncentrācija ir ielās, kurās ir intensīva satiksme, kā arī citās Latvijas pilsētās NO_x koncentrācija ir ievērojami zemāka un pieļaujamo normu pārsniedz tikai piesārņojuma avota tiešā tuvumā (Atmosfēra S.a.). Atmosfērā sēra dioksīds nonāk arī no dabīgas izcelsmes avotiem: vulkāniem, okeāniem, zibens negaisa laikā, dažādos sabrukšanas procesos (Thurston 2008). Saskaroties ar paaugstinātām slāpekļa oksīda koncentrācijām gaisā, cilvēkiem var rasties elpceļu iekaisumi, parādīties klepus, samazinās plaušu funkciju efektivitāte, paaugstinās iespēja rasties astmas lēkmei (Nitrogen dioxide 2020). Gada robežlielums gan pēc Ministru kabineta noteikumiem Nr. 1290, gan PVO vadlīnijām slāpekļa oksīdiem ir $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, to nedrīkst pārsniegt vairāk kā 18 reizes kalendārā gadā (What are the... 2021; Noteikumi par... 2009).

1.3.2. Sekundārie atmosfēras piesārņotāji

Sekundārie atmosfēras piesārņotāji rodas atmosfērā fotoķīmisku reakciju procesā no gāzveida primārajiem atmosfēras piesārņotājiem. Tie varbūt gāzveida vai kā atmosfēras aerosoli - cietās daļiņas (Harrison 1989). Atmosfērā galvenie sekundārās piesārņojošās vielas ir sekundārās cietās daļiņas un ozons (O_3) (Koolen; Rothenberg 2019).

Ozons (O_3) ir bezkrāsaina, ūdenī šķīstoša gāze ar asu, specifisku smaržu (Ozons S.a.). Atmosfērā 90% ozona atrodas stratosfērā. Ozons, kurš atrodas stratosfērā absorbē lielāko daļu ultravioletās radiācijas, kura nāk no Saules (NASA Ozone watch S.a.) Piezemes ozons (O_3) troposfērā veidojas fotoķīmiskās reakcijās no slāpekļa oksīdiem (NO_x) un gaistošajiem organiskajiem savienojumiem Saules ultravioletā starojuma iedarbībā. (Koolen; Rothenberg 2019). Ļoti augstas piezemes ozona koncentrācijas ir sastopamas, kad izveidojas smogs. Smoga

galvenais veidošanās cēlonis ir ļoti intensīva autotransporta satiksme, bezvēja, saulaini apstākļi, it īpaši vasaras sezonā. Piezemes ozons ir toksisks, patstāvīgi augstas tā koncentrācijas var izraisīt plaušu tilpuma samazināšanos, sāpes krūtīs, kakla iekaisumu, aizsmakumu, klepu, acu asarošanu, kā arī sekmēt ar sirdi un plaušām saistīto slimību saasināšanos. Ozona kaitīgā ietekme parasti izpaužas tad, kad ozona molekulu koncentrācija pārsniedz 1 līdz 2 ozona molekulas uz 1 000 000 gaisa molekulām (Piezemes ozons S.a.).

Sekundārās cietās daļiņas visbiežāk veidojas pārvērtību procesā, specifisku meteoroloģisko apstākļu ietekmē no tādām gāzēm kā sēra dioksīds (SO_2), slāpekļa oksīdiem, amonjaka (NH_3) un gaistošajiem organiskajiem savienojumiem (GOS) (Valsts rīcības programma.. 2014).

1.4. Atmosfēras piesārņojuma ietekme uz cilvēka veselību

Nepiesārņots gaiss tiek uzskatīts par vienu no galvenajām cilvēka veselības un labklājības pamatprasībām. Taču gaisa piesārņojums ir viens no nopietnākajiem sabiedrības veselības apdraudējumiem visā pasaulē (Darčīn 2017). Katru gadu pasaulē priekšlaicīgi mirst ~ 7 miljoni cilvēku gaisa piesārņojuma dēļ (Roberts 2021). Atmosfēras piesārņotāji slāpekļa oksīdi (NO_x), sēra dioksīds (SO_2), cietās daļiņas (PM), oglekļa monoksīds (CO) un ozons (O_3) izraisa vai var veicināt dažādas slimības un saslimšanas, kā sirds un asinsvadu slimības, sirdslēkmi, hroniskas plaušu saslimšanas, emfizēmu, hronisku bronhītu, samazinātas plaušu funkcijas, saasinās astma, var izraisīt vēzi, it īpaši plaušu vēzi u.c. Īpaši jutīgas grupas pret gaisa piesārņojumu ir vecāka gadagājuma cilvēki, bērni, kuriem jau ir hroniskas saslimšanas, cilvēki ar sirds un asinsvadu slimībām, astmas slimnieki un sociāli neaizsargātākas grupas. Gaisa piesārņojums ir viens no galvenajiem draudiem bērnu veselībai. Tas ir saistīts ar slimībām un infekcijām, kuras gadā izraisa ~ 600 000 bērnu, kuri ir jaunāki par 5 gadiem, priekšlaicīgu nāvi (Darčīn 2017).

Visā pasaulē ir reģioni, kuros iedzīvotāji ir vai agrāk bija pakļauti lielam gaisa piesārņojumam, viena no tādām vietām bija Teplīce. Teplīces programma tika realizēta, lai izprastu gaisa piesārņojuma, precīzāk, brūno ogļu, kuras saturēja 1-5% sēra, dedzināšanas procesā radušos emisiju, kuru avoti ir pilsētas apkures sistēmas un spēkstacijas, ietekmi uz cilvēku veselību Čehijas pilsētā Teplīcē. Pētījums koncentrējas uz grūtniecības iznākumiem: spontānie aborti, iedzimtas anomālijas, kā arī uz elpošanas ceļu saslimšanas. Tieši Ziemeļbohēmijas kalnrūpniecības rajoni 1980. gados tika uzskatīti par piesārņotākajiem reģioniem Eiropā. Pētījumā tika atklāts, ka šajā reģionā gaisa piesārņojums būtiski ietekmēja cilvēku veselību. Paaugstinājās mirstība no vēža un kardiovaskulārajām slimībām, vīriešiem un sievietēm dzīves ilgums samazinājās par vidēji 2 gadiem. Saistībā ar grūtniecības iznākumu, no

dzemdību medicīniskajiem dokumentiem tika secināts, ka no 1982. gada līdz 1986. gadam bija būtiski paaugstinājies bērnu skaits, kuriem ir iedzīmtas anomālijas un pazemināts svars. Šajā reģionā bērnu skaits ar iedzīmtām anomālijām bija 4-5 reizes lielāks, kā citos Čehijas reģionos (Sram et al. 2013).

Vairumā gadījumu, kad sievietei grūtniecības laikā tiek rekomendēts doties lēnās pastaigās svaigā gaisā. Šādos gadījumos maršruta izvēle ir ļoti svarīga, jo māte var ne tikai sevi pakļaut gaisa piesārņojumam, bet arī augli. Regulāra ekspozīcija gaisa piesārņojumam grūtniecības laikā var būtiski ietekmēt augļa nobriešanu un pēcdzemdību attīstību. Ja auglis grūtniecības periodā regulāri tiek pakļauts gaisa piesārņojumam (pētījums balstīts uz piesārņotājiem PM_{2.5}, PM₁₀, CO, NO₂), var pasliktināties organoģenēze – embrionālās attīstības periods, kura laikā veidojas orgāni un to daļas – tādā veidā, izraisot ilgtermiņa komplikācijas. Gaisa piesārņojums grūtniecības laikā ietekmē arī augļa elpošanas sistēmu dažādos veidos. Plaušu attīstība var tikt netieši bojāta un ietekmēta no citiem faktoriem, kurus ietekmē gaisa piesārņojums, piemēram, mazāks svars dzimšanas brīdī, priekšlaicīgas dzemdības vai traucēta imūnsistēmas attīstība. Ekspozīcija gaisa piesārņojumam grūtniecības laikā ir saistīta arī ar plaušu funkcijas pazemināšanos zīdaiņa vecumā un bērna gados, negatīvās sekas var būt elpošanas traucējumu saasināšanās un astmas attīstība, kā arī traucēta plaušu attīstība zīdaiņim var novest pie letāla iznākuma, tādēļ ir svarīgi pēc iespējas vairāk samazināt uzņemto gaisa piesārņojuma daudzumu grūtniecības laikā (Korten et al. 2017).

Gaisa kvalitātes uzlabošana būtu pozitīvs aspekts ne tikai veselībai, bet arī iedzīvotāju un valsts budžetam. 2020. gadā veiktā pētījumā, kurā piedalījās 430 pilsētas, kuras ietilpst Eiropas Savienībā, tika noskaidrots, cik valstīm un to iedzīvotājiem izmaksā veselības aprūpe, kura ir nepieciešama gaisa piesārņojuma radīto veselības problēmu dēļ. Aprēķinātā naudas vērtība ietver neierašanos darbā gaisa piesārņojuma izraisītu veselības problēmu dēļ, priekšlaicīgas nāves izmaksas, kā arī visu veidu izmaksas, kuras saistītas ar veselības problēmām, kuras rodas gaisa piesārņojuma, precīzāk, piesārņotāju PM, O₃, NO₂ dēļ. Kopējās aprēķinātās izmaksas gadā visām 430 pilsētām ir 166 miljardi EUR. Lielbritānijas pilsētā Londonā (bijusī ES dalībvalsts) ir 8,8 miljoni iedzīvotāju, tieši Londonā ir vislielākās veselības aprūpes izmaksas, kuras saistītas ar gaisa piesārņojumu – 11,38 miljardi EUR gadā, otrajā vietā ir Rumānijas pilsēta Bukereste, izmaksas ir 6,35 miljardi EUR gadā un trešajā vietā Berlīne, kura atrodas Vācijā un izmaksas ir 5,24 miljardi EUR gadā. Taču visaugstākās izmaksas uz vienu iedzīvotāju ir Bukerestē – 3004 EUR. 5 no 10 pilsētām, kurām ir vislielākās izmaksas atrodas Itālijā, tās ir Milāna, Venēcija, Paduja, Turīna un Breša, šajās pilsētās izmaksas uz vienu iedzīvotāju ir no 2076 EUR līdz 2843 EUR. Nabadzīgākām pilsētām nākas šķirties no lielākas algas daļas, it īpaši ļoti

piesārņotās un blīvi apdzīvotās pilsētās Centrāleiropā un Austrumeiropā, kur algas ir zemākas (Ågren 2020).

Cieto daļiņu (PM) piesārņojums sastāda vislielāko daļu no izmaksām, vidēji 82,5%, slāpekļa dioksīds (NO₂) 15%, bet ozons (O₃) 2,5%, taču sadalījums var arī mainīties dažādās pilsētās, atkarībā no piesārņojuma avotiem u.c. Transports ir viens no lielākajiem piesārņojuma avotiem urbānajā vidē. 2016. gadā Eiropas savienības valstīm transporta radītais piesārņojums izmaksāja 67-80 miljardus EUR. Tiek lēsts, ka emisijas, kuras rodas no dīzeļdzinējiem sastāda 4/5 no šīm izmaksām. Šis pētījums parāda, ka pat mazas transporta paradumu un pilsētas politikas izmaiņas var būtiski ietekmēt šāda veida izmaksas. 1% pieaugums vidējā brauciena laikā uz darbu paaugstina PM₁₀ emisiju izmaksas par 0,29% un NO₂ emisiju izmaksas par 0,54%. Kā arī ja automašīnu skaits palielinās par 1%, tad pilsētas kopējās veselības aprūpes izmaksas gaisa piesārņojuma dēļ palielinās gandrīz par 0,5% (Ågren 2020).

1.5. Meteoroloģisko apstākļu ietekme uz atmosfēras piesārņojumu

Meteoroloģiskie parametri var būt ļoti būtisks faktors attiecībā uz atmosfēras piesārņotāju koncentrācijām gaisā, tie var gan veicināt piesārņotāju izkliedi, gan piesārņotāju akumulāciju gaisā, gan pakļaut piesārņotājus ķīmiskām reakcijām un paātrināt tās.

Arī atmosfēras stabilitāte tiešā veidā ietekmē atmosfēras piesārņojumu. Gaisa piesārņojums sajaucas un izkliedējas horizontālā virzienā, pateicoties vējam, taču vertikālā virzienā izkliede notiek atmosfēras nestabilitātes dēļ. Nestabilas atmosfēras apstākļi veidojas, kad gaisa masas pārvietojas vertikāli, izkliedējot piesārņojošās vielas. Kad atmosfēra ir stabila – vertikālā gaisa kustība ir maza vai nav vispār – piesārņotāji uzkrājas tuvu zemei un var izraisīt akūtas, īslaicīgas gaisa piesārņojuma epizodes. Atmosfēras nestabilitātes pakāpe ir atkarīga no temperatūras krituma pakāpes. Troposfērā normālos apstākļos gaisa temperatūra samazinās, palielinoties augstumam – jo ātrāk samazinās, jo nestabilāka atmosfēra. Gadījumos, kad pieaugot augstumam, gaisa temperatūra paaugstinās, nevis pazeminās un atmosfēra ir stabila, izveidojas temperatūras inversija. Temperatūras inversija ir viens no galvenajiem piesārņojuma epizožu cēloņiem, jo tā novērš piesārņojuma sajaukšanos un dispersiju vertikālā virzienā (Nathanson 2009, He et.al. 2017). Temperatūras inversija Māsas ielejā, Beļģijā izraisīja piesārņojošo vielu koncentrāciju paaugstināšanos no rūpnīcām, kuras izvietotas gar šauru Māsas upes ieleju, rezultātā bojā gāja ~ 60 iedzīvotāju un saslima ap 600. Temperatūras inversijas dēļ Donorā, Pensilvānijas štatā, ASV 1948. gadā bojā gāja ~ 20 cilvēki un smagi saslima ~ 7000, jo emisijas no Monongahela upes ielejā esošajām rūpnīcām palika piezemes slānī (Chandrappa et al. 2015).

Dažādi morfoloģiskie apstākļi var pastiprināt inversijas efektu. Piemēram, Losandželosa atrodas līdzenumā Klusā okeāna piekrastē, to ieskauj kalni, kuri bloķē horizontālu gaisa kustību, tas nozīmē, ka šo teritoriju it īpaši ietekmē inversija un veidojas smogs (Nathanson 2009; He et.al. 2017). Losandželosā terminu “smogs” sāka lietot jau ap 1945. gadu, pilsētā gaisa kvalitāte strauji pasliktinājās, 2. Pasaules kara iespaidā krasi palielinājās reģiona rūpnieciskā bāze, kā arī iedzīvotāju skaits un autotransports. Jau 1947. gadā tika izveidots Losandželosas apgabala gaisa piesārņojuma kontroles iecirknis, lai gan neskaitāmi pasākumi gaisa kvalitātes uzlabošanai tika ieviesti jau vairāk kā 70 gadus atpakaļ, vēl joprojām pilsētā ir novērojamas ilgstošas smoga epizodes (1.2. att.), kuras tieši ietekmē gan ģeogrāfiskie apstākļi, gan arī meteoroloģiskie apstākļi (The southland's war... S.a.). Pilsētā veidojas fotoķīmiskais smogs, slāpekļa oksīdiem un GOS reaģējot ar Saules gaismu, arī augsta gaisa temperatūra var paātrināt ķīmiskās reakcijas, kā rezultātā veidojas sekundārie gaisa piesārņotāji: smogs un sekundārās cietās daļiņas. Šādās dienās lielākoties ir arī paaugstināts atmosfēras spiediens, ja dominē lēni vēji un nav nokrišņu, tad piesārņojuma izkliede ir ļoti zema un tas paliek piezemes slānī (Air pollution... S.a.).



1.2. att. Fotoķīmiskais smogs Losandželosā (Coalition for clean air S.a.)

Ar vēja palīdzību gaisa piesārņojums var tik viegli pārnesti no vienas vietas uz otru, tādejādi vēja ātrums un virziens, kā piesārņojuma izkļedes un pārvietošanās faktori, ir ļoti svarīgi. Piemēram, veiktie pētījumi par 1980. gadiem atklāj, ka sēra dioksīds no ogļu dedzināšanas Ohaio, ASV ielejā tika pārnesti lielos attālumus ar vēja palīdzību, tas izraisīja skābos lietos ASV Austrumu reģionos un Kanādas reģionos, kuri atrodas vairāk kā tūkstoš

kilometru attālumā. Āzijā spēcīgi pavasara vēji pārnes industriālo piesārņojumu no Ķīnas pāri Gobi tuksnesim, šķērsojot tuksnesi, tiek uzņemts arī daļiņu piesārņojums, tādējādi radot dzeltenu putekļu vētras Korejas pussalā un daļā Japānas (How weather affects... S.a.). Ne tikai lielos attālumos vēja ātrums un virziens ir svarīgi ietekmējošie faktori, bet arī pilsētvidē. Ķīnā, analizējot vēja ātruma un virziena ietekmi uz gaisa piesārņojumu brauktuves daļā, pat uz nelielas ielas tika novērota vēja virziena būtiska ietekme, jo pavēja joslā tika uzrādīta krietni augstāka piesārņojošo vielu koncentrācija nekā pretvēja joslā (Kim et al. 2015). Poznaņā, Polijā veiktā pētījumā tika novērota izteikta korelācija starp vēja ātrumu un cieto daļiņu PM₁₀ koncentrāciju gaisā, pieaugot vēja ātrumam, samazinās PM₁₀ koncentrācija un otrādi (Cichowicz et al. 2020). Tas norāda uz to, ka gaisa piesārņotājiem ir negatīva korelācija (samazinoties vēja ātrumam, paaugstinās piesārņotāja koncentrācija) ar vēja ātrumu.

Ķīnā veiktā pētījumā tika secināts, ka negatīva korelācija veidojas arī ar nokrišņu daudzumu un relatīvo mitrumu, taču pozitīva ar atmosfēras spiedienu, respektīvi, paaugstinoties atmosfēras spiedienam, palielinās piesārņojošo vielu koncentrācija gaisā (Liu et al. 2020). Malaizijā veiktajos novērojumos saistībā ar PM₁₀, NO₂ koncentrāciju korelāciju ar gaisa temperatūru, tika novērota pozitīva korelācija, turpretim Ziemeļu Čenajā, Indijā, kas ir piekrastes pilsēta, vasaras sezonā piesārņotājiem SO₂ un NO_x tika novērota negatīva korelācija ar temperatūru, taču pēcmusonu sezonā mērena korelācija un pozitīva korelācija ar temperatūru, kas nozīmē, ka nevar viennozīmīgi apgalvot, kā temperatūra ietekmē gaisa piesārņojumu (Jayamurugan et al. 2013).

Atmosfēras piesārņotāju koncentrācija gaisā ir atkarīga arī no gadalaika. Pavasarī var novērot lielākas amonjaka (NH₃) koncentrācijas gaisā lauksaimniecības darbību dēļ, Periodiski vasarā var novērot lielākas ozona (O₃) koncentrācijas, jo meteoroloģiskie apstākļi vasarā ir labvēlīgāki, lai tas spētu izveidoties no primārajiem atmosfēras piesārņotājiem. Rudens sezonā gaisā nokļūst lielāks gaistošo organisko savienojumu daudzums, piemēram, metanols un acetaldehīds, kuri tiek emitēti gaisā no lapu kokiem, kad lapas krīt uz zemes vai ir bojātas. Ziemā bieži veidojas smogs temperatūras inversijas dēļ, tādā gadījumā ir paaugstinātas oglekļa monoksīda (CO), slāpekļa oksīdu (NO_x), cieto daļiņu un gaistošo organisko savienojumu koncentrācijas gaisā (Air pollution across... 2020).

1.6. Maršruta plānošana un atmosfēras piesārņojums

Mūsdienu sabiedrībā neatņemama ikdienas sastāvdaļa ir pārvietošanās. Ikdienas maršrutos ietilpst jebkāda veida pārvietošanās no sākumpunkta uz galamērķi, piemēram, došanās uz darbu, mācību iestādi, tirdzniecības vietu, sporta zāli u.c., kā arī došanās pastaigās lielai daļai sabiedrības ir svarīga ikdienas aktivitāte. Tradicionālie faktori, izvēloties maršrutu ir īsāka distance, ceļā pavadītais laiks, labāks ceļa segums un zemākas izmaksas. Taču šajos faktoros nav iekļauta ekspozīcija gaisa piesārņojumam, ņemot vērā, ka gaisa piesārņojums ir viena no lielākajām vides problēmām mūsdienās un tas negatīvi ietekmē cilvēka veselību pārvietošanās laikā. Lai mazinātu gaisa piesārņojuma nelabvēlīgo ietekmi uz cilvēka veselību pārvietošanās laikā ārpus dzīvesvietas ir jāsamazina gaisa piesārņojuma iedarbība, nosakot labāko pārvietošanās maršrutu (Zou et al. 2020).

Pēdējos gados nelabvēlīgā ietekme uz veselību ir paaugstinājusies ekonomikas attīstības un dzīves līmeņa uzlabošanās dēļ. Ar vien lielāka daļa sabiedrības var atļauties personīgo transportu, doties izbraucienos, kā arī pilsētvidē attīstās un tās teritorija pieaug, līdz ar to palielinās pārvietošanās laiks un attālums, kas nozīmē, ka arī paaugstinās laiks, kurā cilvēks tiek pakļauts gaisa piesārņojumam. Turklāt visā pasaulē gaisa piesārņotāju emisijas īsā laika periodā dramatiski nesamazināsies, kas tuvākajā dekādē ekspozīciju gaisa piesārņojumam padara par konstantu apdraudējumu veselībai (Zou et al. 2020).

Autotransporta radītās emisijas ir vienas no galvenajiem piesārņotājiem pilsētvidē. Izvēloties maršrutu tālāk no autoceļiem, var ievērojami samazināt uzņemto piesārņojuma daudzumu. Autotransporta radītais piesārņojums strauji pazeminās, palielinoties attālumam no autoceļiem, melnā oglekļa, kurš atrodas cieta daļiņu sastāvā, koncentrācija ir līdz pat 10 reizēm zemāka 10 metru attālumā no autoceļa, kā pie tā. Ja autoceļa vienā joslā ir intensīva satiksme, bet otrā joslā nav, tad gājēji un velosipēdisti, pārvietojoties pa to joslas pusi, kurā ir maza satiksme, tiek pakļauti līdz pat 18% mazākām cieta daļiņu $PM_{2.5}$ emisijām. Vislielākā cieta daļiņu koncentrācija ir novērojama noslogotākajās un apbūvētākajās maršruta daļās, piemēram, intensīvas satiksmes krustojumos, sastrēgumu laikā cieta daļiņu koncentrācija var būt pat 29 lielāka, kā vietās, kur ir brīvi plūstoša satiksme. Turpretī autoceļi, kuri atrodas pilsētvidē atklātākās teritorijās un ir neviendabīga apbūves morfoloģija, emisijas no autotransporta ir 2-3 reizes mazākas (Carlsten et al. 2020).

Londonas Karaliskā koledža kopā ar uzņēmumu Cross River Partnership ir izstrādājuši programmu, kuras mērķis ir atrast maršrutu ar mazāko gaisa piesārņojumu Londonā (*The Clean Air Route Finder*). Kopā tika izstrādāti 14 dažādi maršruti (Clean Air Routes Monitoring Report

2021). Maršruta meklētājs no *Google Maps* iegūst alternatīvos pastaigu un riteņbraukšanas maršrutus un aprēķina kopējo modelēto piesārņojuma dozu slāpekļa dioksīdam (NO₂), cietajām daļiņām PM₁₀ un PM_{2.5}, izmantojot vidējās koncentrācijas, attālumu un piesārņojuma izkliedes iespējas. Šo modelēto dozu atšķirību summa tiek parādīta, kā relatīvā procentuālā atšķirība zaļā (laba gaisa kvalitāte), oranžā (vidēja gaisa kvalitāte) vai sarkanā krāsā (slikta gaisa kvalitāte). Monitoringā tika noskaidrots, ka izvēloties programmas piedāvātos maršrutus, gaisa piesārņojuma līmenis ir vidēji par 30-60% mazāks (Clean air walking... 2020). Programma lielākoties piedāvā divus maršrutus, atainojot gaisa piesārņojuma atšķirības, programma dod iespēju indivīdam pašam izlemt, piemēram, veikt garāku distanci un izvairīties no gaisa piesārņojuma. Šajā gadījumā (1.3.att.), dodoties pa sarkano maršrutu kopējais melnā oglekļa daudzums maršrutā bija 121 μg/m³, taču zaļajā 65 μg/m³, ja maršruts tiek veikts pusdienlaikā, pēcpusdienā atšķirības nebija tik lielas. Sarkanajā maršrutā kopējais melnā oglekļa daudzums bija 100 μg/m³ un zaļajā 82 μg/m³, taču atšķirība tik un tā ir un zaļais maršruts ir labāks veselības aizsardzībai (Grieve 2017).



1.3. att. Piedāvātie maršruti programmā The Clean Air Route Finder (Cross River Partnership 2021)

Lielai daļai sabiedrības ikdienas gaitas sākas agri no rīta, pavadot dienu iekštelpās, un vakarpusē atgriežoties atpakaļ mājās. Taču mūsdienu sabiedrība ļoti strauji mainās, veidojas jaunas profesijas, kurām nav noteikta darba laika, paveras iespējas strādāt no savas dzīves vietas, kas daudziem dod iespēju plānot savu darba laiku, izmantot iespēju veikt ikdienas iepirkumus vai saņemt pakalpojumus pa dienas vidu. Šāda iemesla dēļ var arī mainīties vai

izlīdzināties gaisa piesārņojuma 'pīķi'. Lai izvairītos un pasargātu sevi no paaugstināta gaisa piesārņojuma, ir nepieciešams izvērtēt nedēļas dienas un laiku, kad doties ārpus mājas.

No 1998. līdz 2003. gadam ASV 23 štatos tika veikts monitorings, lai noskaidrotu ozona (O_3), slāpekļa oksīda (NO), slāpekļa oksīdu (NO_x), oglekļa monoksīda (CO) un gaistošo organisko savienojumu (GOS) vidējās koncentrācijas atšķirības pa nedēļas dienām. Trešdienās iegūtie dati tika izmantoti, lai atspoguļotu darba dienas un svētdienas, lai atspoguļotu nedēļas nogali. Vairākās mērījumu vietās NO, NO_x un CO vidējā koncentrācija svētdienā no plkst. 6.00 līdz 15.00 katru stundu bija zemāka, salīdzinājumā ar trešdienas stundu vidējiem rādītājiem. Statistiski nozīmīgs ($p < 0.01$) vielu koncentrācijas samazinājums nedēļas nogalēs tika novērots: NO_x 92% monitoringa staciju, CO 89% monitoringa staciju un GOS 23% monitoringa staciju. 9 stundu periodā (no plkst. 6.00 līdz 15.00) vidējā NO koncentrācija svētdienā, salīdzinot ar trešdienu, samazinājās par 65%, NO_x koncentrācija samazinājās par 49%, CO koncentrācija samazinājās par 28% un GOS koncentrācija gaisā samazinājās par 19%. Neskatoties uz salīdzinoši lielo NO_x koncentrāciju samazināšanos un mēreno CO un GOS koncentrāciju samazināšanos nedēļas nogalē, ozona, cieto daļiņu (PM) nitrāta koncentrācijām netika novērotas būtiskas izmaiņas, salīdzinot darba dienas un nedēļas nogali. Vidējās atšķirības starp trešdienas un svētdienas vidējām ozona koncentrācijām visās monitoringa stacijās bija ~3% augstākas koncentrācijas nedēļas nogalē (8 stundu noteiktajam periodam, nosakot maksimālo koncentrāciju). 83% vietu netika uzrādītās statistiski nozīmīgas ozona koncentrācijas atšķirības starp darba dienām un nedēļas nogali (Blanchard et al. 2008).

2. MATERIĀLI UN METODES

2.1. Pētāmās teritorijas raksturojums

Āgenskalns ir viens no Latvijas galvaspilsētas Rīgas mikrorajoniem. Skatoties uz ģeogrāfisko novietojumu un vēsturisko attīstību, to var uzskatīt par Pārdaugavas centrālo apkaimi. Āgenskalna apkaimes robežas ir dzelzceļa loks (maršruta Rīga – Jūrmala daļa, kurā ietilpst stacijas Torņakalns un Zaslauks), Mārupīte, Māras dīķis, Ojāra Vācieša iela, Uzvaras bulvāris, Akmens tilts, Daugava, Āgenskalna līcis, Āzene, Zunds, Daugavgrīvas iela, Klingēru iela, Kuldīgas iela, Slokas iela, Baldones iela, Dreiliņu iela, Kalnciema iela un Lielirbes iela (SIA Datorkarte 2011), sastādot kopējo platību 461,3 ha (Āgenskalna fizģeogrāfiskais raksturojums 2019), kuru apdzīvo 24429 (2020. gadā) iedzīvotāji (Iedzīvotāju skaits 2021).

Āgenskalna apbūve ir nedaudz haotiska, vietās, kur nav zaļās zonas tā ir ļoti blīva. Apkaimes plānošanas telpu veido perimetrāla (ēkas atrodas cieši viena pie otras) apbūve - 59,5%, brīva - 21,6%, grupu - 10,8% kombinēta -5,4% un rindu - 2,7%. Āgenskalns ir ar salīdzinoši lielu zaļo zonu platību, parki aizņem ~ 37 ha no kopējās platības, neieskaitot mazas zaļās zonas (SIA Datorkarte 2011).

Galvenās sasaistes ar citām Rīgas apkaimēm ir pa pilsētas maģistrālēm – Kalnciema ielu un Raņķa dambi. Ņemot vērā Āgenskalna vēsturisko apbūves un ielu tīkla struktūru, papildus pilsētas maģistrālēm pašreiz identificējamas vēl 7 pilsētas nozīmes ielas, kuras nodrošina pārvietošanos uz un no citām apkaimēm, tās ir Melnsila, Āgenskalna, Bāriņu, Slokas, Mārupes, Liepājas ielas un Uzvaras bulvāris. Kopējais apkaimes ielu garums ir 63,604 km. Taču tik liels pilsētas nozīmes ielu un maģistrāļu skaits nozīmē arī izteikti intensīvu satiksmes plūsmu, izmantojot Āgenskalna apkaimi tranzīta nolūka, tādejādi būtiski apgrūtinot satiksmes situāciju apkaimes iekšienē. Āgenskalna mikrorajonam raksturīgākie sastrēgumi veidojas uz Kalnciema ielas posmā no Kalnciema tilta līdz pat Vanšu tiltam, posmā no Āgenskalna ielas līdz Kalnciema ielai, bieži vien sastrēgumi vērojumi Slokas ielā pie Mārtaņa ielas, Daugavgrīvas ielas posmā no Vanšu tilta līdz Akmens tiltam, kā arī Uzvaras bulvārī posmā no Akmens tilta līdz Slokas ielai (SIA Datorkarte 2011).

Saskaņā ar Latvijas Vides, Ģeoloģijas un Meteoroloģijas centra, Rīgas Domes datiem, gaisa kvalitātes mērījumi šajā apkaimē netiek veikti. Tuvākās gaisa kvalitātes novērojumu stacijas izvietotas Rīgas centrā – Raiņa bulvārī 19 (atrodas uz LU ēkas jumta), Kr. Valdemāra ielā 65 un Kantora ielā 32. Neviena no šīm stacijām pēc būtības nereprezentē apstākļus, kuri novērojami Āgenskalna apkaimē.

2.2. Pētījuma maršruti un mērījumu biežums

Pētījumā tika veikti dažādi maršruti, aptverot visu Āgenskalna teritoriju, ņemot vērā apbūves īpatnības, zaļās zonas, satiksmes intensitāti, ielu posmus un krustojumus, kuros visbiežāk veidojas sastrēgumi, cilvēku kustības intensitāti. Kopā maršruti tika veikti 40 reizes laika periodā no 03.10.2021. līdz 14.04.2022 (2.1. att.). dažādās nedēļas dienās un diennakts stundās, katra maršruta veikšana aizņēma vidēji 1 stundu.

2021

Oktobris							Novembris							Decembris								
P	O	T	C	Pk	S	Sv	P	O	T	C	Pk	S	Sv	P	O	T	C	Pk	S	Sv		
				1	2	3	1	2	3	4	5	6	7					1	2	3	4	5
4	5	6	7	8	9	10	8	9	10	11	12	13	14	6	7	8	9	10	11	12		
11	12	13	14	15	16	17	15	16	17	18	19	20	21	13	14	15	16	17	18	19		
18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28	20	21	22	23	24	25	26		
25	26	27	28	29	30	31	29	30						27	28	29	30	31				

2022

Janvāris							Februāris							Marts							Aprīlis						
P	O	T	C	Pk	S	Sv	P	O	T	C	Pk	S	Sv	P	O	T	C	Pk	S	Sv	P	O	T	C	Pk	S	Sv
					1	2	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6					1	2	3		
3	4	5	6	7	8	9	7	8	9	10	11	12	13	7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10
10	11	12	13	14	15	16	14	15	16	17	18	19	20	14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17
17	18	19	20	21	22	23	21	22	23	24	25	26	27	21	22	23	24	25	26	27	18	19	20	21	22	23	24
24	25	26	27	28	29	30	28							28	29	30	31				25	26	27	28	29	30	
31																											

2.1. att. Mērījumu veikšanas kalendārs

Veikts arī maršruts, kurš analizēts atsevišķi no pārējiem mērījumiem, lai nodrošinātu vienādas apbūves īpatnības un piesārņojuma avotus, kas ļauj precīzāk izvērtēt piesārņojošo vielu variācijas dažādās diennakts stundās un nedēļas dienās. Maršruts veikts janvārī, februārī, martā un aprīlī, kopā 9 reizes. Šajā maršrutā vēl atsevišķi tika izdalīti 3 punkti: vieta ar zemu satiksmes intensitāti, vieta ar vidēju satiksmes intensitāti un vieta ar augstu satiksmes intensitāti (2.2. att.).



Apzīmējumi	
—	maršruts
●	transporta ietekmes mērījumu vietas

2.2.. att. Atsevišķi veiktais maršruts un dažādas satiksmes intensitātes vietas (Kartes pamatne: ZL.lv)

2.3. Mērījumu metodes raksturojums

Mērījumu veikšanai izmantots personificēts gaisa piesārņojuma mērītājs dozimetrs “Plume labs Flow 2” (2.3. att.). To var viegli piestiprināt, piemēram, pie somas un mobilajā aplikācijā “Flow” sekot līdzī gaisa kvalitātei ar *bluetooth* un *GPS* savienojuma palīdzību. Mērījumi tiek veikti nepārtraukti un parādīti ik pēc minūtes. Pētījumā tika veikti mērījumi vielām: PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), PM_1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) un GOS (ppb). Informāciju par mērījumiem un atrašanās vietas koordinātām var ērti lejupielādēt lietotnē *Microsoft Excel*, kur tālāk iespējams, izmantojot maršruta sākuma un beigu laiku, atdalīt maršrutā iegūtos mērījumus un koordinātas no pārējās datu kopas, jo viens no mērierīces trūkumiem attiecīgajā pētījumā ir tāds, ka mērierīce veic mērījums ik pēc 1 minūtes, kamēr tai nav izlādējies akumulators, respektīvi, to nav iespējams ieslēgt, kad maršruts tiek sākts un izslēgt, kad tas ir pabeigts.

Mērierīces specifika:

- 90 - 95% mērījumu uzticamība (korelācija ar references mērījumiem, tiek izmantoti kalibrēti sensori);
- Mērījumu precizitāte: GOS - 0,52 ppb, PM_x - 0,88 μg/m³
- Pieļaujamais temperatūras diapazons mērījumu veikšanas brīdī 0°C līdz 30°C;
- Pieļaujamais relatīvais mitrums mērījumu veikšanas brīdī 20 – 80%;
- Mērījumus veicot jāizvairās no lietus un intensīviem, tiešiem saules stariem.



2.3. att. Gaisa piesārņojuma mērītājs “Flow 2” (Red Dot S.a.)

2.4. Datu statistiskās apstrādes un analīzes metodes

Lai apstrādātu un apkopotu iegūtos rezultātus pētījumā tiks izmantotas datorprogrammas un lietotnes:

- *Flow* – mērījumu rezultātu ievākšanai;
- *Google Maps* – mērījumu maršrutu izpētei;
- *LVĢMC* mājaslapa – informācija par meteoroloģiskajiem parametriem mērījumu laikā;
- *Microsoft Excel 2020*– Mērījumu datu bāzes un meteo datu kopas veidošanai un apstrādei;
- *JASP 0.14.1.0* - datu statistiskās apstrādes programma, rezultātu vizualizācija.

Mērījumu dati no mobilās lietotnes “Flow” tika pārvietoti un apkopoti datorprogrammā *Microsoft Excel 2020*, pie šīs datu bāzes tika veidota meteo datu kopa, kurā apkopoti dati par meteoroloģiskajiem apstākļiem mērījumu brīdī, kuri iegūti no stacijas Rīga - LU, nepieciešamie

parametri ir gaisa temperatūra (°C), relatīvais mitrums (%), nokrišņu daudzums (mm), vēja ātrums (m/s), vēja virziens, summārā radiācija (W/m³), atmosfēras spiediens (hPa).

Lai noteiktu, vai sakarība starp meteoroloģiskajiem parametriem un cietajām daļiņām PM₁₀ un PM_{2,5}, kā arī sakarība starp transporta satiksmes intensitāti un cietajām daļiņām PM₁₀ un PM_{2,5} un gaistošajiem organiskajiem savienojumiem ir statistiski būtiska, tika izmantota datu statistiskās apstrādes programma *JASP 0.14.1.0*. Programma arī tika izmantota, lai noskaidrotu, vai pastāv sakarība starp gaisa piesārņotāju koncentrāciju un satiksmes intensitāti, analizējot zemas, vidējas un augstas intensitātes satiksmes vietas un piesārņotāju PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁ un GOS mijiedarbību 9 reizes veiktajā maršrutā.

Dozas aprēķiniem, lai noskaidrotu indivīda uzņemto piesārņojošo vielu (PM₁₀ un PM_{2,5}) daudzumu, tika aprēķinātas vidējās piesārņojošo vielu koncentrācijas katram maršrutam, kā arī maršrutā pavadītais laiks, kas ir mainīgie lielumi. Kā nemainīgie ir nepieciešami ieelpu tilpums minūtē, dodoties no sākumpunkta un galamērķi, tiek pieņemts, ka pārvietošanās ātrums ir lielāks, kā pastaigas laikā, tādēļ ieelpu tilpums minūtē tiek pieņemts 0,008 m³ (8 litri) (Richard, Levitan 2015), kā arī ķermeņa masa, kas Latvijas iedzīvotājam vidēji ir 74,5 kg (Average sizes of... S.a.).

Dozas aprēķiniem izmantota formula (Borghi et al. 2021):

$$D = \frac{C \cdot VE \cdot t}{BW} \quad (1)$$

D – uzņemtā piesārņojošās vielas doza, µg/kg;

C – piesārņojošās vielas koncentrācija, µg/m³

VE – ieelpas tilpums, m³/min;

t – maršrutā pavadītais laiks, min;

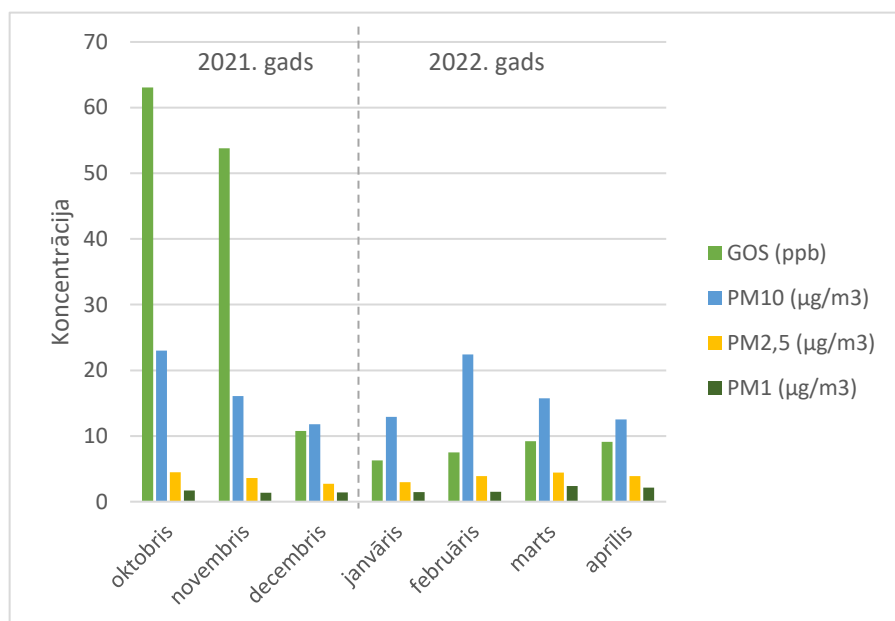
BW – ķermeņa svars, kg

3. REZULTĀTU ANALĪZE UN DISKUSIJA

3.1. Atmosfēras piesārņotāju koncentrāciju analīze

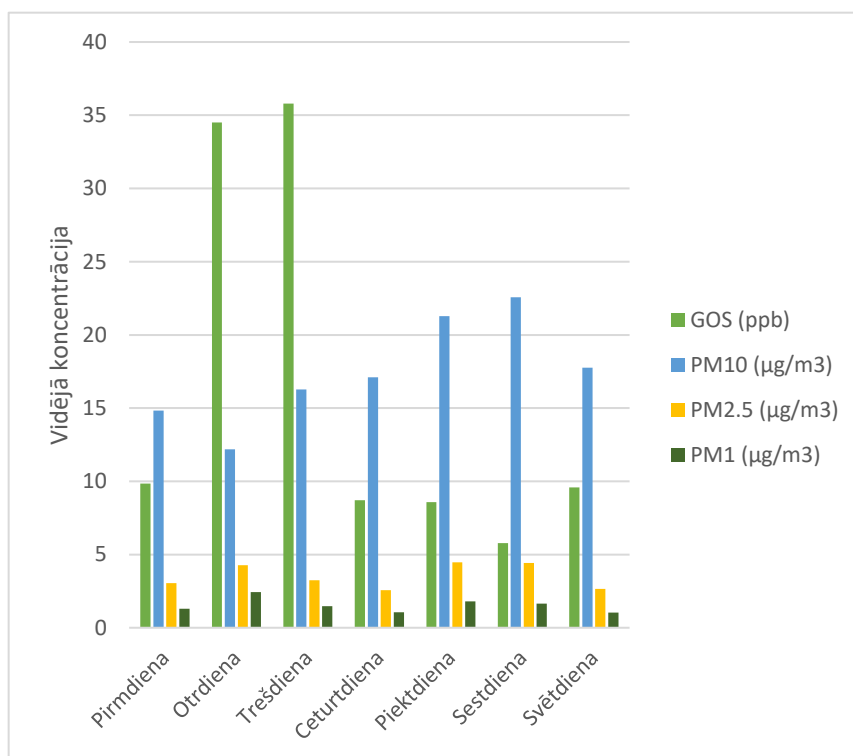
Izveidotajā mērījumu datubāzē, dati tika kārtoti kolonnās pa mēnešiem, nedēļas dienām un laiks tika noapaļots līdz tuvākajai stundai, lai būtu iespējams aplūkot, vai ir novērojamas atšķirības starp šiem parametriem, tādejādi konstatējot, kuros mēnešos un nedēļas dienās atmosfēras piesārņojums ir bijis lielāks.

3.1. att. var novērot kā mainās piesārņojošo vielu GOS, PM₁₀, PM_{2,5} un PM₁ vidējās koncentrācijas laika periodā no 2021. gada oktobra līdz 2022. gada aprīlim, grafikā ņemti vērā dati tikai no tām dienām, kad veikti mērījumi. Kā parādīts attēlā, oktobrī un novembrī tika fiksētas visaugstākās vidējās GOS koncentrācijas: oktobrī 63 ppb un novembrī 54 ppb. Oktobra un novembra mēnesī GOS vidējās koncentrācijas ir ievērojami augstākas kā pārējos mēnešos, kas sakrīt ar Meksikā veikto pētījumu un iegūtajiem datiem, ka rudenī GOS vidējā koncentrācija gaisā bija augstāka nekā pavasarī (Torre et al. 2015). Janvārī, kad GOS vidējā koncentrācija tika fiksēta kā zemākā tā bija 6 ppb, kas ir ~ 10 reizes mazāka kā oktobrī. Visaugstākā cieto daļiņu PM₁₀ vidējā koncentrācija tika konstatēta oktobrī (23 µg/m³) un februārī (22 µg/m³), bet viszemākā decembrī (12 µg/m³). Cietajām daļiņām PM_{2,5} vidējās koncentrācijas visos mēnešos ir līdzīgas un svārstās diapazonā no 2 līdz 4 µg/m³, sasniedzot visaugstāko vērtību 4 µg/m³ oktobrī un martā, turpretim ASV veiktā pētījumā, vairākus gadus pēc kārtas saglabājās tendence, ka visaugstākā PM_{2,5} koncentrācija ir janvārī (Zhao et al. 2018), taču šajā gadījumā janvārī tika fiksēta otrā zemākā PM_{2,5} koncentrācija. Cietajām daļiņām PM₁ vidējās koncentrācijas svārstās diapazonā no 1 līdz 2 µg/m³, visaugstāko vērtību sasniedzot martā (2,4 µg/m³) un oktobrī (1,7 µg/m³).



3.1. att. Piesārņojošo vielu vidējā koncentrācija mēnešu griezumā

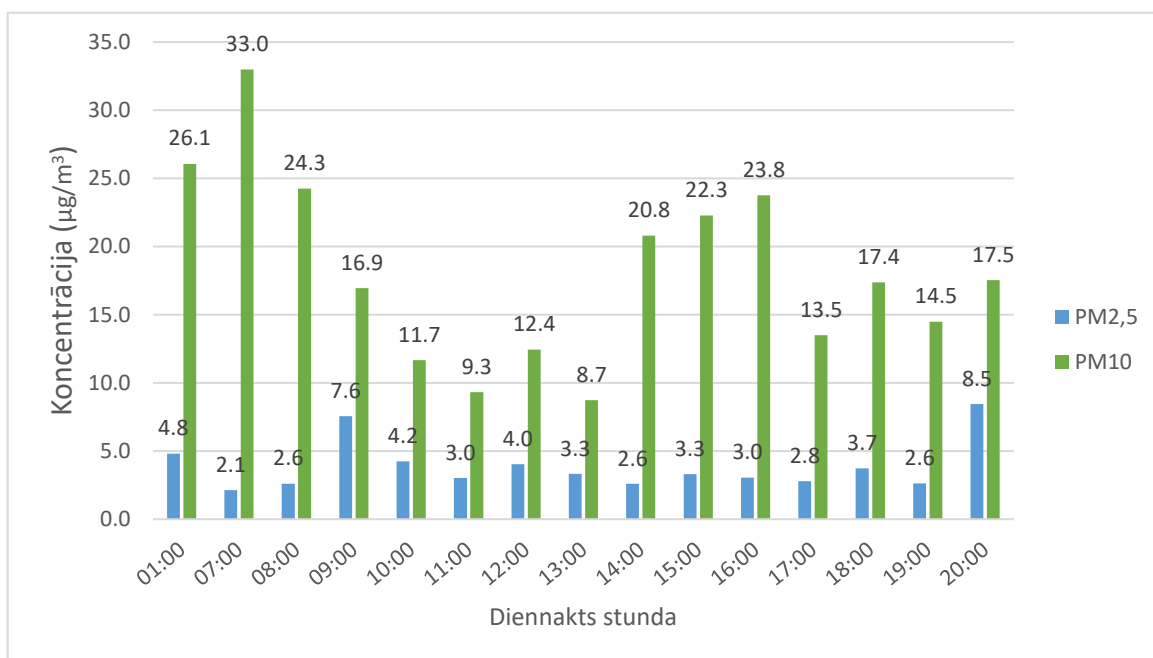
3.2. att. var uzskatāmi redzēt, kā mainījās atmosfēras piesārņojums dažādās nedēļas dienās laika posmā no 2021. gada oktobra līdz 2022. gada aprīlim, grafikā ņemti vērā dati tikai no tām dienām, kad veikti mērījumi. Visaugstākās vidējās GOS koncentrācijas fiksētas trešdienā (36 ppb) un otrdienā (35 ppb), pārējās nedēļas dienās GOS koncentrācija svārstās no 6 līdz 10 ppb. Līdzīgā ASV veiktā pētījumā GOS koncentrācija gaisā nedēļas nogalē samazinājās par 19% (Blanchard et al. 2008), analizējot ievāktos datus, tika konstatēts, ka šajā gadījumā nedēļas nogalē GOS vidējā koncentrācija gaisā ir par 84% mazāka kā darba dienu vidējā GOS koncentrācija. Tā ir liela atšķirība, taču jāņem vērā, ka otrdienā un trešdiena ir konstatētas ļoti augstas GOS vidējās koncentrācijas un pilsētvidē var būt visdažādākie avoti un apstākļi, kas to var ietekmēt. Visaugstākās vidējās PM₁₀ koncentrācijas fiksētas sestdienā (23 µg/m³) un piektdienā (22 µg/m³), taču viszemākā otrdienā (12 µg/m³). Visaugstākā vidējā PM_{2,5} koncentrācija konstatētas piektdienā (4,6 µg/m³), kas sakrīt ar ASV veiktu pētījumu vairāku gadu garumā, kurā konstatēts, ka visaugstākā PM_{2,5} koncentrācija no visām nedēļas dienām ir tieši piektdienā (Zhao et al. 2018). Viszemākā PM_{2,5} koncentrācija tika fiksēta ceturtdienā (2,6 µg/m³), taču svētdienā tika fiksēta otra zemākā koncentrācija (2,7 µg/m³), kas ir gandrīz tāda pati kā ceturtdienā. Salīdzinot ar jau minēto ASV pētījumu, arī ar viszemāko koncentrāciju var novērot līdzību, jo ASV pētījumā viszemākā koncentrācija bija svētdienā (Zhao et al. 2018). Vidējās PM₁ koncentrācijas visās nedēļas dienās ir līdzīgas, svārstās no 1 līdz 2,4 µg/m³, visaugstākā koncentrācija 2,4 µg/m³ fiksēta otrdienā.



3.2. att. Piesārņojošo vielu vidējās koncentrācijas dažādās nedēļas dienās

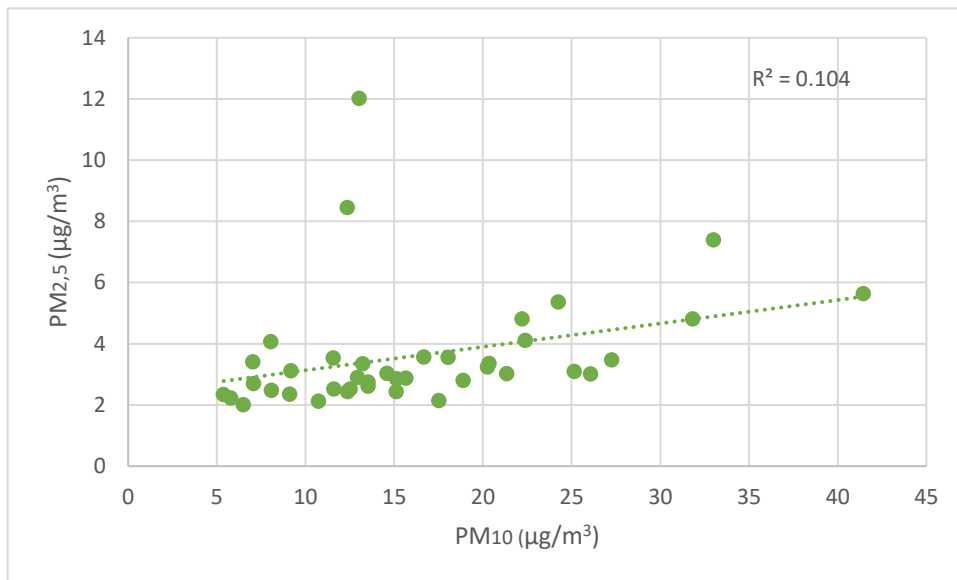
Lai noskaidrotu optimālāko diennakts laiku, kad doties ārpus mājas, lai izvairītos no PM₁₀ piesārņojuma, tika analizētas vidējās fiksētās PM₁₀ koncentrācijas dažādos diennakts laikos (3.3. att.). Visaugstākā vidējā koncentrācija (33 µg/m³) fiksēta plkst. 7:00, koncentrācija pakāpeniski samazinās līdz plkst. 12:00. Agri no rīta ziemas sezonā PM₁₀ koncentrācija gaisā var būt paaugstināta gan intensīvākas satiksmes plūsmas, gan apkures emisiju dēļ. Otrā augstākā PM₁₀ koncentrācija (26,1 µg/m³) tika fiksēta plkst. 1:00 12. februāra naktī. Maršruts galvenokārt tika veikts vietā, kur ir blīva apbūve, tā kā lielai daļai privātmāju un daudzdzīvokļu namu šajā Āgenskalna daļā nav centrālā apkure, bet gan ir privātie apkures katli un krāsnis, augstas PM₁₀ koncentrācijas var veidoties tieši vakarpusē un ap pusnakti, jo vakarā, ierodoties mājās pēc darba, tiek iekurinātas krāsnis, sadegot kurināmajam, rodas emisijas un augstāks PM₁₀ piesārņojums vakaros, tieši no mājsaimniecībām. Augstāka vidējā PM₁₀ koncentrācija fiksētas arī plkst. 16:00, kas var būt saistīts ar intensīvāku satiksmi šajā diennakts stundā, kā arī ar jau minētajām mājsaimniecību apkures sistēmām. Pēc iegūtajiem datiem, vislabākais diennakts laiks, kad doties ārpus mājas (it īpaši ziemas mēnešos) lai izvairītos no PM₁₀ piesārņojuma, ir ~ no plkst. 10:00 līdz 14:00, jo iespējama mazāka transporta satiksme un, šajās diennakts stundās, apkures katli un krāsnis tiek kurinātas relatīvi mazāk, kā no rīta vai vakarā.

Cietajām daļiņām PM_{2,5} augstākās vidējās koncentrācijas diennakts stundās nesakrīt ar cieto daļiņu PM₁₀ augstākajām vidējām koncentrācijām (3.3. att.), jo tām var būt dažādi piesārņojuma avoti vai citi ietekmējošie faktori, taču saglabājas tendence koncentrācijām būt augstākām no rīta un vakarā. Augstākās vidējās PM_{2,5} koncentrācijas fiksētas plkst. 20:00 (8,5 μg/m³) un 9:00 (7,6 μg/m³), tā pat kā PM₁₀, arī PM_{2,5} vidējās koncentrācijas šajās diennakts stundās var būt paaugstinātas no intensīvākas satiksmes, uz ko norāda tas, ka PM_{2,5} sastāda gandrīz 50% no PM₁₀. Arī plkst. 1:00 PM_{2,5} koncentrācija ir bijusi augstāka, kā piemēram pa dienas vidu. Līdzīgi kā ar cietajām daļiņām PM₁₀, visoptimālākais diennakts laiks, lai dotos ārpus mājas ir vēls rīts (~ plkst. 10:00-11:00) vai pēcpusdiena. Pēc iegūtajiem datiem tieši šajos laikos PM_{2,5} vidējās koncentrācijas ir viszemākās un ne šajās stundās, ne tuvākajās nav novērojami pēkšņi pīķi.



3.3. att. PM₁₀ un PM_{2,5} vidējo koncentrācijas izmaiņas atkarībā no diennakts periodos

Lai salīdzinātu cietās daļiņas PM₁₀ un PM_{2,5}, visiem 40 veiktajiem maršrutiem tika aprēķinātas vidējās koncentrācijas. Salīdzinot iegūtas koncentrācijas, var novērot, ka starp tām pastāv sakarība: pie augstākām PM_{2,5} koncentrācijām var novērot arī augstākas PM₁₀ koncentrācijas (3.4. att.). Ir 3 izlecošās vērtības, kuros ir bijusi dažādu piesārņojošo avotu ietekme, divas no tām (pie PM_{2,5} koncentrācijām 8,45 μg/m³ un 12,02 μg/m³) norāda uz transporta ietekmi, taču attiecībā uz pārējām vērtībām, kuras izkārtojas ap līkni, var novērot, ka abus piesārņotājus (PM₁₀ un PM_{2,5}) veiktajos maršrutos ietekmē līdzīgi piesārņojošie avoti.



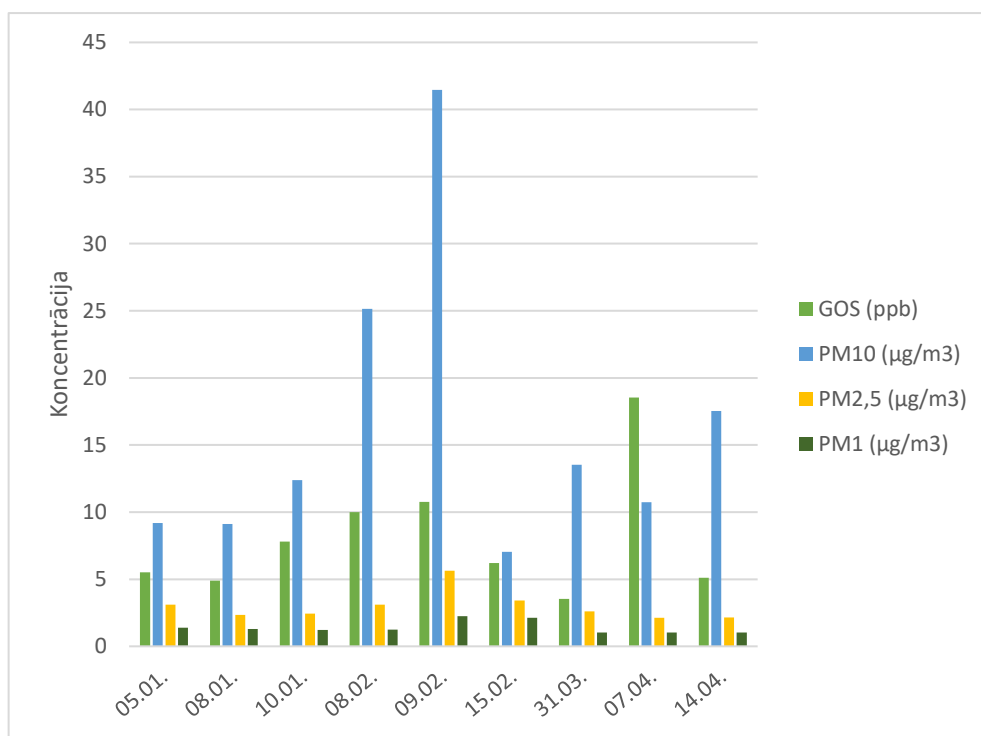
3.4. att. Sakarība starp PM_{2,5} un PM₁₀ mērījumu rezultātiem

Lai noskaidrotu, vai pastāv meteoroloģisko parametru ietekme uz atmosfēras piesārņotājiem PM₁₀ un PM_{2,5}, tika veikta analīze datorprogrammā JASP 0.14.1.0. Analīzei tika izmantoti visi iegūtie dati no 40 maršrutiem un salīdzināti ar 7 meteoroloģiskajiem parametriem. Kā statistiski būtiska sakarība ($p < 0,05$) tika noteikta starp cietajām daļiņām PM₁₀ un temperatūru, PM₁₀ un vēja ātrumu, PM₁₀ un atmosfēras spiedienu, PM₁₀ un vēja virzienu, taču netika noteikta ar relatīvo mitrumu, nokrišņu daudzumu un Saules radiāciju (3.1. tabula). Statistiski būtiska sakarība tika noteikta arī starp cietajām daļiņām PM_{2,5} un temperatūru, PM_{2,5} un relatīvo mitrumu, PM_{2,5} Saules radiāciju, PM_{2,5} un vēja virzienu, taču netika noteikta ar tādiem meteoroloģiskiem parametriem kā vēja ātrums, atmosfēras spiediens un nokrišņu daudzumus. Analizējot iegūtos grafikus (2. pielikums) un korelācijas koeficientus (3.1. tabula), netika novērota izteikta pozitīva vai negatīva korelācija ar nevienu no meteoroloģiskajiem parametriem. Lai gan korelācija starp PM_{2,5} un relatīvo mitrumu ir vāja ($r = -0,07$), tā ir statistiski būtiska sakarība un sakrīt ar Ķīnā veikto pētījumu, kurā arī tika novērota negatīva korelācija starp atmosfēras piesārņojumu un relatīvo mitrumu (Liu et al. 2020). Lai iegūtu precīzākus novērojumus un datus konkrēti analīzei ar meteoroloģiskajiem parametriem, būtu nepieciešams veikt vienu maršrutu vai pat nepārvietoties vispār, mērījumus veikt vienā un tajā pašā diennakts stundā, lai nepieļautu, piemēram, sastrēgumstundu ietekmi utt., kā arī, lai pēc iespējas vairāk izslēgtu ārējos faktoros.

Meteoroloģisko parametru ietekme uz cieto daļiņu piesārņojumu: statistiskais būtiskums un Pīrsona korelācijas koeficienti

Parametrs	PM ₁₀		PM _{2,5}	
	p-vērtība	Korelācijas koeficients	p-vērtība	Korelācijas koeficients
Temperatūra (°C)	p<0,001	0,12	p<0,001	0,14
Vēja ātrums (m/s)	p<0,001	0,11	0,56	0,02
Atmosfēras spiediens (hPa)	0,02	-0,06	0,42	0,02
Relatīvais mitrums (%)	0,92	0,002	0,004	-0,07
Nokrišņu daudzums (mm)	0,63	-0,01	0,47	-0,02
Saules radiācija (W/m ²)	0,19	0,03	p<0,001	0,14
Vēja virziens (°)	0,02	0,06	0,005	0,07

Laika posmā no janvāra līdz aprīlim tika veikts maršruts: Ļermontova iela – Melnsila iela – Kalnciema iela – “Zunda Towers” – Raņķa dambis – Meža iela – Nometņu iela – Olgas iela – Ļermontova iela. 3.5. att. parādītas piesārņojošo vielu koncentrācijas dažādās dienās. Kā redzams 3.5. att. visaugstākās PM₁₀ koncentrācijas ir novērotas 8. februārī (25 µg/m³) un 9. februārī (42 µg/m³), abās dienās maršruts veikts laika posmā no plkst. 9:00 līdz 10:00, izvēlētais laiks, kad veikt maršrutu varēja ietekmēt vidējās koncentrācijas, jo šajā laikā tika novērota intensīva satiksme vairākos maršruta posmos. Viszemākā PM₁₀ koncentrācija fiksēta 15. februārī (7 µg/m³), maršruts veikts laika posmā no plkst. 11:00 līdz 12:00, analizējot datus par visiem maršrutiem, tika konstatēts, ka tieši ap šo laiku PM₁₀ koncentrācija ir viszemākā (3.3. att.), kas varētu būt viens no galvenajiem faktoriem, kādēļ 15. februārī fiksēta viszemākā koncentrācija. PM_{2,5} un PM₁, tāpat kā PM₁₀, visaugstākās koncentrācijas konstatētas 9. februārī, taču viszemākās 7. aprīlī, lai gan jāatzīmē, ka PM_{2,5} un PM₁ koncentrācijas visās mērījumu veikšanas dienās ir relatīvi līdzīgas. Visaugstākā GOS koncentrācija fiksēta 7. aprīlī (19 ppb), taču viszemākā 31. martā (4 ppb).veikšanas dienās ir relatīvi līdzīgas.



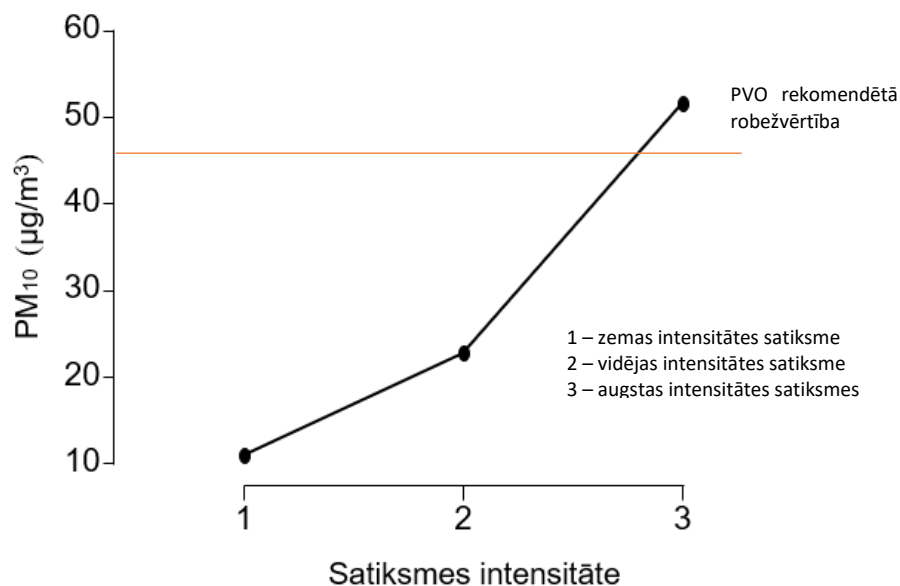
3.5. att. Vidējās piesārņotāju koncentrācijas 9 reizes veiktajā maršrutā

3.4. Transporta satiksmes intensitātes ietekme uz atmosfēras piesārņojumu

Lai noteiktu transporta satiksmes ietekmi uz atmosfēras piesārņojumu, veicot maršrutu, tika analizēts 9 reizes veiktais maršruts: Ļermontova iela – Melnsila iela – Kalnciema iela – “Zunda Towers” – Raņķa dambis – Meža iela – Nometņu iela – Olgas iela – Ļermontova iela. Tika izvērtēti un izvēlēti trīs punkti maršrutā, kas atspoguļotu zemas, vidējas un augstas intensitātes transporta satiksmi. Kā zemas transporta satiksmes vieta tika izvēlēta Nometņu ielas un Olgas iela krustojums, kas datu analīzē tika atzīmēts ar 1, kā vidējas transporta satiksmes vieta tika izvēlēts Melnsila ielas un Kapseļu ielas krustojums, datu analīzē tika atzīmēts ar 2, taču kā intensīvas satiksmes vieta tika izvēlēts Raņķa dambis pie “Zunda Towers”, kas datu analīzē tika atzīmēts ar 3.

Tika novērots, ka cieto daļiņu PM₁₀ koncentrācija pie zemākas satiksmes intensitātes ir zemāka, kā pie vidējas vai augstas satiksmes intensitātes (3.6. att.). Veicot ANOVA analīzi, tika noteikts, ka sakarība ir statistiski būtiska ($p=0,025$), pie zemas satiksmes intensitātes vidējā PM₁₀ koncentrācija 9 reizes veiktajam maršrutam ir vairāk kā 5 reizes zemāka, kā vietā ar augstas intensitātes satiksmi. 2021. gadā Pasaules Veselības organizācija (PVO) mainīja maksimālo 24 stundu pieļaujamo koncentrāciju cietajām daļiņām PM₁₀ no 50 µg/m³ uz 45 µg/m³, kā var redzēt 3.5. att. punktā “3” noteiktā robežvērtība tiek pārsniegta, pēc Ministru kabineta noteikumiem Nr. 1290 dienas robežlielums ir 50 µg/m³, arī šī vērtība punktā “3” tiek

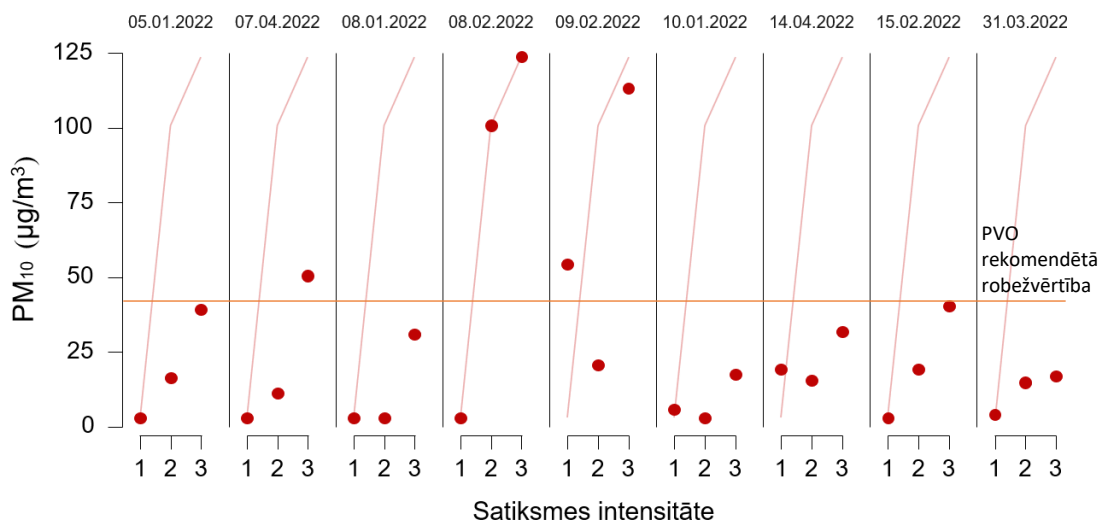
pārsniegta (What are the... 2021; Noteikumi par... 2009)., taču pie zemas un vidējas satiksmes intensitātes PM₁₀ koncentrācijas netuvojas robežlielumam, kas nozīmē, ka, izvairoties no augstas satiksmes intensitātes vietām, kā noslogoti krustojumi, pilsētas maģistrāles, pilsētas nozīmes ielas, var būtiski samazināt ekspozīciju cieto daļiņu PM₁₀ piesārņojumam pilsētvidē.



3.6. att. PM₁₀ vidējās koncentrācijas izmaiņas atkarībā no satiksmes intensitātes (izdruka no programmas JASP 0.14.1.0)

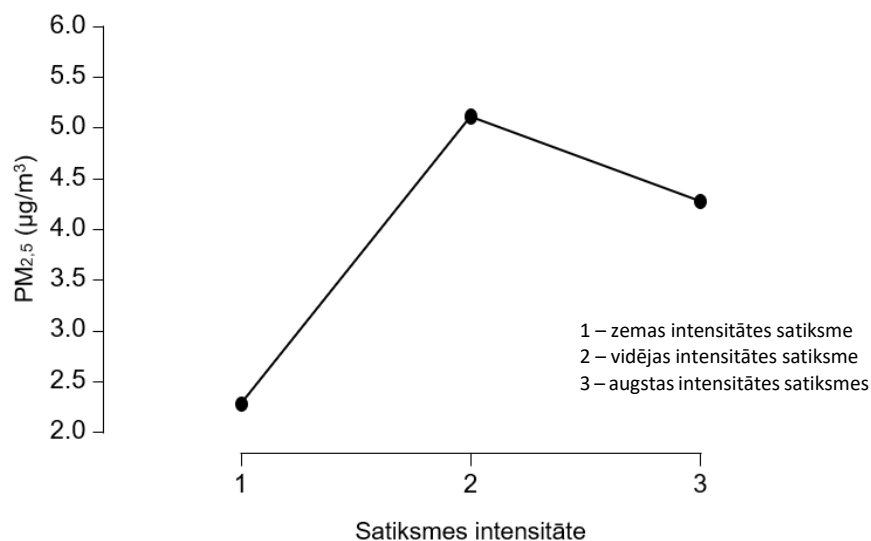
Lai gan 3.6. att. var novērot, ka cieto daļiņu PM₁₀ koncentrācija pieaug, pieaugot satiksmes intensitātei, ne visos 9 gadījumos, tas ir izpildījies (3.7. att.). 3 no 9 gadījumiem punktā “1” PM₁₀ koncentrācija bija augstāka, kā punktā “2”. Taču punktā “3”, kur satiksmes intensitāte ir vislielākā un ir laba gaisa ventilācija, tika un tā visos 9 gadījumos PM₁₀ koncentrācija ir visaugstākā. Vairākos gadījumos fiksētās koncentrācijas pārsniedz PVO rekomendēto robežvērtību cilvēka veselības aizsardzībai, kas ir 45 µg/m³ (What are the... 2021), 9. februārī, kad tika fiksētas vienas no augstākajām PM₁₀ koncentrācijām izvēlētajos punktos, arī punktā “1”, kur satiksmes intensitāte ir zema, tika pārsniegta PVO rekomendētā robežvērtība. Šajā gadījumā, tā kā februāris ietilpst apkures sezonā un maršruts veikts no plkst.

9:00 līdz 1:00, augsto fiksēto koncentrāciju varēja ietekmēt tieši izvēlētais diennakts laiks un apkures sezona, nevis emisijas no autotransporta. Lai gan visos 9 gadījumos ir veikts viens un tas pats maršruts, visos 3 dažādas satiksmes intensitātes punktos PM₁₀ koncentrācijas ir ļoti mainīgas, kas norāda uz augstu meteoroloģisko apstākļu, nedēļas dienu un diennakts stundas ietekmi uz cieto daļiņu piesārņojumu.



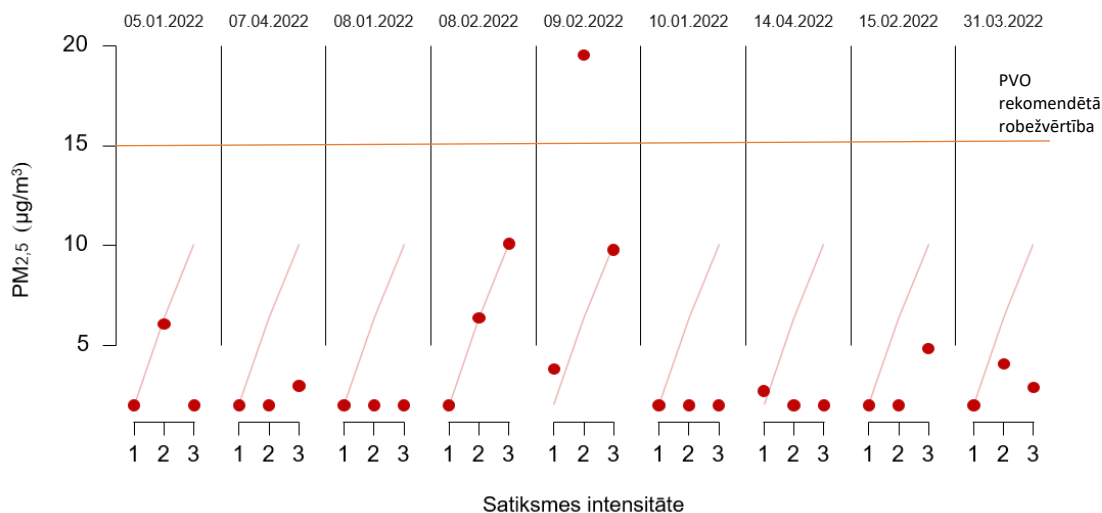
3.7. att. Cieto daļiņu PM₁₀ koncentrācijas dažādos satiksmes intensitātes punktos (izdruka no programmas JASP 0.14.1.0)

Attiecībā uz cieto daļiņu PM_{2,5} koncentrāciju, tika novērots, ka punktā “2” (3.8. att.), kas ir vieta ar vidējas intensitātes satiksmi, ir augstāka PM_{2,5} koncentrācija nekā punktā “3” (vieta ar augstas intensitātes satiksmi), to var skaidrot ar blīvāku apbūvi punktā “2” nekā punktā “3”, kur piesārņojumam ir viegli izkliedēties, taču tik un tā zemes intensitātes punktā PM_{2,5} koncentrācija ir vismazākā. PVO noteiktā 24 stundu maksimālā pieļaujamā koncentrācija cilvēka veselības aizsardzībai ir 15 µg/m³ un pēc Ministru kabineta noteikumiem Nr. 1290 tā ir 20 µg/m³ (What are the... 2021; Noteikumi par... 2009), taču nevienā no punktiem šīs robežvērtības netika pārsniegtas.



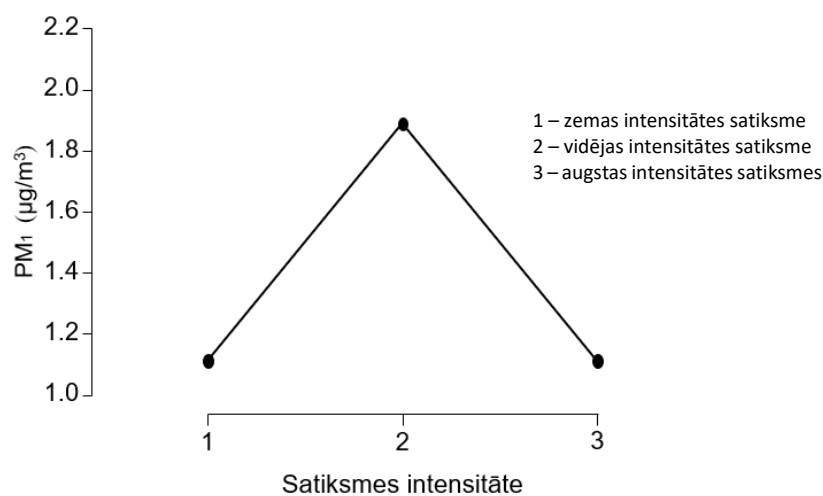
3.8. att. PM_{2,5} koncentrācijas izmaiņas atkarībā no satiksmes intensitātes (izdruka no programmas JASP 0.14.1.0)

Arī gadījumā ar cietajām daļiņām PM_{2,5} var novērot, ka ne visos gadījumos punktā “2” ir visaugstākās koncentrācijas (3.9. att.), izteikti tas parādās tikai 3 gadījumos no 9. Izvirzītā sakarība, ka pieaugot satiksmes intensitātei, pieaug PM_{2,5} koncentrācija gaisā, apstiprinās 2 gadījumos no 9, lielākoties visos punktos PM_{2,5} koncentrācija variē ap 2 µg/m³. 8. un 9. februārī paaugstinātas koncentrācijas bija gandrīz visos punktos, salīdzinoši ar citām dienām, šajās dienās bija visaugstākās gan PM_{2,5}, gan PM₁₀ koncentrācijas, kas var norādīt gan uz intensīvāku satiksmi, gan citiem gaisa piesārņojumu ietekmējošajiem faktoriem, kā piemēram meteoroloģiskajiem apstākļiem vai pat temperatūras inversiju. Tikai vienā gadījumā tika pārsniegta PVO rekomendētā robežvērtība (15 µg/m³) cilvēka veselības aizsardzībai (What are the... 2021), 9. februārī punktā “2” sasniedzot 20 µg/m³, kas nozīmē, ka šajā maršrutā pat intensīvas satiksmes vietās PM_{2,5} koncentrācijas nemēdz būt augstākas kā rekomendētās un neapdraud cilvēku veselību.



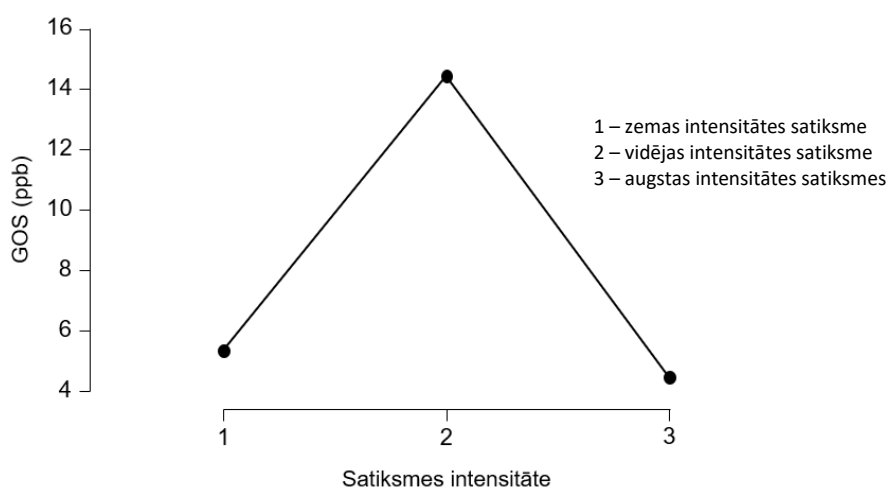
3.9. att. Cieto daļiņu PM_{2,5} koncentrācijas dažādos satiksmes intensitātes punktos (izdruka no programmas JASP 0.14.1.0)

Analizējot cieto daļiņu PM₁ koncentrācijas izmaiņas atkarībā no satiksmes intensitātes, tika konstatēts, tāpat kā ar PM_{2,5} arī PM₁ punktā “2”, kas ir vieta ar vidēju satiksmes intensitāti, cietās daļiņas ir novērojamas augstākā koncentrācijā (3.10. att.). Aplūkojot visus datus, kuri izmantoti šajā analīzē, PM₁ koncentrācijas visos punktos ir ap 1 µg/m³, 9. februārī punktā “2” koncentrācija ir 8 µg/m³, kas nosaka augstu vidējo koncentrāciju šajā punktā. Tā kā šajā dienā visas cietās daļiņas ir augstā koncentrācijā, nevar precīzi noteikt, vai tas ir transporta satiksmes vai ārējo faktoru dēļ. Izslēdzot šo vērtību, vidējās koncentrācijas visos trīs dažādas satiksmes intensitātes punktos ir ļoti līdzīgas, kas norāda, ka nav novērojama izteikta transporta satiksmes ietekme uz cieto daļiņu PM₁ piesārņojumu.



3.10. PM₁ koncentrācijas izmaiņas atkarībā no satiksmes intensitātes (izdruka no programmas JASP 0.14.1.0)

Lai gan viens no galvenajiem antropogēnas izcelsmes GOS piesārņojuma avotiem ir transports, Lielbritānijā sastādot ½ no kopējām GOS emisijām (Volatile Organic Compounds 2016), veiktajā maršrutā netika novērota statistiski būtiska sakarība starp transporta satiksmes intensitāti un GOS. Punktā “2”, kas atbilst vietai ar vidēji intensīvu satiksmi, GOS koncentrācija bija visaugstākā (3.11. att.), turpretim punktā “3”, kurā satiksmes intensitāte ir visaugstākā, GOS koncentrācija bija viszemākā, to var skaidrot ar apbūves īpatnībām, punktā “2” ir blīva apbūve, izvietotas gan dzīvojamās mājas, gan dažādi uzņēmumi, turpretim punktā “3” gaisam ir viegli sajaukties, apbūve gaisa ventilāciju praktiski neietekmē, līdz ar to GOS ir vieglāk izkliedēties.

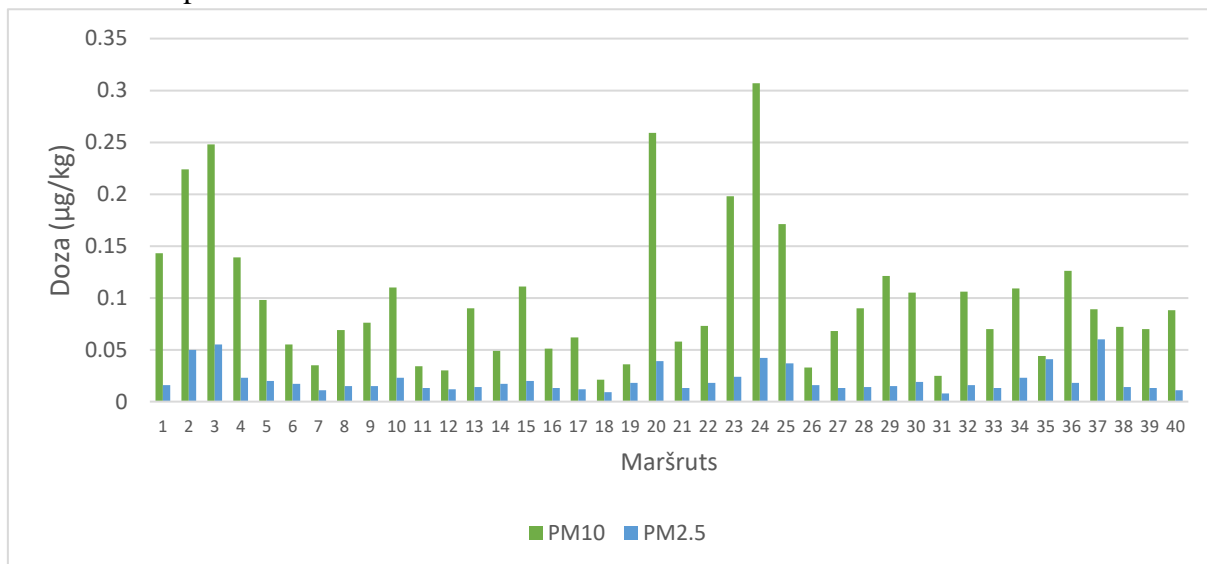


3.11. att. GOS koncentrācijas izmaiņas atkarībā no satiksmes intensitātes

3.5. Dozas aprēķini un iegūtie rezultāti

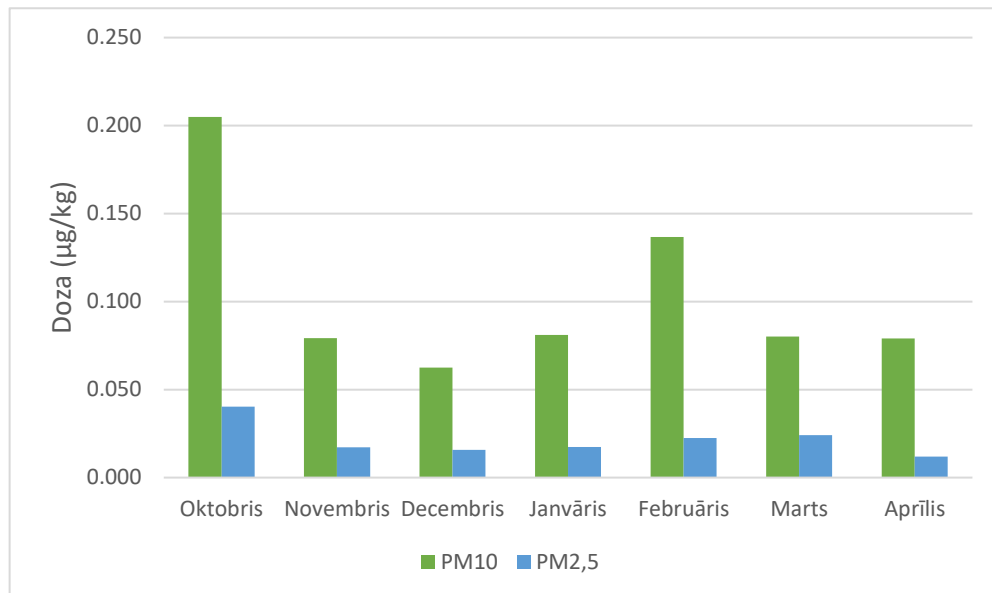
Lai noskaidrotu uzņemto piesārņojošo vielu daudzumu tika veikti dozas aprēķini, attēlos parādītas PM₁₀ uzņemtās dozas, kas ir arī kopējā uzņemtā PM doza, atsevišķi attēlots, cik lielu daļu no tā sastāda PM_{2,5}. Vislielākā piesārņojošo vielu - PM₁₀ un PM_{2,5} - doza (0,307 µg/kg) tika uzņemta 24. maršrutā (3.12. att.) (Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – Zunda Towers – Raņķa dambis – Meža iela – Nometņu iela – Olgas iela – Ļermontova iela), kurš tika veikts 8. februārī plkst. 9:00, maršruts aptver vairākas ielas, uz kurām veidojas sastrēgumi, it īpaši no rītiem, šis faktors var ļoti ietekmēt uzņemto piesārņojošo vielu dozu. 8. februārī pūta lēns (3 m/s) Rietumu (270°) vējš. Šajā gadījumā arī vēja ātrums un virziens ir svarīgs, jo izkliede pie vēja ātruma 3 m/s būs neliela, kā arī vējš pūš no Rietumiem, šajā daļā ir blīva apbūve, kur var uzkrāties piesārņojums, kā arī gaisa piesārņojums no autotransporta uz Kalnciema – Krišjāņa Valdemāra ielas tiek pārnesti uz Āgenskalna daļu, kurā tika veikts attiecīgais maršruts.

Vismazākā piesārņojošo vielu - PM₁₀ un PM_{2,5} - doza (0,02 µg/kg) tika uzņemta 18. maršrutā (Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – Sētas iela – Zvanu iela – Ļermontova iela) 11. janvārī plkst. 14:00, kad autotransporta satiksme nav tik intensīva, lai gan šajā laikā bija lēns vēja ātrums (1 m/s), vējš pūta no Dienvidaustrumiem, kas attiecībā uz šo maršrutu nozīmē, ka vējš pūta no Āgenskalna daļas, kur atrodas nav blīva apbūve, gaisam ir iespēja ventilēties, jo tas pārvietojas caur Uzvaras parku.



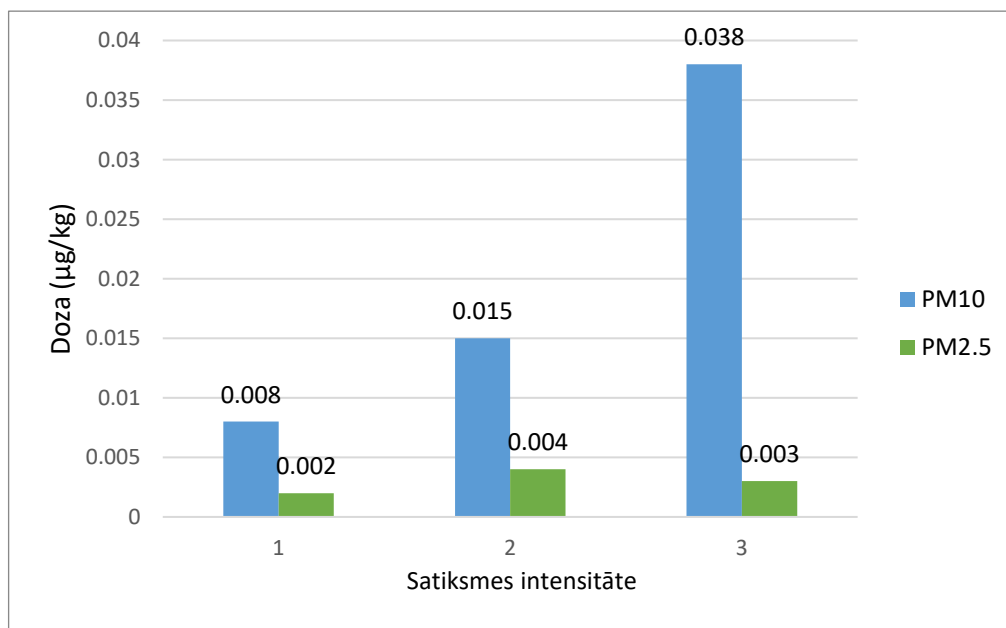
3.12. att. Cieto daļiņu uzņemtā doza maršrutos

Vislielākā uzņemtā cieto daļiņu PM₁₀ un PM_{2,5} doza ir oktobra (0,205 µg/kg) un februāra (0,137 µg/kg) mēnešos (3.13. att.), taču viszemākā decembrī (0,063 µg/kg), pārējos mēnešos (janvārī, martā, aprīlī un novembrī) uzņemtās cieto daļiņu dozas savā starpā ir līdzīgas. Oktobrī un februārī tika fiksētas visaugstākās PM₁₀ un PM_{2,5}, tādēļ dozas arī šajos mēnešos būs vislielākās. Koncentrācija un pavadītais laiks maršrutā augsta gaisa piesārņojuma dienās ir ļoti svarīgi faktori, it īpaši pie augsta gaisa piesārņojuma epizodēm, kurās veselībai bīstama gaisa kvalitāte var saglabāties vairākas dienas. Janvārī bija viena no viszemākajām vidējām koncentrācijām, taču maršrutā pavadītais laiks bija vislielākais, janvārī, veicot maršrutus, tika pavadīts gandrīz 3 reizes ilgāks laiks nekā oktobrī, taču oktobrī vidējā koncentrācija bija gandrīz 2 reizes lielāka. Var novērot, ja piesārņojošo vielu koncentrācija ir zema, bet ārpus mājas tiek pavadīts ilgāks laiks, tik un tā uzņemtā doza būs mazāka, kā gadījumā, ja piesārņojošos vielu koncentrācija gaisā ir augsta un ārā tiek pavadīts mazāks laiks. Tādēļ, ja tiek prognozētas augstas piesārņojošo vielu koncentrācijas, slikta gaisa kvalitāte, labāk izvairīties no došanās ārpus dzīvesvietas.



3.13. att. Vidējās uzņemtās dozas mēnešos

Aprēķinot uzņemto dozu dažādas satiksmes intensitātes vietās, kur “1” ir zemas satiksmes intensitātes vieta, “2” vidējas satiksmes intensitātes vieta un “3” augsta satiksmes intensitātes vieta, aprēķinos izmantojot, ka katrā vieta pavadītas 5 minūtes, tika noteikts, ka vietā ar augstu satiksmes intensitāti uzņemtā doza ir vislielākā (3.14. att.). Kopējā uzņemtā cieto daļiņu PM_{2,5} un PM₁₀ doza vieta ar augstu satiksmes intensitāti ir 4 reizes lielāka kā vietā ar zemu satiksmes intensitāti. Tas pierāda, ka izvairoties no intensīvas satiksmes vietām, galvenokārt no noslogotiem krustojumiem, var vairākkārt samazināt uzņemto cieto daļiņu piesārņojumu.



3.14. att. Uzņemtās dozas dažādas satiksmes intensitātes vietās

SECINĀJUMI

1. Dažādu valstu nacionālā likumdošanā noteiktie gaisa kvalitātes normatīvi cilvēku veselības aizsardzībai nav tik stingri kā Pasaules veselības organizācijas vadlīnijās minētie. 2021. gadā pārskatītie, Pasaules Veselības Organizācijas rekomendētie vēl stingrākie robežlielumi, ir ārkārtīgi grūti sasniedzami.
2. Lai gan iedzīvotājiem ir pieejama informācija par gaisa kvalitāti pilsētā, gaisa kvalitātes monitoringa staciju tīkls nav pietiekami blīvs, bet, izmantojot personificētu gaisa piesārņojuma mērītāju, ir iespējams novērtēt gaisa kvalitāti savā apkaimē, noteikt vietas, no kurām būtu nepieciešams izvairīties, lai pasargātu veselību un izvairītos no iespējamajiem riskiem, kas var rasties, ja organisms tiek regulāri pakļauts atmosfēras piesārņojumam.
3. Konstatēts, ka sīkāko cieto daļiņu PM_{10} un $PM_{2,5}$ koncentrācijas novērojumu periodā variējušas salīdzinoši nedaudz, kas hipotētiski norāda uz avotu, kurš darbojas visu periodu, bet tas var būt saistīts ar pārrobežu atmosfēras piesārņojumu. Lielāko cieto daļiņu gadījumā dažādos mēnešos redzams, ka tās variē robežās no 12 – 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, to gan nevar skaidrot ar sezonālās efekta, bet drīzāk ar konkrētā maršruta izvēles specifiku. Salīdzinoši augstākās variācijas vērojamas gaistošo organisko vielu koncentrācijās, īpaši augstas tās bijušas oktobrī un novembrī, ko nav iespējams izskaidrot bez atkārtotiem mērījumiem.
4. Analizējot koncentrāciju izmaiņas pa nedēļas dienām, tika secināts, ka PM_{10} un $PM_{2,5}$ koncentrāciju izmaiņas ir nelielas, kas norāda uz to, ka visās nedēļas dienās sīko cieto daļiņu koncentrācijas ietekmēja līdzīgi avoti. PM_{10} gadījumā augstākās vidējās koncentrācijas konstatētas sestdienā (23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) un piektdienā (21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), kas var būt saistīts nedēļas nogales iestāšanās, līdz ar to intensīvāku satiksmi, it īpaši piektdienā, kad iedzīvotāji dodas prom no pilsētas un veidojas sastrēgumi, kā arī intensīvāku apkures sistēmu izmantošanu, uzturoties dzīvesvietā. Gaistošo organisko savienojumu vidējās koncentrācijas otrdienā un trešdienā ir vairāk kā 3 reizes augstākas kā parējās nedēļas dienās, pilsētvidē tie var izdalīties no visdažādākajiem avotiem, otrdienā un trešdienā avoti ir bijuši atšķirīgi no pārējām dienām, lai noskaidrotu, kādēļ tieši šajās nedēļas dienās ir visaugstākās koncentrācijas, ir jāveic atkārtoti mērījumi.
5. Tika konstatēts, ka cieto daļiņu $PM_{2,5}$ vidējās koncentrācijas diennakts periodos, kad tika veikti mērījumi variē no 2,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ līdz 4,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, izņemot divus gadījumus, kad plkst. 9:00 vidējā koncentrācija sasniedz 7,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ un plkst. 20:00 vidējā koncentrācija ir 8,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, šajos laika periodos $PM_{2,5}$ sastāda gandrīz 50% no PM_{10} , kas norāda uz augstu autotransporta ietekmi. Visaugstākā PM_{10} vidējā koncentrācija tika konstatēta plkst. 7:00,

kas varēja rasties gan no sastrēgumstundām, jo līdz plkst. 12:00 PM₁₀ vidējā koncentrācija pakāpeniski samazinās, gan no katlumājām un privātajām apkures sistēmām, plkst. 1:00 ir fiksēta otra lielākā PM₁₀ koncentrācija, kas varēja rasties tieši no siltumenerģijas iegūšanas.

6. Tika noteikta statistiski būtiska sakarība, ka pieaugot satiksmes intensitātei, pieaug PM₁₀ koncentrācija gaisā. Vietā ar augstu satiksmes intensitāti, vidējā koncentrācija sasniedz 53 µg/m³ (visaugstākā fiksētā koncentrācija sasniedz 124 µg/m³), šajā punktā tika pārsniegta gan MK noteikumu Nr. 1290, gan Pasaules veselības organizācijas noteiktā robežvērtība cilvēka veselības aizsardzībai. Izteikta satiksmes intensitātes ietekme uz PM_{2,5}, PM₁ un GOS netika konstatēta.
7. Vislielākās PM₁₀ un PM_{2,5} dozas tika uzņemtas maršrutos nr. 24, 20, un 3, visi maršruti veikti, ietverot pilsētas nozīmes ielas un pilsētas maģistrāles, kas varēja būt viens no galvenajiem iemesliem augstajai uzņemtai dozei. Vislielākā uzņemtā doza ir oktobra un februāra mēnesī, jo šajos mēnešos bija visaugstākās PM koncentrācijas, kuru avotus ir grūti identificēt.
8. Attiecībā uz cieto daļiņu PM₁₀ vidējo koncentrāciju, tika konstatēta statistiski būtiska ietekme no tādiem meteoroloģiskiem parametriem kā temperatūra, vēja ātrums un vēja virziens. Statistiski būtiska sakarība tika konstatēta starp cieto daļiņu PM_{2,5} vidējo koncentrāciju un tādiem meteoroloģiskajiem parametriem kā temperatūra, relatīvai mitrums un vēja virziens. Nevienai no PM netika atrasta statistiski būtiska sakarība ar nokrišņu daudzumu, ko varēja ietekmēt tas, ka mērījumi netika veikti dienās ar lielu nokrišņu daudzumu, jo mērierīces specifika to neatbalsta, kā arī ar Saules radiāciju, lai precizētu iegūto rezultātu, mērījumus būtu nepieciešams veikt arī vasaras sezonā.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI

Publicētie avoti

- Ågren, C., 2020. High health costs for air pollution in cities. *Acid News*. 8.
- Air pollution sources*. 2020. European Environment Agency. Sk. 29.03.2021. Pieejams <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-sources-1>.
- Air pollution trends across the seasons*, 2020. Breeze Technologies. Sk. 29.04.2021. Pieejams: <https://www.breeze-technologies.de/blog/air-pollution-trends-across-the-seasons/>
- Air pollution: The heat factor*. S.a. TEQOYA. Sk. 10.05.2022. Pieejams: <https://www.teqoya.com/air-pollution-the-heat-factor/>
- Atmosfēra*. S.a. Sk. 26.04.2021. Pieejams <https://zemedabatauta.lu.lv/wp-content/uploads/2018/01/Atmosfera.pdf>.
- Average sizes of men and women*. S.a. World data. Sk. 08.05.22. Pieejams: <https://www.worlddata.info/average-bodyheight.php>
- Āgenskalna fizģeogrāfiskais raksturojums*. 2019. Sk. 26.04.2021. Pieejams <https://apkaimes.lv/agenskalns/geografija/>.
- Blanchard, C., Tanenbaum, S., Lawson, D. 2008. Differences between weekday and weekend air pollutant levels in Atlanta; Baltimore; Chicago; Dallas-Fort Worth; Denver; Houston; New York; Phoenix; Washington, DC; and surrounding areas. *Air Waste Manag Assoc*. 58(12)
- Borghi, F., Spinazze, A., Mandaglio, S., Fanti, G., Campagnolo, D., Rovelli, S., Keller, M., Cattaneo, A., Cavallo, D. 2021. Estimation of the Inhaled Dose of Pollutants in Different Micro-Environments: A Systematic Review of the Literature. *Toxics*. 9 (6): 140.
- Carlsten, C., 2020. Personal strategies to minimise effects of air pollution on respiratory health: advice for providers, patients and the public. *European Respiratory Journal*. 55.
- Chandrappa, R., Kulshrestha, U. 2015. Air Pollution and Disasters. *Sustainable Air Pollution Management*. 325-343.
- Chou, C.L., 2012. Sulfur in coals: A review of geochemistry and origins. *International Journal of Coal Geology*. 100, 1-13

- Cichowicz, R., Wielgosinski, G., Fetter, W. 2020. Effect of wind speed on the level of particulate matter PM10 concentration in atmospheric air during winter season in vicinity of large combustion plant. *Journal of Atmospheric Chemistry*. 77, 35-48.
- Clean Air Routes Monitoring Report*. 2021. Crossriver Partnership. Sk. 20.04.2021. Pieejams <https://crossriverpartnership.org/wp-content/uploads/2020/03/Clean-Air-Routes-Monitoring-Report-FINAL-2021-min.pdf>.
- Clean air walking routes*. 2021. Crossriver Partnership Sk. 20.04.2021. Pieejams <https://crossriverpartnership.org/projects/clean-air-walking-routes/>.
- Concawe. 2021. *How Covid-19 lockdown affected air pollution in Europe — a multi-city analysis*. Sk. 15.05.2022. Pieejams: <https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/2.-How-Covid-19-lockdown-affected-air-quality.pdf>
- Darçin, M., 2017. *How Air Pollution Affects Subjective Well-Being* Sk. 15.04.2021. Pieejams <https://www.intechopen.com/books/well-being-and-quality-of-life-medical-perspective/how-air-pollution-affects-subjective-well-being>.
- Fisher, M., 2018. Environmental Biology. *Open Oregon Educational Resources*.
- Fisk, W. *Wildfires* Sk. 29.03.2021. Pieejams <https://iaqscience.lbl.gov/contact>.
- George, S., 2014. Volcanic pollution. *International Pollution Issues*.
- Grieve, A. 2017. *Clean Air Walking Routes Monitoring Report for Cross River Partnership*. King's College London. Sk. 20.04.2021. Pieejams: <https://crossriverpartnership.org/wp-content/uploads/2020/03/Clean-Air-Routes-Monitoring-Report-FINAL-2021-min.pdf>
- Harrison, R., 1989. *Secondary pollutants*. Handbook of Air Pollution Analysis. 343-386.
- He, J., Gong, S., Yu, Y., Yu, L., Song, C., Zhao, S., Liu, H. 2017. Air pollution characteristics and their relation to meteorological conditions during 2014 – 2015 in major Chinese cities. *Environmental Pollution*. 223 484-496.
- How weather affects air quality*. S.a. Center for science education. Sk. 05.05.2022. Pieejams: <https://scied.ucar.edu/learning-zone/air-quality/how-weather-affects-air-quality>
- Iedzīvotāju skaits*. 2021. Sk. Pieejams <https://apkaimes.lv/statistika/iedzivotaju-skaits/>.

- Jayamurugan, R., Kumaravel, B., Palanivelraja, S., Chockalingam, M., 2013. Influence of Temperature, Relative Humidity and Seasonal Variability on Ambient Air Quality in a Coastal Urban Area. *International Journal of Atmospheric Sciences*. Volume 2013 264046.
- Ju, M., Oh, J., Choi, Y. 2021. Changes in air pollution levels after COVID-19 outbreak in Korea. *Science of The Total Environment*. 750, 141521.
- Kim, K., Lee, S., Woo, D., Bae, G. 2015. Influence of wind direction and speed on the transport of particle-bound PAHs in a roadway environment. *Atmospheric Pollution Research*. 1024-1034
- Kļaviņš, M., 2012. *Vides piesārņojums un tā iedarbība*. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds.
- Koolen, C., Rothenberg G., 2019. Air pollution in Europe. *ChehmSusChem*. 12164-172.
- Korten, I., Ramsey, K., Latzin, P. Air pollution during pregnancy and lung development in the child. *Paediatric Respiratory Reviews*. 21, 38-46
- Kovarik, B., 2017. *Air pollution* Sk. 31.03.2021. Pieejams <https://environmentalhistory.org/about/airpollution/>.
- Liu, Y., Zhou, Y. 2020. Exploring the relationship between air pollution and meteorological conditions in China under environmental governance. *Scientific Reports*. 14518.
- NASA Ozone watch. S.a. National Aeronautics and Space Administration. Sk. 14.04.2021. Pieejams <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/>.
- Nathanson, J., 2009. *Air pollution* Sk. Pieejams <https://www.britannica.com/science/air-pollution/additional-info>.
- Nitrogen dioxide. 2020. American Lung Association. Sk. 09.04.2021. Pieejams <https://www.lung.org/clean-air/outdoors/what-makes-air-unhealthy/nitrogen-dioxide>.
- Noteikumi par gaisa kvalitāti. MK noteikumi Nr.1290. Pieņemti 03.11.2009.
- Outdoor air pollution*. 2015. International Agency for Reaserch of Cancer France.
- Ozons. S.a. LVĢMC. Sk. 14.04.2021. Pieejams <https://www.meteo.lv/lapas/ozons?id=1206>.
- Particulate Matter*. S.a. United States Environmental Protection Agency. Sk. 08.04.2021. Pieejams <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>.
- Piesārņojuma ietekme*. 2020. Veselības inspekcija. Sk. 30.03.2021. Pieejams

<https://www.vi.gov.lv/lv/piesarnojuma-ietekme>.

Piezemes ozons. S.a. LVGMC. Sk. 14.04.2021. Pieejams https://www.meteo.lv/lapas/piezemes-ozons?id=1207.*

Richard, M., Levitan, M. 2015. *Airway Catastrophes on the Extremes of Minute Ventilation*. American Collage of Emergency Physicians. Sk. 12.05.2022. Pieejams: <https://www.acepnow.com/article/avoid-airway-catastrophes-extremes-minute-ventilation/>

Roberts, W. 2021. Air pollution and skin disorders. *International Journal of Women's Dermatology*. 7(1), 91-97

SIA Datorkarte. 2011. *Pilsētvides attīstību raksturojošo pakalpojumu novērtējums Purvciema, Āgenskalna un Mežaparka apkaimēm* Sk. 26.04.2021. Pieejams http://petijumi.mk.gov.lv/sites/default/files/file/VARAM_Pilsetvides_att_Agenskalna_Mezaparka_3apkaimes_novertejums_II_2011.pdf.

Sources of pollution. S.a. Ricardo Energy & Environment. Sk. 29.04.2021. Pieejams <http://cleartheair.scottishairquality.scot/about/sources>.

Sram, R.J., Blinkova, B., Dostal, M. et.al. 2013. Health impact of air pollution to children. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 216(5), 533-540.

Sulfur Dioxide Pollution. 2019. United States Environmental Protection Agency. Sk. 08.04.2021. Pieejams <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#effects>.

The EU and international air pollution policy. S.a. European Commission. Sk. 10.05.2022. Pieejams: <https://ec.europa.eu/environment/air/policy/index.htm>

The southland's war on smog: fifty years of progress toward clean air. S.a. South Coast AQMD. Sk. 10.05.2022. Pieejams: <https://www.aqmd.gov/home/research/publications/50-years-of-progress#top>

Thurston, G.D., 2008. Outdoor air pollution: Sources, atmospheric transport, and human health effects. *International Encyclopedia of Public Health*. 700-712.

Tiseo, I. 2022. *Average PM2.5 levels in the most polluted capital cities in Europe 2020-2021*. Sk. 19.05.22. Pieejams: <https://www.statista.com/statistics/1220938/most-polluted-capital-cities-in-europe/>

Torre, H., Hernandez, R., Dominguez, A. 2015. Diurnal and seasonal variation of volatile organic compounds in the atmosphere of Monterrey, Mexico. *Atmospheric Pollution Research*. Vol 6. 1073-1081.

Valsts rīcības programma, lai samazinātu smalko daļiņu PM2.5 emisiju valstī un to radīto negatīvo ietekmi uz cilvēku veselību. 2014. Sk. 13.04.2021. Pieejams https://www.meteo.lv/fs/CKFinderJava/userfiles/files/Vide/Gaiss/Gaisa_kvalitate/Parskati/PM25_RicibasProgramma_LVGMC.pdf.

Volatile Organic Compounds. 2016. APIS. Sk. 02.04.2021. Pieejams http://www.apis.ac.uk/overview/pollutants/overview_vocs.htm.

What are the WHO Air quality guidelines. 2021. PVO. Sk. 14.05.2022. Pieejams: <https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/what-are-the-who-air-quality-guidelines#:~:text=The%20WHO%20Air%20quality%20guidelines%20are%20a%20set%20of%20evidence,the%20guidelines%20was%20in%201987>.

Wright, R., 2020. *The world's largest coronavirus lockdown is having a dramatic impact on pollution in India.* CNN World. Sk. 15.05.2022. Pieejams: <https://edition.cnn.com/2020/03/31/asia/coronavirus-lockdown-impact-pollution-india-intl-hnk/index.html>

Zhao, N., Liu, Y., Vanos, J., Cao, G. 2018. Day-of-week and seasonal patterns of PM2.5 concentrations over the United States: Time-series analyses using the Prophet procedure. *Atmospheric Environment*. 192 116-127.

Zou, B., Li, S., Z, Zheng., Zhan, B., Yang, Z., Wan, N. 2020. Healthier routes planning: A new method and online implementation for minimizing air pollution exposure risk. *Computers, Environment and Urban Systems*. 80101456.

PIELIKUMI

Mērījumu veikšanas maršruti

Nr.	Maršruts	Datums	Diennakts laiks (tuvākā stunda)
1.	Jaunatnes dārzs – Slokas iela – Uzvaras parks – Augļu iela – Jaunatnes dārzs	03.10.21.	18:00
2.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – Daugavgrīvas iela – Uzvaras parks – Nometņu iela – Jaunatnes dārzs	22.10.21.	11:00
3.	Jaunatnes dārzs – Āgenskalna tirgus – Uzvaras parks – “Zunda Towers” – Slokas iela – Jaunatnes dārzs	23.10.21.	13:00
4.	Jaunatnes dārzs – Nometņu iela – Bišu iela – Uzvaras parks – Talsu iela – Jaunatnes dārzs	08.11.21.	15:00
5.	Jaunatnes dārzs – Āgenskalna iela – Slokas iela – Nometņu iela – Olgas iela – Ļermontova iela	09.11.21.	11:00
6.	Jaunatnes dārzs – Ormaņu iela – Talsu iela – Āgenskalna tirgus – Nometņu iela – Jaunatnes dārzs	16.11.21.	20:00
7.	Jaunatnes dārzs – Ernestīnes iela – Mazā nometņu iela – Ormaņu iela – Jaunatnes dārzs	22.11.21.	14:00
8.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – RTU DITF – Nometņu iela – Olgas iela – Jaunatnes dārzs	26.11.21.	19:00
9.	Jaunatnes dārzs – Nometņu iela – Bišu iela – Uzvaras parks – Bāriņu iela – Lapu iela – Jaunatnes dārzs	05.12.21.	13:00
10.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – Rimi Kalnciema – Slokas iela – Nometņu iela – Olgas iela – Jaunatnes dārzs	13.12.21.	10:00
11.	Jaunatnes dārzs – Olgas iela – Amālijas iela – Bāriņu iela – Āgenskalna tirgus – Lapu iela – Jaunatnes dārzs	21.12.21.	12:00
12.	Jaunatnes dārzs – Kristapa iela – Alīses iela – Mārtiņa iela – Slokas iela – Nometņu iela – Olgas iela – Jaunatnes dārzs	29.12.21.	14:00
13.	Jaunatnes dārzs – Ernestīnes iela – Slokas iela – RTU DITF – Eduarda Smiļģa iela – Talsu iela – Lapu iela – Jaunatnes dārzs	02.01.22.	18:00
14.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – “Zunda Towers” – Raņķa dambis – Meža iela – Nometņu iela – Olgas iela – Ļermontova iela	05.01.22.	11:00
15.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – “Zunda Towers” – Raņķa dambis – Uzvaras parks – Bāriņu iela – Āgenskalna tirgus – Nometņu iela – Lapu iela – Jaunatnes dārzs	07.01.22.	11:00
16.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – “Zunda Towers” – Raņķa dambis – Meža iela – Nometņu iela – Olgas iela – Ļermontova iela	08.01.22.	19:00
17.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – “Zunda Towers” – Raņķa dambis – Meža iela – Nometņu iela – Olgas iela – Ļermontova iela	10.01.22.	14:00
18.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – Sētas iela – Zvanu iela – Ļermontova iela	11.01.22.	14:00

19.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – Sētas iela – Nometņu iela – Olgas iela - Ļermontova iela	12.01.22.	18:00
20.	Jaunatnes dārzs – Āgenskalna iela – Slokas iela – Kuldīgas iela – Daugavgrīvas iela – Bezdelīgu iela – Slokas iela – Ernestīnes iela – Lavīzes iela – Jaunatnes dārzs	15.01.22.	13:00
21.	Jaunatnes dārzs – Āgenskalna iela – Baložu iela – Kalnciema iela – Melnsila iela – Jaunatnes dārzs	18.01.22.	17:00
22.	Jaunatnes dārzs – Ormaņu iela – Mazā nometņu iela – Kalnciema iela – Melnsila iela – Jaunatnes dārzs	31.01.22.	14:00
23.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – “Zunda Towers” – Raņķa dambis – Meža iela – Nometņu iela – Olgas iela – Ļermontova iela	08.02.22.	9:00
24.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – “Zunda Towers” – Raņķa dambis – Meža iela – Nometņu iela – Olgas iela – Ļermontova iela	09.02.22.	9:00
25.	Jaunatnes dārzs – Ernestīnes iela – Olgas iela – Nometņu iela – Meža iela – Raņķa dambis – “Zunda Towers” – Daugavgrīvas iela – Sētas iela – Nometņu iela – Olgas iela – Ļermontova iela	12.02.22.	1:00
26.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – “Zunda Towers” – Raņķa dambis – Meža iela – Nometņu iela – Olgas iela – Ļermontova iela	15.02.22.	12:00
27.	Jaunatnes dārzs – Lapu iela – Nometņu iela – Mārupes iela – Ventspils iela – Mazā nometņu iela – Āgenskalna tirgus – Nometņu iela – Lapu iela – Jaunatnes dārzs	22.02.22.	15:00
28.	Jaunatnes dārzs – Āgenskalna iela – Slokas iela – Vasaras iela – Lavīzes iela – Ļermontova iela	23.02.22.	16:00
29.	Jaunatnes dārzs – Āgenskalna iela – Slokas iela – Nometņu iela – Olgas iela – Ļermontova iela	24.02.22.	13:00
30.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – “Zunda Towers” – Raņķa dambis – Aleksandra Grīna bulvāris – Bāriņu iela – Augļu iela – Nometņu iela – Olgas iela – Ļermontova iela	28.02.22.	16:00
31.	Jaunatnes dārzs - Melnsila iela – Kalnciema iela – Alīses iela – Kristapa iela – Baložu iela – Slokas iela – Nometņu iela – Olgas ielas – Ļermontova iela	01.03.22.	9:00
32.	Jaunatnes dārzs – Lapu iela – Nometņu iela – Mārupes iela – Ventspils iela – Mazā nometņu iela – Nometņu iela – Lapu iela – Jaunatnes dārzs	02.03.22.	15:00
33.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – Slokas iela – Vasaras iela – Lavīzes iela – Ļermontova iela	04.03.22.	18:00
34.	Jaunatnes dārzs – Melnsila iela – Āgenskalna iela – Slokas iela – Baložu iela – Ernestīnes iela – Lavīzes iela – Ļermontova iela	14.03.22.	16:00
35.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – Slokas iela – Nometņu iela – Olgas iela – Ļermontova iela	15.03.22.	8:00
36.	Jaunatnes dārzs – Ernestīnes iela – Dreiliņu iela – Kalnciema iela – Baložu iela – Kapseļu iela – Melnsila iela	16.03.22.	18:00
37.	Jaunatnes dārzs – Lapu iela – Nometņu iela – Mārupes iela – RSU dienesta viesnīca – Mārupes iela – Nometņu iela – Lapu iela – Jaunatnes dārzs	22.03.22.	20:00

38.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – “Zunda Towers” – Raņķa dambis – Meža iela – Nometņu iela – Olgas iela – Ļermontova iela	31.03.22.	9:00
39.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – “Zunda Towers” – Raņķa dambis – Meža iela – Nometņu iela – Olgas iela – Ļermontova iela	07.04.22.	20:00
40.	Jaunatnes dārzs – Kalnciema iela – “Zunda Towers” – Raņķa dambis – Meža iela – Nometņu iela – Olgas iela – Ļermontova iela	14.04.22.	7:00

Cieto daļiņu koncentrāciju izmaiņas dažādos meteoroloģiskos apstākļos

