

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
VIDES ZINĀTNES NODAĻA

**FAKTORIZĀCIJAS (PMF) METODES IZMANTOŠANA ATMOSFĒRAS
AEROSOLU AVOTU KVALITATĪVĀ UN KVANTITATĪVĀ
NOVĒRTĒŠANĀ RĪGĀ
MAGISTRA DARBS**

Autore: Aleksandra Kaniščeva

Stud. apl. Ak13206

Darba vadītājs: *Asoc. Prof. Dr. Ģeogr. Iveta Šteinberga*

RĪGA 2021

Anotācija:

Darbā sniegts atmosfēras aerosolu raksturojums, aprakstīti to galveno emisiju avoti un veikts likumdošanas prasību apkopojums. Avotu noteikšanai veikta modelēšana ar faktorizācijas (PMF) metodes modeļiem *EPA PMF 5.0* un *SoFi Standard 8.0*. Modelēšana veikta izmantojot 2019. gada nokrišņu kvalitātes analīžu rezultātus no LVĢMC gaisa kvalitātes novērojumu stacijas Rīgā, Kronvalda bulvārī 4.

Veicot modelēšanu identificēti pieci aerosolu gaisa piesārņojuma avoti – jūras aerosoli, degšanas procesi, sekundārie sulfāti un erozijas un abrāzijas putekļi, kas iekļauj minerālos putekļus un ceļu putekļus. Rezultāti liecina par PMF modeļu limitētu pielietojuma potenciālu Rīgā esošas gaisa kvalitātes monitoringa programmas ietvaros.

Atslēgas vārdi: aerosoli; PM; gaisa piesārņojums; faktorizācija; PMF; avotu noteikšana; modelēšana.

Annotation:

This thesis contains the description of atmospheric aerosols, summarises their major sources and gives a summary of legislative requirements. For source apportionment two positive matrix factorization (PMF) models were used – *EPA PMF 5.0* un *SoFi Standard 8.0*. Precipitation laboratory analysis results from LEGMC station in Riga, Kronvalda boulevard 4 was used for the year 2019.

Modelling results identified five aerosol pollution sources – marine aerosols, combustion, secondary sulphates and erosion and abrasion dust that was further speciated into mineral and road dust. Results indicate limited potential for PMF model use in Riga within the framework of an existing air quality monitoring program.

Key words: aerosols; PM; air pollution; factorization; PMF; source apportionment; modelling.

Saturs

IEVADS	5
1. LITERATŪRAS APSKATS	7
1.1. Atmosfēras gaiss, tā sastāvs un kvalitāte.....	7
1.2. Aerosolu raksturojums	10
1.2.1. Aerosolu fizikālais un ķīmiskais raksturojums	10
1.2.2. Aerosolu ietekme uz cilvēka veselību	11
1.2.3. Piesārņojuma līmeni veidojošo faktoru raksturojums	14
1.3. Piesārņojuma avotu raksturojums Rīgā.....	15
1.3.1. Pārrobežu un fona piesārņojums	15
1.3.2. Stacionārie avoti.....	15
1.3.3. Mobilie avoti	17
1.3.4. Gaisa kvalitātes monitorings Rīgā.....	18
1.4. Gaisa piesārņojuma vides politika un prasības Latvijā	21
1.4.1. Likumdošana	21
1.4.2. Vides politikas prioritātes un gaisa kvalitātes uzlabošanas pasākumi.....	24
2. MATERIĀLI UN METODES	26
2.1. Pētījuma vietas raksturojums	26
2.2. Pozitīvas matricas faktorizācijas modeļu raksturojums	27
2.3. Monitoringa datu apstrāde.....	29
3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA	31
3.1. Faktoru skaita izvēle <i>EPA PMF 5.0</i>	31
3.2. <i>EPA PMF 5.0</i> modelēšanas rezultāti.....	32
3.3. <i>SoFi 8.0 Standard</i> modelēšanas rezultāti	39
3.4. Modeļu rezultātu salīdzinājums.....	41
3.5. Rezultātu salīdzinājums ar esošiem pētījumiem	43
SECINĀJUMI	46
PIELIKUMI	58

IEVADS

Ilgtspējīgas sabiedrības pastāvēšanas priekšnosacījums ir tīrs gaiss. Gaisa kvalitāte pilsētās paliek arvien aktuālāks jautājums gan pašvaldībām, gan iedzīvotājiem, it īpaši uz pastāvīgi pieaugoša iedzīvotāju skaita un aktīvas ekonomiskās darbības fona.

Aerosoli ir vieni no galvenajām gaisu piesārņojošām vielām. Tie sastāv galvenokārt no cietām vai šķidrām daļiņām, kas atmosfērā atrodas suspendētā formā, un to morfoloģiskā un ķīmiskā daudzveidība ir ārkārtīgi plaša – gaisā tie var atrasties kā dūmi, putekļi, ūdens pilieni u.c.. Aerosoli veicina hronisku un akūtu elpceļu slimības, kā arī kairina elpceļu audus (Spellman 2017), atkarībā no to sastāva negatīvi ietekmē dabas vidi, t.sk. kultūraugus, kā arī sausā SO₂ depozicija, ko klasificē kā vienu no aerosoliem, veicina nokrišņu paskābināšanos, kas savukārt var izraisīt neatgriezeniskas izmaiņas ekosistēmās (Botkin, Keller 2005). Svarīgi atzīmēt, ka ilgtermiņā aerosolu cieto daļiņu paaugstinātas koncentrācijas cieši korelē ar mirstību no kardiovaskulārām slimībām un saslimstību ar vēzi (Pope et al 2002; Turner et al. 2011). Gandrīz visi rūpnieciskie procesi un fosīlo kurināmo sadedzināšana rada aerosolu piesārņojumu atmosfērā, tomēr par būtisku piesārņojuma avotu uzskatāmi dabiskas izcelsmes avoti (Tomasi et al. 2017).

2018. gadā 48% Eiropas pilsētu iedzīvotāju bija pakļauti PM₁₀ koncentrācijām, un 74% PM_{2,5} koncentrācijām, kas pārsniedz Pasaules Veselības Organizācijas ieteiktās vērtības. Kaut arī Eiropas prasības ir zemākas, 15% iedzīvotāju dzīvo vidē kur pārsniegti arī šie lielumi. Rīga ir šādas pilsētas piemērs. Tā piedzīvoja vairākus šo vielu robežlielumu pārsniegumus pēdējos gados – šī situācija nav jauna, un šī tendence saglabājas jau gadiem ilgi. 2020. gadā Rīgai atkal draudēja tiesas process ar Eiropas Savienību, jo gada robežvērtības bija atkal pārsniegtas, kas atspoguļots pēdējos pārskatos. Turklāt saņemta kārtējā vēstule no Eiropas Komitejas, kur pašvaldībai ieteikts izvērtēt esošo monitoringa sistēmu, jo tajā atrasti trūkumi (). Eiropā kopēji PM piesārņojums lēnām samazinās, bet Latvijā tas pieaug (European Commission 2020; European Environmental Agency 2020; LVGMC 2020; The Baltic Times 2019).

Esam pārejas procesā – top jaunie Nacionālais attīstības plāns, Vides politikas nostādnes, Rīgas attīstības programma un Rīgas pilsētas gaisa kvalitātes uzlabošanas rīcības programma. Gaisa kvalitātes uzlabošanai jābūt vienam no svarīgākajiem un prioritārajiem mērķiem Rīgas attīstībā. Aktuāls ir jautājums cik un kā katrs piesārņojuma avots iegulda kopējā koncentrācijā, jo, tikai iegūstot šos datus, var veikt attiecīgas korekcijas rīcības plānos

un veikt secinājumus par to efektivitāti, diemžēl paļauties tikai uz monitoringa datiem nevar – tie nesniedz informāciju par emisijas avotiem. Faktorizācijas (PMF, ang. *Positive matrix factorization*) modeļi, iespējams, ļaus šo problēmu atrisināt. Izmantojot aerosolu sastāvu, modelis spēj ar augstu ticamību noteikt iespējamo piesārņojuma avotu skaitu, katra piesārņojuma avota ieguldījumu kopējā piesārņojuma līmenī un parādīt katra avota ietekmi laikā (Norris et al. 2014).

Hipotēze: Faktorizācijas (PMF) metode ir pielietojama precīzai aerosolu piesārņojuma avotu sadalījuma noteikšanai Rīgā.

Darba mērķis: Sagatavot kvalitatīvo un kvantitatīvo piesārņojuma avotu ieguldījumu sadalījumu atmosfēras aerosolu piesārņojumā izmantojot faktorizācijas un profilēšanas metodi (PMF).

Darba mērķa sasniegšanai izvirzītie **uzdevumi:**

1. Sagatavot vispārīgu raksturojumu par atmosfēras aerosolu piesārņojumu, normatīviem, noteikšanas un analizēšanas metodēm;
2. Iepazīties ar atmosfēras aerosolu avotu identifikācijas metodēm, izvēlēties atbilstošākās faktorizācijas metodes un apgūt tās praktiski;
3. Sagatavot un apstrādāt faktorizācijas metodēm nepieciešamos ievades datus;
4. Iegūt aerosolu raksturīgākos profilus pētāmai teritorijai, izmantojot izvēlētās metodes;
5. Apkopot iegūtos rezultātus, iegūt secinājumus par raksturīgākiem un dominējošiem atmosfēras aerosolu avotiem Rīgā.

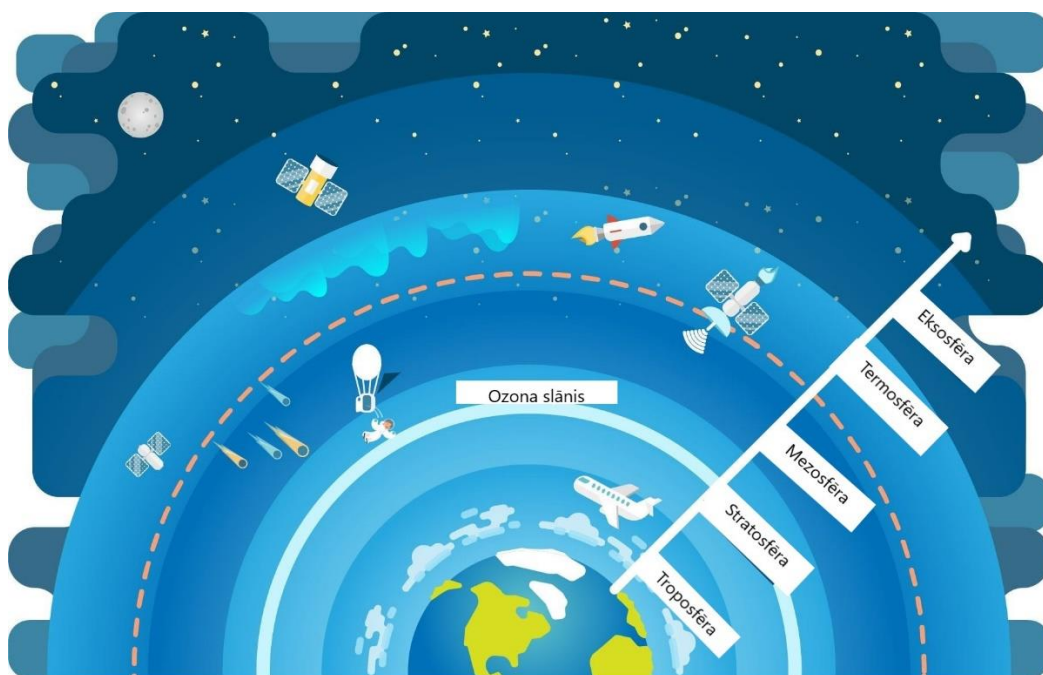
Maģistra darba rezultātu aprobācija 2021. gada 28. janvārī tika prezentēta 79. Latvijas Universitātes starptautiskā zinātniskā konferencē sekcijā “Problēmas un risinājumi vides zinātnes pētījumos” ar ziņojumu “Faktorizācijas (PMF) metodes potenciāls atmosfēras aerosolu avotu novērtēšanā Rīgā”.

Darbā ir 57 lappuses, 6 tabulas, 17 attēli, 95 atsauces un 4 pielikumi.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Atmosfēras gaiss, tā sastāvs un kvalitāte

Zemes atmosfēra ir unikāla citu Saules sistēmas planētu starpā, jo tā ir ļoti ķīmiski aktīva un bagāta ar skābekli, šī dinamiskā sistēma pastāvīgi mainās. Atmosfēras sastāvu veido N_2 78%, O_2 21%, CO_2 0,03%, Ar 0,9%, Ne, He, Kr un Xe mazākas daļās un citi elementi un savienojumi, tostarp aerosoli. Sastāvdaļu sadalījumu lielā mērā ietekmē bioloģiskie procesi. Atmosfēra tiek iedalīta vairākos slāņos atkarībā no temperatūras un sastāva (1.1. att.). Slāni, kurā visaktīvāk notiek dažādi fiziski un ķīmiski procesi sauc par troposfēru. Šis ir visplānākais slānis, tomēr šeit koncentrējas 80% kopējās gaisa masas un gandrīz visi atmosfēras tvaiki. Troposfērā temperatūra samazinās atkarībā no augstuma. Virs troposfēras atrodas stratosfēra, kas sastāv no slāpekļa, skābekļa un ozona. Šeit temperatūra otrādi palielinās atkarībā no augstuma, kas nosaka ozona veidošanos, kas savukārt pasargā Zemi no bīstamā ultravioletā starojuma. Augstāk ir mezofēra, kuru iedala termosfērā un jonosfērā, šeit atmosfēras gāzu ir maz (Chang 1994; Seinfeld, Pandis 2016).



1.1. attēls. Atmosfēras slāņu iedalījums (Leverage Edu 2020)

Atmosfēru ietekmē Saules radiācija, gāzes (skābeklis, metāns, oglekļa dioksīds un citas) kurus emitē dzīvie organismi, un cilvēku industriāla un lauksaimnieciskā darbība. Galvenās Zemes atmosfēras sastāvdaļas primāri ir producētas bioloģisko procesu rezultātā, kas notika dabiski pēdējo 3,5 miljardu gadu laikā, tomēr sākot ar industriālo revolūciju 18. gs.

cilvēka darbība nozīmīgi sāka piesārņot atmosfēru, un piesārņojošo vielu emisijas sāka un turpina pārsniegt atmosfēras kapacitāti šos savienojumus pārstrādāt. Gaisu piesārņojoša viela ir jebkura gaisā esoša viela, kas var kaitīgi ietekmēt cilvēka veselību vai vidi. Gaiss pats par sevi nekad nav tīrs – daudzi dabiski piesārņojuma avoti pastāvēji ilgi pirms cilvēka ietekmes, kā jūras un okeāna sāls, putekšņi un sporas, vulkānu izvirdumu pelni un gāzes, tuksnešu putekļi, dūmi no meža ugunsgrēkiem. Gaisu piesārņojošās vielas var iedalīt primārās un sekundārās. Primārās vielas ir tās, kas tiek tieši emitētas gaisā, tās var būt gāzes vai aerosolu (*sin.* cietās daļiņas, PM) formā. Sekundārās vielas rodas primārām mijiedarbojoties ķīmiskās reakcijās ar pastāvīgām atmosfēras gaisa sastāvdaļām, tā rodas, piemēram, ozons. Lielāko daļu problēmu, kas saistītas ar gaisa piesārņojumu rada primārais piesārņojums. Piesārņojumam pilsētās ir tendence koncentrēties lokāli ap emisiju avotiem, nevis izplatīties vienmērīgi (Spellman 2017; Botkin, Keller, 2005; Lutgens et al. 2019).

Galvenie piesārņotāji, kurus mēra visā Latvijā, ir sēra dioksīds, slāpekļa oksīdi, oglekļa monoksīds, gaistoši organiskie savienojumi, ozons un aerosoli. Tikai ozons no minētiem ir sekundārā viela (Botkin, Keller, 2005; Lutgens et al. 2019).

Sēra dioksīda galvenais avots ir fosilā kurināmā sadedzināšana enerģijas ražošanas procesā, automašīnu dzinējos. Būtiski avoti ir dažādi industriāli procesi, sākot ar naftas pārstrādi un beidzot ar papīra, cementa un alumīnija ražošanu. Sēra dioksīds atmosfērā oksidācijas reakcijā pārtop par sulfātu joniem, kas piedalās skābo lietu veidošanās procesā, kā arī tas izraisa krāsu un metālu koroziju. Sēra dioksīds ir kaitīgs augiem, īpaši tādiem kā kokvilna, lucerna un mieži. Dzīvniekos, arī cilvēkos, var izsaukt audu bojājumus, lielākās koncentrācijās var nopietni apdraudēt organisma dzīvību (Spellman 2017; Botkin, Keller 2005).

Slāpekļa oksīdi gaisā satopami dažādās formās. Visbīstamākie ir slāpekļa oksīds un slāpekļa dioksīds. Nozīmīgākais no diviem ir slāpekļa dioksīds, kas nosaka skābo lietu veidošanos kopā ar sulfātu joniem. Slāpekļa dioksīds atmosfēras reakcijās pārtop nitrāta formā, kas pasliktina redzamību un piedalās fotoķīmiskā smoga veidošanās procesā. Divi galvenie avoti ir automašīnu izmeši un enerģijas ražošanas sektors. Cilvēkam saskaroties ar slāpekļa oksīdiem var rasties gļotādu kairinājums, kā arī palielinās jutīgums pret vīrusa infekcijām, bet augos tas nomāc to spēju augt (Spellman 2017; Botkin, Keller 2005).

Oglekļa monoksīds. Ekstremāli toksisks jau mazās devas, CO 250 reizes ātrāk nekā skābeklis saistās ar hemoglobīnu, kas var izsaukt galvassāpes, asfiksiju un pat nāvi. Īpaši

piesardzīgiem jābūt cilvēkiem ar kardiovaskulārām slimībām, sirds slimībām un anēmiju, ka arī grūtniecēm, jo oglekļa monoksīds ir fetotoksīks (indīgs auglim) un teratogēns (augļa attīstību ietekmējošs). 90% avotu ir dabiskas izcelsmes, galvenokārt meža ugunsgrēki, pārējos 10% avotu veido organisko savienojumu nepilnīga sadedzināšana un automašīnu izplūdes gāzes (Spellman 2017; Botkin, Keller, 2005). Tomēr vērts pieminēt, ka pēc Eiropas Komisijas darba dokumenta SEC (2011) 208 galīgas versijas, kas reglamentē kā Eiropas dalībvalstis nosaka dabisko avotu ietekmi, meža ugunsgrēki galvenokārt ir cilvēka izraisīti, tātad arī piesārņojums kas radies ugunsgrēka rezultāta ir antropogēns pēc būtības (Eiropas Komisija 2011).

Ozons un citi fotoķīmiskie oksidanti. Šādas vielas rodas primārajām piesārņojošām vielām mijiedarbojoties ar Saules starojumu. Vispazīstamākais ir ozons, kura prekursors ir slāpekļa dioksīds. Atkarībā no koncentrācijas ozons var bojāt augu audus, ka arī palēnināt to augšanu, lielākas koncentrācijās var pilnīgi iznīcināt augu. Dzīvos organismos izraisa acu un plaušu kairinājumu, bojā plaušu audus un apgrūtina elpošanu, kā arī palielina risku inficēties ar dažādām bakterialajām infekcijām (Botkin, Keller 2005; WHO, 2018).

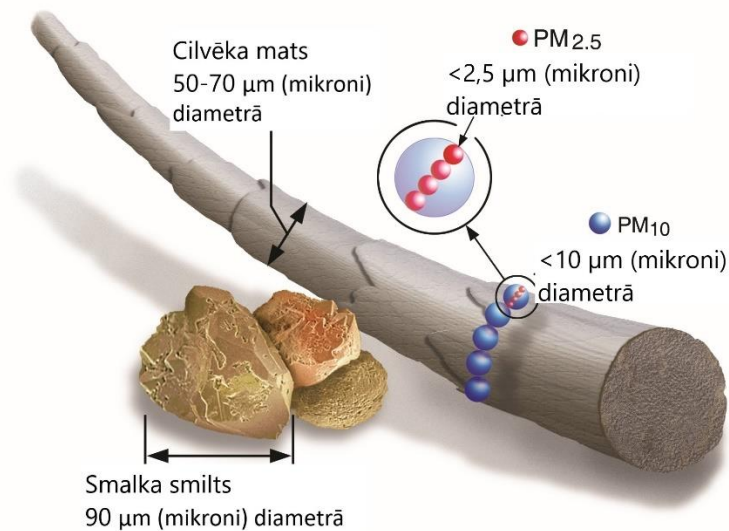
Gaistoši organiskie savienojumi un policikliskie aromātiskie oglekļa savienojumi. Šajā grupā ietilpst vairākums organisko savienojumu, oglekļa savienojumi ir vieni no tiem. Tie mijiedarbojoties ar Saules radiāciju kopā ar ozonu izraisa fotoķīmisko smogu. To iedarbības ir ļoti dažādas, liela daļa ir toksiska dzīvībai organismiem, un daudzi tādi kļūst iesaistoties reakcijās ar citām vielām atmosfērā. Līdz 10% šo savienojumu ir cilvēka radīti, bet to ietekme ir nozīmīga gan iekšējās, gan atmosfēras gaisā. Galvenie no tiem kuru regulārs monitorings ir ļoti svarīgs ir benz(a)pirēns, benzols, toluols un p-kxilols. (Botkin, Keller 2005; Seinfeld, Pandis 2016).

Aerosoli. Aerosoli ir smalkākās gaisā suspendētās daļiņas, mazākas par 10 μm diametrā, arī šķidrums mikropilītes (tvaiki), kas veido slapjo frakciju sauc par aerosoliem. To izcelsme var būt dažāda, bet mūsdienās antropogēnās izcelsmes aerosoli aizņem lielu daļu no kopējās koncentrācijas. Galvenie avoti ir dažāda kurināmā sadedzināšanā, automašīnas, enerģijas ražošana, celtniecības materiālu ražošana, kalnrūpniecība, lauksaimniecība un aviotransports. No dabiskiem avotiem var minēt augsnes daļiņu nokļūšanu atmosfērā ar vēju, vulkānu darbību, mežu ugunsgrēkus, iztvaikošanu no jūras un okeāna un dažādu materiālu dēdēšanu. Atkarībā no daļiņu diametra un sastāva tie dažādi ietekmē dzīvos organismus, tā smalkākas daļiņas (mazākas par 2,5 μm) tieši sava izmēra dēļ spēj nokļūt dziļi plaušu audos piedaloties kancerogēnēzē (Spellman 2017; Botkin, Keller 2005).

1.2. Aerosolu raksturojums

1.2.1. Aerosolu fizikālais un ķīmiskais raksturojums

Aerosoli ir gaisā suspendētās cietās un šķidrās daļiņas (putekļi, dūmi, migla, tvaiki) kas ir mazākas par $10\ \mu\text{m}$, vissmalkākās un, kā jau tika minēts, bīstamākās ir mazākas par $2,5\ \mu\text{m}$ (1.2. att.). To sastāvu galvenokārt veido sulfāti, nitrāti, amoniji, nātrija hlorīds, minerālie putekļi, organiskais ogleklis un ūdens (WHO, 2018). Aerosolus, kā jebkuras gaisa piesārņojošās vielas var iedalīt primāros aerosolos, kuri tiek tieši emitēti atmosfērā, un sekundāros aerosolos, kas formējas primāriem piesārņotājiem mijiedarbojoties ar atmosfērā esošām vielām un savienojumiem, kā arī mijiedarbojoties ar fizikāliem faktoriem. Aerosoli ir elektriski lādēti. Tie var sastāvēt no ūdenī šķīstošiem vai mazšķīstošiem joniem. Tie var būt gan dabiskas, gan antropogēnās izcelsmes, un to sastāvā un formās vērojama liela daudzveidība. Dabiskie avoti (jūras sāls, putekšņi, pelni, putekļi) dominē kopējā emisiju masā, un tos nosaka vēja režīms un temperatūra (Tomasi et al. 2017; Sportisse 2010).



1.2. attēls. Cieto daļiņu PM_{10} un $\text{PM}_{2,5}$ izmēri (EPA S.a.)

Praksē lielāka daļa aerosolu ir sarežģītas uzbūves – ķīmisko sastāvu veido gan organiskā, gan neorganiskā (piem. ūdens) daļa. Atkarībā no aerosolu sastāva iespējams identificēt to izcelsmes avotus. Tā, piemēram, primārie biogēnie aerosoli satur daudz mikrobiālu daļiņu, bet smago metālu vai sarežģītu savienojumu klātbūtne norāda uz to, ka aerosols ir antropogēnās izcelsmes (Levin, Cotton 2009; Sportisse 2010).

Atkarībā no daļiņu diametra aerosoli atrodas atmosfērā dažādu laiku. Cietās daļiņas jeb PM līdz 2,5 µm var atrasties atmosfērā vairākas nedēļas, bet lielākas nosēžas uz zemes daudz ātrāk – dažreiz minūšu laikā, tomēr novērojams stabils aerosolu slānis 20 km augstumā (Sportisse 2010).

Svarīgākie procesi, kas ietekmē aerosolu veidošanos, uzvedību un sastāvu:

- Koagulācija un sedimentācija ietekmē aerosolu stabilitāti un izkrišanas ātrumu;
- Aerosoli kā ūdens kondensācijas centri. Paātrina aerosolu izkrišanas ātrumu ar nokrišņiem. Lietus var kalpot gan kā piesārņotājs (skābie lieti), gan kā atmosfēras attīrītājs. Gaistošiem organiskiem savienojumiem kondensējoties uz daļiņu virsmas veidojas sekundārie aerosoli;
- Dispersija – lielāku daļiņu sabrukšana mazākos;
- Aerosoli kā ķīmisko reakciju katalizatori;
- Atmosfēras gāzu, mikroorganismu, ķīmisko vielu un ūdens tvaiku sorbcija uz daļiņas virsmas (Levin, Cotton, 2009; Sportisse 2010).

1.2.2. Aerosolu ietekme uz cilvēka veselību

Pēc Pasaules Veselības Organizācijas aprēķiniem ar aerosolu negatīvo iedarbību 2016. gadā bija saistīti 4,2 milj. priekšlaicīgu nāves gadījumu. Visbīstamākie ir smalkie aerosoli, jo rupjākas frakcijas daļiņas tiek aizturētas degunā un augšējos elpvados, bet smalkākas daļiņas nonāk asinsritē un audos. Smago metālu, radioaktīvo izotopu un organisko vielu klātbūtne aerosolos paaugstina to bīstamību cilvēka veselībai. Lai arī rupjākas daļiņas netiek asociētas ar mirstību, tās tomēr izraisa problēmas plaušu normālā funkcionēšanā un negatīvi iedarbojas uz gļotādām, ka arī izraisa alerģijas putekšņu, koksnes un citu organisko vielu putekļu gadījumā. Savukārt daļiņas kas ir mazākas par 2,5 µm jau izraisa audzējus un vēža slimības, un vēl smalkākas daļiņas – kardiovaskulārās slimības (Spellman 2017; WHO 2013. WHO 2018).

Epidemioloģiskie pētījumi kas tiek veikti 20.g. septiņdesmitos gados norāda uz ciešu saiti starp ilgtermiņa saskarsmi ar ekstremāli augstu smalko daļiņu koncentrāciju un mirstību no kardiopulmonārām, kardiovaskulārām un vēža slimībām. Citi pētījumi liecina ka pastāv

saikne starp paaugstinātu vēža saslimstību jau pie robežrādītājiem, un īpaši jūtīgas grupas ir cilvēki, kuriem ir kādas hroniskas plaušu slimības vai traucējumi (Pope et al.2002; Turner et al. 2011).

Tagad ir plaši atzīts, ka klimata pārmaiņas notiek antropogēnu faktoru ietekmes rezultātā, it īpaši fosilā kurināmā sadegšanas un siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju dēļ, ko rada enerģijas sektors, transports, lauksaimniecība, rūpniecība, mežsaimniecība, atkritumu apsaimniekošana, kā arī komerciālas un dzīvojamās ēkas. Klimata pārmaiņas tieši un netieši ietekmē gaisa piesārņotāju veidošanos – to daudzumu, īpašības un izplatību. Klimata pārmaiņas kopā ar gaisa piesārņojumu, it īpaši ozona un cieto daļiņu daudzums piezemes atmosfērā, var nopietni ietekmēt elpošanas ceļu veselību, īpaši bērnos. Temperatūras paaugstināšanās, lielāka oglekļa dioksīda koncentrācija atmosfērā, spēcīgāki nokrišņi un lielāks mitrums izraisa ātrāku ziedputekšņu, pelējuma, sēnīšu un patogēnu izplatīšanos gaisā ar aerosoliem kā transportu (Patella et al. 2018; Ayres et al. 2009).

Tiek prognozēts, ka klimata pārmaiņas un to izraisītās emisijas ietekmēs cilvēku elpceļu veselību sekojoši: pirmkārt, palielinot nāves gadījumu skaitu un akūtu saslimstību karstuma viļņu dēļ, otrkārt izraisot paaugstinātu kardiorespiratorisko notikumu biežumu augstākas zemes līmeņa ozona koncentrācijas dēļ un palielinot gaisa piesārņojuma izraisītas elpceļu slimību biežumu (īpaši saistībā ar ugunsgrēkiem un aerosoliem, to skait pārrobežu), un beidzot mainīs alergēnu un vairāku infekcijas slimību telpisko sadalījumu. Uzskatāms, ka šī ietekme ne tikai ietekmēs tos, kuriem jau ir elpošanas ceļu slimības, bet arī var ietekmēt līdz šim nekad neslimojušus cilvēkus (Ayres et al. 2009; D'Amato et al. 2014).

Vairāki pētījumi norāda uz saikni starp elpošanas sistēmas slimībām un paaugstinātu mitrumu, kas var būt izraisīts no stiprām lietusegāzēm, kas kļūst biežākas dažos reģionos. Pie paaugstināta mitruma vīrusi un baktērijās, kas gaisā kā transportu izvēlas aerosolus, vairākkārt biežāk izraisa akūtas respiratorās infekcijas. Iespējams ka radīsies ilgāki vai pat jauni riska periodi gada laikā ar kuriem mediķiem būs jāērķinās nākotnē. Citos reģionos cilvēki cieš no otrādas problēmas: paaugstināta sausuma, ugunsgrēkiem un siltuma viļņiem. Šādās situācijās atmosfēras gaisā pieaug aerosolu jeb PM daļiņu daudzums, kas Pēc Pasaules Veselības Organizācijas aprēķiniem samazina cilvēka mūža ilgumu vidēji Eiropā par 8 mēnešiem, un īpaši piesārņotās pilsētās par 13 mēnešiem, kas tieši korelē ar respiratorās sistēmas slimībām (Revich, Shaposhnikov 2012; Baharane et al. 2020; Ayres et al. 2009)

Smalkākās daļiņas PM_{2,5} atmosfēras gaisā ir tie kas rada lielāko negatīvo ietekmi uz elpošanas sistēmu. Piemēram, dīzeļdegvielas izplūdes daļiņas un ozons, ir tieši iesaistīti astmas patoģenēzē, ko pierada vairāki epigenētiskie pētījumi. Lai arī rupjākas daļiņas (PM₁₀) netiek asociētas ar mirstību, tās tomēr izraisa problēmas plaušu normālā funkcionēšanā un negatīvi iedarbojas uz gļotādām, ka arī izraisa alerģijas putekšņu, koksnes un citu organisko vielu putekļu gadījumā (bioaerosoli). Rupjākas frakcijas daļiņas tiek aizturētas degunā un augšējos elpvados, bet smalkākas daļiņas nonāk asinritē un audos un izraisa audzējus un vēža slimības. Vairāki pētījumi norāda uz saikni starp ilgtermiņa saskarsmi ar augstu smalko daļiņu koncentrāciju un mirstību no kardiopulmonārām, kardiovaskulārām un vēža slimībām. Bet ir arī tādi pētījumi, kas liecina ka pastāv saikne starp paaugstinātu vēža saslimstību jau pie robežrādītājiem, un īpaši jūtīgas grupas ir cilvēki, kuriem ir kādas hroniskas plaušu slimības vai traucējumi. Gaisa piesārņojuma pieaugums, kas saistīts ar klimata pārmaiņām, izraisa jau esošo slimības procesu saasināšanos, paaugstina kardiorespiratoro saslimstību un mirstību gados vecākiem cilvēkiem (vecāki par 65 gadiem) – cieto daļiņu PM₁₀ koncentrācijas palielināšanās par 10 µg/m³ bija saistīta ar lielāku nāves risku, par 5,3% lielāku kā tiem, kas jaunāki par 65 gadiem. Ekonomiski neaktīviem sabiedrības dalībniekiem bija par 5,5% lielāks visu mirstību risks un par 5,6% lielāks kardiorespiratoriskās mirstības risks no 10 µg/m³ pieauguma, salīdzinot ar ekonomiski aktīviem iedzīvotājiem (Patella et al. 2018; Pope et al. 2002; Turner et al. 2011).

Ļoti nozīmīgi ir bioaerosoli, kas sastāv no dažāda veida gaisā esošām daļiņām, piemēram, vīrusiem, baktērijām, pelējuma sēnītēm, augu šķiedrām, kā arī dažāda lieluma ziedputekšņiem. Šīs bioloģiskās vielas ir saistītas ar alerģiskām un elpošanas ceļu slimībām un iedarbojas gan tieši, gan netieši uz elpceļu epitēlija šūnām. Tie arī izraisa bronhu hiperreaktivitāti, kā arī plaušu funkcijas pasliktināšanos, palielina alerģisko jutību, izraisa astmatiskās reakcijas, hroniskas obstruktīvas plaušu slimības un palielina vēža risku. Ziedputekšņu ekstraktiem, kas iegūti no pilsētu teritorijām, bija augstāka alerģiskā iedarbība nekā putekšņu ekstraktam no piepilsētu teritorijām. Mūsdienās novērojama sistemātiska novirze uz agrāku koku un ziedu ziedēšanu pilsētās, kā arī ziedēšanas ilguma izmaiņas un vairāku invazīvo sugu paradīšanās. Atkarībā no sugas strauji pieaug sporu koncentrācija gaisā un astmas attīstības varbūtība bērnos pieaug vairākkārt (Thomson et al. 2008; Yang et al. 2011; Patella et al. 2018).

Straujas un intensīvas klimata izmaiņas, kas saistītas ar globālo sasilšanu, var radīt apstākļus, kas veicina epidēmisko slimību izplatīšanos. Piemēram, spēcīgas lietussgāzes

palielina kaitēkļu izplatību, kas sekundāri piesārņo arī dzeramā ūdens krājumus. Turklāt parazitārās un vīrusu slimības ir ļoti jutīgas pret klimata izmaiņām. Vairāk kļūst izplatītas zoonozes – infekcijas slimības kas nonāk cilvēka organismā no dzīvniekiem. Zoonozes izraisa patogēns (infekciozs aģents, kā vīruss, parazīts vai baktērija) kas nonāca cilvēka organismā no cita dzīvnieka – blusas, ērces, žurkas, ar ēdienu – olas, piens, gaļa. Vienlaikus gan slimību izplatības areāls var palielināties, un slimības parādīties tur, kur tās iepriekš nebija satopamas, gan arī paši vīrusi un infekcijas jau esošās ietekmes zonās kļūst daudz dzīvotspējīgi. Dažādas gripas, rietumnīlas vīruss, mēris, jaunie koronavīrusi (piemēram, smags akūts respiratorais sindroms un tuvo austrumu elpošanas sindroms), bruceloze, sibīrijas mēris, liellopu tuberkuloze, bruceloze un daudzas citas ir zoonozes, kuru pieaugumu varam gaidīt klimata pārmaiņu efekta rezultātā (Patella et al. 2018; Robinson et al. 2020; Naicker 2011).

1.2.3. Piesārņojuma līmeni veidojošo faktoru raksturojums

Piesārņojuma līmeni var ietekmēt lokāla un reģionāla mēroga faktori. Piesārņojuma līmeni ietekmē meteoroloģiskie un topogrāfiskie faktori, kuri rodas gan globālo, gan reģionālo un lokālo iedarbību rezultātā – gaisa temperatūra, vēja režīms, Saules intensitāte un reljefs (Botkin, Keller 2005; Levin, Cotton 2009).

Lokālā mērogā, runājot par pilsētvidi, svarīgi apzināties pilsētu unikālās īpašības - pilsētās piesārņojuma izkliedes iespējas ir ļoti ierobežotas. Lielā mērā ierobežotas izkliedes iespējas nosaka gaisa masu kustība Zemes virsmas nevienmērīgās sasilšanas rezultātā. Ēkas un ceļi intensīvi uzkrāj siltumu veidojot “siltuma salas”, kas veido tipisku pilsētu gaisa masu kustību, kad aerosoli un putekļi izkrīt noteiktā attālumā no pilsētu robežām, veidojot paaugstināta piesārņojuma zonas. Vēl viena pilsētām raksturīgā parādība ir inversija. Parastos apstākļos pieaugot augstumam pazeminās temperatūra, inversijas gadījumā siltas gaisa masas pārklāj aukstākas, radot otrādu efektu, apgrūtinot piesārņojošo vielu izkliedi un tām koncentrējoties izplūdes vietās. Inversijas dēļ 2021. gada februārī Rīgā vairākas dienas bija paaugstinātas aerosolu PM_{2,5} koncentrācijas, situāciju apgrūtināja bezvēja apstākļi (Botkin, Keller, 2005; LVĢMC 2021).

Lokālā mērogā svarīgu lomu spēlē mobilie piesārņojuma avoti. Piesārņojuma līmeni lielā mērā nosaka transporta līdzekļa vecums un svars, dzinēja veids un tīrpums, kā arī tehniskais stāvoklis, svarīgs ir arī vadītāja braukšanas stils un vieta kur transports pārvietojas, kā arī laika apstākļi. Ielu uzbūve, pa kurām kustas transports, nosaka cik ātri izkļedēsies piesārņojums – jo šaurāka ir iela, un jo augstākas ir apkārt esošas ēkas, jo lēnāk tas notiks.

Stacionāro avotu gadījumā piesārņojuma līmeni nosaka dūmekļa augstums, diametrs un kādas attīrīšanas iekārtas tiek izmantotas. Nozīmīgs faktors nosakot kopējo piesārņojuma līmeni ir fona piesārņojums. Tas tiek mērīts vietās, kur lokālo avotu ietekme teorētiski nepastāv vai ir ļoti maza (Franco et al. 2013; Gómez-Losada et al. 2016).

Reģionālā līmenī nozīmīgākais faktors ir pārrobežu piesārņojums. Gaisa piesārņojums ar gaisa masām kustoties neievēro valsts robežas, tāpēc apzināties cik tieši piesārņojuma nāk no robežvalstīm ir svarīgi novērtējot kopējo piesārņojumu. Pārrobežu cieto daļiņu piesārņojumam ir liela loma kopēja fona piesārņojuma veidošanās (Chen, Huang, 2016; Baltijas Vides Forums 2011).

Gan lokālā, gan reģionālā līmenī ļoti svarīgas ir gaisa kvalitātes uzraudzības sistēmas, kas iekļauj sevī likumus, noteikumus, rīcības un attīstības programmas un plānus, kā arī kvalitatīvu monitoringu.

1.3. Piesārņojuma avotu raksturojums Rīgā

1.3.1. Pārrobežu un fona piesārņojums

Gaisa kvalitāti ietekmē ne tikai pašas valsts radītais piesārņojums, bet arī piesārņojums kas ar gaisa masām tiek atnests no robežvalstīm. Pārrobežu piesārņojums valsts līmenī veido tā saucamo fonu, kas ir pirmais piesārņojuma līmenis no kura mēs nevaram izvairīties pašu spēkiem – nav iespējams uzcelt sienas, kas pasargās valsti no robežteritoriju gaisa piesārņojuma. Kaut arī kopēja tendence gaisa piesārņojumam Baltijas valstu reģionā ir mazliet samazināties, no robežteritorijām Latvija saņem 70-90% piesārņojošo vielu. Sēra dioksīda gadījumā tikai 16% piesārņojuma tiek atnests no Baltijas jūras. Salīdzinājumam tikai 6% no Latvijā saražotā slāpekļa dioksīda tiek aiznests uz robežvalstīm (Gauss et al. 2016).

1.3.2. Stacionārie avoti

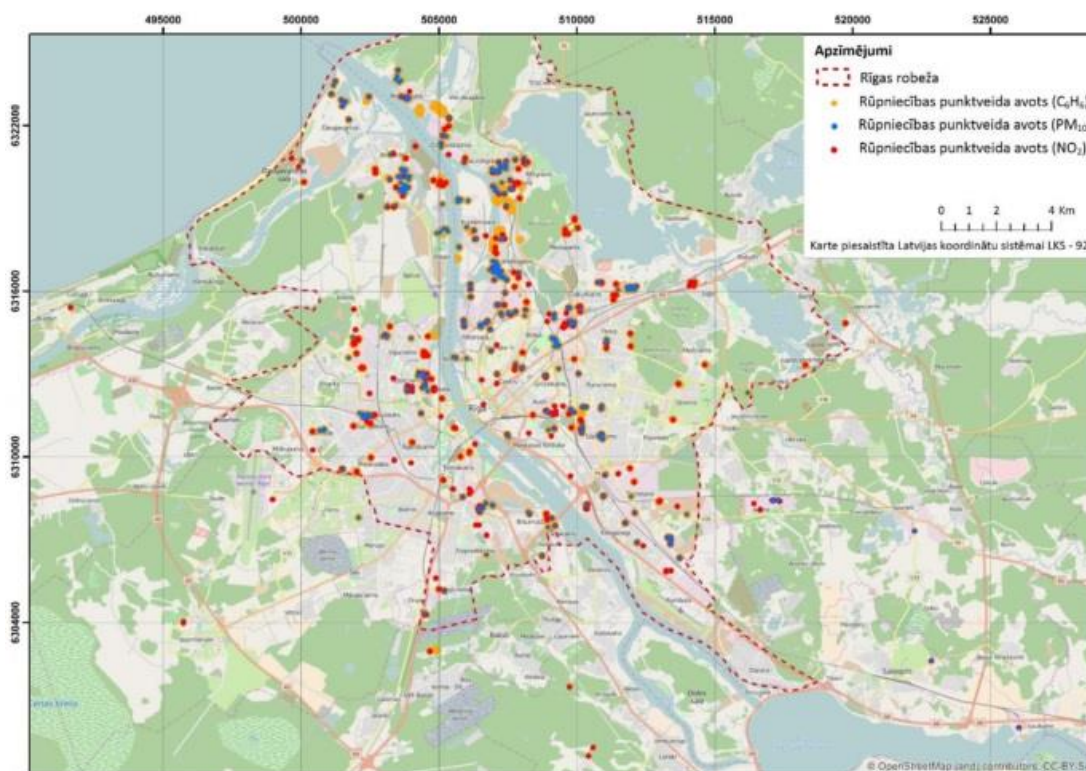
Stacionārie piesārņojuma avoti ir punktveida, laukumveida un tilpumveida avoti ar konkrētu atrašanās vietu. Dažādu iekāršu, kas emitē tieši cietās daļiņas un ir reģistrētas LVĢMC, pēc Valsts statistikas pārskatā „Nr. 2 – Gaiss” 2017. gadā Rīgā bija ap 7681 šādu avotu, bet 2019. gadā jau 9180 un to kopējās cieto daļiņu (aerosolu) emisijas daudzums sastādīja ap 3329,452 tonnu (1.1. tab.) (Valsts statistikas pārskats „Nr. 2 – Gaiss” S.a.).

Stacionāro avotu aerosolu emisiju daudzumi no 2017. līdz 2019. gadam (Valsts statistikas pārskats „Nr. 2 – Gaiss” S.a.)

Gads	Kopā, t/gadā	Iekārtu skaits	Daļiņas PM₁₀, t/gadā	Daļiņas PM_{2,5}, t/gadā
2017	3112,284	7681	2805,213	853,896
2018	3178,485	8548	2879,002	1003,453
2019	3329,452	9180	2995,711	1120,982

Stacionāros piesārņojuma avotus var iedalīt vairākās grupās, piemēram, pēc to darbības veida – siltumenerģijas ražošanas iekārtas, rūpniecības uzņēmumi un ražotnes, degvielas uzpildes stacijas, Rīgas brīvdostas (RBO) teritorijā strādājošie uzņēmumi, kā arī, atsevišķos gadījumos, lielākie tirdzniecības centri vai biroju ēkas, ja tām ir autonomas apkures sistēmas un par savu piesārņojošo darbību tās sniedz atskaites Valsts statistikas pārskatā „Nr. 2 – Gaiss”. Lielāko stacionāro piesārņotāju daļu veido siltumapgādes uzņēmumu katlu mājas, rūpnīcu un ražotņu katlu mājas, privāto māju krāsnis, katli un kurtuves. Arī celtniecības objekti ir stacionārie gaisa piesārņojuma avoti – būvlaukumi, kur notiek jaunu ēku celtniecība vai veco ēku nojaukšana, kur galvenās emisijas veido putekļi (ELLE, CERC 2016; Baltijas Vides Forums 2011).

Kā redzams 1.3. attēlā, Rīgā lokāli var izdalīt rūpniecības zonas, kurās koncentrējas rūpnīcas un ražotnes. Lielākais rūpnīcu un ražotņu skaits raksturīgs Rīgas Ziemeļu rajonam. Ziemeļu rajonā tāds ir Ganību dambis, Sarkandaugava, Vecmīlgrāvis un Jaunmīlgrāvis. Latgales priekšpilsētā – Katlakalna, Krustpils un Maskavas ielas. Kurzemes priekšpilsētā ražošana koncentrējas Ilģuciemā, Daugavgrīvas un Bolderājas rajonos.



1.3. attēls. Galvenie stacionāri rūpniecības piesārņojuma avoti Rīgā un Rīgas apkārtnē (ELLE, CERC 2016)

1.3.3. Mobilie avoti

Mobilie piesārņojuma avoti ir līnijveida avoti, kas raksturo transportēšanas ceļus, t.i., visa veida transportlīdzekļi. Rīgā un visā Latvijā reģistrēto tehniskā kārtībā esošo transportlīdzekļu skaitam un vecumam ir tendence vienmērīgi pieaugt, kā arī ar dīzeļdegvielu darbināto transporta līdzekļu īpatsvars paliek apmēram 60 %, kas negatīvi ietekmē gaisa kvalitāti saistībā ar daļiņu $PM_{2,5}$ daļiņu piesārņojumu. Tieši automašīnu dzinēju emisijas veido 30% smalkāko daļiņu $PM_{2,5}$ emisiju, lielākoties no ar dīzeļdegvielu darbinātā autotransporta. Autotransports kustoties paceļ gaisā rupjās frakcijas aerosolus, kā uz ceļiem esošos putekļus, ceļmalās esošās augsnes daļiņas, ziemas kaisīšanas sāls un smilts materiālu. Transporta riepām saskarsmē ar ceļā segumu notiek abrāzijas procesi, kas paceļ gaisā uz riepām esošos dubļus, putekļu daļiņas un riepu gumijas daļiņas (CSDD S.a.; UNECE 2014; Krzyzanowski et al. 2005). Pēdējo gadu reģistrēto transporta līdzekļu skaits attēlots 1.2. tabulā.

Reģistrēto transporta līdzekļu skaits Rīgā (CSDD S.a.)

Gads	Vieglie	Kravas	Autobusi	Motocikli un tricikli	Piekabes un puspiekabes	Kvadricikli	Mopēdi	Kopā
2018	217063	33155	1667	7777	17524	295	4722	282203
2019	220218	33713	1650	8646	17854	306	4969	287356
2020	222015	33432	1501	9383	18280	307	5181	290099

Lielāka transporta plūsmas intensitāte novērojama uz Salu un Akmens tiltiem, Kārļa Ulmaņa gatves, 11. novembra krastmalas, Eksporta, Krasta, Lāčplēša, Brīvības, Valdemāra, Ieriķu un citām ielām. Vislielākā kravas auto intensitāte uz Salu tilta, Kārļa Ulmaņa gatves, Ganību dambja, Pulkveža Brieža, Lubānas, Augusta Deglava, Maskavas, Gunāra Astras un citām ielām (ELLE, CERC 2016).

1.3.4. Gaisa kvalitātes monitorings Rīgā

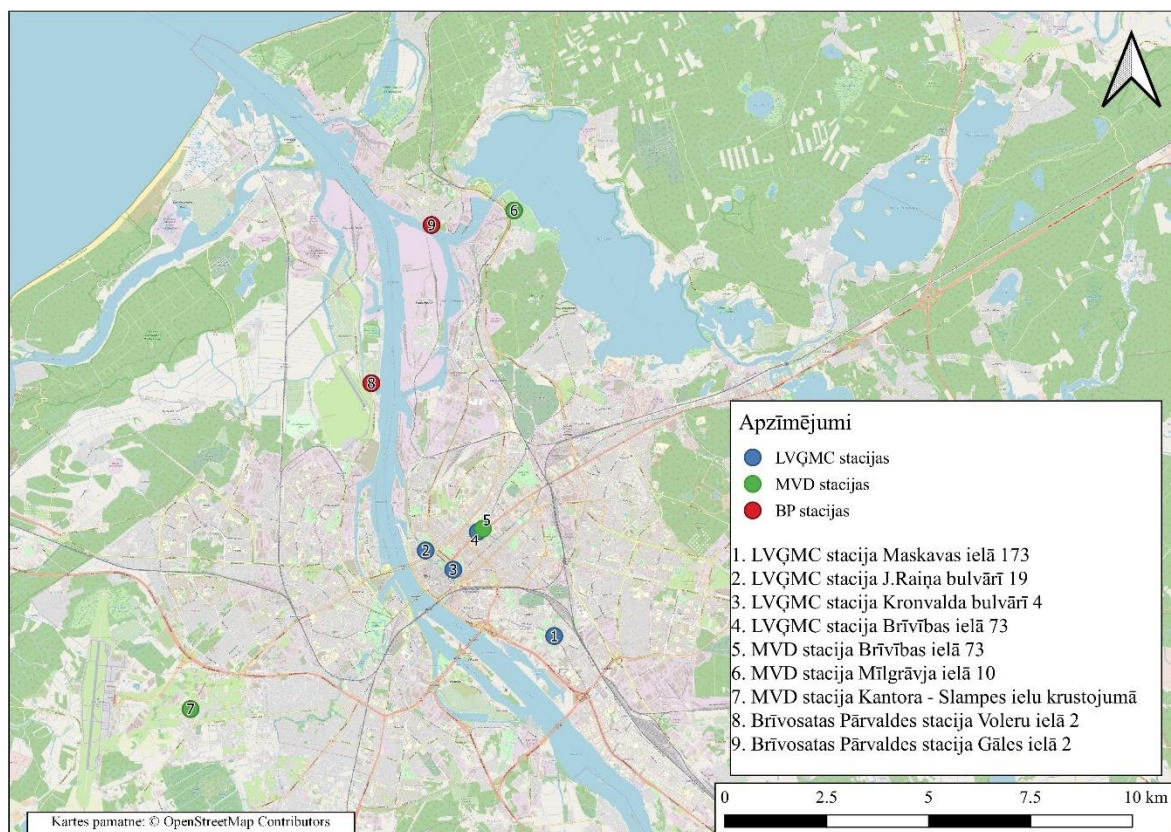
Rīgas gaisa kvalitātes monitoringa Valsts tīkla ietvaros nodrošina Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs (LVĢMC) četrās stacijās. Rīgas pilsētas centrā monitorings tiek veikts Raiņa bulvārī 19, Kronvalda bulvārī 4 un Brīvības ielā 73. Viena stacija atrodas Ķengaraga rajonā Maskavas ielā 165 uz LVĢMC biroja ēkas. Raiņa bulvārī un Ķengaragā mēra sēra dioksīdu, slāpekļa dioksīdu, ozonu, benzolu, toluolu un p-ksilolu. Stacijās Kronvalda bulvārī un Brīvības ielā mēra aerosolus – PM₁₀ un PM_{2,5} daļiņas, kā arī veic šo daļiņu laboratorisko analīzi uz smagiem metāliem, benz(a)pirēnu un policikliskiem aromātiskiem ogļūdeņražiem, kā arī Kronvalda ielas stacijā veic paplašinātu ķīmisko analīzi tur savāktiem nokrišņiem, arī gaisa kvalitātes monitoringa ietvaros (LVĢMC 2021^b).

Patlaban tikai stacija Kronvalda ielā pilnībā atbilst starptautiski pieņemtiem un MK noteikumu Nr.1290 novietojuma kritērijiem, tāpēc ES Kohēzijas fonda ietvaros 2021. gadā plānoti tīkla modernizācijas pasākumi. Stacijas Raiņa bulvārī un Ķengaraga tiks slēgtas, jo patlaban tās novietotas daudz augstāk kā cilvēka elpošanas zona (līdz 4 metriem) uz ēku jumtiem. Stacija Brīvības ielā tiks slēgta, jo novietota pārāk tuvu krustojumam, kas nenodrošina pietiekamu piesārņojuma sajakšanos ar gaisu, lai dati tiktu uzskatīti par

reprezentatīviem. Modernizācijas ietvaros esošā Kronvalda ielas stacijā jaunā konteinerā tiks ievietota mērījumu aparatūra priekš SO₂, NO/NO₂/NO_x, O₃ un benzola mērījumiem, kā arī jauna PM₁₀ un PM_{2.5} aparatūra, kas darbosies ar stundas ekspozīciju (patlaban visi aerosolu mērījumi valsts tīklā darbojas tikai ar diennakts ekspozīciju). Savukārt transporta ietekmi mērīs pavisam jaunā stacijā Valdemāra ielā 65 – tā tiks nodrošināta ar mēraparatūru, kas mērīs mērījumu NO/NO₂/NO_x, CO, O₃, benzolu un daļiņas PM₁₀. Mērījumi šeit arī tagad būs ikstundas. Papildus tiks uzstādīta liela apjoma diennakts PM₁₀ paraugu ņemšanas ierīce, kas ļaus laboratorijai veikt biežākas analīzes (LVGMC 2021^b).

LVGMC nav vienīgā iestāde, kas veic gaisa kvalitātes monitoringu Rīgā. Rīgas Domes Mājokļu un vides departaments (MVD) veic indikatīvos mērījumus trīs monitoringa stacijās Mīlgrāvja ielā 10, Brīvības ielā 73 un Pārdaugavā Kantora - Slampes ielu krustojumā. Visās stacijās tiek mērīti sēra dioksīds, slāpekļa dioksīds, ozons, benzols, toluols, p-ksilols un daļiņas PM₁₀. Daļiņas PM_{2.5} tiek mērītas Pārdaugavas stacijā (Mājokļu un vides departaments 2020).

Rīgā atrodas arī divas speciālas nozīmes monitoringa stacijas Brīvostas Pārvaldes (BP) teritorijā kas mēra rūpniecisko piesārņojumu, un ir vairākas privātas stacijas Brīvostas uzņēmumu teritorijās par kurām informācija netiek publiskota. Šīs stacijas ir domātas lai regulētu pašu uzņēmumu darbību. Brīvosta reizi pusgadā iesniedz monitoringa rezultātus Valsts vides dienestam un Rīgas Domei (Mājokļu un vides departaments 2020). Gaisa kvalitātes monitoringa staciju izvietojums Rīgā atrodams 1.4. attēlā.



1.4. attēls. Rīgas gaisa kvalitātes monitoringa staciju izvietojums (izstrādāja autore uz *Open Street Map* pamatnes (OpenStreetMap Contributors 2015))

1.4. Gaisa piesārņojuma vides politika un prasības Latvijā

1.4.1. Likumdošana

Latvijas vides politiku ietekmē ANO globālā vides aizsardzības politika un Latvijas kā ES dalībvalsts statuss. Visas gaisa piesārņojuma emisijas no mājsaimniecībām, transporta, enerģijas ražošanas sektora un rūpniecības tiek reglamentētas, īpašu uzmanību pievēršot pārrobežu piesārņojuma problēmai. ES politikas galvenais mērķis ir samazināt gaisa piesārņojuma negatīvo ietekmi uz cilvēka veselību un vidi. Nozīmīgākā direktīva ir Direktīva (ES) 2008/50/EK par gaisa kvalitāti un tīrāku gaisu Eiropai, kuras svarīgākais normatīvs attiecas uz cietām daļiņām PM_{2.5}. Direktīvā publicētie Eiropas Kopienas pasākumu klāsts kas vērsts uz gaisa kvalitātes uzlabošanu un esošo normu stiprināšanu visos emisiju sektoros (Direktīva (ES) 2008/50/EK). No šīs direktīvas izriet tā saucamā *NEC* direktīva par gaisu piesārņojošo vielu valstu emisiju samazināšanu, kas nosaka ES dalībvalstu atbildību un mērķus, kā arī paredz gaisa aizsardzības un piesārņojuma pārvaldības plānu izstrādi (Direktīva (ES) 2016/2284).

Eiropas Parlaments pieņēma vairākas direktīvas, kas vērstas uz rūpniecisko emisiju samazināšanu un kontroli, kā arī konkrētu iekārtu darbības regulējumu un sēra satura samazināšanu šķidrā kurināmā (Direktīva 2010/75/EK; Direktīva (ES) 2015/2193/EK; Direktīva (ES) 2016/802). Īpaša uzmanība tiek pievērsta smago metālu, policiklisko ogļūdeņražu, ozona slāni noārdošām vielu, kā arī fluorēto siltumnīcefekta gāzu emisijām un to novērošanai (Direktīva (ES) 2004/107/EK; Regula (EK) Nr. 1005/2009; Regula (EK) Nr. 517/2014).

Reglamentējot gaisa kvalitāti vairākās valstīs vienlaikus, svarīga ir standartizēta, vienota pieeja datu ievākšanai, pārbaudei, sākot ar monitoringa staciju izvietojumu valsts teritorijā, un beidzot ar datu ziņošanu. Šo apsvērumu kontekstā ES pieņēma noteikumus, kas nosaka standartmetodes, datu validēšanas kārtību, skaidrus un konkrētus staciju novietojuma kritērijus, kā arī ieviesa vienotu piesārņojumā reģistru un informācijas apmaiņas kārtību (Direktīva (ES) 2015/1480; Regula (EK) Nr. 166/2006; Īstenošanas lēmums 2011/850/ES).

1994. gadā Latvija pievienojās Ženēvas konvencijai par robežšķērsojošo gaisa piesārņošanu lielos attālumos, kas iekļauj arī vairākus protokolus un uzliek par pienākumu dalībvalstis ziņot par gaisa piesārņojošo vielu emisijām un nosaka nākotnes emisiju samazināšanas mērķus. Svarīgākais protokols ir saistīts ar kopējās novērošanas un

novērtēšanas programmas finansēšanu jeb EMEP, ko Latvija pieņēma 1997. gadā. Ženēvas konvencijas ietvaros mums ir saistošas arī speciālās Starptautiskās Sadarbības Programmas (*International Cooperative Programmes (ICPs)*):

- a. Gaisa piesārņojuma ietekmes uz ekosistēmām izpētes sadarbības programma (*International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems, ICP Integrated Monitoring*),
- b. Gaisa piesārņojuma ietekmes uz dabisko veģētāciju un graudaugiem sadarbības programma (*International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops, ICP Vegetation*), GAISA MONITORINGA PROGRAMMA 11.lpp. - Gaisa piesārņojuma ietekmes uz upju un ezeru paskābināšanās novērojumu un novērtējumu sadarbības programma (*International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Acidification of Rivers and Lakes, ICP Waters*),
- c. Kritisko slodžu un līmeņu, gaisa piesārņojuma ietekmes, risku un trendu modelēšanas un kartēšanas sadarbības programma (*International Cooperative Programme on Modelling and Mapping of Critical Loads and Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends, ICP Modelling and Mapping*) (Ženēvas konvencija.. 1979; Par pievienošanos.. 1994; Par Kopējās programmas.. 1979; Par 1979. gada.. 1997).

Ar valsts neatkarības atgūšanu tika izstrādāts vides likumu klāsts, kas vēl pirms sadarbības ar ANO un ES bija pietiekami labā līmenī. Atkarībā no direktīvu un konvenciju prasībām tie tika modificēti un paplašināti, un visi Latvijas noteikumi un likumi pilnīgi atbilst direktīvu prasībām. Šodien gaisa kvalitātes prasības Latvijā nodrošina un reglamentē Vides aizsardzības likums un likums Par piesārņojumu (Vides aizsardzības likums 2006; Par piesārņojumu 2005) un virkne Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumu. MK noteikumos Nr.1290 par gaisa kvalitāti ir noteikti visi normatīvi (1.3. tab.) (atbilstoši ES Direktīvu prasībām), kā arī staciju izvietojuma kritēriji un gaisa kvalitātes uzlabošanas pasākumu klāsts (Noteikumi par gaisa.. 2009).

Gaisa kvalitātes normatīvi piesārņojošām vielām ES un LR (Noteikumi par gaisa.. 2009)

Laika intervāls	SO ₂ , μg/m ³	NO ₂ , μg/m ³	O ₃ , μg/m ³	CO, μg/m ³	Cietās daļiņas PM10, μg/m ³	Cietās daļiņas PM2.5, μg/m ³	Benzols, μg/m ³	Toluols μg/m ³	Formaldehīds, μg/m ³
30 min normatīvs	-	-	-	-	-	-	-	-	100
1 h normatīvs	350	200 μg/m ³ ne vairāk kā 18 reizes gadā	-	-	-	-	-	-	-
8 h normatīvs	-	-	120 ne vairāk kā 18 reizes gadā	10 000	-	-	-	-	-
24 h normatīvs	125	-	-	-	50 ne vairāk kā 35 reizes gadā	-	-	-	-
1 nedēļa	-	-	-	-	-	-	-	260	-
Gada normatīvs (ziemas sezonā)	20	40	-	-	40	25	5	-	-

Līdzīgi kā visā Eiropā Latvijas normatīvos ir noteikumi attiecībā uz konkrētām vielām un to ietekmi, kā arī dažādas jaudas iekārtām (Noteikumi par sēra.. 2006; Noteikumi par gaistošo.. 2007; Noteikumi par īpašiem.. 2011; Noteikumi par gaisa.. 2021). Ir pieņemtas vairākas normas, kas izriet no augstāk minētām ES direktīvām un regulām, kas nosaka vides monitoringa, datu uzskaites un ziņošanas kārtību, zonēšanu, kā arī piesārņojošās darbības pārvaldību un uzskati (Noteikumi par prasībām.. 2009; Kopējo gaisu.. 2018; Par gaisa kvalitātes.. 2015; Kārtība, kādā piesakāmas.. 2010).

Piesārņojuma robežlielumus 2006. gadā noteica arī Pasaules Veselības Organizācija, kuri balstīti uz pētījumu rezultātiem par piesārņojuma ietekmi uz cilvēka veselību. Šīs vērtības ir daudz zemākas (1.4. tab.) par ES un LR pieņemtām un tām ir ieteikuma raksturs, un kā starptautiskie standarti tie netiek lietoti. PVO atšķirībā no ES nosaka diennakts robežlielumu PM_{2,5}, kā arī iesaka samazināt PM₁₀ pieļaujamo pārsniegumu skaitu no 35 reizēm līdz 3 reizēm.

**Gaisa kvalitātes normatīvi piesārņojošām vielām ES un PVO (Noteikumi par
gaisa.. 2009; WHO 2006)**

Piesārņojošā viela	Periods	PVO pamatnostādnes µg/m ₃	ES un LR robežvērtības µg/m ₃	Reižu skaits gadā, kad atļauts pārsniegt ES un LR normatīvus
NO ₂	1 gads	40	40	–
	1 stunda	200	200	18
O ₃	8 stundas	100	120	25
PM ₁₀	1 gads	20	40	–
	24 stundas	50	50	35
PM _{2,5}	1 gads	10	25	–
	24 stundas	25	–	–
SO ₂	24 stundas	20	125	3
	1 stunda	–	350	24
	10 minūtes	500	–	–

1.4.2. Vides politikas prioritātes un gaisa kvalitātes uzlabošanas pasākumi

Vides politika Latvijā ietver vides aizsardzības un saglabāšanas stratēģijas, principus, programmas, plānus, vadlīnijas un citus plānošanas dokumentus. Galvenie nacionālā līmeņa dokumenti ir Latvijas ilgtspējīgās attīstības stratēģija līdz 2030. gadam un Nacionālais attīstības plāns līdz 2020. gadam, kas šogad tiek pārskatīts. Šie dokumenti, kopā ar likumu “Par piesārņojumu” nosaka pamatprincipus un prioritātes vides politikas dokumentu izstrādei. Viens no svarīgākajiem dokumentiem ir Vides politikas nostādnes 2014. – 2020. gadam - pie jaunas versijas arī strādā. Rīgas domes izstrādātiem vides un attīstības politikas dokumentiem jāatbilst 1.4.1. apakšnodaļā minētiem dokumentiem un nacionāla līmeņa plānošanas dokumentiem.

Gaisa kvalitātes uzlabošana definēta kā prioritāte vairākos ar vidi tieši nesaistītos dokumentos, ko izstrādāja Rīgas dome, kā:

- Rīgas attīstības programma 2014.-2020. gadam;
- Rīgas ilgtspējīgās attīstības stratēģija līdz 2030. gadam.

Analizējot Rīcības programmu 2004. līdz 2009. gadam tika secināts, ka tā nav nesusi gaidītos gaisa kvalitātes uzlabojumus. Nākošam periodam, no 2010. līdz 2014. gadam, izstrādāta programma, kas tika arī aktualizēta, arī nav sasniegusi izvirzītos mērķus (Pīlupa 2014).

Viens no mērķiem bija samazināt transporta plūsmu Rīgas centrā, ko realizēja tikai dažās ielās, pārējās ielās transporta plūsma palielinājās, dažviet par pat 40%. 2008. gadā izbūvētā Dienvidu tilta sagaidāmā efektivitāte (transporta novirze no Rīgas vēsturiskā centra), nav attaisnojusies. Pozitīva ietekme bija politiska līmeņa pasākumiem, kas aktualizēja un izvirzīja kā prioritāti gaisa piesārņojuma problēmu risināšanu. Kā arī samērā efektīvi tika īstenota smagā transporta kustības ierobežošanā Rīgas centrā. Pasākumi kopumā realizēti daļēji un gaisa kvalitātē nebija novērojami uzlabojumi (Pīlupa 2014).

Pēdējā Rīcības programmā definētas sekojošas prioritātes, un zem katras definēti iespējamie pasākumi gaisa kvalitātes uzlabošanai:

- autotransporta radītā gaisa piesārņojuma samazināšana;
- sabiedriskā transporta radītā gaisa piesārņojuma samazināšana;
- rūpniecības objektu (t.sk. centralizētās siltumapgādes uzņēmumu) radītā gaisa piesārņojuma samazināšana (ELLE, CERC 2016).

NEC direktīva ir viens no galvenajiem ES pārvaldības instrumentiem attiecībā uz dalībvalstu atbilstību to emisiju samazināšanas mērķiem, ko dalībvalstis sev nozīmēja periodam no 2020. līdz 2029. gadam un turpmāk pēc 2030. gada (Direktīva (ES) 2016/2284). Šie mērķi tika formulēti Nacionālā gaisa piesārņojuma kontroles programmā, ko Latvija veiksmīgi nodeva Komisijai 2020. gada aprīlī. Komisija savukārt mūsu dokumentu ir izvērtējusi veicot scenāriju modelēšanu un sniedzot priekšlikumus un slēdzienus. Pēc izvērtējuma Latvija savus nospraustos mērķus nenasniegs pār 5%. Latvija saņēma arī aizrādījumu, ka šī dokumenta izstrādē netika veiktas konsultācijas ar robežvalstīm par pārrobežu piesārņojumu, kas ES līmenī ir svarīgs jautājums, it īpaši ņemot vērā, ka kā jau minēts sadaļa 1.3. Latvijā pārrobežu piesārņojums veido 70-90% visa piesārņojuma (European Commission 2020).

2. MATERIĀLI UN METODEDES

2.1. Pētījuma vietas raksturojums

Aerosolu izplatību būtiski ietekmē pilsētas klimats, un vienu no galvenajām lomām spēlē vēja režīms. Pilsētas uzbūves un īpatnēju īpašību dēļ mikroklimats tajā ir savdabīgs un ir galvenais noteicējfaktors piesārņojuma izplatībā, dispersijā un daudzumā (Botkin, Keller 2005).

Rīga atrodas mēreni siltā un mēreni mitrā klimatiskajā zonā. Tā ir izvietojusies Piejūras zemienē, kur gaisa temperatūru, nokrišņus un citus meteoroloģiskos elementus nosaka Baltijas jūras un Atlantijas okeāna gaisa masu ieplūšana, it īpaši vasaras un ziemas sezonā. Pēc 30 gadu perioda no 1986. līdz 2015. gadam vidējā gaisa temperatūra ir 7,4°C, par grādu siltāk nekā pārējā Latvijas teritorijā. Gada griezumā augstākās temperatūras novērojamas pilsētas centrā. Vissiltākais mēnesis ir jūlijs, savukārt aukstākie mēnesi ir janvāris un februāris. Biežāk Saule spīd vasaras sezonā, bet rudens sezonas beigās un ziemas sākumā to var redzēt tikai 2-3 stundas dienā. Nokrišņu daudzums svārstās no 640 līdz 720 mm. Kā ar temperatūru, nokrišņu vairāk ir centrā, un tie notiek vidēji katru otro dienu. Visvairāk nokrišņi izkrīt no oktobra līdz janvārim, bet lielākais nokrišņu daudzums vērojams jūlijā. Vidējais relatīvais mitrums – 80%. Vērtējot novērojumu datus par laika posmu no 1945. līdz 2000. gadam migla novērojama vidēji 2-4 dienas mēnesī, vairāk pavasarī un rudenī (Baltijas Vides Forums 2011; ELLE, CERC 2016).

Pēc perioda no laikā no 1980. gada līdz 2010. gadam valdošie vēji Rīgā ir dienvidu. Stiprāk pūš novembrī, decembrī un janvārī, vidēji 4,6-4,8 m/s, maksimāli vēja ātrums var sasniegt līdz 26 m/s. Vējš pūš biežāk dienas laikā, un naktīs piesārņojums akumulējas, jo izkliede notiek lēnāk. Bezvēja un lēna vēja apstākļos notiek inversija (temperatūra ar augstumu pazeminās), kas neļauj piesārņojumam aizplūst augstākos atmosfēras slāņos, biežāk tas notiek pavasarī un rudenī. Mazākais vēja ātrums konstatēts vasaras sezonā, kā arī vasarā visbiežāk novērojams bezvējš, kas varētu nozīmēt ka vasarās gaisa piesārņojuma jautājums kļūst vēl aktuālāks. Tomēr nozīmīgs daudzums stacionāru avotu vasarā netiek darbināti, tāpēc reti novērojams paaugstināts gaisa piesārņojums. Aerosolu piesārņojums pieaug ziemā un pavasarī, ko reģistrē monitoringa stacijas Brīvības ielā un Kronvalda bulvārī (Baltijas Vides Forums 2011; LVGMC 2021; ELLE, CERC 2016).

Lielākā daļa Rīgas atrodas Piejūras zemienes Rīgavas līdzenumā. Ropažu līdzenumā atrodas pilsētas austrumu un dienvidaustrumu daļa. Reljefu veido plakani un lēzeni viļņoti, dažviet pārpurvoti, līdzenumi ar augstumu no 1 līdz 11 m.v.j.l.. Ainavu bagātina vairākas kāpas, kapu grēdas un masīvi, kas augstumā sasniedz 28 m.v.j.l. un izvietojās gar Daugavas krastiem (galvenokārt Pārdaugavas pusē) un Ķīšezera-Juglas ezeru kompleksa krastiem – tādas kā Jaunciema, Baložkalna, Mežaparka, Juglas, Biķernieku kāpas (Baltijas Vides Forums 2011; ELLE, CERC 2016)

Rīgu šķērso 31 km garumā Daugavas upes ieleja, nemeandrējot, ar tās pietekām, un kopumā ūdens objekti kopā ar ezeriem, purviem, karjeriem, dīķiem un citiem objektiem aizņem 15,7% no pilsētas platības. Lielākās Daugavas pietekas ir Mīlgrāvis un Buļļupe. No galvenās gultnes atdalās vairāki atzari un atekas: Mazā Daugava, Bieķengrāvis, Zunds, Hapaka grāvja lejtece, Beķera grāvis, Kojusalas grāvis, Sarkandaugava, Vecdaugava. Kopējais upju garums pilsētā ir 96,4 km. Daugavā izveidojās arī salas Zaķusala, Lucavsala, Ķīpsala un Kundziņsala. Pilsētas ziemeļos atrodas lielākie pilsētas ezeri – Juglas ezers (5,7 km²) un Ķīšezers (17,4 km²). Ir arī vairāki nelieli ezeri – Bābelītis, Gaiļezers, Linezers un Velnezers (Baltijas Vides Forums 2011; ELLE, CERC, 2016).

2.2. Pozitīvas matricas faktorizācijas modeļu raksturojums

Dotā darbā tika izvēlēti divi pozitīvās matricas faktorizācijas modeļi - ASV Vides Aizsardzības Aģentūras izstrādātais brīvi pieejamais modelis *EPA PMF 5.0* un uz *Datalystica* modelis *SoFi Standard 8.0*. *Datalystica* modelis nav brīvpieejas – licence dota zinātniskiem nolūkiem (Canonaco et al. 2013), un tam ir nepieciešamas palīgprogrammas – bāzes programma *Igor Pro* (iepazīšanās licence dota uz 30 dienām) un Dr. Paatero izstrādātais *ME-2* instruments, bez kura *.key* atslēgas nav iespējams modeli izmantot (atslēga dota uz 1 gadu).

Abi modeļi darbojas pēc vienāda principa un var analizēt plaša spektra vides datus: sedimentus, slapjo depoziciju, ūdens rādītājus, un protams gaisa rādītājus. Modeļi pirmkārt veidoti lai strādātu ar gaisa un ūdens kvalitātes rādītājiem, bet ir pielietojami pat kriminalistikā. Teorijā, tie ļauj ar augstu ticamību kvantitatīvi noteikt katra piesārņojuma avota ieguldījumu kopējā piesārņojuma līmenī (Norris et al. 2014).

Pozitīvas matricas faktorizācijas (PMF) modeļu pamatā ir lineārs vienādojums. Vārds “pozitīvs” modeļu nosaukumā nozīmē, ka modelēšanai der tikai pozitīvi, skaitliski dati – kategoriskus datus izmantot nav iespējams. PMF ir receptora modelis, kas balstās uz mazākā

svērtā kvadrāta veselā, kur svērtās vērtības tiek ņemtas no analītiskām nenoteiktībām. PMF tiek aprēķināts sekojošs masas bilances vienādojums:

$$\begin{array}{c}
 X = G F + E \\
 \swarrow \quad \downarrow \quad \searrow \\
 (m \times n) \quad (m \times p) \quad (p \times n)
 \end{array}
 \tag{1}$$

kur:

- X – ievaddatu matrica;
- G – katra faktora ieguldījums paraugā, skaita programma;
- F – katra faktora profilu matrica, skaita programma;
- E – pārpalikumi;
- n – vielu, savienojumu skaits;
- m – paraugu skaits;
- p – faktoru skaits (Norris et al. 2014; Gianini et al. 2012).

Vienādojumā X ir ievaddatu matrica, kuru veido paraugu analīžu rezultāti, un kur ir redzams to sastāvs – piemēram, galvenie anjoni un katjoni, smagie metāli, savienojumi. Šo matricu modelis sadala vispirms G , kas ir katra faktora jeb avota kopējais ieguldījums paraugā un pareizina to ar F , kas ir katra faktora profila matrica visam novērojumu periodam (Norris et al. 2014; Gianini et al. 2012). Profils parāda, kādas vielas un savienojumi veido šo faktoru jeb avotu, un pēc šī profila, izmantojot *SPECIEUROPE 2.0* Eiropas aerosolu avotu profilu brīvpieejas datu bāzi modelētājs var noteikt kādam avotam atbilst profils (Pernigotti et al. 2016). Faktoru skaitu p modelētājs izvēlas atbilstoši modelēšanas rezultātiem pats. PMF modeļi ņem vērā arī pārpalikumus E – tas ir viss kas neiederas modelī un nevarēja būt attiecināms pie kāda faktora (Norris et al. 2014; Gianini et al. 2012).

PMF modeļi pēc iespējas minimizē pārpalikušo E , kas svērts ar mērījumu nenoteiktības matricu – S . Nenoteiktība PMF modeļu gadījumā nebūt nav tas pats, kas ir analītiskā nenoteiktība, pie kuras esam pieraduši. Šī nenoteiktība tiek piešķirta vai nu laboratorijā pie analīžu rezultātiem, vai tiek aprēķināta. Nenoteiktībai jābūt katram paraugam, katrai vielai veidojot atsevišķu matricu. Atbilstoši *EPA PMF 5.0* lietotāja rokasgrāmatā rakstītajam, ja šo rādītāju nav iespējams iegūt no laboratorijas, tad var izmantot Reff et al. 2007 publikāciju (Norris et al. 2014).

Mērījumu nenoteiktības matricas komponenti dotā darbā tika aprēķināti izmantojot sekojošu formulu, ko piedāvā izmantot Reff et al. 2007 un tieši iesaka izmantot *SoFi Standard 8.0* rokasgrāmatā:

$$\delta_{ij} = 0.3 \times DL_{ij}, \quad (2)$$

kur:

- δ_{ij} – nenoteiktība;
- DL_{ij} - metodes detektēšanas robeža (Reff et al. 2007; Datalystica Ltd. 2020).

2.3. Monitoringa datu apstrāde

Darba ietvaros tika izmantoti nokrišņu paraugu analīžu rezultāti to atmosfēras gaisa monitoringa stacijas Kronvalda ielā. Parasti PMF nolūkiem lieto sauso depoziātu, bet nokrišņu analīžu rezultātiem tika dota priekšroka, jo mērāmo vielu un savienojumu klāsts ir plašāks un reprezentatīvāks attiecībā uz potenciāliem avotiem. Aerosolu sausie depoziāti veido tikai nelielu daļu no kopējā piesārņojuma (Saylor et al. 2019). Pēc vairākiem pētījumiem mitrā frakcijā atrodas no 79 līdz 95% $PM_{2,5}$ aerosolu (Zhang et al. 2001; Pleim, Ran 2011; Petroff, Zhang 2010) un noteikta cieša korelācija starp PM_{10} sastāvā esošiem smagiem metāliem un metālu koncentrācijām nokrišņos (izņemot hromu pie $r > 0,8$) (Farahmandkia et al. 2010), kas nozīmē, ka nokrišņu sastāvs, un secīgi arī avotu sadalījums, lielā mērā var reprezentēt visus aerosolus. Tomēr pastāv atšķirības – piemēram, nokrišņos visticamāk vairāk dominēs svaiga jūras sāls, bet veca sāls kas atmosfēras gaisā piedalījās ķīmiskajās reakcijās dominēs $PM_{2,5}$ cietā frakcijā. Vislabāk faktorizācijas metodi pielietot kompleksi gan nokrišņu analīzēm, gan cieto daļiņu analīzēm, tomēr Latvijas apstākļos cietai frakcijai veic ļoti limitētu analīžu klāstu, atšķirībā no nokrišņiem (Corral et al. 2020; Saylor et al. 2019).

Pavisam tika izmantoti 35 paraugi, kas tika veikti 2019. gadā. Datumi ievaddatu matricā ir novērojuma perioda sākuma datumi, ar vienas nedēļas ekspozīciju. Ievaddatu matrica ar analīžu rezultātiem atrodama 1. pielikumā. Analīzes tika veiktas 12 rādītājiem:

- smagie metāli - arsēns Ar, niķelis Ni, kadmījs Cd un svins Pb,
- amonija slāpeklis N-NH₄,
- nitrātu slāpeklis N-NO₃,
- sulfātu sērs S-SO₄,
- joni - kalcijs Ca, kālijs K, magnijs Mg, nātrijs Na un hlors Cl.

Pavisam datu kopā bija 14 trūkstoši datu punkti, pēc Brown et al. 2015 tie tika aizvietoti ar mediānu, un to nenoteiktība tika aprēķināta kā četrkārtīga mediāna. Pārējiem datiem nenoteiktība tika aprēķināta pēc sadaļā 2.2. minētas formulas. Aprēķinam tika izmantotas metodes detektēšanas robežas kas publicētas Norvēģijas Gaisa pētījumu institūta EBAS datu bāzē, kur Latvija ziņo ikgadēji (Brown et al. 2015; Tørseth et al. 2012). Nenoteiktību matrica atrodama 2. pielikumā.

Nitrātu slāpekļa N-NO₃ un amonija slāpekļa N-NH₄ koncentrācijas tiek attēlotas miligramos uz litru slāpekļa. Lai datus varētu izmantot modelēšanā, tie tika transformēti pēc Kvīnslendas Vides un zinātņu departamenta mērvienību konversiju rokasgrāmatas nitrātā NO₃ un amonijā NH₄ miligramos uz litru ūdens. Sulfātu sērs S-SO₄ tika transformēts līdzīgi – pēc Kolorādo štata universitātes sēra kalkulatora (The Department.. 2018; College of Veterinary.. S.a.). Konversijas koeficienti attēloti zemāk 2.1. tabulā.

2.1. tabula.

Konversijas koeficienti nitrātu slāpeklim, amonija slāpeklim un sulfātu sēram (The Department.. 2018; College of Veterinary.. S.a.).

Viela	Konversijas koeficients
1 mg/l N-NO ₃	4,43 mg/l NO ₃
1 mg/l N-NH ₄	1,29 mg/l NH ₄
1 mg/l S-SO ₄	3 mg/l SO ₄

3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

3.1. Faktoru skaita izvēle *EPA PMF 5.0*

Kā minēts 2.2. nodaļā, izmantojot PMF modeli, modelētajam pašam jāizvēlas faktoru jeb potenciālo avotu skaits. Neko nezinot par pētījuma vietas avotu sadalījumu to iespējams izdarīt, izmantojot *EPA PMF 5.0* rīku *Bootstrap*. Tas ir vienkāršs statistiskais paņēmieni, kura pamatā ir atkārtota modelēšana, kura ietvaros tiek aprēķināts cik reizes rezultāti bija vienādi. *Bootstrap* rezultāti parāda, vai izvēlētais faktoru skaits un sadalījums ir atbilstošs, ja modelis atpazīna vienu un to pašu faktoru lielākā daļā scenāriju (Norris et al. 2014). *Bootstrap* analīze veikta ar 100 atkārtojumiem un piecu faktoru risinājums pierādīja sevi kā visatbilstošākais (3.1. attēls). Modelējot pirmo faktoru *EPA PMF 5.0* to atpazīna kā pirmo faktoru 91 no 100 reizēm, modelējot otro – 90 no 100 reizēm, ceturto – 95 no 100 reizēm, un piekto – 86 no 100 reizēm. Kaut arī trešais faktors ir ar zemu *Bootstrap* rezultātu (33 no 100 reizēm), tika izvēlēts izmantot modelēšanai piecus faktorus – pie citu faktoru skaita veicot modelēšanu atkārtoti modelis neatpazīna faktorus, kā vienus un tos pašus, un visi faktori pārklājās viens ar otru.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Unmapped
Boot Factor 1	91	1	0	2	0	2
Boot Factor 2	3	90	0	3	0	0
Boot Factor 3	6	14	33	16	6	21
Boot Factor 4	1	0	0	95	0	0
Boot Factor 5	3	3	0	0	86	4

3.1. attēls. *Bootstrap* analīzes rezultāti pie piecu faktoru risinājuma (izdruka no programmas *EPA PMF 5.0*).

Otrs svarīgs rādītājs, kas noder faktoru skaita izvēlē un turpmāk arī rezultātu analīzē ir funkcija Q , kas ir sekojoša:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[\frac{x_{ij} - \sum_{k=1}^p g_{ik} f_{kj}}{u_{ij}} \right]^2 \quad (3)$$

kur:

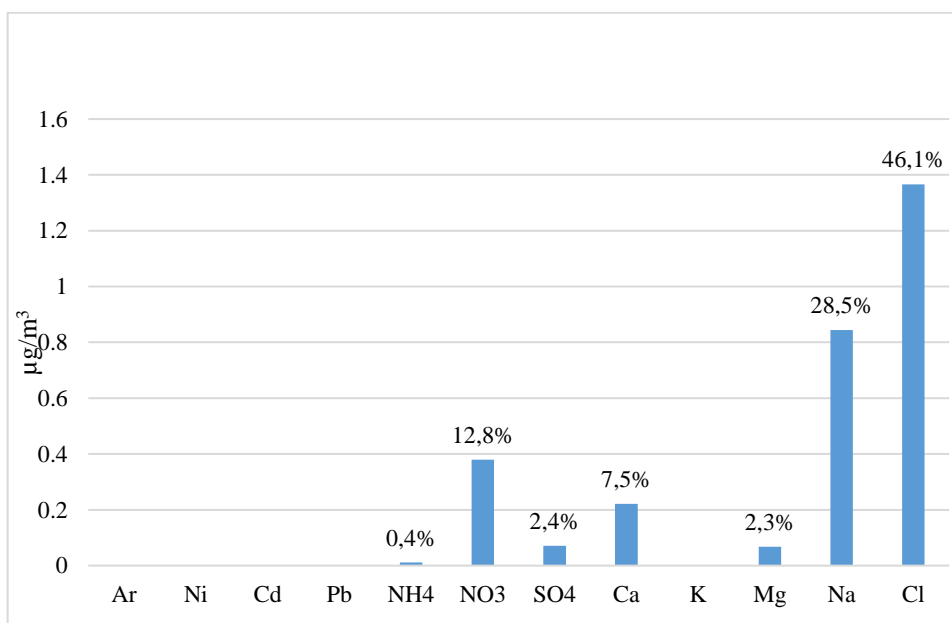
- Q – pārpalikumu funkcija;
- u – nenoteiktība;
- g – katra faktora ieguldījums paraugā, skaita programma;

- f – katra faktora profilu matrica, skaita programma;
- n – vielu, savienojumu skaits;
- m – paraugu skaits (Norris et al. 2014).

Šis rādītājs parāda, cik daudz iepriekš minēto pārpalikumu E , kurus modelis nespēja piesaistīt kādam no faktoriem, palika pēc katra modelēšanas piegājiena. Šim rādītājam pie katra modelēšanas piegājiena jābūt līdzīgam iepriekšējam – katram piegājenam nevar būt kardināli atšķirīgs Q , un rezultātu analīzei jāizvēlas tas piegājiens, kur Q ir viszemākais (Norris et al. 2014; Reff et al. 2007). 3.pielikumā redzami EPA PMF 5.0 iestatījumi un modelēšanas pirmie rezultāti ar Q parametra analīzi – vērtības visos 20 piegājenos ir ļoti līdzīgas, un rezultātu analīzei izvēlēts 16. piegājiens, kur šī vērtība ir viszemākā, tas ir kur ir vismazāk pārpalikumu.

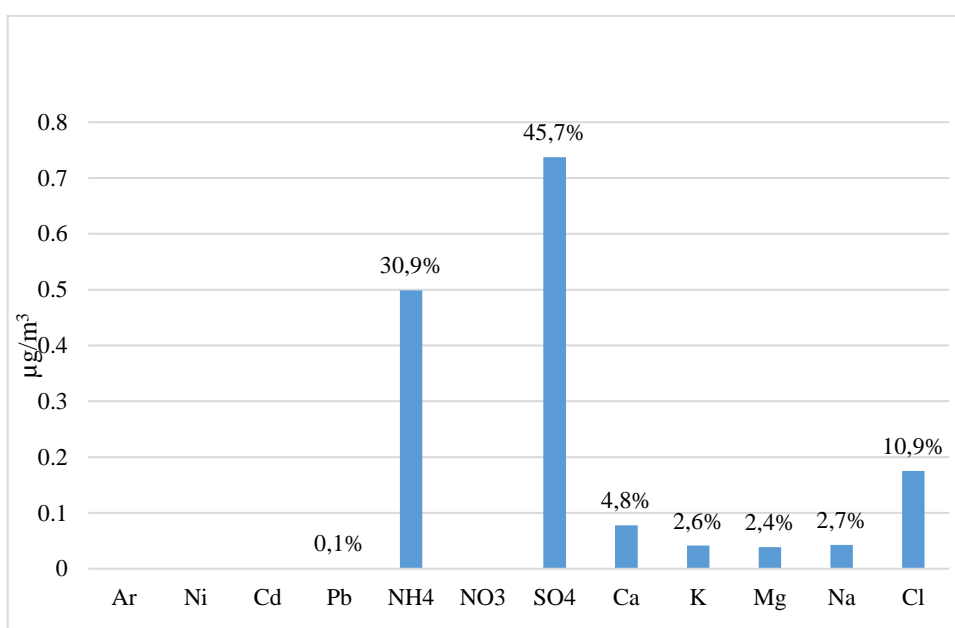
3.2. EPA PMF 5.0 modelēšanas rezultāti

Pirmo faktoru (3.2. att.), ko identificēja EPA PMF 5.0 modelis, raksturo augstas hlora jonu (46,1%), nātrija jonu (28,5%) un mazāk nitrātu (12,8%) koncentrācijas. SPECIEUROPE 2.0 datu bāzē tas atbilst jūras aerosoliem, specifiski jūras aerosoliem, kuri atmosfērā atrodas ilgstoši (157 - Aged Sea Spray; 164 – Marine Aerosol) (Pernigotti et al. 2016). Lielākais ieguldījums kopējā koncentrācijā vērojams gada aukstajos mēnešos – no novembra līdz marta vidum – kas ir tipiski jūras aerosoliem (Langmann et al. 2007).



3.2. attēls. Pirmā avota profils pēc EPA PMF 5.0 modelēšanas rezultātiem visam novērojumu periodam

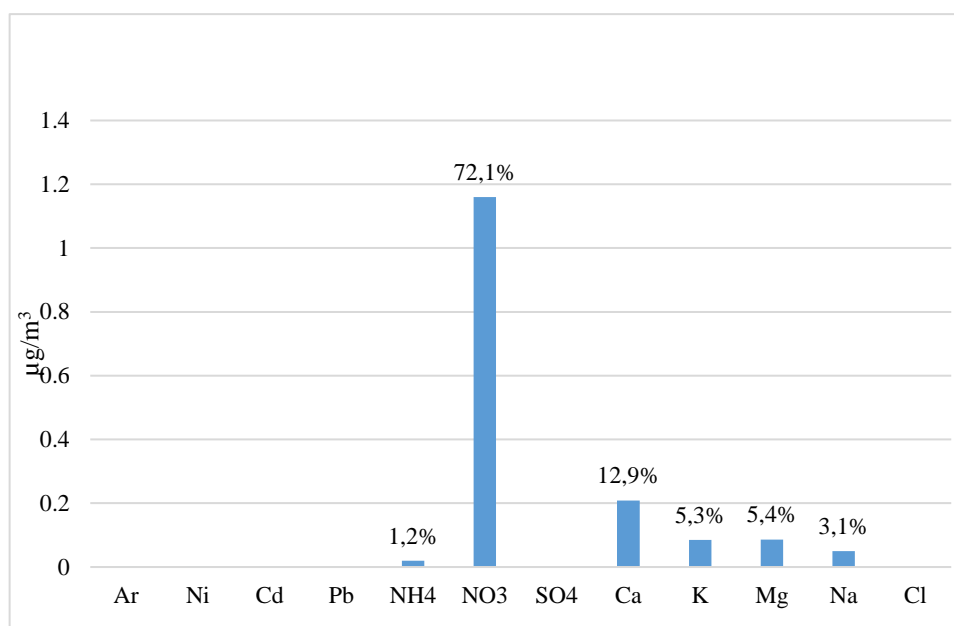
Otro faktoru lielākoties veido sulfāti (45,7%), amonijs (30,9%) un mazākā mērā hlors (10,9%) (3.3. att.). Pēc *SPECIEUROPE 2.0* šāds sadalījums ir ļoti līdzīgs autobusu ar dīzeļdegvielas dzinēju radītām emisijām (89 - *Exhaust Diesel Bus*) (Pernigotti et al. 2016), tomēr pēc modelēšanas rezultātiem otrā faktorā ir daudz mazāks hlora īpatsvars. Kā jau minēts darba 1.1. nodaļā, sulfāti lielākoties rodas no sēra dioksīda, kuru galvenais avots ir fosilā kurināmā sadedzināšana. Šajā gadījumā nevar izslēgt, ka šis profils varētu būt vairākus avotus raksturojošs, bet šis ir profils, kur parādās lielāks svina procents – 0,1%. Ziemas sezonā otrais faktors ir viens no galvenajiem – tas aizņem 24,7% no kopējās koncentrācijas, kas, ņemot vērā arī svina klātbūtni, varētu norādīt uz to, ka tas ir sekundārais sulfāts un, visticamāk, saistīts ar enerģijas ražošanas sektoru un automašīnu emisijām.



3.3. attēls. Otrā avota profils pēc EPA PMF 5.0 modelēšanas rezultātiem visam novērojumu periodam

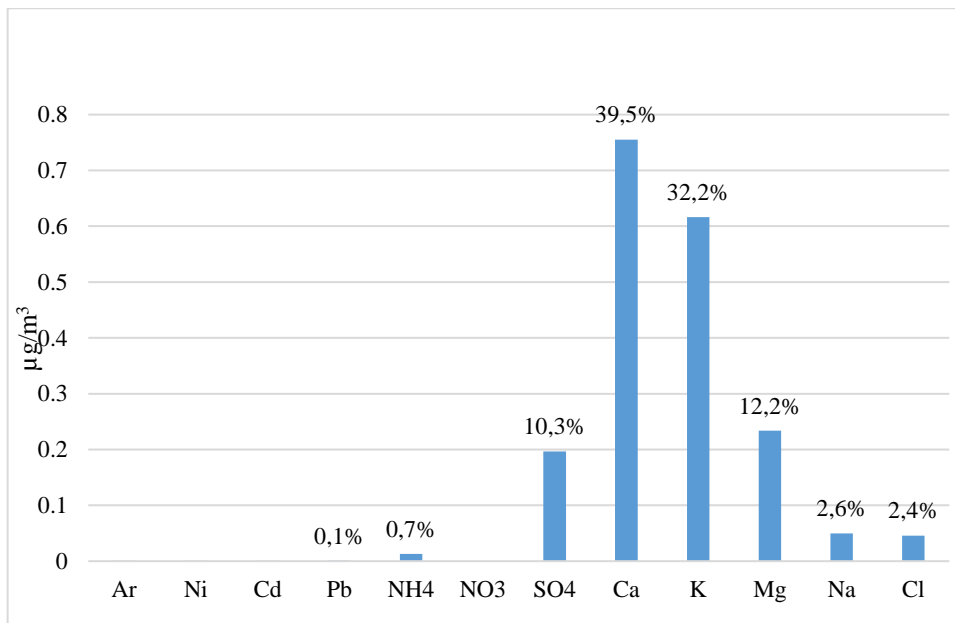
Trešā avotā dominē nitrāti – avota profilā tie aizņem 72,1% (3.4. att.). Šāds sadalījums pēc *SPECIEUROPE 2.0* varētu norādīt uz degšanas procesiem. Diemžēl grūti pateikt, kādi tieši procesi tie varētu būt, jo laboratorijas analīzes netiek veiktas sodrējiem, kas rodas nepilnas sadegšanas procesos, un kurus veido elementālais ogleklis (EC) un organiskais ogleklis (OC). Tieši tie varētu pateikt, vai profils atbilst atkritumu vai biomasas sadedzināšanai, fosilā kurināmā sadedzināšanai vai citiem degšanas procesiem, kā, piemēram, meža ugunsgrēki (Corral et al. 2020). Pēc modelēšanas rezultātiem trešais faktors visvairāk pienesā kopējā koncentrācijā 2019. gada maijā, vairākkārt pārsniedzot savu gada vidējo īpatsvaru. Zināms, ka Valsts meža dienests 2019. gada maijā ir reģistrējis 196 meža

ugunsgrēkus, ar kopējo platību 139,02 hektāri, lielākoties Rīgas reģiona (Zemkopības ministrija 2019), kas liek secināt, ka trešā avota profils varētu atbilst meža ugunsgrēkiem.



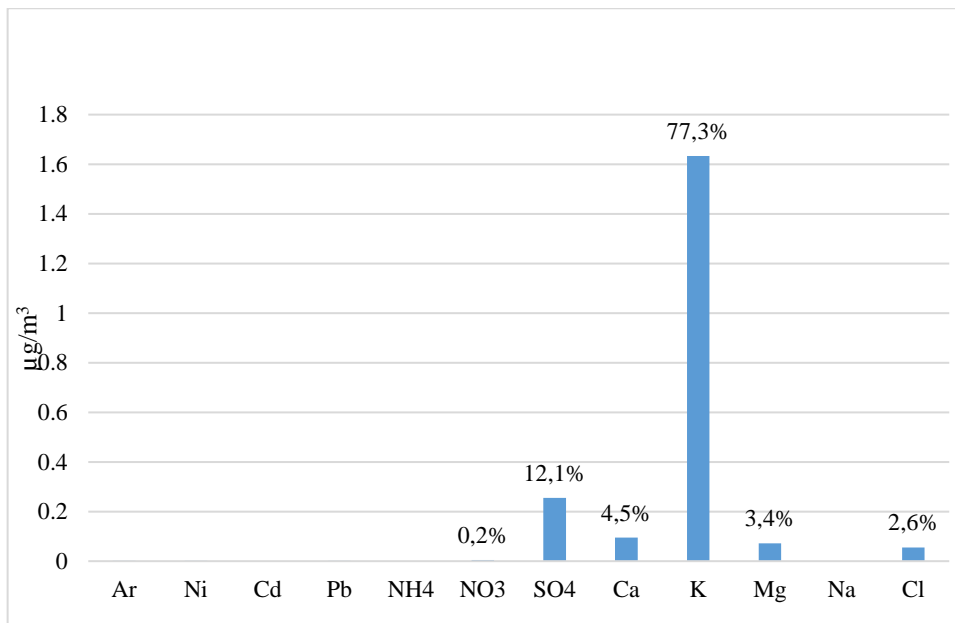
3.4. attēls. Trešā avota profils pēc EPA PMF 5.0 modelēšanas rezultātiem visam novērojumu periodam

Ceturtais avota profils (3.5. att.), ņemot vērā Zemes garozas elementu īpatsvaru, to ka dominē kalcijs (39,5%) un kālijs (32,2%) norāda uz to, ka avots varētu būt erozijas un resuspensijas putekļi. Analizējot *SPECIEUROPE 2.0* pieejamos profilus vislīdzīgākais sadalījums ar dominējošu kalciju ir minerālie putekļi (*159 – Mineral Dust*) (Pernigotti et al. 2016). Minerālie putekļi galvenokārt veidojas arī da klimata apgabalos un Latvija nonāk ar pārrobežu piesārņojumu. Ceturtais faktora lielākā ietekme vērojama 2019. gada aprīlī, kad Latvijas teritorijā nelielās koncentrācijās tika ienests Sahāras tuksneša putekļu vētras putekļu mākonis (Kropa et al. 2020), šādu situāciju varēja novērot arī šogad (Bricis 2021).



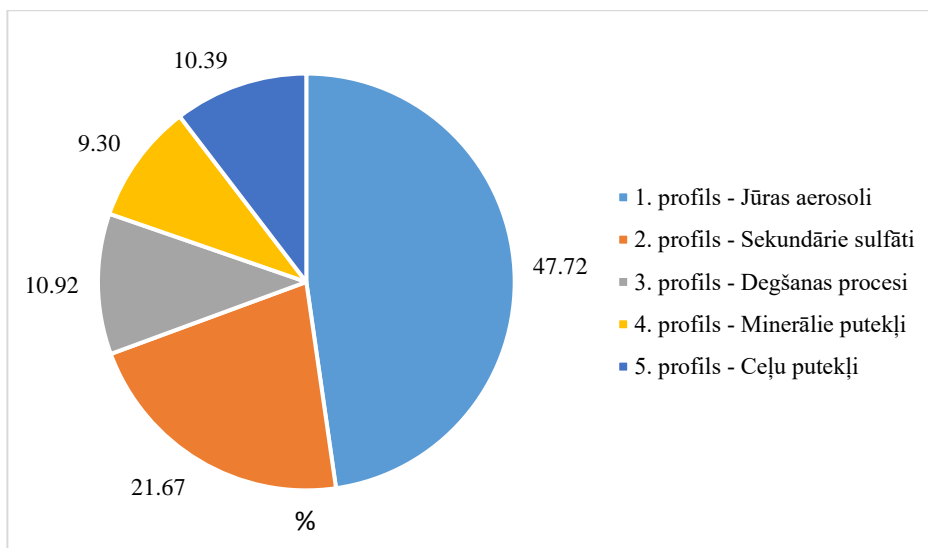
3.5. attēls. Ceturta avota profils pēc EPA PMF 5.0 modelēšanas rezultātiem visam novērojumu periodam

Piektā avota profilā (3.6. att.) izteikti dominē kālijs (77,3%), bet kopumā tas ir līdzīgs ceturtajam profilam. Vielu sadalījums norāda uz saikni ar resuspensijas putekļiem un pēc SPECIEUROPE 2.0 tas varētu atbilst ceļu putekļiem (90 – Road Paved Dust) (Pernigotti et al. 2016). Ceļu putekļu rodas transporta fiziskā ietekmē un to avoti var būt dažādi – asfalta daļiņas, blakusesošo zālāju augsne, dubļi uz riepām, kā arī nosēdušie minerālie putekļi (Chen et al. 2019).



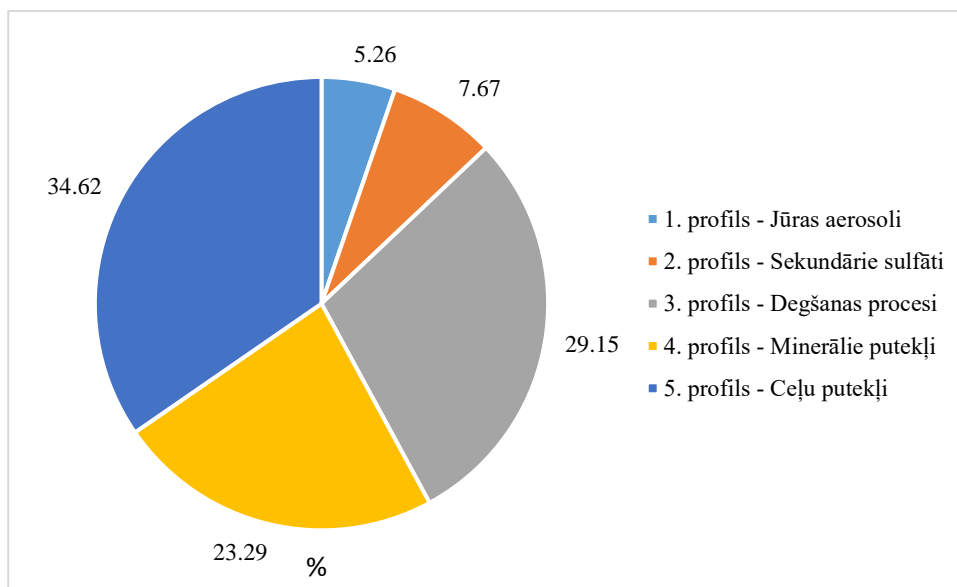
3.6. attēls. Piektā avota profils pēc EPA PMF 5.0 modelēšanas rezultātiem visam novērojumu periodam

Gada griezumā katra faktora ieguldījums kopējā koncentrācijā ir vienmērīgi sadalīts starp faktoriem – izmaiņas sadalījumā redzamas sezonālā aspektā. Ziemas sezonā (3.7. att.), no 01.12. līdz 28.02., redzams, ka lielāko pienesumu kopējā aerosolu koncentrācijā deva pirmais avots, kas noteikts ka jūras aerosoli (47,72%). Nākošais bija otrais avots, kas ieguldīja 21,67%, un noteikts kā sekundārie sulfāti (visticamāk dīzeļdegvielas dzinēju emisijas). Erozijās un abrāzijas putekļi, kas noteikti kā minerālie putekļi un ceļu putekļi, pienesā 9,3% un 10,39% respektīvi. Vismazāk (2%) kopējā koncentrācijā ieguldīja trešais faktors – degšanas procesi.



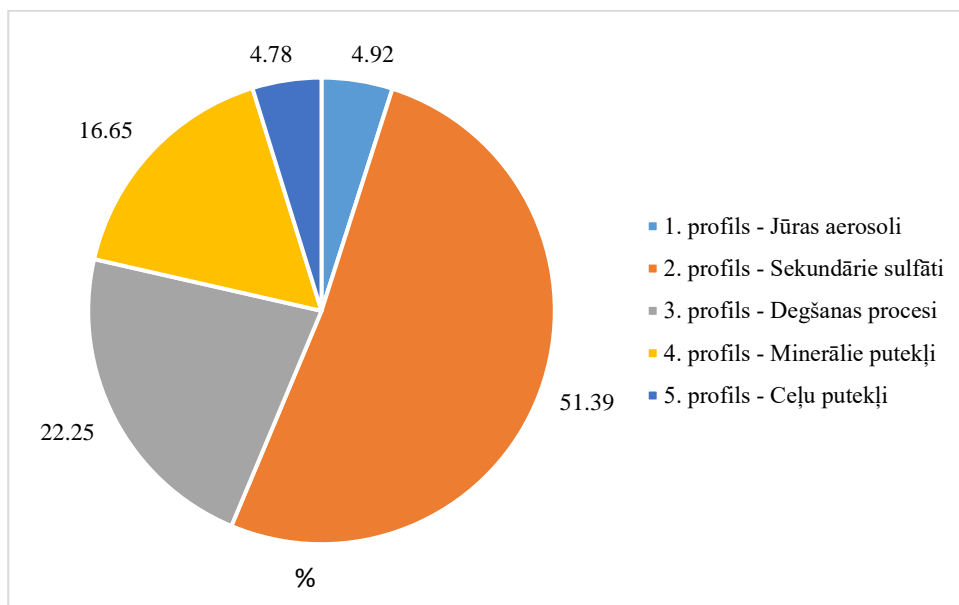
3.7. attēls. Avotu ietekmes sezonālās svārstības pēc EPA PMF 5.0 modelēšanas rezultātiem – ziemas sezona no 01.12. līdz 28.02.

Pavasara mēnešos (3.8. att.) (no 01.03. līdz 31.05.) dominēja ceļu putekļi (34,62%), kas varētu būt saistīts ar ziemas kaisīšanas materiāla atkārtotu pacelšanos gaisā transporta ietekmē. Otrais pēc sava ieguldījuma kopējā koncentrācijā bija trešais faktors – degšanas procesi (29,15%). Šajā periodā bija reģistrēta meža ugunsgrēku epizode, kā jau minēts iepriekš. Trešo lielāko ietekmi (23,29%) radīja ceturtais faktors - minerālie putekļi. Sekundāro sulfātu (7,67%) un jūras aerosolu(5,26%) ietekme pavasara mēnešos bija zema.



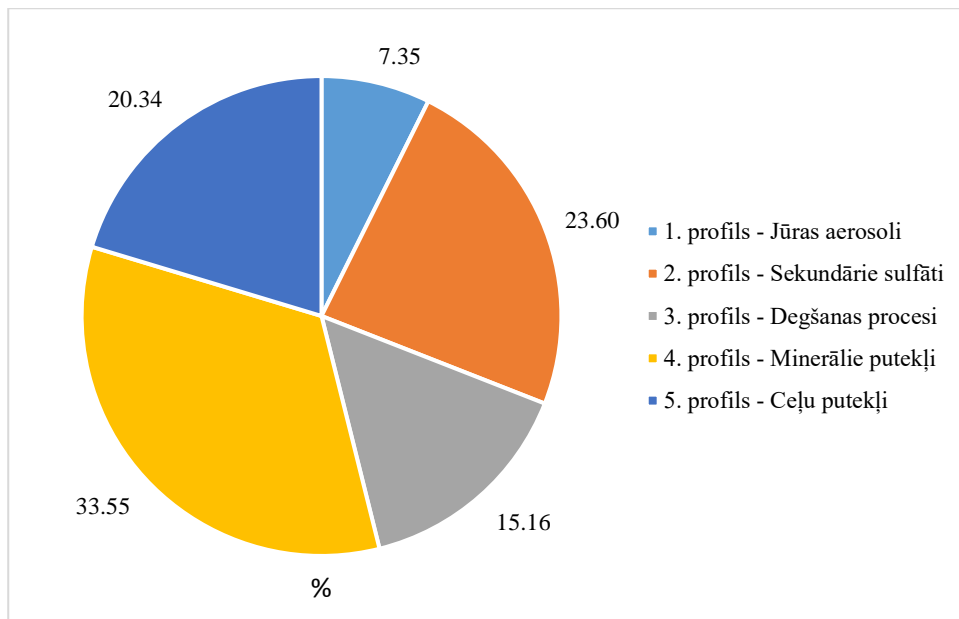
3.8. attēls. Avotu ietekmes sezonālās svārstības pēc EPA PMF 5.0 modelēšanas rezultātiem – pavasara sezona no 01.03. līdz 31.05.

Gada siltākajā sezonā (3.9. att.) periodā no 01.06. līdz 31.08. lielāko ietekmi radīja sekundārie sulfāti (51,39%). Vasaras mēnešos savas vietas pēc ieguldījuma kopējā koncentrācijā saglabāja degšanas procesi (22,25%) un minerālie putekļi (16,65%), kaut arī jau ar zemāku īpatsvaru. Mazākā ietekme tika noteikta jūras aerosoliem un ceļu putekļiem – 4,92% un 4,78% respektīvi.



3.9. attēls. Avotu ietekmes sezonālās svārstības pēc EPA PMF 5.0 modelēšanas rezultātiem – vasara sezona no 01.06. līdz 31.09.

Rudens sezonā (3.10. att.) lielāko ieguldījumu kopējā aerosolu koncentrācijā deva minerālie putekļi – 33,55%. Sekundārie sulfāti piesārņojuma līmenī šajā perioda ieguldīja 23,60% un ceļu putekļi – 20,34%. Degšanas procesu ietekmes īpatsvars bija 15,16%. Vismazākais ieguldījums bija jūras aerosoliem – 7,35%.



3.10. attēls. Avotu ietekmes sezonālās svārstības pēc EPA PMF 5.0 modelēšanas rezultātiem – rudens sezona no 01.10. līdz 30.11.

3.3. SoFi 8.0 Standard modelēšanas rezultāti

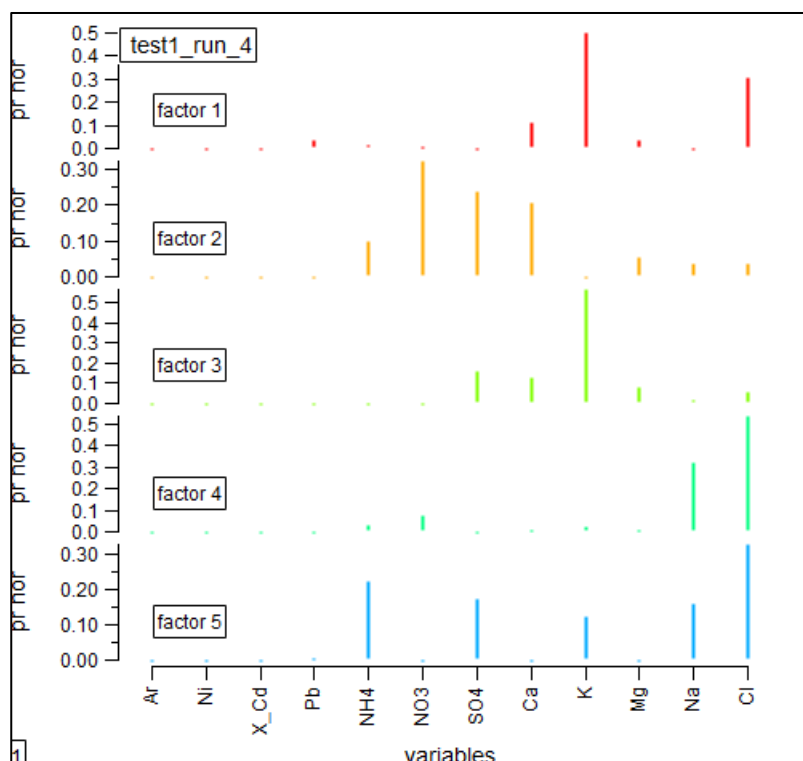
SoFi Standard 8.0 tika izvēlēts kā datu verifikācijas metode. Jebkura zinātniskā darba pamatā jābūt dziļai rezultātu kritiskai izvērtēšanai. Izmantojot jebkuru novatorisku paņēmieni, ja tas ir iespējams, tā rezultātus jāpārbauda izmantojot alternatīvu metodi. *SoFi Standard 8.0* programmatūra tiek izmantots analogs algoritms, tomēr ir daži ierobežojumi. Pirmkārt, *SoFi Standard 8.0* neatbalsta pilnīgu datu eksportu – lielākoties, rezultātus var apskatīties tikai lokāli *Igor* vidē. Otrkārt, programma neatbalsta profilu matricu eksportu, kas nozīmē, ka datu vizuāla attēlošana arī iespējama tikai lokāli. *Q* analīze iebūvēta *ME Engine* algoritmā, un atšķirībā no EPA programmas, *SoFi Standard 8.0* vienlaikus veic modelēšanu pie dažāda faktoru skaita – modelētājam beigās jāizvēlas tas piegājiens, kur *Q* bija viszemākais (Datalystica Ltd. 2020). Modelējot tika izvēlēts piecu faktoru risinājums pie 4. scenārija, tāpat kā ar EPA PMF 5.0. *SoFi Standard 8* modelēšanas iestatījumu konfigurācija atrodama 4. pielikumā. Avotu profili attēloti programmas izdrukā 3.11. attēlā.

Pirmā avota profilā, ko identificēja *SoFi Standard 8.0* dominējošā viela ir kālijs, hlors un ar mazāku īpatsvaru kalcījs, magnijs un svins. Balstoties uz *SPECIEUROPE 2.0* pieejamiem profiliem, šāds sadalījums atbilst datu bāzes ceļu putekļu profilam (90 – *Road Paved Dust*), kaut arī hlora īpatsvars datu bāzes profilā ir nedaudz zemāks. Ļoti līdzīgs profils

ir trešajam avotam, kas atbilst datu bāzes erozijas un resuspensijas putekļu profilam (Pernigotti et al. 2016).

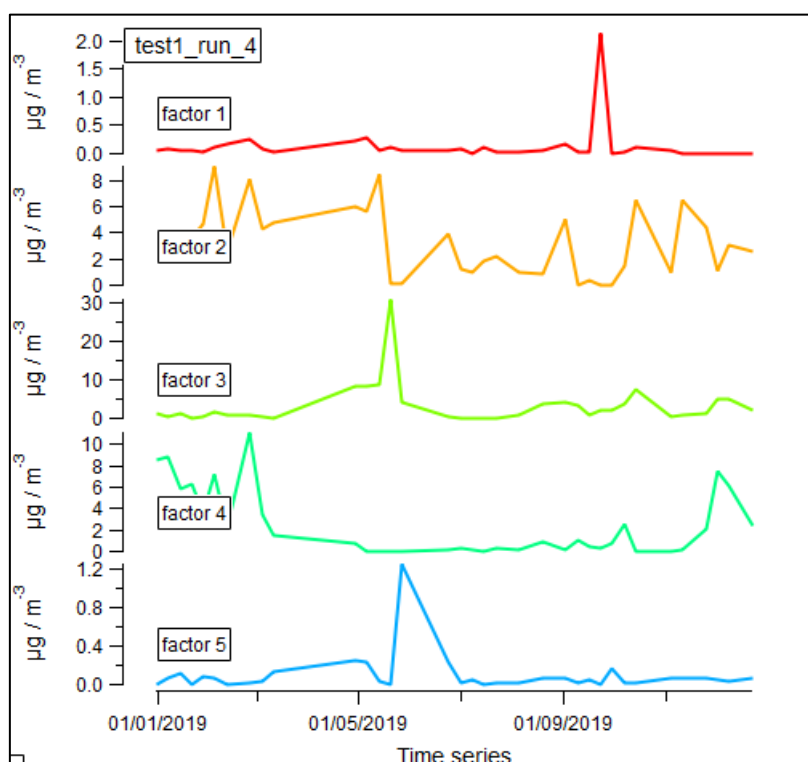
Otrā avota profilu veido nitrāti, sulfāti, amonijs un kalcijs. Kaut arī vairāku sadegšanas produktu klātbūtne varētu dot iespēju precīzāk identificēt avotu, un pēc datu bāzes profiliem šāds sadalījums varētu norādīt uz naftas produktu sadegšanu, nav iespējams noteikt kādu tieši (Pernigotti et al. 2016). Uz to, ka otrais avots pēc *SoFi Standard 8.0* modelēšanas rezultātiem varētu būt saistīts ar naftas produktu sadegšanu norāda tā ietekmes sadalījums laikā (3.12. att.) – avota ietekme vērojama visa gada griezumā. Tomēr šim faktoram vērojams izteikts pīķis maijā, kad tika novēroti meža ugunsgrēki (Zemkopības ministrija 2019).

Ceturtnā avota profilu sastāda nātrijs un hlors, un zemākā īpatsvarā amonijs. Šāds sadalījums pilnīgi atbilst jūras aerosoliem, un tāpat kā *EPA PMF 5.0* norāda uz jūras aerosoliem, kas atmosfērā atrodas ilgstoši (*157 - Aged Sea Spray; 164 - Marine Aerosol*) (Pernigotti et al. 2016). Piektā avota profilu veido amonijs, sulfāti, hlors, nedaudz nātrijs un kālijs. Šāds sadalījums atbilst ar dīzeļdegvielas dzinēju radītām emisijām (*89 - Exhaust Diesel Bus*) (Pernigotti et al. 2016), un atšķirībā no *EPA PMF 5.0* šeit hlora īpatsvars pilnīgi atbilst datu bāzes profilam.



3.11. attēls. Avotu profili pēc *SoFi Standard 8.0* modelēšanas rezultātiem visam novērojumu periodam (izdruka no programmas)

Gada griezumā katra faktora ieguldījums kopējā koncentrācijā bija atšķirīgs (3.12. att.). Pirmajam faktoram, kas tika noteikts kā ceļa putekļi, ir izteikts pīķis oktobrī, kas ir netipiski. Otrā faktora ietekme gada laikā bija vienmērīga, ar augstākām koncentrācijām gada vēsajos mēnešos, kas ir raksturīgs arī noteiktajam avotam – sadegšanas procesi, ka arī ar lielāko koncentrāciju maijā, kad Rīgas apkaimē tika novēroti meža ugunsgrēki. Trešā faktora lielāka ietekme uz kopējo koncentrāciju bija vērojama jūnijā, šis avots arī noteikts kā erozijas un resuspensijas putekļi. Ceturtais faktors, kuram noteikta piederība jūras aerosoliem, deva lielāko pienesumu kopējā koncentrācijā gada aukstākajos mēnešos. Piektais faktors, kas attiecināms uz dīzeļdegvielas sadegšanu, lielāko ieguldījumu identificēja jūnijā.



3.12. attēls. Avotu ietekme gada griezumā pēc *SoFi Standard 8.0* modelēšanas rezultātiem visam novērojumu periodam (izdruka no programmas)

3.4. Modeļu rezultātu salīdzinājums

Salīdzinot PMF modeļu rezultātus jāatceras, kā ikviens rezultāts, lai cik zems nebūtu Q , nav unikāls. Modelis izvēlas risinājumu nejaušā kārtībā no iespējamo risinājumu lauka, tāpēc modelējot atkārtoti rezultāti var atšķirties pat vienas programmas ietvaros. Kardināli rezultāti neatšķirsies, tomēr šī PMF modeļu īpašība neļauj modeļus salīdzināt pēc to kvantitatīviem rādītājiem, tāpēc darba ietvaros *SoFi Standard 8.0* ir izmantots kā kvalitatīvu datu kontrole. Programmu identificēto profilu avotu sadalījums atrodams 3.1. tabulā.

Gan *EPA PMF 5.0*, gan *SoFi Standard 8.0* ir identificējuši piecu faktoru risinājumu kā vispiemērotāko izmantojamai datu kopai. Abas programmas kā faktoru izdalīja jūras aerosolus un abu programmu sagatavotie profili atbilst jūras aerosoliem, kas atmosfērā atrodas ilgstoši. Gada griezumā faktora lielākā ietekme uz kopējo koncentrāciju noteikta ziemas mēnešos.

Nākošie tika izdalīti sekundārie sulfāti. *SoFi Standard 8.0* modelēšanas rezultāti faktorā ar lielāku īpatsvaru iekļāva svinu un minerālos elementus, un programmas profils pilnīgi atbilsta dīzeļdegvielu darbināto dzinēju emisijām, atšķirībā no *EPA PMF 5.0*, kur attiecināt sekundāro sulfātu konkrētam piesārņojuma avotam nebija iespējams. Šajā gadījumā *SoFi Standard 8.0* rezultāti labi papildina *EPA PMF 5.0* rezultātus, ļaujot avotu noteikt precīzāk. Šī avota lielākais ieguldījums kopēja aerosolu piesārņojuma koncentrācijā abās programmās bija noteikts vasaras mēnešos.

Trešais *EPA PMF 5.0* profils tika noteikts kā degšanas procesi, ko bija iespējams izdarīt arī pēc *SoFi Standard 8.0* rezultātiem. Darba rezultātu analīzes procesā tika identificēta meža ugunsgrēku epizode, ko izdalīja gan *EPA PMF 5.0* modelis, gan *SoFi Standard 8.0* modelis. Tomēr gada griezumā pēc *EPA PMF 5.0* modeļa rezultātiem šī avota ietekme bija diezgan vienmērīga, tikai ziemā tā bija zemāka, kad *SoFi Standard 8.0* lielāko ietekmi izdala tikai ugunsgrēku epizodes laikā – maijā.

Abi modeļi izdalīja divus erozijas un abrāzijas putekļu profilus. *EPA PMF 5.0* šie divi profili ir ļoti atšķirīgi, ar skaidri definētu dominējošo sastāvdaļu, kas ļāva profilus izdalīt kā minerālos putekļus un ceļu putekļus. *SoFi Standard 8.0* gadījumā abi profili vistuvāk atbilst datu bāzes ceļu putekļu profilam, kā arī modelis neizdalīja ceļu putekļu lielāko ietekmi pavasarī. Latvijā netiek veikti dzelzs un alumīnija mērījumi nokrišņos un cietās daļiņās, kas apgrūtina putekļu avotu noteikšanu, un ar pilnu pārliecību erozijas un abrāzijas putekļu piederību kādam avotam nav iespējams noteikt.

Identificēto aerosolu piesārņojuma avotu apkopojums

<i>EPA PMF</i> 5.0 profils Nr.	Identificēts piesārņojuma avots	<i>SoFi</i> <i>Standard 8.0</i> profils Nr.	Identificēts piesārņojuma avots
1.	Jūras aerosoli	4.	Jūras aerosoli
2.	Sekundārie sulfāti - transports	2.	Sekundārie sulfāti - transports
3.	Degšanas procesi	5.	Degšanas procesi
4.	Erozijas un abrāzijas putekļi - Minerālie putekļi	3.	Erozijas un abrāzijas putekļi – Ceļu putekļi
5.	Erozijas un abrāzijas putekļi - Ceļu putekļi	1.	Erozijas un abrāzijas putekļi - Ceļu putekļi

3.5. Rezultātu salīdzinājums ar esošiem pētījumiem

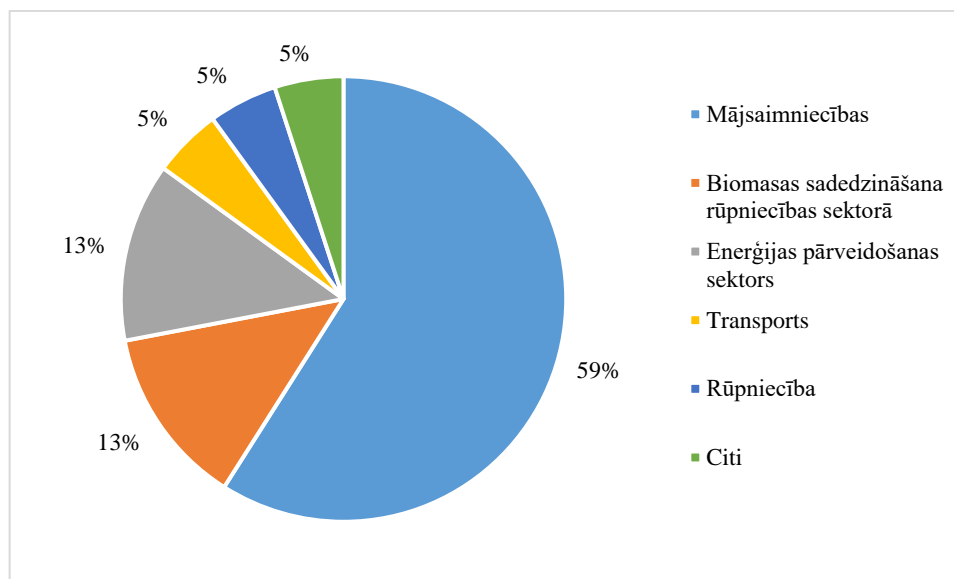
Pēc MVD 2019. gadā Rīgā cieto daļiņu PM₁₀ un PM_{2,5} galvenie avoti bija autotransports, kas sevī iekļauj izplūdes gāzes un riteņu saceltos putekļus, birstošo kravu pārkraušanu Brīvostas uzņēmumos un dažādu celtniecības, remonta u.c. uzņēmumu darbību, zaru un lapu dedzināšanu privātmāju dārzos pavasara un rudens sezonās, kā arī kūlas dedzināšanu Rīgas apkārtnē pavasarī (Mājokļu un vides.. 2020).

Darba ietvaros tika identificēti divi avoti, kas attiecināmi uz transporta sektoru – sekundārie sulfāti, kas saistīti ar transporta emisijām un ceļu putekļi. Modeļi identificēja arī degšanas procesus, kā vienu no galvenajiem avotiem, tomēr noteikt bija iespējams tikai to piederību ugunsgrēku epizodei. Sīkākam sadalījumam nepieciešami analīžu rezultāti par elementālā un organiskā oglekļa koncentrācijām paraugā sastāvā.

Birstošo kravu pārkraušana, un celtniecības, remonta uzņēmumu darbības produkts ir ļoti dažāda sastāva putekļi – modelēšanas rezultātā tika noteikti ceļu putekļu, kuru sastāvā varētu būt arī celtniecības putekļi, bet nepieciešamas papildus zināšanas par alumīnija, silikona un dzelzs koncentrācijām paraugā.

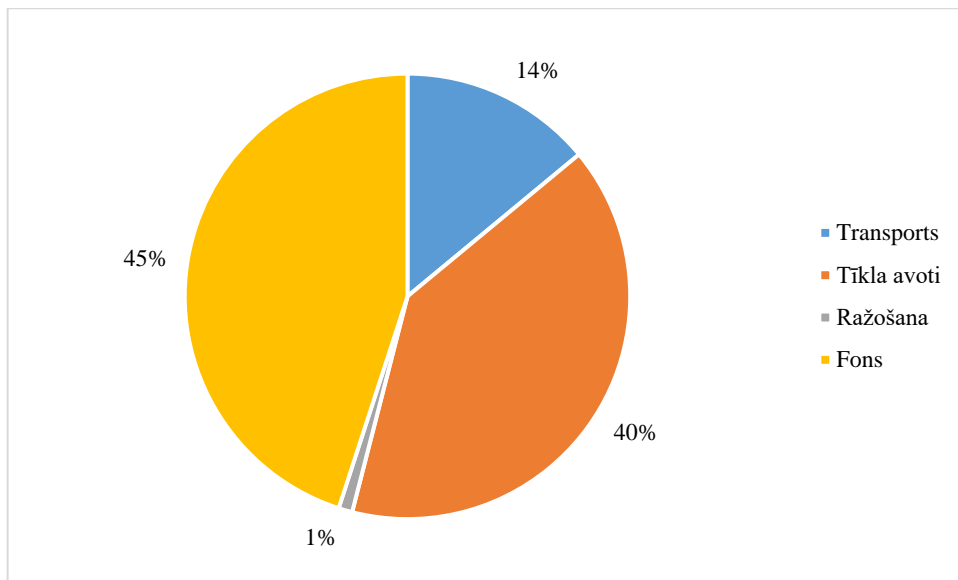
PM_{2,5} aerosolu avotu procentuālais sadalījums Rīgas pilsētai nav zināms, bet kopumā Latvijā galvenais smalkāko aerosolu avots ir mājāsaimniecības. 2016. gadā Latvijas PM_{2,5} piesārņojuma līmeni veidoja pakalpojumu un mājāsaimniecību sektors, (59%), kur emisijas rodas no biomasas sadedzināšanas apkurei, biomasas sadedzināšana rūpniecības sektorā

(13%), enerģijas pārveidošanas sektors (13%), transports (5%) un rūpniecības procesi (5%) (3.13. att.). Valsts līmenī transporta ietekme ir samērā zema, tomēr tā ir ļoti būtiska pilsētās (Par gaisa piesārņojuma.. 2020; LVGMC 2014).



3.13. attēls. Cieto daļiņu PM_{2,5} emisiju avotu sadalījums 2016. gadā Latvijā (sagatavoja autore pēc Par gaisa piesārņojuma.. 2020)

Procentuālais sadalījums Rīgas PM₁₀ aerosolu piesārņojuma avotiem pēdējo reizi veikts Rīgas pilsētas gaisa kvalitātes uzlabošanas rīcības programmas 2016.-2020. gadam ietvaros. Pētījuma ietvaros kā galvenais avots 2014. gadā tika izdalīts fona piesārņojums – 45%. Tīkla avotu ieguldījums kopējā koncentrācijā bija 40% (tīkla avoti iekļauj mājsaimniecību radītās emisijas un mazas rūpnieciskas iekārtas). Transporta sektora ietekmes īpatsvars bija 14%. Salīdzinājumam MVD transporta sektoru izvirza kā galveno. Ražošanas procesi pienska kopējā piesārņojuma līmenī tikai 1% (3.14. att.). Šis ir vienīgais pēdējo gadu pētījums, kas iekļauj pārrobežu piesārņojuma novērtējumu Rīgā (ELLE, CERC 2016). Modelēšanas rezultātā pārrobežu piesārņojums tika identificēts kā minerālie putekļi – tā ietekme bija vislielākā pavasara un rudens mēnešos, bet nepārsniedza 33,55%. Kaut arī abi modeļi izdalīja degšanas procesus, mājsaimniecību ietekme darba ietvaros netika noskaidrota – nepieciešami dati par nepilnas sadegšanas produktiem (elementālais un organiskais ogleklis).



3.14. attēls. Cieto daļiņu PM₁₀ emisiju avotu sadalījums 2014. gadā Rīgas centrā
(sagatavoja autore pēc ELLE, CERC 2016)

SECINĀJUMI

1. Faktorizācijas (PMF) modeļu plašu pielietojumu Rīgas aglomerācijas piesārņojuma novērtēšanai ierobežo limitēts mērāmo vielu skaits, kas neļauj noteikt visus galvenos piesārņojuma avotus, kas veido piesārņojuma līmeni pilsētā.
2. PMF modeļi spēj precīzi identificēt avotu ietekmes sadalījumu pētījuma periodam – modeļiem ir potenciāls ieviesto gaisa uzlabošanas pasākumu ietekmes izvērtēšanā gan ilgtermiņā, gan īsākiem laika posmiem.
3. Ņemot vērā visu novērojumu periodu avotu ietekmes sadalījums ir līdzvērtīgs – nozīmīgas atšķirības sadalījumā parādās sadalot rezultātus pa sezonām. Ziemas sezonā dominējošais avots bija jūras aerosoli, pavasarī lielākais īpatsvars bija ceļu putekļiem, vasarā aerosolu sastāvā dominēja sekundārie sulfāti un rudens mēnešos tika novērota lielākā pārrobežu piesārņojuma ietekme (minerālie putekļi).
4. Salīdzinot iegūtos rezultātus ar MVD 2019. gada datiem, redzams, ka modelēšanas rezultātos transporta ietekme ir sadalīta ceļu putekļos un sekundāros sulfātos, kas MVD datos ir apvienots. Modeļi ir identificējuši nozīmīgu pārrobežu piesārņojuma ietekmi, kas iekļauta Rīcības programmā 2016.-2020. gadam kā galvenais PM₁₀ avots, un netiek ņemta vērā MVD izvērtējumos.
5. Mājsaimniecību ietekmes novērtēšana un precīza degšanas procesu noteikšana nav iespējama bez nepilnas sadegšanas produktu iekļaušanas veicamās analīzēs.
6. Nokrišņu analīžu rezultātu pielietojums cietās frakcijas analīžu vietā ir piemērota alternatīva metode ierobežotu novērojumu veidu apstākļos, tomēr veicot līdzīgus pētījumus vienmēr jāapsver iespējas izmantot kombinētu pieeju pilnai aerosolu avotu raksturošanai.
7. Izmantojot vairākus PMF modeļus viena pētījuma ietvaros iespējams ne tikai veikt datu verifikāciju, bet arī precīzāk identificēt avotus un to sadalījumu.
8. PMF pielietojumu apgrūtina modeļu pieejamība – *EPA PMF 5.0* ir vienīgās brīvpieejas programmas pēdējā versija, kas vairs netiks atbalstīta, un lai izmantotu *SoFi Standard 8.0* nepieciešamas trīs licences, kā arī *SoFi Standard 8.0* programma tās sarežģītas struktūras un savdabīgu īpatnību dēļ prasa ilgāku laiku tās apgūšanai un ērtai izmantošanai.
9. Apkopojot darba rezultātus secināms, ka izvirzītā hipotēze ir pierādījusies daļēji – modelēšanas rezultātā tika identificēts limitēts avotu skaits, kas prasa detalizētāku mērījumu veikšanu.

PATEICĪBAS

Darba nobeigumā gribu izteikt pateicību *Datalystica* komandai, kas nodrošināja piekļuvi *SoFi Standard 8.0* programmatūrai un Dr. Pentti Paatero, kas iedeva tik nepieciešamo programmas *.key* atslēgu, lai šī programma strādātu, kā arī ieteikumus.

Izsaku pateicību maģistra darba vadītājai Asoc. Prof. Dr. Ģeogr. Ivetai Šteinbergai par atbalstu un noderīgiem ieteikumiem darba izstrādes procesā.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI

Publicētie avoti:

- Ayres, J. G., Forsberg, B., Annesi-Maesano, I., Dey, R., Ebi, K. L., Helms, P. J., Medina-Ramón, M., Windt, M. & Forastiere, F. 2009. Climate change and respiratory disease: European Respiratory Society position statement. *European Respiratory Journal*. 34, 295-302.
- Baharane, V., Uwimana, B., Kagabo, A. S., Bimenyimana, S. & Ndakize, J. S. 2020. Impacts of Climate Variables on Respiratory Diseases in Infants and Children in Kigali City. *East African Journal of Science and Technology*. 10(3), 13-29.
- Botkin D., B. & Keller, E., A. 2005. *Environmental Science*. John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Brown, S. G., Eberly, S., Paatero, P. & Norris, G. A. 2015. Methods for estimating uncertainty in PMF solutions: Examples with ambient air and water quality data and guidance on reporting PMF results. *Science of The Total Environment*. 518 & 519, 626-635.
- Canonaco F., Crippa M., Slowik J.G., Baltensperger U. & Prévôt A.S.H. 2013. SoFi, an IGOR-based interface for the efficient use of the generalized multilinear engine (ME-2) for the source apportionment: ME-2 application to aerosol mass spectrometer data. *Atmospheric Measurement Techniques*. 6, 3649–3661.
- Chan, Y., C., Cohen, D., D., Hawas, O., Stelcer, E., Simpson, R., Denison, L., Wong, N., Hodge, M., Comino, E. & Carswell, S. 2008. Apportionment of sources of fine and coarse particles in four major Australian cities by positive matrix factorisation. *Atmospheric Environment*. 42, 374–389.
- Chang, R. 1994. *Chemistry*. McGraw-Hill, Inc.. United States of America.
- Chen, S., Zhang, X., Lin, J., Huang, J., Zhao, D., Yuan, T., Huang, K., Luo, Y., Jia, Z., Zang, Z., Qiu, Y. & Xie, L. 2019. Fugitive Road Dust PM_{2.5} Emissions and Their Potential Health Impacts. *Environ. Sci. Technol.* 53(14), 8455–8465.

- Corral, A., Dadashazar, H., Stahl, C., Edwards, E. & Zuidema, P. & Sorooshian, A. 2020. Source Apportionment of Aerosol at a Coastal Site and Relationships with Precipitation Chemistry: A Case Study over the Southeast United States. *Atmosphere*. 11(11), 1212.
- D'Amato, G., Cecchi, L., D'Amato, M. & Annesi-Maesano, I. 2014. Climate change and respiratory diseases. *European Respiratory Review*. 23, 161-169.
- Eiropas Komisija, 2011. Eiropas Komisijas darba dokumenta SEC (2011) 208 galīgā versija *Establishing guidelines for demonstration and subtraction of exceedances attributable to natural sources under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe*. European Commission, Brussels, 15 February 2011.
- European Commission, 2020. *Review of the National Air Pollution Control Programme – Latvia*. Brussels, Ricardo Energy & Environment.
- Farahmandkia, Z., Mehrasbi, M. R., Sekhavatjou, S. 2010. Relationship between concentrations of heavy metals in wet precipitation and atmospheric PM10 particles in Zanjan, Iran. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*. 8(1), 49-56.
- Franco, V., Kousoulidou, M., Muntean, M., Ntziachristos, L., Hausberger S., Dilara, P. 2013. Road vehicle emission factors development: A review. *Atmospheric Environment*. 70, 84-97.
- Gauss, M., Nyíri, A., Benedictow A. & Klein, H. 2016. *Transboundary air pollution by main pollutants (S, N, O₃) and PM in 2014*. Country reports 2016, Latvia, MSC-W Data Note 1/2016. Norway, Meteorologisk Institutt, Norwegian Meteorological.
- Gianini, M.F.D., Fischer, A., Gehrig, R., Ulrich, A., Wichser, A., Piot, C., Besombes, J.-L. & Hueglin, C. 2012. Comparative source apportionment of PM10 in Switzerland for 2008/2009 and 1998/1999 by Positive Matrix Factorisation. *Atmospheric Environment*. 54, 149-158.
- Gómez-Losada, A., M., Pires, J. C. & Pino-Mejías, R. 2016. Characterization of background air pollution exposure in urban environments using a metric based on Hidden Markov Models. *Atmospheric Environment*. 127, 255–261.

- Yang, H. J., Jeon, Y., Min, T., Son, B., Park, K., Moon, J. Y. Pyun, B. 2011. The impact of climate change on aeroallergen and pediatric allergic diseases. *Journal of the Korean Medical Association*. 54(9), 971-978.
- Krzyzanowski, M., Kuna-Dibbert, B., Schneider, J. (Eds.) 2005. *Health effects of transport-related air pollution*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe.
- Langmann B., Varghese S., O'Dowd C.D., Scannell C., Ceburnis D. & Facchini M.C. 2007. A Combined Organic–Inorganic Sea-spray Source Function. *O'Dowd C.D., Wagner P.E. (eds.) Nucleation and Atmospheric Aerosols*. Dordrecht, Springer. 1083-1087.
- Levin, Z. & Cotton, W.R. (Eds.) 2009. *Aerosol Pollution Impact on Precipitation. A Scientific Review*. Netherlands, Springer Science+Business Media B.V.. Springer.
- Lutgens, F. K., Tarbuck, E. J. & Herman, R. L. 2019. *The Atmosphere: An Introduction to Meteorology*. 14th edn. New York, Pearson Education, Inc..
- Naicker, P. R. 2011. The impact of climate change and other factors on zoonotic diseases. *Archives of clinical microbiology*. 2(2:4)
- Norris, G., Duvall, R., Brown, S. & Bai, S. 2014. *EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 Fundamentals and User Guide*. Washington, DC, U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development.
- Patella, V., Florio, G., Magliacane, D., Giuliano, A., Crivellaro, M. A., Bartolomeo, D., Genovese, A., Palmieri, M., Postiglione, A., Ridolo, E., Scaletti, C., Ventura, M. T., Zollo, A. & Air Pollution and Climate Change Task Force of the Italian Society of Allergology, Asthma and Clinical Immunology (SIAAIC) 2018. Urban air pollution and climate change: “The Decalogue: Allergy Safe Tree” for allergic and respiratory diseases care. *Clinical and Molecular Allergy*. 16:20.
- Pepper I., L., Gerba., C.,P. & Brusseau, M., L. 1996. *Pollution Science*. USA, Academic Press.
- Pernigotti, D., Belis, C.A. & Spanó, L. 2016. SPECIEUROPE: The European data base for PM source profiles. *Atmospheric Pollution Research*. 7(2), 307-314.

- Petroff, A. and Zhang, L. 2010. Development and validation of a size-resolved particle dry deposition scheme for application in aerosol transport models. *Geosci. Model Dev.* 3, 753–769.
- Pleim, J., Ran, L. 2011. Surface flux modeling for air quality applications. *Atmosphere*. 2, 271–302.
- Pope, C., A., Burnett, R., T., Thun, M., J. Calle, E., E., Krewski D., Ito K. & Thurston G., D. 2002. Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *JAMA*. 287(9), 1132-1141.
- Reff, A., Shelly I. Eberly & Prakash V. Bhave 2007. Receptor Modeling of Ambient Particulate Matter Data Using Positive Matrix Factorization: Review of Existing Methods. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 57(2), 146-154.
- Revich, B. A. & Shaposhnikov, D. A. 2012. Climate Change, Heat Waves, and Cold Spells as Risk Factors for Increased Mortality in Some Regions of Russia. *Studies on Russian Economic Development*. 23(2), 195–207.
- Saylor, R. D., Baker, B. D., Lee, P., Tong, D., Pan, L., Hicks, B. B. 2019. The particle dry deposition component of total deposition from air quality models: right, wrong or uncertain? *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*. 71:1.
- Seinfeld, J. H. & Pandis, S. N. 2016. *Atmospheric Chemistry And Physics: From Air Pollution to Climate Change*. 3rd eds. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc..
- Spellman, F. R. 2017. *The Science of Environmental Pollution*. Third Edition. Washington, CRC Press Taylor & Francis Group..
- Sportisse, B. 2010. *Fundamentals in Air Pollution: From Processes to Modeling*. France, Springer.
- Thomson, M. C., Garcia-Herrera, R. & Beniston, M. (ed.) 2008. *Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health*. Netherlands, Springer Science + Business Media B.V..
- Tomasi, C., Fuzzi, S. & Kokhanovsky, A. 2017. *Atmospheric Aerosols: Life Cycles and Effects on Air Quality and Climate*. Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co..

Tørseth, K., Aas, W., Breivik, K., Fjæraa, A. M., Fiebig, M., Hjellbrekke, A. G., Lund Myhre, C., Solberg, S. & Yttri, K. E. 2012. Introduction to the European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) and observed atmospheric composition change during 1972–2009. NILU – Norwegian Institute for Air Research, Kjeller, Norway. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 12, 5447–5481.

Turner M., C., Krewski, D., Pope C., A., I., Chen, Y., Gapstur, S., M. & Thun, M., J. 2011. Long-term Ambient Fine Particulate Matter Air Pollution and Lung Cancer in a Large Cohort of Never-Smokers. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 184(12), 1374-1381.

UNECE, 2014. *Diesel engine exhausts: myths and realities*. New York & Geneva, United Nations.

WHO, 2006. Air quality guidelines - global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Geneva, World Health Organization Headquarters.

WHO, 2013. *Health effects of particulate matter. Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia*. Copenhagen, The Regional Office for Europe of the World Health Organization.

WHO, 2017. *Ambient (outdoor) air pollution*. Fact sheet. Geneva, World Health Organization Headquarters.

Withgott, J. & Brennan, S. 2007. *Environment*. USA, Pearson education, Inc.

Zhang, J., Shao, Y. and Huang, N. 2014. Measurements of dust deposition velocity in a wind-tunnel experiment. *Atmos. Chem. Phys.* 14, 8869–8882.

Nepublicētie avoti:

Baltijas Vides Forums, 2011. *Rīgas pilsētas gaisa kvalitātes uzlabošanas rīcības programma 2011.-2015*. Rīga dome. Rīga. Sk.:23.01.2021. Pieejams: <https://www.sus.lv/sites/default/files/media/faili/rigaspilsetasgaisakvalitatesuzlabosanasricibasprogramma2011.2015.pdf>

Bricis, T. 2021. FOTO: Virs Latvijas līst lietus kopā ar Sahāras putekļiem. Latvijas Sabiedriskie Mēdiji. Sk.: 05.05.2021. Pieejams: <https://www.lsm.lv/raksts/laika->

zinas/laika-zinas/foto-virs-latvijas-list-lietus-kopa-ar-sahas-putekliem.a394068/?fbclid=IwAR1ILEMKU-uoKFG7iLKKTgaa6lMrhQgGjVjnfroy6RgU678RJNnMRSng6_o

College of Veterinary Medicine & Biomedical Sciences S.a.. *Colorado State University Sulfur Calculator: Calculating Sulfur Intake Excess by Hand*. Sk.: 02.01.2021. Pieejams: <http://csu-cvmb.colostate.edu/vdl/sulfur-calculator/Pages/calculating-sulfur-intake-excess-by-hand.aspx>

CSDD, [bez.dat.]. *Transportlīdzekļi*. Sk.:23.01.2021. Pieejams: <https://www.csdd.lv/transportlidzekli/registre-to-transportlidzeklu-skait>

Datalystica Ltd., 2020. *Source Finder (SoFi): Manual for the software package SoFi (Pro) in IGOR Wavemetrics Inc*. Sk.:23.01.2021. Pieejams: https://www.datalystica.com/userdata/filemanager/data/SoFi_manual.pdf

ELLE, CERC, 2016. *Rīgas pilsētas gaisa kvalitātes uzlabošanas rīcības programma 2016.-2020. gadam*. Rīgas dome, Rīga. Sk.:23.01.2021. Pieejams: https://mvd.riga.lv/uploads/videgaiss/gp1620/02_Ricibas_Programma%202016-2020_Nr.4641.pdf

EPA S.a.. *Particulate Matter (PM) Basics*. Sk.: 29.05.2021. Pieejams: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>

European Commission, 2020. *May infringements package: key decisions*. Brussels. Sk.: 02.01.2021. Pieejams: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/EN/INF_20_859

European Environmental Agency (EEA) 2020. *Indicator Assessment. Exceedance of air quality standards in Europe*. Brussels. Sk.: 02.01.2021. Pieejams: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/exceedance-of-air-quality-limit-2/assessment>

Kropa, S., Kolāte, S., Lāce, Z. 2020. *Putekļi mums ir visapkārt. To ceļi ir tuvi un tāli*. Latvijas Radio. Sk.: 05.05.2021. Pieejams: <https://lr1.lsm.lv/lv/raksts/zinamais-nezinamaja/putekli-mums-ir-visapkart.-to-celi-ir-tuvi-un-tali.a127235/>

- Leverage Edu 2020. *Layers of Atmosphere*. Sk.: 29.05.2021. Pieejams:
<https://leverageedu.com/blog/layers-of-atmosphere/>
- LVĢMC 2014. *Valsts rīcības programma, lai samazinātu smalko daļiņu PM_{2.5} emisiju valstī un to radīto negatīvo ietekmi uz cilvēku veselību*. Rīga. Sk.: 23.05.2021. Pieejams:
https://www.meteo.lv/fs/CKFinderJava/userfiles/files/Vide/Gaiss/Gaisa_kvalitate/Parskati/PM25_RicibasProgramma_LVGMC.pdf
- LVĢMC 2021^a. *Arī pirmsdien un otrdien Latvijā būs slikta gaisa kvalitāte*. Sk.: 23.03.2021.
Pieejams: <https://videscentrs.lvgmc.lv/jaunumi/92425980>
- LVĢMC 2021^b. *Ziņojums par valsts atmosfēras gaisa kvalitātes monitoringa tīkla izvērtējumu*. Rīga. Sk.: 23.03.2021. Pieejams: <https://videscentrs.lvgmc.lv/lapas/gaisa-kvalitate>
- LVĢMC S.a.. *Valsts statistikas pārskats „Nr. 2 – Gaiss”*. Sk.: 20.02.2021. Pieejams:
http://parissrv.lvgmc.lv/public_reports
- Mājokļu un vides departaments 2020. *Gaisa piesārņojuma mērījumu rezultāti Rīgā 2019. gadā*. Rīgas dome. Sk.: 02.01.2021. Pieejams:
https://mvd.riga.lv/uploads/videgaiss/dok/Riga_gaisa_kvalitate_2019%20gala.pdf
- Pīlupa, L. 2014. *Regulējošo faktoru kvantitatīvās ietekmes novērtējums gaisa kvalitātei Rīgā: maģistra darbs*. Rīga, LU Ģeogrāfijas un zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.
- Robinson, D., Silvestre, I., Hetz, S. 2020. Zoonotic Diseases, Invasive Alien Species And Wildlife Trade – Is The Current EU Legislative Framework Fit For Purpose? *EU Green Week Conference 2020*. Sk.: 22.10.2020. Pieejams:
<https://www.youtube.com/watch?v=DS0SC8GLWVY>
- The Baltic Times 2019. *European Commission might take legal action against Latvia over air pollution – ministry*. LETA. Sk.: 02.01.2021. Pieejams:
https://www.baltictimes.com/european_commission_might_take_legal_action_against_latvia_over_air_pollution_-_ministry/
- The Department of Environment and Science 2018. *Data handling: Units and concentrations*. Environmental Protection (Water) Policy 2009 - Monitoring and Sampling Manual.

Queensland Government. Sk.: 02.01.2021. Pieejams:

https://environment.des.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0022/90148/data-handling-units-and-concentrations.pdf

Zemkopības ministrija 2019. *Maija mēnesī 196 meža ugunsgrēki*. Sk.: 05.05.2021. Pieejams:

<https://www.vmd.gov.lv/valsts-meza-dienests/jaunumi/maija-menesi-196-meza-ugunsgreki?id=10271>

Normatīvie akti:

Direktīva (ES) 2004/107/EK par arsēnu, kadmiju, dzīvsudrabu, niķeli un policikliskiem aromātiskiem ogļūdeņražiem apkārtējā gaisā. Pieņemta: 2004. gada 15. decembrī. Eiropas Parlaments un Padome.

Direktīva (ES) 2008/50/EK par gaisa kvalitāti un tīrāku gaisu Eiropai. Pieņemta: 2008. gada 21. maijā. Eiropas Parlaments un Padome.

Direktīva (ES) 2015/1480 ar kuru groza dažus pielikumus Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvās 2004/107/EK un 2008/50/EK, ar ko paredz noteikumus attiecībā uz standartmetodēm, datu validēšanu un paraugu ņemšanas vietu izvietojumu gaisa kvalitātes novērtēšanai. Pieņemta: 2015. gada 28. augustā. Eiropas Komisija.

Direktīva (ES) 2015/2193/EK par ierobežojumiem attiecībā uz dažu piesārņojošu vielu emisiju gaisā no vidējas jaudas sadedzināšanas iekārtām. Pieņemta: 2015. gada 25. novembrī. Eiropas Parlaments un Padome.

Direktīva (ES) 2016/2284 par dažu gaisu piesārņojošo vielu valstu emisiju samazināšanu un ar ko groza Direktīvu 2003/35/EK un atceļ Direktīvu 2001/81/EK. Pieņemta: 2016. gada 14. decembrī. Eiropas Parlaments un Padome.

Direktīva (ES) 2016/802 ar ko paredz sēra satura samazināšanu konkrētiem šķidrā kurināmā veidiem. Pieņemta: 2016. gada 11. maijā. Eiropas Parlaments un Padome.

Direktīva 2010/75/EK par rūpnieciskām emisijām. Pieņemta: 2010. gada 24. novembrī. Eiropas Parlaments un Padome.

Īstenošanas lēmums 2011/850/ES kurā izklāstīti noteikumi par Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvu 2004/107/EK un Direktīvu 2008/50/EK attiecībā uz savstarpēju

informācijas apmaiņu un ziņojumiem par apkārtējā gaisa kvalitāti. Pieņemts: 2011. gada 12. decembra. Eiropas Komisija.

Kārtība, kādā piesakāmas A, B un C kategorijas piesārņojošas darbības un izsniedzamas atļaujas A un B kategorijas piesārņojošo darbību veikšanai. Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumi Nr.1082. Pieņemti: 2010. gada 30. novembrī.

Kopējo gaisu piesārņojošo vielu emisiju samazināšanas un uzskaites noteikumi. Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumi Nr. 614. Pieņemti: 2018. gada 2. oktobrī.

Likuma Par piesārņojumu. Pieņemts: 15.12.2005. Latvijas Republikas Saeima.

Noteikumi par gaisa kvalitāti. Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumi Nr.1290. Pieņemti: 2009. gada 3. novembrī.

Noteikumi par gaisa piesārņojuma ierobežošanu no sadedzināšanas iekārtām. Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumi Nr.17. Pieņemti: 2021.gada 7.janvārī.

Noteikumi par gaistošo organisko savienojumu emisijas ierobežošanu no noteiktiem produktiem. Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumi Nr.231. Pieņemti: 2007. gada 3. aprīlī.

Noteikumi par īpašiem ierobežojumiem un aizliegumiem attiecībā uz darbībām ar ozona slāni noārdošām vielām un fluorētām siltumnīcefekta gāzēm. Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumi Nr.563. Pieņemti: 2011. gada 12. jūlijā.

Noteikumi par prasībām attiecībā uz vides monitoringu un tā veikšanas kārtību, piesārņojošo vielu reģistra izveidi un informācijas pieejamību sabiedrībai. Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumi Nr. 158. Pieņemti: 2009. gada 17. februārī.

Noteikumi par sēra satura ierobežošanu atsevišķiem šķidrās degvielas veidiem. Latvijas Republikas Ministru kabineta Nr. 801. Pieņemti: 2006. gada 26. septembrī.

Par 1979. gada Ženēvas konvencijas par robežšķērsojošo gaisa piesārņošanu lielos attālumos protokolu “Par Kopējās programmas gaisa piesārņojuma izplatības lielos attālumos novērošanai un novērtēšanai Eiropā ilgtermiņa finansēšanu (EMEP)”). Latvijas Republikas Ministru kabineta rīkojums Nr.13. Pieņemts: 1997. gada 16. janvārī.

Par gaisa kvalitātes novērtēšanas un pārvaldības zonu noteikšanu valstī. Latvijas Republikas Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrijas rīkojums Nr.247. Pieņemts: 2015.gada 7.septembrī.

Par gaisa piesārņojuma samazināšanas rīcības plānu 2020.-2030. gadam. Latvijas Republikas Ministru kabineta rīkojums Nr. 197. Pieņemts: 2020. gada 16. aprīlī.

Par Kopējās programmas gaisa piesārņojuma izplatības lielos attālumos novērošanai un novērtēšanai Eiropā ilgtermiņa finansēšanu (EMEP) Ženēvas konvencijas par robežšķērsojošo gaisa piesārņošanu lielos attālumos protokols. Pieņemts: 1984. gadā. ANO.

Par pievienošanu 1979. gada Ženēvas konvencijai par robežšķērsojošo gaisa piesārņošanu lielos attālumos. Latvijas Republikas Ministru kabineta lēmums Nr.63. Pieņemts: 1994. gada 7. jūnijā.

Regula (EK) Nr. 1005/2009 par ozona slāni noārdošām vielām. Pieņemta: 2009. gada 16. septembrī. Eiropas Parlaments un Padome.

Regula (EK) Nr. 517/2014 par fluorētām siltumnīcefekta gāzēm un ar ko atceļ Regulu (EK) Nr. 842/2006. Pieņemta: 2014. gada 16. aprīlī. Eiropas Parlaments un Padome.

Regula (EK) Nr. 166/2006 par Eiropas Piesārņojošo vielu un izmešu pārnesei reģistra ieviešanu un Padomes Direktīvu 91/689/EEK un 96/61/EK grozīšanu. Pieņemta: 2006. gada 18. janvārī. Eiropas Parlaments un Padome.

Vides aizsardzības likums. Pieņemts: 02.11.2006. Latvijas Republikas Saeima.

Ženēvas konvencija par robežšķērsojošo gaisa piesārņošanu lielos attālumos. Pieņemta: 1979. gada 13. novembrī. ANO.

Kartogrāfiskais materiāls:

OpenStreetMap contributors 2015. *Planet dump OpenStreetMap tiles*. Sk.: 05.05.2021.

Pieejams: <https://planet.openstreetmap.org>

PIELIKUMI

1. pielikums. Ievaddatu matrica

Perioda sākuma datums, 1 nedēļas ekspozīcija	Ar, mg/l	Ni, mg/l	Cd, mg/l	Pb, mg/l	NH ₄ , mg/l	NO ₃ , mg/l	SO ₄ , mg/l	Ca, mg/l	K, mg/l	Mg, mg/l	Na, mg/l	Cl, mg/l
2018-12-31 08:00:00	0.0002	0.009	0.00002	0.0023	0.31863	1.09864	1.173	1	1	0.5	2.9	4.807
2019-01-07 08:00:00	0.0002	0.0011	0.00005	0.004	0.6966	1.78529	0.924	0.8	0.5	0.3	3	4.985
2019-01-14 08:00:00	0.0005	0.0028	0.00007	0.003	0.30315	0.77968	0.951	2	0.9	0.4	2.4	3.362
2019-01-21 08:00:00	0.0002	0.0011	0.00003	0.0026	0.36765	1.67454	0.669	1	0.2	0.21	2.3	3.548
2019-01-28 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00006	0.0016	0.3354	1.80744	1.173	0.7	0.28	0.18	1.5	2.153
2019-02-04 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00007	0.005	0.94041	3.53957	2.43	1.9	1.2	0.4	2.7	4.321
2019-02-11 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00002	0.006	0.19479	0.97903	0.759	1.3	0.6	0.4	1	1.363
2019-02-25 08:00:00	0.0002	0.0014	0.00006	0.009	1.09005	3.38452	2.109	2.7	1	0.6	4	6.41
2019-03-04 08:00:00	0.0002	0.0009	0.000028	0.003	0.72498	1.4619	1.125	1.3	0.4	0.4	1.2	2.112
2019-03-11 08:00:00	0.0002	0.0012	0.00007	0.002	0.69144	1.67897	1.152	0.5	0.09	0.22	0.6	1.024
2019-04-29 08:00:00	0.0002	0.007	0.00016	0.009	1.43577	1.95363	2.808	6	5	2.2	0.8	1.239
2019-05-06 08:00:00	0.0002	0.0013	0.00018	0.011	0.02709	1.82073	1.11	3	5	1	0.6	0.811
2019-05-13 08:00:00	0.0006	0.0009	0.00004	0.0024	0.16899	1.09864	0.951	2.9	5	1.3	0.5	1.1315
2019-05-20 08:00:00	0.0002	0.0021	0.00005	0.004	0.02193	0.02658	4.86	4	0.9	1.9	0.6	1.69
2019-05-27 08:00:00	0.0002	0.0009	0.0006	0.006	0.27864	0.04873	0.933	0.6	2.6	0.26	0.3	0.66
2019-06-24 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00012	0.0026	0.59985	1.86946	0.696	0.8	0.19	0.26	0.15	0.351
2019-07-01 08:00:00	0.0002	0.0009	0.000023	0.0026	0.06192	0.41642	0.321	0.26	0.14	0.13	0.15	0.201
2019-07-08 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00002	0.0004	0.09546	0.29681	0.294	0.09	0.07	0.04	0.09	0.139
2019-07-15 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00002	0.004	0.327015	1.09864	0.951	0.4	0.1	0.12	0.08	1.1315
2019-07-22 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00002	0.001	0.11481	1.17838	0.54	0.3	0.1	0.11	0.13	0.271
2019-08-05 08:00:00	0.0002	0.0009	0.000022	0.0012	0.04257	0.33225	0.393	0.5	0.6	0.21	0.13	0.162
2019-08-19 08:00:00	0.0002	0.0022	0.00005	0.0017	0.04257	0.33225	0.744	1	2.1	0.4	0.4	0.758
2019-09-02 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00005	0.006	1.09521	1.21382	2.19	1.6	2.4	0.6	0.27	0.577
2019-09-09 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00002	0.0014	0.04257	0.03987	0.348	0.7	2	0.3	0.26	0.811

Perioda sākuma datums, 1 nedēļas ekspozīcija	Ar, mg/l	Ni, mg/l	Cd, mg/l	Pb, mg/l	NH ₄ , mg/l	NO ₃ , mg/l	SO ₄ , mg/l	Ca, mg/l	K, mg/l	Mg, mg/l	Na, mg/l	Cl, mg/l
2019-09-16 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00002	0.0012	0.04257	0.02658	0.252	0.18	0.4	0.1	0.12	0.358
2019-09-23 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00004	0.00235	0.04257	0.03987	0.336	0.5	2.3	0.23	0.09	0.914
2019-09-30 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00009	0.0005	0.04257	0.02658	0.345	0.27	1.3	0.14	0.12	0.641
2019-10-07 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00002	0.0011	0.43602	0.70437	0.816	0.5	2.1	0.5	0.14	1.635
2019-10-14 08:00:00	0.0004	0.0009	0.00004	0.004	0.63339	2.10868	2.724	7	0.9	0.3	0.4	1.1315
2019-11-04 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00004	0.0021	0.2967	0.71323	0.294	0.17	0.3	0.12	0.08	0.092
2019-11-11 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00002	0.0004	2.3349	2.06881	2.73	0.5	0.5	0.3	0.12	0.376
2019-11-25 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00002	0.0004	1.54413	1.56379	1.479	0.6	0.8	0.3	0.4	1.368
2019-12-02 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00004	0.0004	0.44634	0.9303	0.972	0.9	3	0.6	1	4.344
2019-12-09 08:00:00	0.0002	0.0009	0.00003	0.0007	0.66306	1.46633	1.482	0.8	3	0.6	1	3.708
2019-12-23 08:00:00	0.00022	0.0009	0.00002	0.0005	0.77142	0.98346	1.113	0.6	1.3	0.4	0.6	1.553
	trūkstoši dati, kas aizvietoti ar mediānu											

2. pielikums. Nenoteiktības matrica

Perioda sākuma datums, 1 nedēļas ekspozīcija	Ar, mg/l	Ni, mg/l	Cd, mg/l	Pb, mg/l	NH ₄ , mg/l	NO ₃ , mg/l	SO ₄ , mg/l	Ca, mg/l	K, mg/l	Mg, mg/l	Na, mg/l	Cl, mg/l
2018-12-31 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-01-07 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-01-14 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-01-21 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-01-28 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-02-04 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-02-11 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-02-25 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-03-04 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-03-11 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-04-29 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-05-06 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-05-13 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	4.39456	3.804	0.012	0.003	0.012	0.024	4.526
2019-05-20 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	3.6	0.012	0.024	0.0117
2019-05-27 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-06-24 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-07-01 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-07-08 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-07-15 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	1.30806	4.39456	3.804	0.012	0.003	0.012	0.024	4.526
2019-07-22 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-08-05 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-08-19 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-09-02 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-09-09 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117

Perioda sākuma datums, 1 nedēļas ekspozīcija	Ar, mg/l	Ni, mg/l	Cd, mg/l	Pb, mg/l	NH ₄ , mg/l	NO ₃ , mg/l	SO ₄ , mg/l	Ca, mg/l	K, mg/l	Mg, mg/l	Na, mg/l	Cl, mg/l
2019-09-16 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-09-23 08:00:00	0.00008	0.00036	0.000016	0.00094	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-09-30 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-10-07 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-10-14 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	3.6	1.2	0.024	4.526
2019-11-04 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-11-11 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-11-25 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-12-02 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-12-09 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
2019-12-23 08:00:00	0.00006	0.00027	0.000006	0.00012	0.012771	0.007974	0.0072	0.012	0.003	0.012	0.024	0.0117
	nenoteiktība aprēķināta kā četrkārtīga mediāna											

3. pielikums. EPA PMF 5.0 iestatījumi (programmas izdruka)

EPA PMF

Model Data | Base Model | Rotational Tools | Help

Base Model Runs | Base Model Results | Base Model Bootstrap Results | Error Estimation Summary

Base Model Runs

Number of Runs: 20 Number of Factors: 5

Random Start Seed Number: 70

Error Estimation

Base Model Displacement Method

Selected Base Run: 16

Base Model Bootstrap Method

Selected Base Run: 16

Block Size: 4

Number of Bootstraps: 100

Min. Correlation R-Value: 0.6

Base Model BS-DISP Method

Displacement	Species	Cat	S/N
<input checked="" type="checkbox"/>	Ar	Strong	2.7
<input type="checkbox"/>	Ni	Strong	3.3
<input type="checkbox"/>	Cd	Strong	5.5
<input type="checkbox"/>	Pb	Strong	8.1

Base Model Run Summary

Run Number	Q (Robust)	Q (True)	Converged
1	6704.9	55797.6	Yes
2	6705.3	55839.9	Yes
3	6748.0	53522.2	Yes
4	6705.1	55823.9	Yes
5	6705.2	55838.0	Yes
6	6705.2	55827.2	Yes
7	6705.0	55810.4	Yes
8	6785.1	57052.3	Yes
9	6705.4	55848.7	Yes
10	6704.8	55782.4	Yes
11	6785.0	57056.5	Yes
12	6705.2	55828.2	Yes
13	6785.4	57057.6	Yes
14	6704.8	55784.0	Yes
15	6705.0	55811.7	Yes
16	6593.8	46554.9	Yes
17	6705.1	55817.8	Yes
18	6705.2	55822.5	Yes
19	6704.9	55809.4	Yes
20	6748.1	53520.6	Yes

Factor Names

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
Run 16	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
Run 17	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
Run 18	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5

Run Progress:

4. pielikums. SoFi Standard 8.0 iestatījumi (programmas izdruka)

GENERAL settings Model MATRICES RESAMPLING strategy ROLLING mechanism

I. Define number of factors

starting factor ending factor nb. of PMF calls

II. Convergence criteria

Point	deltaQ	cons_steps	max_steps	gg2_steps
0	10	10	1500	10
1	1	20	2500	1
2	0.1	30	3000	0.1
3				

III. Miscellaneous settings

Missing data Error matrix (general) Error matrix (weight) Others

A.I) Define values for matrix cells containing no data

A.II) Data lower than this threshold value is not considered