

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE  
VIDES ZINĀTNES NODAĻA

Iveta Šteinberga  
Promocijas darbs

**Kvazistatisku atmosfēras piesārņojuma  
līmeņu kompleksā analīze un  
modelēšana**

Vides zinātnes nozare  
Dabas aizsardzības apakšnozare

Rīga, 2007

Promocijas darbs izstrādāts Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes Vides zinātnes nodaļā un Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūrā laikā no 2003. gada septembra līdz 2006. gada decembrim.

*Darbs izstrādāts ar ESF atbalstu  
(līgums Nr. 2004/0001/VPD1/ESF/PIAA/04/NP/3.2.3.1/0001/0063).*

Darba vadītājs: prof. *Dr. habil. chem.* **Māris Kļaviņš**

PROMOCIJAS PADOMES SASTĀVS

Priekšsēdētājs: asoc. prof. *Dr. biol.* Viesturs Melecis

Locekļi:

asoc. prof. *Dr. biol.* Gunta Sprinģe  
prof. *Dr. habil. chem.* Māris Kļaviņš  
prof. *Dr. habil. geogr.* Māris Laiviņš  
prof. *Dr. geogr.* Oļģerts Nikodemus  
prof. *Dr. habil. sc. ing.* Dagnija Blumberga  
asoc. prof. *Dr. geogr.* Zaiga Krišjāne  
asoc. prof. *Dr. geogr.* Agrita Briede

OFICIĀLIE RECENZENTI

asoc. prof. *Dr. geogr.* Agrita Briede (Latvijas Universitāte, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte)  
*Dr. sc. ing.* Ilo Dreijers (Rīgas Tehniskā Universitāte, Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte)  
*Dr. phys.* Rasa Girgzdiene (Lietuvas Fizikas Institūts, Vides fizikas un ķīmijas laboratorija)

Promocijas darba aizstāvēšana notiks 2007. gada 20. aprīlī plkst. 13.00 Latvijas Universitātes Vides zinātnes nozares promocijas padomes sēdē LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātē Rīgā, Alberta ielā 10.

Ar promocijas darbu var iepazīties Latvijas Universitātes Zinātniskajā bibliotēkā Rīgā, Kalpaka bulvārī 4; Latvijas Akadēmiskajā bibliotēkā Rīgā, Lielvārdes ielā 4.

Atsaukmes sūtīt: Dr. Gunta Sprinģe, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte, Raiņa bulv. 19, LV-1586, Rīga, Latvija. Fakss: (00)3717332704, e-pasts: gspringe@email.lubi.edu.lv.

ISBN 9984-802-45-0

© Iveta Šteinberga, 2007  
© Latvijas Universitāte, 2007

## Saturs

Pateicība .....	4
Ievads .....	5
1. Literatūras apskats .....	8
1.1. Atmosfēras piesārņojuma veidošanos ietekmējošie faktori .....	8
1.2. Atmosfēras piesārņojuma līmeņa aprēķināšanas modeļi .....	16
1.3. Atmosfēras piesārņojuma prognožu sastādīšanas principi .....	21
1.4. Atmosfēras piesārņojuma modelēšanas metožu pielietojums Latvijā .....	22
2. Materiāli un metodes .....	24
3. Rezultāti un to apspriešana .....	26
3.1. Pētījumu vietas klimatiskais raksturojums .....	26
3.2. Rīgas mikroklimatiskās iezīmes .....	39
3.3. Atmosfēras piesārņojuma avoti un monitoringa rezultāti .....	43
3.4. Piesārņojošo vielu koncentrāciju un meteoroloģisko parametru kompleksā analīze .....	48
3.5. Piesārņojošo vielu īstermiņa koncentrāciju prognozes izmantojot mainīgo regresijas metodi .....	61
3.6. Piesārņojošo vielu ilgtermiņa koncentrāciju prognozes, izmantojot trajektoriju analīzi .....	65
Secinājumi .....	69
Literatūra .....	70
Interneta resursi .....	72
Publikācijas .....	101

## **Pateicība**

Autore izsaka pateicību prof. Mārim Kļaviņam (Latvijas Universitāte, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte), prof. Agritai Briedei (Latvijas Universitāte, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte), prof. Oļģertam Nikodemusam (Latvijas Universitāte, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte), prof. Roberto San Jose (Madrīdes universitāte), Dr. Jānim Kleperim (Latvijas Universitāte, Cietvielu fizikas institūts) un Litai Lizumai (Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūra) par atbalstu promocijas darba tapšanā.

## levads

Promocijas darbā ir analizēti atmosfēras piesārņojuma līmeņi Rīgā, novērtējot atsevišķu un kompleksu meteoroloģisko parametru ietekmi. Pamatojoties uz iegūtajām likumsakarībām, izstrādātas īstermiņa un ilgtermiņa atmosfēras piesārņojuma prognozes, kā arī novērtēta to attaisnošanās.

Pasaules lielākajās pilsētās (arī Rīgā) gaisa piesārņojuma līmenis neatbilst Eiropas Savienības direktīvu prasībām. Viena no iespējām, kā samazināt atmosfēras piesārņojuma līmeni, ir samazināt emitēto vielu apjomu. Taču emisijas samazināšanas pasākumu ieviešana parasti ilgst vairākus gadus, tātad pozitīvais efekts tiek novērots 2–5 gadu nākotnes periodā. Atsevišķos gadījumos paaugstinātu piesārņojuma līmeni nevar saistīt tikai ar emisiju apjomu, tas var būt arī nelabvēlīgu meteoroloģisku apstākļu ietekmes efekts. Viens no efektīvākajiem veidiem, kā samazināt augsta epizodiska piesārņojuma rašanos, balstās uz gaisa piesārņojuma modelēšanu un prognozēm. Atmosfēras piesārņojuma modelēšana ir vienīgā metode, kas skaitliski raksturo sakarības starp emisijām, koncentrācijām un izkrišanu, ņemot vērā arī nākotnes scenārijus un iespējamo emisijas apjomu samazināšanas tehnoloģiju efektivitāti.

Atmosfēras piesārņojumam ir gan tieša, gan netieša ietekme uz cilvēka veselību, kas tiek novērtēta kā īstermiņa un ilgtermiņa ekspozīcija. Piesārņojuma līmeņa nepārtraukts monitorings sniedz informāciju par piesārņojošo vielu koncentrācijām, salīdzinājums ar normatīvajiem lielumiem rada iespēju novērtēt potenciālo bīstamību un ietekmi uz veselību, draudus ekosistēmu degradācijai, savukārt koncentrāciju, vietējo ģeogrāfisko un meteoroloģisko parametru kompleksā analīze veido izpratni ne tikai par sekām, bet arī cēloņiem, kas izraisa attiecīgos piesārņojuma līmeņus. Šāda analīze sniedz priekšstatu par būtisko – galvenajiem atmosfēras piesārņojuma līmeņa ietekmes faktoriem, cēloņiem un kritērijiem, tādējādi veicinot atmosfēras piesārņojuma prognožu izstrādi. Atmosfēras piesārņojuma prognozēm ir raksturīga duāla daba, tas ir gan instruments, gan informatīvs indikators, ar kura palīdzību iespējams informēt dažādas iedzīvotāju grupas par potenciāli augstiem piesārņojuma līmeņiem, kā arī novērst iepriekšminēto piesārņojuma līmeņu rašanos, ja to izcelsme ir antropogēna.

Par kompleksās analīzes un modelēšanas objektu šajā darbā izmantota Rīga.

**Darba mērķis** ir noskaidrot savstarpējās sakarības starp atmosfēras piesārņojumu un meteoroloģiskiem apstākļiem Rīgā un, pamatojoties uz iegūtajiem rezultātiem, īstermiņā un ilgtermiņā prognozēt atmosfēras piesārņojuma līmeni.

Darba galvenie uzdevumi:

- apkopot un izvērtēt informāciju par gaisa piesārņojuma līmeni Rīgā un galvenajiem piesārņojuma avotiem;
- veikt piesārņojošo vielu koncentrāciju un meteoroloģisko apstākļu komplekso analīzi Rīgā;
- izvērtēt meteoroloģiskos faktoros, kuri nosaka atmosfēras piesārņojuma līmeņa veidošanos Rīgā;

- izvērtēt atmosfēras piesārņojuma ilgtermiņa un īstermiņa prognostiskos modeļus un izstrādāt izmantojamu atmosfēras piesārņojuma modeli prognožu sastādīšanai, pārbaudīt moduļa darbību eksperimentāli.

Darba novitāte:

- pirmo reizi Latvijā apkopota un kompleksi analizēta atmosfēras piesārņojuma līmeņa veidošanās rosinošo faktoru nozīme; veikta faktoru analīze Rīgas pilsētai ar tālāku mērķi rezultātus izmantot prognostiska modeļa izstrādē;
- prognostiskie modeļi tiek pārbaudīti eksperimentāli, izstrādājot īstermiņa un ilgtermiņa atmosfēras piesārņojuma līmeņa prognozes atbilstoši meteoroloģisko apstākļu prognozēm un piesārņojuma uzkrāšanās procesiem.

*Promocijas darba rezultātu aprobācija:*

pētījuma rezultāti ir publicēti:

*zinātniskajos žurnālos un izdevumos:*

1. Steinberga I. 2006. PM<sub>10</sub> pollution analysis and forecasting in Riga, Latvia. *In proceedings: Air quality in eastern Europe. A review of measurement and modelling practices and needs. ACCENT secretariat*, 163-166, 188.
2. Osite A., Steinberga I., Kleperis J., Vīksna A. 2005. Analysis of PM<sub>10</sub> monitoring results in Riga in connection with origination sources. *In proceedings: 14<sup>th</sup> Symposium "Transport and Air Pollution"*, 353-362, 401.
3. Steinberga I., Lizuma L. 2004. Air quality modelling in Latvia. *Environ Modell Softw*, 1225–1228, 1529.
4. Steinberga I., Kleperis J. 2004. Urban air pollution: input from car parking places. *In proceedings: 10<sup>th</sup> International conference on urban transport and the environment in the 21st Century*, 851–859, 905.

*Autore ziņojusi par pētījuma rezultātiem vienpadsmit konferencēs:*

1. ACCENT workshop on air quality in eastern Europe. Review of measurement and modelling practices and needs. Birini, Latvia – 19.–20.06.2006.  
Steinberga I. PM<sub>10</sub> pollution analysis and forecasting in Riga.
2. 6<sup>th</sup> International conference on urban climate – Gothenburg University, Gothenburg, Sweden – 12–16.06.2006.  
Steinberga I., Lizuma L., Eindorfa A. An empirical analysis of the relationship between meteorological parameters and urban air pollution.
3. European aAerosol conference EAC2005 – Universiteit Gent, Ghent, Belgium – 28.08.–02.09.2005.  
Steinberga I., Lizuma L. Analysis of high-level PM<sub>10</sub> episodes caused by synoptic and meteorological parameters.
4. 1<sup>st</sup> International conference on harbours & air quality – University of Genoa, European association for the science of air pollution, Genoa, Italy – 15.06.–17.06.2005.  
Steinberga I., Smalins E. Air quality assessment in Latvia harbour cities.

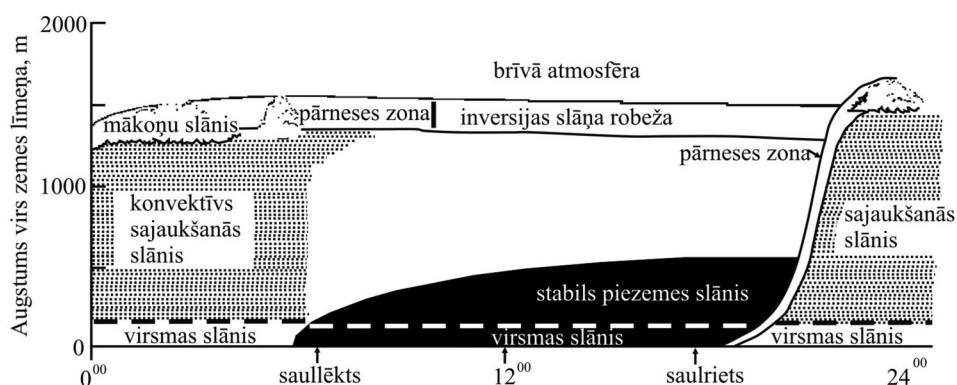
5. 14<sup>th</sup> Symposium transport and air pollution – Institute for internal combustion engines and thermodynamics, Graz University of Technology, Graz, Austria - 01.–03.06.2005.  
Osite A., Steinberga I., Kleperis J., Vīksna A. Analysis of PM<sub>10</sub> monitoring results in Riga in connection with origination sources.
6. EcoBalt 2005, Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga – 05.–06.05.2005.  
Steinberga I. Gaisa kvalitātes uzlabošanas programma Rīgai.
7. 5<sup>th</sup> International conference on urban air quality - University of Hertfordshire, Valencia, Spain – 29.03.–1.04.2005.  
Steinberga I. Air quality improvement plan for Riga.
8. International congress on complexity and integrated resources management and the 2<sup>nd</sup> biennial meeting of the iEMSS - University of Osnabruck, Osnabruck, Germany – 14–17.06.2004.  
Steinberga I., Lizuma L. Air quality modelling in Latvia.
9. 10<sup>th</sup> International conference on urban transport and the environment in the 21st Century – Wessex Institute of Technology, Dresden, Germany – 19.05.–21.05.2004.  
Steinberga I., Kleperis J. Urban air pollution: input from car parking places.
10. EcoBalt 2004, Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga – 06.–07.05.2004.  
Steinberga I., Lizuma L. Air pollution forming processes caused by micro-climatological parameters.
11. EcoBalt 2003, Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga – 15.–16.05.2003.  
Steinberga I., Vasiljeva T. Gaisa kvalitātes modelēšanas iespējas Latvijā.

## 1. Literatūras apskats

### 1.1. Atmosfēras piesārņojuma veidošanas ietekmējošie faktori

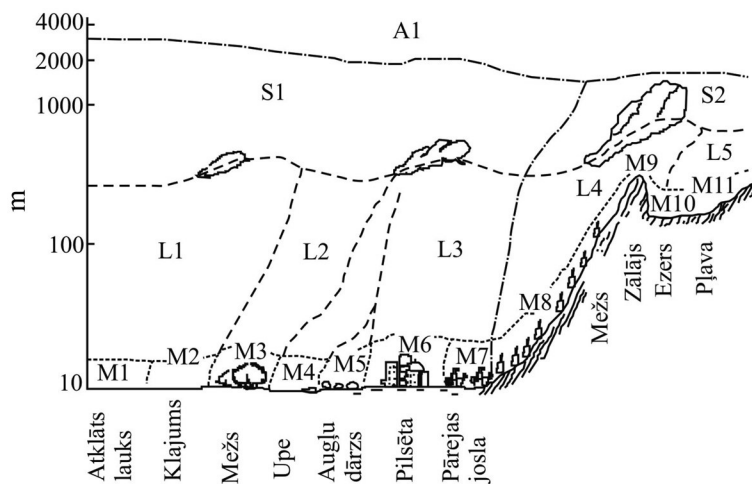
Vispārīga saikne starp meteoroloģiskiem parametriem un gaisa piesārņojumu pilsētās ir labi zināma, tomēr vēl aizvien nav definēti konkrēti kopēji kvantitatīvi likumi, kas raksturotu atsevišķu meteoroloģisko parametru ietekmi aglomerācijās. Pēdējo gadu laikā ir ticis konstatēts, ka pilsētām raksturīgā specifiskā infrastruktūra, zemes izmantošanas veidi un mikroklimatoloģiskie apstākļi rada neatkarīgus, savstarpēji nesaisītus atmosfēras piesārņojuma veidošanās scenārijus. Pilsētvides efekts pilsētas klimatā rada tādas parādības kā “siltuma salas”, mazāki vai lielāki vēja ātrumi, smogs, paaugstināts zemo mākoņu daudzums, paaugstināts apmākušos dienu skaits (“lietus salas”), paaugstināta turbulence (Chow, 1992). Lai precīzi prognozētu atmosfēras gaisa piesārņojumu, nepieciešams novērtēt vismaz divus galvenos piesārņojuma rašanās mehānismus katrā pilsētvides apgabalā – termisko un mehānisko turbulenci.

Novērtējot meteoroloģisko parametru efektu, lielākā uzmanība tiek pievērsta zemākā atmosfēras slāņa (atmosfēras piezemes slāņa) struktūrai un izmaiņām laikā. Atmosfēras piezemes slānis ir daļa no troposfēras un tieši saistīts ar zemes virsmas stāvokli (Stull, 1994). Augsta spiediena reģionos atmosfēras piezemes slānim ir labi definēta struktūra, un tam ir raksturīgs diennakts cikls (1.1.1. att.).



1.1.1. att. Atmosfēras piezemes slāņa diennakts izmaiņu cikls (<http://apollo.lsc.vsc.edu>)

Sajaukšanās īpatnības un raksturīgā diennakts gaita nosaka atmosfērā emitētā piesārņojuma efektīvu izkliedi un transportu no emisijas avota vai arī akumulēšanos, sasniedzot augstu piesārņojuma līmeni. Lokālais klimats ir klimatiskais apgabals, kurā vietējie apstākļi piezemes slānī ir atšķirīgi salīdzinājumā ar tuvāko apkārtni. Atšķirīgi ģeometriskie izmēri un lokālā klimata raksturojums izveidots jau 20. gadsimta vidū (Landsberg, 1941; Mörikofer, 1947), definējot arī klimata dimensijas no 100 m līdz 10000 m (Mörikofer, 1947; Flohn, 1959; Barry, 1970; Yoshino, 1975). Lokālā klimata shematiskais attēlojums dots 1.1.2. attēlā, mikroklimata mēroga dimensijas apzīmētas ar M1-M11, lokālā klimata dimensijas ar L1-L5, mezo klimata mēroga dimensijas ar S1-S2, savukārt makroklimata dimensijas ar A1.



1.1.2. att. Klimata telpisks attēlojums (Yoshino, 1975)

Lokālā un globālā klimata raksturojošie elementi – gaisa temperatūra, nokrišņi, vējš, mitrums, saules spīdēšanas ilgums, saules radiācija – neatšķiras, tomēr atmosfēras spiediens, kas ir viens no svarīgākajiem globālā klimata elementiem, lokālā klimata gadījumā nav tik svarīgs. Faktori, kas ietekmē lokālo klimatu, ir topogrāfija, zemju un ūdenstilpju izvietojums, zemsedze. Vējš ir viens no svarīgākajiem lokālā klimata veidošanās un sadalījuma elementiem, tomēr jāņem vērā arī sinoptiski klimatoloģiskie apstākļi, jo, novērtējot tādu lokālā klimata parametru ietekmi kā sasaluma izplatība, stipru lokālo vēju atgādīšanās biežums, “siltuma salu” eksistences fakts, nokrišņi, bez minētajiem sinoptiski klimatoloģiskajiem apstākļiem nevar iztikt.

Zināmi vairāki apstākļi, kas ietekmē lokālā klimata veidošanos, – virsmas raksturojums (krāsa, tips, siltumvadītspēja); veģetācija (tips, augstums, blīvums, krāsa, sezonālās izmaiņas) un apbūve (materiāli, blīvums, krāsa, siltumvadītspēja, siltuma avoti, mitrums, piesārņojums) (Oke, 1981). Uzņemtais saules radiācijas daudzums ir atkarīgs gan no virsmas atrašanās augstuma virs jūras līmeņa, gan no sauli aizsedzošu objektu īpatsvara (piemēram, no kalnu izvietojuma un blīvuma). Jo augstāki kalni, jo mazāks attālums starp starotāju un saņēmēju, jo zemāka izkliedēšanās pakāpe atmosfēras piesārņojuma radītā efekta dēļ, tātad uzņemtais siltuma starojuma daudzums ir būtiski lielāks. Piejūras klimatam ir raksturīgs neliels diennakts un gada temperatūru svārstību diapazons. Tā iemesls ir zemes brīzes naktīs un jūras brīzes dienas laikā. Tomēr pastāv gan tiešie, gan netiešie cēloņi šīm nelielajām temperatūru svārstībām. Tiešais nelielo temperatūras izmaiņu cēlonis ir atšķirības starp zemes un ūdens fizikālajām īpatnībām. Dienas laikā saules radiācijas ietekmē zeme sasilst ātrāk, savukārt ūdenstilpes atšķirīgās siltumietilpības dēļ – lēnāk (Qian et al., 2000). Sinoptiskā mērogā vējš piekrastes zonā būtiski samazina gaisa temperatūru naktīs aukstajā sezonā, jo tas nepieļauj intensīva inversijas slāņa veidošanos.

Lokāla mēroga klimata veidošanos nosaka frontes, cikloni un anticikloni ar savu dinamiskumu. Saskaņā ar meteoroloģijas priekšstatiem fronte vai frontālā zona nozīmē robežu starp divām pēc blīvuma atšķirīgām gaisa masām, tomēr lokāla mēroga frontes

var rasties arī temperatūras, vēja virzienu, mitruma, mākoņu, nokrišņu, redzamības un piesārņojuma atšķirību dēļ (Harvey, 1989). Jūras brīzes fronte dažkārt kļūst par smoga fronti, jo piesārņojums uzkrājas jūras brīzes frontes ūdens pusē. Līdz ar lokālo fronti divas konverģējošas gaisa plūsmas var radīt atsevišķus lokālus negaisus ar intensīviem nokrišņiem īsā laika periodā.

Lokāla mēroga cikloni veidojas termisko procesu rezultātā (intensīva radiācija gada siltajā periodā) virs līdzenām virsmām un relatīvi siltām ūdenskrātuvēm – iekšzemes jūrām un ezeriem gada aukstajā sezonā. Mehāniskas izcelsmes lokālie cikloni veidojas kalnu aizvēja pusē, parasti tie attīstās ļoti strauji, ar lielu un spēcīgu nokrišņu daudzumu (Atkinson, 1981).

1.1.1. tabula

**Meteoroloģisko apstāļu un parādību ietekmes mērogs un būtiskums (Changnon, 1983)**

Parādība	Ietekmes mērogs, km	Ietekmes noteiktība	Svarīgums jeb ietekmes būtiskums
Redzamība un dūmaka	30 – 150	Noteikti	Būtisks
	> 150	Iespējams	Vidējs
Siltumapmaiņa un saules radiācija	30 – 150	Noteikti	Vidējs
Mākoņainība	Līdz 30	Noteikti	Vidējs
	30 – 150	Iespējams	Vidējs
Nokrišņi	Līdz 30	Noteikti	Būtisks
	30 – 150 vai > 150	Iespējams	Vidējs
Pērkonu negaiss	Līdz 30	Noteikti	Būtisks
	30 – 150	Iespējams	Būtisks
Stiprs lietus	Nav zināms	Nav zināms	Nav zināms
Temperatūra	Līdz 30	Noteikti	Vidējs
	30	Iespējams	Neliels
Vējš/cirkulācija	Līdz 30	Noteikti	Vidējs
	30 – 150	Maz ticams	Nav zināms
Migla	1 – 30	Noteikti	Būtisks
Mitrums	1 – 30	Noteikti	Vidējs
	30 – 150	Noteikti	Vidējs

Pilsētu veidošanās process būtiski izmaina virsmas stāvokli, un tas savukārt nosaka lokālā klimata veidošanos. Tieši 20. gadsimtā strauji pieauga lielu aglomerāciju veidošanās, un mūsdienās lielākā daļa pasaules iedzīvotāju dzīvo pilsētās (Ziemeļamerikā, Latīņamerikā, Eiropā un Okeānijā – vairāk nekā 50% (Hauser et al., 1982)). Latvijā pilsētās dzīvo 68% iedzīvotāju, no tiem Rīgā – 32% (www.csb.lv). Antropogēnais faktors lokālā klimata veidošanās procesos piedalās vairākos līmeņos, no lokāla līmeņa (piemēram, parka vietā tiek ierīkota automašīnu stāvvietā) līdz makrolīmenim (oglekļa dioksīda ietekme uz globālām klimata izmaiņām fosilā kurināmā sadedzināšanas rezultātā). Pilsētu klimata veidošanos nosaka būtiski faktori – mitrums un gaisa masu kustības areāls pilsētas robežās. Meteoroloģisko parametru un parādību izmaiņu efekti, ietekmes mērogi un būtiskums redzami 1.1.1. tabulā, kur to ietekmes atainotas vairākos mērogos – mikrolīmenī, kur ietekmes zona nepārsniedz 1 km, pilsētas mērogā ar ietekmes zonu līdz 30 km, mērogā ar ietekmes zonu no 30 km līdz 150 km un makromērogā, kur ietekmes zona pārsniedz 150 km.

Vairāki aglomerācijās notiekoši procesi (gaisa piesārņojums, antropogēnas vides radītais papildu siltums, ūdens necaurlaidīgu virsmu īpatsvars, virsmas materiālu termiskās īpašības, virsmas ģeometriskais raksturojums) rada neatgriezeniskas izmaiņas enerģijas apmaiņas procesos, termiskajā režīmā, mitruma svārstībās un vēju cirkulācijas sistēmās (Oke, 1981). Citi faktori, kas būtiski ietekmē pilsētas klimata veidošanos, ir pilsētas ģeogrāfiskais izvietojums, reljefs, ūdenstilpju tuvums, pilsētas izmēri, iedzīvotāju blīvums, zemes izmantošanas veidi un izplatība. Dažādu elementu ietekmes kvantitatīvais novērtējums aglomerācijās un dabiskā vidē dots 1.1.2. tabulā.

Tikai 20. gadsimta 80. gados zinātnieki uzsāka pilsētu klimata pētījumus, novērtēja pilsētu ietekmi lokālā un reģionālā klimata veidošanās procesos. Sākotnēji lielākā daļa pētījumu tika veikti, pamatojoties uz ģeogrāfisko atšķirību salīdzinājumu (Landsberg, 1981).

1.1.2. tabula

**Dabiskas un antropogēnas izcelsmes faktoru ietekmes pakāpes salīdzinājumā ar dabisko vidi (Landsberg, 1981)**

Parametri	Ietekmes faktors salīdzinot ar dabisko vidi
Piesārņojums: - kondensācijas kodoli - cietās daļiņas - gāzveida piesārņojums	× 10-kārtīgs × 10-kārtīgs ×5-kārtīgs līdz ×25-kārtīgs
Saules radiācija: - globālā saules radiācija uz horizontālas virsmas - ultravioletā saules radiācija (ziemā) - ultravioletā saules radiācija (vasarā) - saules spīdēšanas ilgums	līdz -20% -30% -5% -5 līdz -15%
Mākoņainība: - migla (ziemā) - migla (vasarā)	+ 100% + 30%
Nokrišņi: - dienas ar nokrišņu daudzumu < 5 mm - sniega daudzums pilsētās - sniega daudzums pilsētās aizvēja pusē - pērkona negaiss	+ 10 % -5 līdz -10% + 10 % +10 līdz -15%
Temperatūra: - gada vidējā temperatūra - minimālā temperatūra ziemā - maksimālā temperatūra vasarā	+ 0.5 līdz +3.0°C +1 līdz +2°C +1 līdz +3°C
Relatīvais mitrums: - vidējais relatīvais mitrums gadā - vidējais relatīvais mitrums ziemā - vidējais relatīvais mitrums vasarā	-6% -2% -8%
Vēja ātrums: - vidējais vēja ātrums gadā - maksimālās vēja brāzmas - bezvējš	-20 līdz -30% -10 līdz -20% +5 līdz +20%

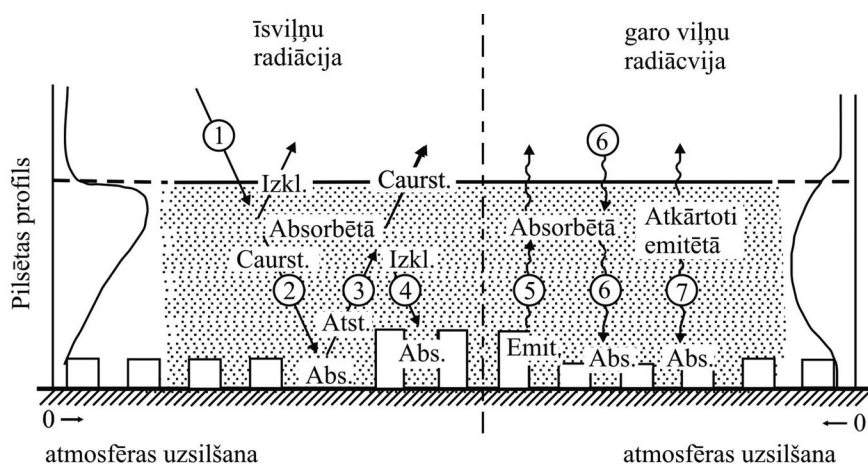
Pilsētās neatkarīgi no to lieluma praktiski vienmēr ir augstākas apkārtējās vides temperatūras; šo faktu konstatēja jau 19. gadsimtā. Kopš pilsētas ir kļuvušas par cilvēku, ēku un pilsētu aktivitāšu aglomerāciju centriem, tās tiek uzskatītas par īpašām vietām no klimatoloģijas un atmosfēras piesārņojuma viedokļa par – “siltuma salām”. To veidošanās iemesli ir dažādi (1.1.3. tabula). Tieša lineāra sakarība pastāv starp iedzīvotāju blīvumu un temperatūras pieaugumu aglomerācijās (Brazel et al., 1980; Oke, 1981).

Aglomerācija ar gaisa piesārņojumu un virsmas stāvokļa izmaiņām ietekmē gan īso, gan garo viļņu radiāciju. 1.1.3. attēlā ilustratīvi atainotas radiāciju fluktuācijas un procesi pilsētas piezemes slānī.

1.1.3. tabula

Siltuma salu veidošanās ietekmējošie faktori (Oke, 1979)

Slānis	Siltuma salu veidošanās ietekmējošie faktori
Piezemes slānis aglomerācijā	<ul style="list-style-type: none"> <li>- emitētais siltuma daudzums no būvēm un dūmeņiem;</li> <li>- iekšējās gaisa masu kustības no siltākiem apgabaliem uz aukstākiem;</li> <li>- siltuma līdzplūsma ar gaisa masām no augšējā stabilā atmosfēras slāņa (caurplūdes konvekcijas rezultātā);</li> <li>- īsviļņu radiācijas svārstības piesārņotas gaisa masu plūsmas robežās.</li> </ul>
Veģētācijas slānis pilsētā	<ul style="list-style-type: none"> <li>- emitētais siltuma daudzums no būvēm;</li> <li>- paaugstināta īsviļņu absorbcijas spēja ielu kanjonu ģeometrisko izmēru dēļ;</li> <li>- samazināta uzņemtās un atstarotās garo viļņu radiācijas attiecība, kas ir saistīta ar ielu kanjonu ģeometriskajiem izmēriem;</li> <li>- paaugstināta siltumietilpība, kas saistīta ar būvju materiālu īpašībām;</li> <li>- paaugstināta virsmas siltuma plūsma, kas saistīta ar mazāku iztvaikošanas intensitāti, jo samazinās apstādījumu blīvums un intensīvāk tiek ekspluatētas ūdens necaurlaidīgi materiāli;</li> <li>- virsmas siltuma plūsmas konverģences faktors, kas parādās samazinoties vēja ātrumam veģētācijas slānī.</li> </ul>



1.1.3. att. Radiācijas fluktuācijas piesārņotas atmosfēras piezemes slānī pilsētā; attēlota gan īsviļņu radiācija – uzsilšana (kreisajā pusē), gan garo viļņu radiācija – atdzišana (labajā pusē) (Atwater, 1971; Oke, 1982)

Krītošās īsviļņu radiācijas (1.1.3. att., plūsma ② un ④) samazināšanās absorbcijas procesu rezultātā jau iepriekš ir analizēta dažādos klimatiskajos apgabalos, un tiek uzskatīts, ka krītošās radiācijas samazināšanās pilsētās ir par 2–10% lielāka nekā pārējā apkārtējā vidē. Savukārt spektra ultravioletā daļa (mazāk par 0,4  $\mu\text{m}$ ), tiek samazināta gandrīz par 50% (Peterson et al., 1978). Analizējot visu saules radiācijas spektru (viļņu garums 0,15–4,0  $\mu\text{m}$ ), var konstatēt, ka kopumā samazināšanās ir būtiski mazāka, sasniedzot pat 10% (Peterson et al., 1977; Peterson et al., 1980). Viens no būtiskākajiem faktoriem, kas ietekmē atstarotās enerģijas pakāpi (1.1.3. att., plūsma ③), ir virsmas albedo, kā arī tas, ka virsma ir telpiska – trīsdimensionāla, katrai konkrētai pilsētai raksturīga. Šī atstarošanās pakāpe – albedo – parasti ir būtiski mazāka pilsētās salīdzinājumā ar citu apkārtējo vidi; tas ir saistīts ar atstarojošās virsmas stāvokli un krāsu. Zemāka albedo vērtība ir tumšām virsmām (tieši no tādām tradicionāli ir veidota pilsētas mozaīka). Pastāv būtiskas atšķirības pilsētas iekšienē, un tās ir saistītas ar apstādījumu blīvumu, celtnu materiālu variācijām, jumtu kompozīciju un zemes izmantošanas veidu (1.1.4. tabula).

1.1.4. tabula

**Albedo vērtība dažādiem virsmas materiāliem (Arnfield, 1982)**

Materiāls	Albedo (%)
Betons	27.1
Melns asfalts	10.3
Sarkani ķieģeļi	32.0
Dzelteni, brūni ķieģeļi	40.0
Balti ķieģeļi	60.0
Stikls	9.0
Tumša krāsa	27.5
Balta krāsa	68.7
Lubu jumti	25.0
Kūstošs/netīrs sniegs	55.0
Akmens	31.7
Darvots jumts	13.5

Pilsētas albedo vērtība mainās atkarībā no pilsētas apkārtnes, piemēram, ja pilsētu iekļauj mežu masīvi, tad pilsētas albedo vērtība no mežu platību albedo vērtības atšķiras tikai par 10–20%.

Garā viļņu radiācijas ietekmē pilsētas piesārņojums un temperatūras režīms. Siltāka virsma emitē lielāku vertikālo siltuma enerģijas daudzumu, īpaši naktīs (1.1.3. att., plūsma ⑤). Daļu radiācijas uz savas virsmas absorbē cietās daļiņas un aerosoli, uzņemot noteiktu siltuma daudzumu. Šāda īpašība ir raksturīga gaisa masu slāņiem, kas ir siltāki par absorbēto siltuma daudzumu (1.1.3. att., plūsmas ⑦ un ⑧).

Pilsētās un teritorijās (subtropu, tropu, ekvatoriālajā joslā) ar būtisku cieto daļiņu un aerosolu piesārņojumu aerosoli var radīt tā saukto termiskās segas efektu, kas ir vēl viens no temperatūras paaugstināšanās iemesliem pilsētās (Idso et al., 1978).

20. gadsimta 60–70 gados novērots, ka nokrišņu biežums lielās pilsētās un/vai lejpus tām pieaug par 30%. Pētījumu rezultāti pierāda, ka tieši vasaras periodos novērojama aglomerāciju ietekme uz nokrišņiem dominējošās konvekcijas dēļ (Changnon, 1969;

Dettwiller et al, 1976; Atkinson, 1971). Tā, piemēram, Sentluisā (ASV), pamatojoties uz nokrišņu, temperatūras un vēju lauku detalizētiem mērījumiem, kā arī izmantojot radara datus, bija iespējams izskaidrot faktorus, kas radīja arvien biežākas lietusgāzes:

- a) atmosfēras piesārņojums;
- b) augšējā piezemes slāņa termiskās struktūras izmaiņas;
- c) atkarība no gaisa masu sajaukšanās augstuma un vertikālām mitruma izmaiņām aglomerācijā.

Konverģences zonu virs pilsētas nosaka pieaugošā virsmas siltuma plūsma. Pilsēta ir aerodinamiski ļoti mainīga, tajā ir vairāk piesārņojuma (piesārņojoso vielu kondensācijas avotu), kas rada papildu termisko un mehānisko turbulenci un daļēji ietekmē konvektīvo mākoņu veidošanos, tātad arī nokrišņu rašanos.

Papildus “siltuma salas” efektam pilsētām raksturīgas izmaiņas gaisa masu kustību režīmā praktiski jebkurā mērogā. Pilsētas aerodinamiski mainīgā virsma (slānis virs zemes virsmas, kur vēja ātrums kļūst lielāks par nulli) ir par 0,5–4,0 m lielāka salīdzinājumā ar lauku apgabaliem; tas rada papildu berzi un izmaiņas gaisa masu kustības režīmā. “Siltuma salas” efekts ietekmē spiediena laukus un atmosfēras vertikālo stabilitāti, kas savukārt ietekmē lokālās gaisa masu kustības. Ietekmes intensitāte izpaužas atšķirīgi, tā ir atkarīga no dominējošiem reģionālajiem vējiem un to stipruma reģionā kopumā. Gadījumos, kad reģionālie vēji ir stipri, būtisks ir virsmas aerodinamiskais faktors, kas inducē mehāniskās turbulences pieaugumu par 30–50% (Oke, 1980). Lēna vēja gadījumā dominē spiediena izmaiņu un atmosfēras stabilitātes efekts, kas nosaka vēja ātrumu dažādās pilsētas vietās papildus virsmas īpatnībām. Vispārinot var teikt: ja dominē lēni reģionālie vēji, to ātrums pilsētās salīdzinājumā ar laukiem palielinās (šajā gadījumā lauku apgabalos ir stabila noturīga atmosfēra), to ietekmē virsmas stāvoklis un termiskā turbulence. Savukārt stipru reģionālo vēju gadījumā to ātrums pilsētās samazinās berzes efekta dēļ. Par lēniem reģionāliem vējiem tiek uzskatīti vēji ar ātrumu 0,8 m/s, bet par stipriem – vēji ar ātrumu 5,6 m/s (Chandler, 1965; Bornstein et al., 1977; Lee, 1979).

Vēja virziena atšķirības pilsētās un laukos ir saistītas ar dažādiem virsmas šķēršļiem. Vēji, kuru ātrums samazinās, rada cikloniskas kustības (zemā spiediena dēļ); savukārt pieaugošais vēja ātrums rada anticikloniskas kustības (Lee, 1979). Pilsētu orogrāfijas dēļ izraisītām vēja virziena maiņām ir raksturīgs diennakts variāciju cikls, kas ir saistīts ar sajaukšanās slāņa augstumu. Dienas laikā virziena maiņas efekts samazinās, savukārt naktī tas sasniedz maksimumu. Vēju ietekmējošie faktori (ēku izmēri un to orientācija telpā, apbūves blīvums, zemes izmantošanas veidi) ir vairāki, un tie iedarbojas katrs atsevišķi, kā arī kompleksi. Parasti vēja ātrums ir mazāks pilsētas veģetācijas slānī, tomēr nereti iespējams novērot vēja tuneļus un tā sauktās vēja “piltuves-dūmvadus” (Oke, 1980).

Zemākā atmosfēras piezemes slāņa daļa atrodas virs zemes virsmas augstuma, kurā turbulence mainās 10% robežās. Šī slāņa augstums mainās no dažiem centimetriem nakts laikā līdz pat 300 m dienas laikā. Zemākajā atmosfēras piezemes slānī dominē tikai mehāniski radīta turbulence. Galvenais iemesls mehāniski radītai turbulencei ir vertikālo svārstību blīvuma impulss, kamēr uzsilšana rada kustības tuvu virsmai. Gadījumos, kad siltuma plūsma ir virzīta lejup, tā apslāpē turbulenci, tātad vienīgais kustību avots ir mehāniski radītās svārstības. Vertikālā siltuma plūsma un impulsi zemākajā

atmosfēras piezemes slānī veido piezemes slāņa horizontālo plūsmu, ko nosaka stabilitāti raksturojošie parametri Monina–Obuhova līdzības teorijā (Stull, 1994).

Atmosfēras stabilitāte un turbulence ir vieni no dominējošiem faktoriem atmosfēras piesārņojuma izkliedei. Stabilitāte ir tieši saistīta ar vertikālo temperatūras sadalījumu, vēja ātrumu un mākoņainību. Atmosfēras stabilitātes novērtējumam izmanto vairākas metodes.

- 1) Tērnera (Paskvela-Giforda) metode, kas ir izstrādāta 1964. gadā un ir viena no vienkāršākajām, kur stabilitāte tiek aprakstīta, izmantojot stabilitātes klases.
- 2) Saules radiācijas – temperatūras izmaiņu metode, kuras pamatā ir tādi paši principi kā Tērnera metodei, taču mākoņu slāņa raksturojuma vietā tiek izmantoti temperatūras starpības mērījumi 2 un 8 metru augstumā.
- 3) Sigma–Teta metode, kuras pamatā ir vertikālā vēja sadalījuma mērījumi.

Visbiežāk atmosfēras stabilitāte tiek raksturota pēc Tērnera (Paskvela–Giforda) stabilitātes sistēmas. Minētajā sistēmā ir iekļautas 7 stabilitātes klases, sākot no ļoti nestabilas līdz ļoti stabilai klasei (1.1.5. tab.).

1.1.5. tabula

**Atmosfēras stabilitātes klases pēc Tērnera (Paskvela-Giforda) parametrizācijas metodes**

Vēja ātrums 10 m augstumā, m/s	Diena			Nakts	
	Krītošā saules radiācija			Apmācies	Skaidrs
	Stipra	Vidēja	Vāja		
< 2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Atmosfēras stabilitātes raksturošanai tiek izmantoti gan burti (no A līdz G), gan to skaidrojums vispārīgā formā, ar burtu A apzīmējot ļoti nestabilu, ar B – nestabilu, ar C – nedaudz nestabilu, ar D – neitrālu, ar E – nedaudz stabilu, ar F – stabilu un ar G – ļoti stabilu atmosfēru. “Ļoti stabils” atmosfēras klase G tiek lietota ļoti reti, un bieži tā ir apvienota ar “stabils” atmosfēras klasi F, abas kopā raksturojot ar terminu “ļoti stabila” (Stull, 1994).

Nestabilos apstākļos augstākās koncentrācijas ir novērojamas emisijas avota tiešā tuvumā, jo dominē turbulence un vertikālā samaisīšanās. Stabils atmosfēras gadījumā vertikālā gaisa masu samaisīšanās praktiski nenotiek. Zemas koncentrācijas tiek novērotas emisijas avota tiešā tuvumā, turklāt tās vēl palielinās, attālinoties no emisijas avota. Šādi apstākļi parasti novērojami nakts laikā, un tiem raksturīgs lēns vējš un skaidras debesis (Turner, 1969).

Krītošā saules radiācija nosacīti tiek iedalīta 3 klasēs (1.1.5. tab.):

- stipra – attiecināma uz skaidrām vasaras dienām ar skaidrām debesīm un sauli virs horizonta  $> 60^\circ$ ;
- vidēja – attiecināma uz vasaras dienām ar atsevišķiem mākoņiem vai skaidrām debesīm un sauli virs horizonta  $35\text{--}60^\circ$ ;

- vāja – attiecināma uz rudenīgām pēcpusdienām, mākoņainām vasaras dienām un/vai skaidrām vasaras dienām un sauli virs horizonta 15–35°.

Par nakts periodu sauc laika posmu no 1 stundas pirms saules lēkta līdz 1 stundai pēc saules rieta. Mākoņainība tiek noteikta, debess horizonta daļu nosacīti sadalot 8 daļās, piemēram, ja 5 no šīm 8 daļām ir pārklātas ar mākoņiem, tad mākoņainība ir lielāka par 4/8-daļām.

## 1.2. Atmosfēras piesārņojuma līmeņa aprēķināšanas modeļi

Atmosfēras piesārņojuma modeļi apraksta saistību starp piesārņojošo vielu emisijām, koncentrāciju un izkrišanu. Piesārņojuma līmeņa monitorings sniedz kvantitatīvu priekšstatu tikai kādā konkrētā vietā par koncentrācijām un vielu izkrišanu, savukārt modelēšanas ceļā iespējams iegūt pilnīgāku informāciju, kā arī veikt piesārņojuma līmeņu izraisīto cēloņu analīzi emisijas avotiem, meteoroloģiskiem parametriem, fizikālām un ķīmiskām transformācijām, kas parasti ir piesārņojuma līmeņa un izkrišanas cēlonis. Atmosfēras piesārņojuma modelēšana ir vienīgā metode, kas kvantitatīvi apraksta saikni starp emisijām un koncentrācijām, ieskaitot nākotnes piesārņojuma līmeņa scenāriju izvērtēšanu un potenciālo nākotnes tehnoloģiju ieviešanas efektivitāti.

Piesārņojošo vielu koncentrāciju atmosfēras piezemes slānī galvenokārt nosaka to emisiju apjomi, transports un difūzija. Vielu transportu nosaka plūsmas ātrums, savukārt difūziju – plūsmas turbulenta kustība. Pirmie atmosfēras difūzijas pētījumi ir aprakstīti 20. gs. sākumā Teilora turbulenta difūzijas teorijā, kur stacionāriem punktveida avotiem noteikts nemainīgs difūzijas koeficients liela mēroga difūzijas gadījumā. Neliela mēroga difūzijai šis koeficients ir proporcionāls vielu transportam (Nieuwstadt, et al., 1982; Zannetti, 2003).

Sākotnēji 1962. gadā Paskvila publicētajā monogrāfijā „Atmosfēras difūzija” galvenā uzmanība bija pievērsta lokāla rakstura dispersijas fenomenam un sēra dioksīda koncentrācijām. Vēlāk tika formulēts Gausa dispersijas modelis, kurā piesārņojuma izplatība ir raksturota ne tikai horizontāli, bet arī vertikāli, pamatojoties uz eksperimentāliem datiem. Tieši šajā modelī tika ieviestas Paskvila–Giforda horizontālā un vertikālā sadalījuma jēdziens, kas parametrizēts kā atmosfēras stabilitātes funkcija (Zannetti, 2003).

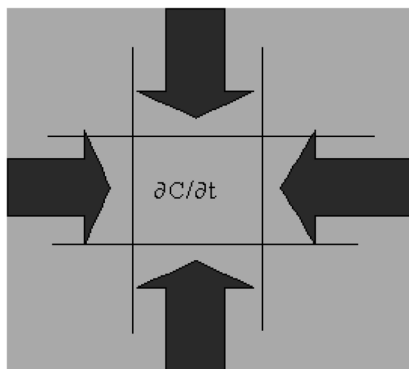
Teilora modelēšanas metodē turbulence tiek aprakstīta kā homogēns process, kas pilnībā neatbilst realitātei, savukārt Gausa dispersijas modeļos šāda teorija netiek pieņemta kā reāliem apstākļiem atbilstoša. Pamatojoties uz iepriekšminēto, Gausa dispersijas modeļa koncepciju sāka izmantot gan punktveida, gan arī līnijveida un laukuma tipa avotiem. Atmosfēras piesārņojuma līmeni nosaka ne tikai lokāla rakstura īpašības, kuras apraksta atbilstoši Gausa dispersijas modelim. Piesārņojuma pārnesei lielos attālumos nav iespējams aprakstīt, izmantojot Gausa dispersijas modeli, tāpēc izstrādātas papildu metodikas – Lagranža un Eilera modeļi. Lagranža modelēšanā tiek pieņemts, ka piesārņojuma pārnesei ir raksturīga trajektorija, kuru tā saglabā visu pārnesei laiku, savukārt Eilera modeļos piesārņojuma lauks tiek sadalīts šūnās abos virzienos – gan vertikāli, gan horizontāli (Cheng et al., 1998). Lagranža tipa modeļus galvenokārt izmanto piesārņojuma pārrobežu pārnesei raksturošanai. Tie izmantoti arī Elisena darbos, kuri ir

sadarbības programmas par monitoringu un pārrobežu pārnesei atmosfēras piesārņojuma novērtējumu lielos attālumos (EMEP) trajektoriju modeļa pamatā. Šo modeli pašlaik izmanto vides paskābināšanās piesārņojuma pārrobežu pārnesei aprēķinos (Cheng et al., 1988).

Vispār, gan Lagranža, gan Eilera modeļa pamatā ir advekcijas - difūzijas vienādojumi. Eilera dispersijas modelis (1.2.1.att.) ir šāds:

$$\frac{dC}{dt} = [adv.] + [dif.] + [avots] + [citi\ parametri] \quad (1)$$

Tātad piesārņojošo vielu koncentrāciju laikā ( $dC/dt$ ) pamatā nosaka advekcijas ( $adv.$ ), difūzijas ( $dif.$ ), emisijas avota un citu mazāk nozīmīgu faktoru kopums.

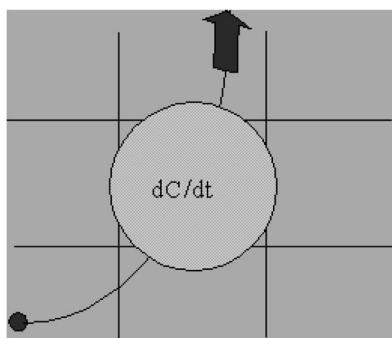


1.2.1. att. Eilera dispersijas modeļa shematiskais attēlojums

Lagranža dispersijas modelis (1.2.2.att.):

$$\frac{dC}{dt} = [adv.] + [dif.] + [avots] \quad (2)$$

Tāpat kā Eilera dispersijas modelēšanas metodē, piesārņojošo vielu koncentrāciju laikā ( $dC/dt$ ) nosaka advekcijas ( $adv.$ ), difūzijas ( $dif.$ ) un emisijas avota raksturojošo faktoru kopums.



1.2.2. att. Lagranža dispersijas modeļa shematiskais attēlojums

Meteoroloģisko parametru prognostiskie modeļi konceptuāli sastāv no 6 pamatvienādojumiem. Divi no tiem ir diagnostiskie modeļi, kas izskaidro savstarpēji saistītu parametru statistiskās sakarības:

- 1) gāzu likums raksturo sakarību starp spiedienu, blīvumu un temperatūru;
- 2) hidrostatiskais vienādojums raksturo sakarību starp gaisa blīvumu un spiediena izmaiņām dažādos augstumos.

Pārējie vienādojumi ir prognostiski un raksturo horizontālās un vertikālās vēja, temperatūras un parciālo ūdens tvaiku un piezemes spiediena dinamiskas izmaiņas dažādos laika periodos:

- 3) nepārtrauktības vienādojums raksturo masas nezūdamību un ir nepieciešams, lai noteiktu vertikālo vēja ātrumu un piezemes spiediena izmaiņas;
- 4) kustību aprakstoši vienādojumi raksturo gaisa masu kustības ātruma samazināšanos un palielināšanos spiediena gradienta un Koriolisa spēka ietekmē;
- 5) termodinamikas vienādojumi apraksta temperatūras izmaiņas adiabātiskas atdzišanas vai sasilšanas procesos, kondensāciju, iztvaikošanu;
- 6) atmosfēras mitruma un ozona daudzuma nezūdamības vienādojumi raksturo mitruma daudzuma nezūdamību un pāreju citos stāvokļos kondensācijas, iztvaikošanas un nokrišņu rašanās procesos. Šie nezūdamības vienādojumi apraksta specifiskus prognostiskus mākoņu, nokrišņu un ozona veidošanās procesus, tomēr tie bieži ir nepilnīgi aprakstīti nepietiekamas un nepilnīgas informācijas par procesa mehānisma norisi dēļ (Bourton, 2000a; Persson, 2005; Satoh, 2004).

Citus fizikālos procesus (radiāciju, turbulenci, berzi) arī iespējams aprakstīt ar iepriekšminētajiem pamatvienādojumiem, bet sakarā ar to nelielo ietekmi globālos cirkulācijas modeļos tie tiek aprakstīti statistiskā ceļā, izmantojot parametrizācijas metodes (Persson, 2005).

Piesārņojuma dispersijas vienādojumi tiek papildināti ar koagulāciju un kondensāciju aprakstošajiem vienādojumiem. Piesārņojošo vielu koncentrāciju aprēķiniem tiek izmantotas vairākas skaitliskās metodes:

- 1) skaitliskais tuvinājums aerosolu dinamiskiem aprēķiniem, izmantojot ierobežoto elementu metodi vai atšķirības;
- 2) aerosolu modelēšana, kuras pamatā ir aerosolu sadalījums noteiktā tilpuma vienībā;
- 3) modālā aerosolu modelēšana, kurā tiek izmantoti laikā mainīgi parametri, kas ietekmē aerosolu veidošanos (Koziol et al., 1998).

Piesārņojošo vielu izkliedes un pārnese modelēšanas metožu iedalījums pēc metožu principiem ir šāds:

- 1) emisiju aprakstošā dispersijas modelēšana;
- 2) receptortipa modelēšana;
- 3) inversā modelēšana;
- 4) statistiskā modelēšana, izmantojot neirālos tīklus un empīriskās regresijas modelēšanas metodes.

Emisiju aprakstošā dispersijas modelēšana tiek izmantota, lai raksturotu piesārņojuma izplatību telpā, novērtētu dažādu piesārņojuma līmeņa samazināšanas pasākumu ieviešanas efektivitāti konkrētā laika posmā un arī noteiktu atsevišķus nākotnes scenārijus. Galvenie ierobežojumi šāda veida modelēšanas izmantošanai ir kvalitatīvu ievades datu, īpaši cieto daļiņu emisijas datu trūkums. Galvenais dispersijas modeļu uzdevums ir simulēt tieši emitēto piesārņojošo vielu koncentrācijas, kas rodas turbulentās difūzijas rezultātā. Tomēr atsevišķos gadījumos šos modeļus ir iespējams izmantot, pētījot vielas, kuru koncentrācija ir atkarīga no ķīmiskām reakcijām atmosfērā. Dispersijas tipa modelī tiek pieņemts, ka aprēķinātās koncentrācijas  $c$  noteiktā punktā ar koordinātām  $x, y, z$  atbilst Gausa sadalījumam un tās ir atkarīgas no emisijas avota ģeometriskā raksturojuma, izmetes apjoma, horizontālā un vertikālā dispersijas koeficienta, kuru nosaka meteoroloģiskie parametri:

$$c(x, y, z) = \frac{Qf_p}{2\bar{A}u\bar{A}_y} \times \exp\left(-\frac{y^2}{2\bar{A}_y^2}\right) \times \sum_{j=1}^2 \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\Psi_j}{\bar{A}_{zj}} \left[ \exp\left(-\frac{(z - z_{dj} - 2mz_i)^2}{2\bar{A}_{zj}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + z_{dj} + 2mz_i)^2}{2\bar{A}_{zj}^2}\right) \right], \quad (3)$$

$$z = \begin{cases} z_r \\ z_p \end{cases}, \quad (4)$$

kur  $Q$  – piesārņojošās vielas emisijas apjoms (g/s);  $f_p$  – faktors, kas raksturo konvektīvā slānī esošo atmosfēras piesārņojuma daudzumu;  $\bar{u}$  – vēja ātrums (m/s);  $\sigma_y$  – laterālā dispersija no tiešiem un netiešiem emisijas avotiem ( $m$ );  $y$  – receptora attālums no emisijas avota ( $m$ );  $\lambda_j$  – koeficients, kas raksturo piesārņojuma augšupejošo un lejupejošo plūsmu ( $j = 1$  (augšupejošā plūsma);  $j = 2$  (lejupejošā plūsma));  $\sigma_{zj}$  – augšupejošās plūsmas ( $j = 1$ ) un lejupejošās plūsmas ( $j = 2$ ) dispersijas parametri;  $\Psi_{dj}$  – emisijas avota virtuālais (efektīvais) augstums;  $m$  – piezemes virsmas stāvokli raksturojošs koeficients;  $z_i$  – gaisa masu samaisīšanās augstums (m);  $z_r$  – parametrs, kas raksturo piesārņojuma plūmes horizontālo stāvokli;  $z_p$  – parametrs, kas raksturo piesārņojuma plūmes stāvokli noteiktā apgabalā (Cimorelli et al., 1988).

Ar receptoru tipa modelēšanas metodēm iespējams kvantitatīvi prognozēt dažādu emisijas avotu ietekmi piesārņojuma līmeņa veidošanās procesos. Tomēr arī šajā gadījumā ir nepieciešama detalizēta informācija par emisijas avotiem, kas ne vienmēr ir pieejama. Receptorās modelēšanas rezultāti raksturo piesārņojuma izkliedi konkrētā vietā un noteiktam laika periodam, un tie parasti nav pielāgojami citam reģionam. Inversās modelēšanas metožu priekšrocība ir transporta plūsmu emisiju novērtējums, izmantojot gaisa kvalitātes mērījumu rezultātus atbilstoši nosacījumam, ka mērījumu rezultātu kvalitāte ir augsta un ir iespējams nodalīt pārrobežu pārneses un dabisko emisijas avotu radīto piesārņojuma līmeni no transporta radītā piesārņojuma (Kukkonen et al., 2003; Sivertsen, 2000).

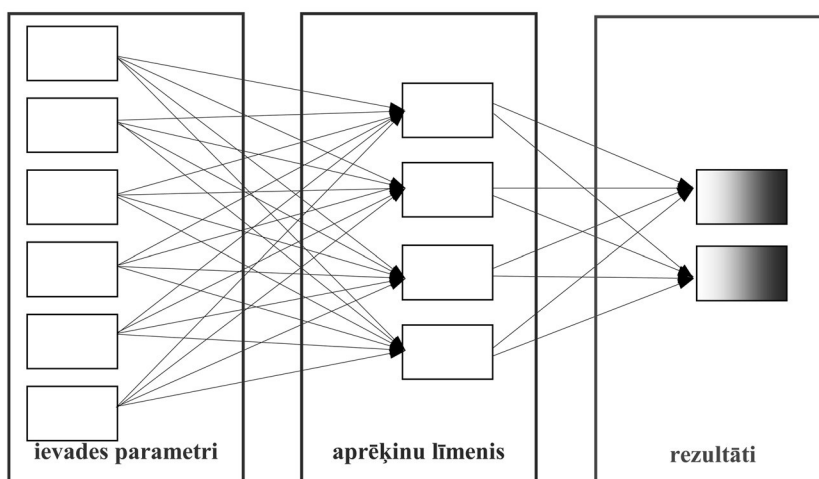
Neirālo tīklu izmantošana modelēšanā ieguvusi popularitāti pēdējos gados, tā sniedz kvalitatīvus rezultātus, kā arī tas ir efektīvs datu apstrādes rīks datu novērtējumam un prognožu sastādīšanai (Kukkonen et al., 2003). Modelis darbojas, pamatojoties uz iegūto pieredzi (uzkrāto savstarpēji saistīto datu apjomu), piesārņojuma līmeņa aprēķini tiek veikti, izmantojot pagātnē konstatētas, modeļa datu bāzē saglabātas reālas situācijas. Tāpēc, palielinoties ierakstu skaitam datu bāzē, pieaug aprēķinu rezultātu precizitāte. Neirālā tīkla darbības princips ir vienkāršs (1.2.3. att.). Tīkls sastāv no atsevišķiem ievades parametriem (piesārņojuma rašanās veicinošus faktorus), kuru skaitu izvēlas pats lietotājs. Pēc tam katrā tīkla mezgla atbilstošajā slānī tiek ģenerēts signāls, kas ir ievades parametru lineāra funkcija. Modelis atrod datu bāzē potenciāli tuvāko situāciju un, nepieciešamības gadījumā izmantojot korekcijas koeficientus, veic piesārņojuma līmeņa aprēķinu (Gardner et al., 1998; Perez et al., 2001; Perez et al., 2002).

Izmantojot empīriskās piesārņojuma līmeņa modelēšanas metodes, loģiskie datu apstrādes un analīzes posmi ir šādi:

- 1) meteoroloģisko rakstura piesārņojuma rašanās veicinošu faktoru pamatota izvēle;
- 2) koncentrāciju atbilstības novērtējums pēc Gausa normālā sadalījuma un pārveidošana nepieciešamības gadījumā;
- 3) nelineāru sakarību pārveidošana lineārās sakarībās;
- 4) loģiskās pakāpeniskās regresijas metodes izmantošana.

Empīrisko analīžu metožu pamatā ir lineārās un/vai nelineārās regresijas vienādojumi. Biežāk lieto:

- 1) laikā mainīgais regresijas modeli jeb Boksa-Dženkinsa modeli;
- 2) lineārās regresijas modeli;
- 3) atsevišķu komponentu analīzes metodes (Atahanasiadis et al., 2005; Millionis et al., 1994; Slini et al., 2002).



1.2.3. att. Neirālā tīkla modeļa uzbūve

Plašāk lietotais empīriskais modelis laikā mainīgo datu, datu rindu un dažādu parametru prognozēšanai ir Boksa–Dženkinsa modelis, kura pamatā ir pieņēmums, ka katru vērtību datu rindā nosaka regresijas komponente (iepriekšējā vērtība) un saistīto laikā mainīgo komponentu vidēji svērtās summārās vērtības. Vispārīgs Boksa–Dženkinsa modeļa vienādojums ir šāds:

$$y(k) = \sum_{i=1}^N a_i \times y(k-1) + \sum_{i=0}^M b_i \times u(k-1) + n(k) \quad (5)$$

kur  $y(k)$  – datu rindas  $k$ -tā vērtība;  $u(k)$  – citas datu  $k$ -tā vērtība;  $n(k)$  – modeļa kļūda;  $N, M$  – modeļa kārtas (Chatfield, 2004).

### 1.3. Atmosfēras piesārņojuma prognožu sastādīšanas principi

Ilggadēju atmosfēras piesārņojuma mērījumu statistiskā analīze sniedz priekšstatu par meteoroloģiskiem apstākļiem, kas veicina atmosfēras piesārņojuma uzkrāšanos, kā arī ļauj noteikt nelabvēlīgu meteoroloģisko apstākļu kopumu atmosfēras piesārņojuma prognožu sastādīšanā. Pamatojoties uz piesārņojošo vielu koncentrāciju, meteoroloģisko parametru un savstarpējo sakarību analīzi gada griezumā, ir iespējams izstrādāt gan vienkāršus, gan kompleksus prediktorus atmosfēras piesārņojuma prognožu sastādīšanai. Tradicionāli tiek izvēlēti šādi prediktori: vēja ātrums un virziens (ja iespējams, dažādā augstumā – ziemas slānī, 300 m un 500 m augstumā), atmosfēras gaisa temperatūra (ja iespējams, dažādā augstumā), temperatūras gradients, spiediens, izobāriskais virsmas potenciāls. Viens no galvenajiem prediktoriem ir atmosfēras piesārņojuma līmenis iepriekšējā dienā. Izmantojot korelācijas analīzi, iespējams identificēt jutīgākos prediktorus katrai konkrētai vietai. Ja piesārņojuma līmeņa monitorings ir nepilnīgs (neregulāras datu rindas) un nav raksturīga būtiska piesārņojuma paaugstināšanās nelabvēlīgos meteoroloģiskos apstākļos, prognožu sastādīšanai iespējams aprēķināt konkrētai vietai raksturīgu piesārņojuma līmeni aprakstošu parametru:

$$P_{ij}^{\cdot} = \frac{q_{ij}}{q_{AVG,i}} \quad (6)$$

kur  $P_{ij}^{\cdot}$  – korekcijas koeficients, kas raksturo piesārņojuma līmeni konkrētā dienā salīdzinājumā ar vispārējo dabiskas izcelsmes piesārņojuma līmeni,  $q_{ij}$  –  $j$ -tās vielas koncentrācija  $i$ -tajā dienā kādā konkrētā vietā vai pilsētā kopumā,  $q_{AVG,i}$  – attiecīgās vielas vidējā koncentrācija mēnesī, sezonā (Meteorological aspects of atmospheric pollution, 1981).

Pēc komplicētākiem un jaunākiem atmosfēras piesārņojuma prognostiskajiem skaitliskajiem modeļiem tiek noteiktas vairākas atmosfēras piesārņojuma veidošanās procesu komponentes vienlaikus:

- 1) lokāla izmēra nehomogenitāte, straujas izmaiņas zemes virsmas stāvoklī un siltuma plūsmas ietekmes faktora izmaiņas;
- 2) vēja ātruma izmaiņas, ņemot vērā apbūves ietekmi;
- 3) cirkulāro kustību sadalījums;

- 4) uzņemtā un akumulētā siltuma enerģija ielu kanjonos;
- 5) pilsētas augsnes faktora ietekme siltuma un ūdens tvaiku difūzijas procesos;
- 6) antropogēnas izcelsmes siltuma enerģijas fluktuācijas, arī "siltuma salas" efekts;
- 7) pilsētas iekšējais piezemes slānis un sajaukšanās augstums;
- 8) piesārņojošo vielu nozīme pilsētas klimata veidošanās procesā;
- 9) pilsētas efekts mākoņu un nokrišņu veidošanās procesā (Zannetti, 2003).

Tradicionāli meteoroloģisko parametru prognožu sastādīšanai tiek veikta sinoptisko situāciju analīze. Atmosfēras piesārņojuma prognožu sastādīšanai pilsētās ar kvazistacionārām emisijām pamatā tiek izmantotas šādas sinoptisko situāciju analīzes metodes:

- 1) fizioģeogrāfiskās situācijas analīze, īpašu uzmanību pievēršot apstākļiem, kas veicina piesārņojuma uzkrāšanos vai izkliedēšanos;
- 2) sinoptisko situāciju kopums, kas palīdz pētīt piesārņojuma rašanās mehānismu.

Taču pēc šādām analīzēm tikai aptuveni var veidot detalizētas piesārņojuma līmeņa prognozes. Pamatojoties uz pieņēmumiem par sinoptiskām situācijām, kas veicina piesārņojuma uzkrāšanos, tiek pieņemts, ka šādu situāciju cēlonis ir lēns vējš, atmosfēras zemākā slāņa (piezemes slāņa) stabilitāte, kas dominē anticikloniskos apstākļos vai izkliedētā bāriskā laukā, savukārt nokrišņi ir faktors, kas sekmē atmosfēras attīrīšanos. Šādu metožu izmantošana sniedz tikai aptuvenu priekšstatu par prognozējamo piesārņojuma līmeni (Meteorological aspects of atmospheric pollution, 1981).

#### **1.4. Atmosfēras piesārņojuma modelēšanas metožu pielietojums Latvijā**

Vienkāršoti atmosfēras piesārņojuma izkliedes aprēķini Latvijā uzsākti 20. gadsimta 80. gados Viena no plašāk lietotajām programmām "EKOLOG" izstrādāta Krievijā (Sanktpēterburgā). Programmā tiek veikts piesārņojošo vielu koncentrāciju aprēķins. Piesārņojošo vielu emisiju apjomus aprēķina, pamatojoties uz Krievijā izstrādātās metodikas "OND-86" pamatprincipiem un prasībām, kas saistītas ar normatīvajiem dokumentiem par koncentrāciju noteikšanu atmosfēras piezemes slānī. Normatīvā programma "OND-86", kas izstrādāta 1986. gadā, ir spēkā Krievijā vēl tagad. Programma ir paredzēta atsevišķu emisijas avotu modelēšanai un nav piemērojama gaisa kvalitātes pārvaldības mērķu īstenošanai (ierobežotā emisijas avotu skaita dēļ). Nepieciešamo ievades datu apjoms ir minimāls un kopumā neraksturo konkrēto vietu no meteoroloģiskā viedokļa, kā arī nesniedz pilnīgu informāciju par piesārņojošo vielu vidējām koncentrācijām ilgtermiņā. Programma ļauj noteikt vienreizējās maksimālās (vienādotas 20–30 minūšu periodā) piesārņojošo vielu koncentrācijas nelabvēlīgos meteoroloģiskos apstākļos, ja pieejami dati par izmešu avotu ģeometriskajiem izmēriem un maksimālajām emisijām, kas noteiktas gramos sekundē. Iespējams novērtēt gan atsevišķo piesārņojošo vielu, gan tā saukto summācijas grupu maksimālās vērtības, pastāvot dažādiem vēja ātrumiem un virzieniem. Piesārņojuma izkliedi iespējams novērtēt no punktveida, līnijveida vai laukuma emisijas avotiem. Galvenie ierobežojumi programmas izmantojumā ir saistīti ar nepietiekamo meteoroloģisko datu ievadi, kas gan ir ērti, ja šādi dati nav pieejami, bet rada grūtības interpretēt izkliedes aprēķinu rezultātus.

1998. gadā Latvijā uzsākta komplicētāku atmosfēras piesārņojuma līmeņu modelēšanas metožu izmantošana. Populārākie modeļi ir EnviMan, ADMS, AIRVIRO, OML, kas pieder pie Gausa dispersijas modeļiem. Papildus ADMS modelī ir iekļauta piesārņojošo vielu ķīmiskā modelēšana. EnviMan modelēšanas sistēma tiek lietota gan novērtējot atsevišķu emisijas avotu ietekmi, gan vides pārvaldības jautājumu risināšanai, gan arī piesārņojuma līmeņa infrastruktūras izmaiņu prognozēšanai (ceļu, tiltu, rūpnīcu būvniecības ietekmē).

Latvijā atsevišķi gaisa piesārņojuma īstermiņa prognožu sastādīšana un modelēšana līdz šim nav realizēta. Divās Latvijas pilsētās – Rīgā un Ventspilī 20. gadsimta 80. gados tika izstrādāti gaisa piesārņojuma samazināšanas pasākumi, izvērtējot atsevišķas nelabvēlīgas meteoroloģisko apstākļu situācijas un ierobežojot konkrētu uzņēmumu darbību šādās situācijās. Detalizēta un kompleksa gaisa piesārņojuma un meteoroloģisko apstākļu analīze līdz šim nav veikta un nekāda veida modeļi atmosfēras piesārņojuma prognožu sastādīšanai nav izmantoti.

## 2. Materiāli un metodes

Datu ieguves, apstrādes un analīzes metožu kopums ir saistīts pētījuma ieceri – analizēt atmosfēras piesārņojuma līmeņa un meteoroloģisko apstākļu savstarpējās mijiedarbības likumsakarības un, pamatojoties uz iegūtajiem rezultātiem, izveidot un eksperimentāli izmantot piesārņojuma līmeņa prognostisko moduli īstermiņa un ilgtermiņa atmosfēras piesārņojuma līmeņa prognožu sastādīšanai.

Promocijas darbā ir izmantoti dažādi dati un materiāli, datu apstrādes metodes un lietojumprogrammas.

### *I. Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūras (LVĢMA) Datu fonda materiāli.*

1. Klimatiskajam raksturojumam izmantoti meteoroloģiskie parametri no 1961. līdz 1990. gadam un no 1997. līdz 2005. gadam.
2. Meteoroloģisko parametru (vēja ātruma un virzienu, atmosfēras parādību) novērojumu ikstundas dati Rīgā, novērojumu stacijā Slokas ielā un Daugavgrīvē.
3. Cieto daļiņu ikstundu un diennakts novērojumu rezultāti Rīgā, Brīvības ielā 73 un Kr. Valdemāra ielā 18 no 2003. līdz 2005. gadam.
4. Sēra dioksīda, slāpekļa dioksīda, ozona un benzola monitoringa rezultāti Rīgas Brīvdostā (novērojumu stacijās “ManTess”, “BLB”, “Mīlgrāvis”).

### *II. Centrālās statistikas pārvaldes dati.*

1. Piesārņojošo vielu emisiju daudzumu izmaiņas laika periodā no 1992. līdz 2004. gadam.
2. Uzņēmuma “BLB” sniegtais pārskats par emisiju apjomiem 2001. gadā (pārskata forma “2-Gaiss”).

### *III. Ceļu satiksmes drošības direkcijas dati par transporta līdzekļu skaita un sastāva izmaiņām no 2001. līdz 2006. gadam.*

### *IV. Metodiskie materiāli un interneta mājaslapās pieejamā informācija.*

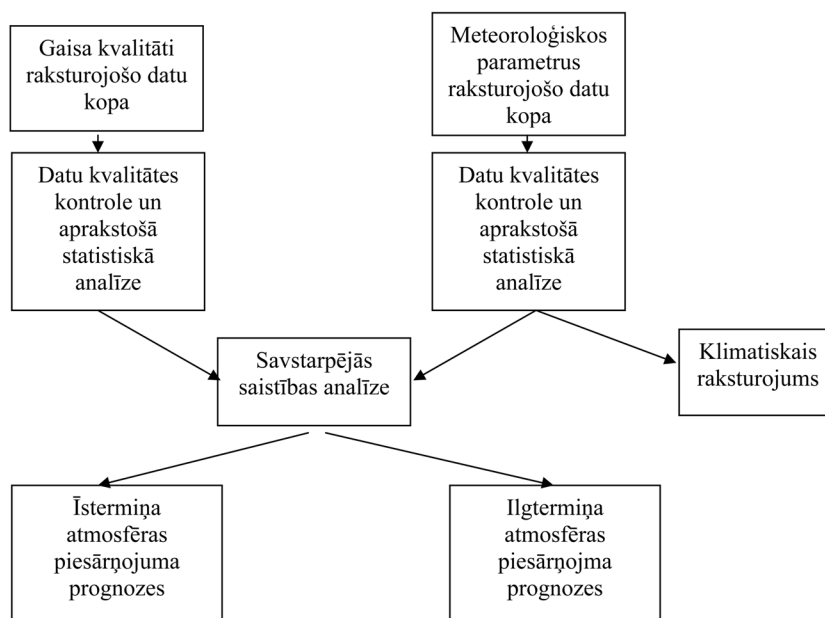
1. Meteoroloģisko parametru (vēja ātrums 50–250 m augstumā ar soli 50 m); pārrēķins laika periodam no 1998. līdz 2005. gadam veikts, izmantojot Moņina–Obuhova similitātes teoriju.
2. Atmosfēras stabilitātes parametrizācija veikta, izmantojot Paskvela–Giforda stabilitātes klases.
3. Eiropas sektora digitālās sinoptiskās kartes ([www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)).

### *V. Lietojumprogrammas.*

1. UNI-AERO Eilera tipa modelēšanas sistēma fona līmeņa piesārņojuma novērtējumam.
2. MS Excel XP – datu digitalizācijai, datu kvalitātes kontroles veikšanai, aprakstošo statistisko parametru aprēķiniem, grafiskajam attēlojumam.

3. *R* datu apstrādes programma statistiskiem aprēķiniem un grafiskajam attēlojumam.
4. *EnviMet Preprocessor* – modelis meteoroloģisko datu apstrādei un mikro-klimatisko parametru aprēķiniem.
5. Mainīgā regresijas metode īstermiņa (nākamo 24 stundu) piesārņojuma prognožu sastādīšanai.
6. *HySplit* – Lagranža masas pārnese un trajektorijas analīzes modelis ilgtermiņa (nākamo 96 stundu) piesārņojuma prognožu sastādīšanai.
7. *OP SIS EnviMan* – Gausa dispersijas modelis piesārņojuma izkļedes modelēšanai no stacionāriem un mobiliem piesārņojuma avotiem.

Datu apstrādes un analīzes process shematiski parādīts 2.1. attēlā.

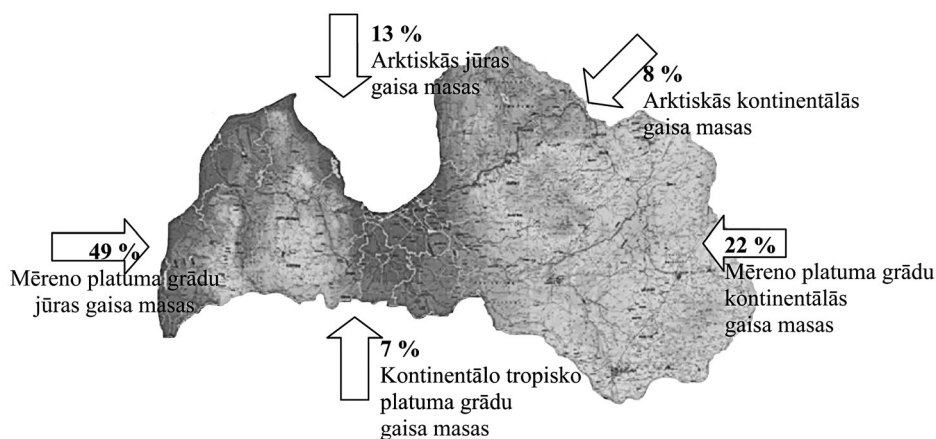


2.1. att. Datu apstrādes un analīzes procesa shēma

### 3. Rezultāti un to apspriešana

#### 3.1. Pētījumu vietas klimatiskais raksturojums

Saskaņā ar teorijām, kas skaidro klimata veidošanos, klimatu nosaka astronomisko, ģeofizisko un antropogēno faktoru kopums. Latvijas klimata atmosfēras cirkulācijai ir raksturīgas biežas okeāna un kontinentālo gaisa masu nomaiņas, visvairāk – 49% gadījumu valda mēreno platuma grādu jūras gaisa masas, 22% gadījumu – mēreno platuma grādu kontinentālās gaisa masas, 13% gadījumu – arktiskās jūras gaisa masas, pārējos gadījumos (mazāk par 10%) – kontinentālo tropisko platuma grādu un arktiskās kontinentālās gaisa masas (3.1.1. att.).



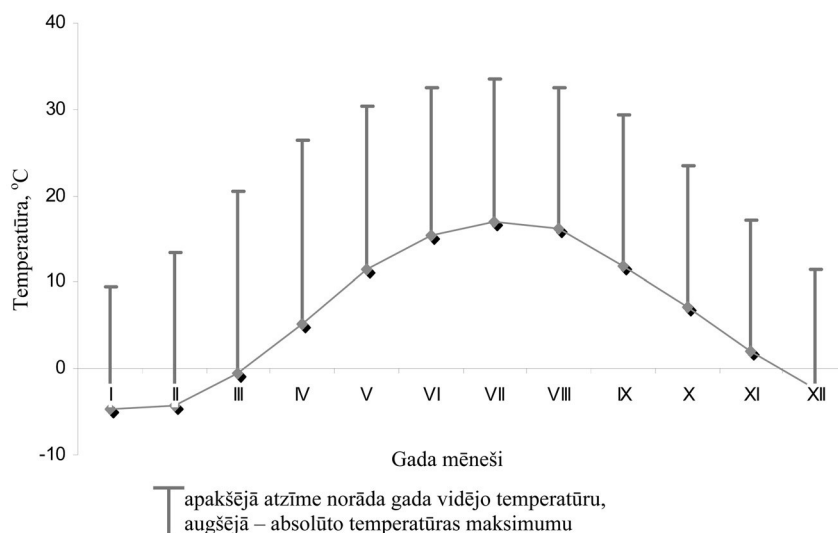
3.1.1. att. Latvijas klimatu nosakošās gaisa masas, % (kartes pamatne: Latvijas ģeogrāfijas atlants, 2004)

Rīgas klimatiskos apstākļus nosaka Atlantijas okeāna mēreno platuma grādu masas, kas ir saistītas ar aktīvu ciklonisko darbību. Ar to arī izskaidrojams bieži apmācies laiks un nokrišņi, kā arī relatīvi vēsās vasaras. Aptuveni 230 dienas gadā Rīgā valda okeāna gaisa masas. Klimatu ietekmē arī apbūve, saimniecisko objektu, laukumu un parku izvietojums, ūdenstilpņu tuvums un lielums.

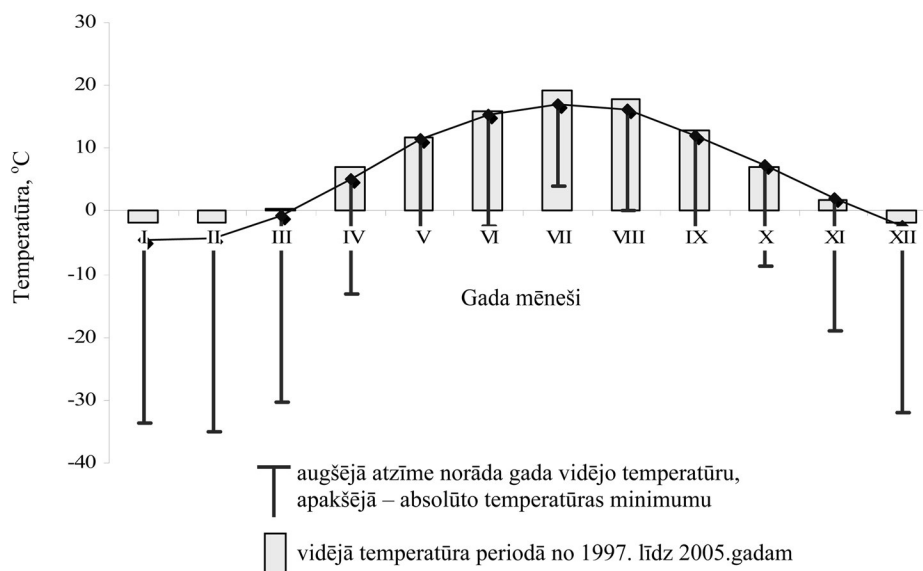
Maksimālais saules augstums Rīgā ir 22. jūnijā – 56.4°, savukārt zemākais augstums ir 22. decembrī – tikai 9.6°. Praktiski visās sezonās ir konstatējams ievērojams mākoņainums, faktiskais saules spīdēšanas ilgums vasarā ir 54–57%, ziemā tikai 14–25% no iespējamā. Summārā gada saules radiācija Rīgā sasniedz 3460.9 MJ/m<sup>2</sup>, no tās jūnijā – 615.9 MJ/m<sup>2</sup>, bet augustā – 25.2 MJ/m<sup>2</sup> (LVĢMA arhīva materiāli).

Zemākā gaisa temperatūra Rīgā novērota janvārī un februārī, savukārt visaugstākā – jūlijā. Okeānisko gaisa masu ietekmē ziemā ir raksturīgi atkušņi, pat līdz 10 dienām mēnesī. Sala periods parasti sākas decembra vidū un turpinās līdz februāra beigām. Vasarā temperatūra galvenokārt ir robežās no +5°C līdz +20°C naktī un no +15°C līdz +25°C dienā. Dienakts temperatūras amplitūda sasniedz 8–10°C, reizēm pat 20 °C. Periods, kad gaisa temperatūra pārsniedz +15°C, nav pārāk garš – no jūnija vidus līdz augusta beigām. Karsts laiks, kad vidējā diennakts temperatūra ir augstāka par +25°C,

maksimāli ir iespējams vasarā, ne ilgāk kā 7–9 dienas. Apkures sezona vidēji sākas 8. oktobrī un ilgst 204 dienas. Pilsētas centrā, tāpat kā citās aglomerācijās, ir siltāks nekā nomalēs. Ziemā šī temperatūras starpība reizēm var sasniegt pat 8–10°C. Gaisa temperatūras vidējās vērtības, to absolūtie maksimumi un minimumi parādīti 3.1.2. un 3.1.3. attēlā (LBN 003-01, 2001, 2005; LVĢMA arhīva materiāli).



3.1.2. att. Gaisa vidējā temperatūra Rīgā un absolūtais temperatūras maksimums Rīgā par 30 gadu periodu (1961.–1990.)



3.1.3. att. Gaisa vidējā temperatūra Rīgā un absolūtais temperatūras minimums Rīgā periodā no 1961. līdz 1990. gadam un vidējās temperatūras Rīgā no 1997. līdz 2005. gadam

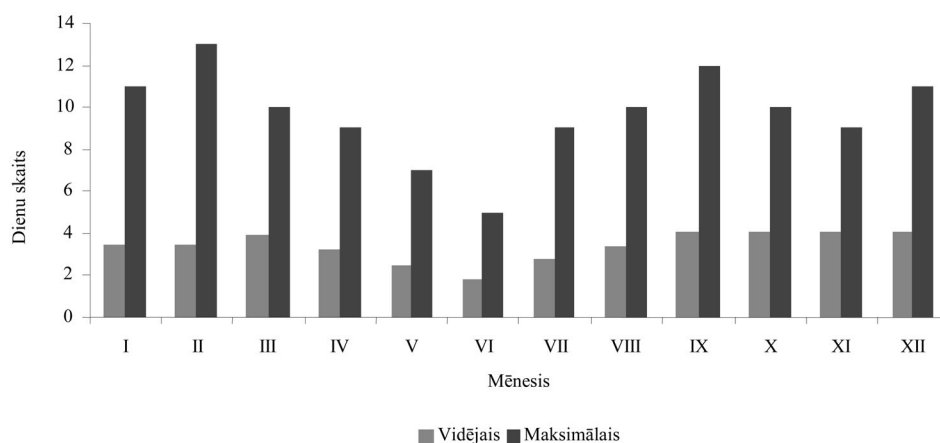
Rīgai nav raksturīgs spilgti izteikts atmosfēras spiediena izmaiņu cikls. Noturīgs atmosfēras spiediena pieaugums vai tā kritums parasti ir laika apstākļu izmaiņas indikators. Spiediena samazināšanās uz katru metru ir vidēji par 0,125 hPa. Gada laikā augstākās spiediena vērtības ir novērojamas aukstajā periodā (oktobris – marts); parasti maijā tiek novērots otrs maksimums; savukārt zemākās vērtības novērojamas vasarā (jūlijs – augusts). Tomēr mēnešu vidējās vērtības var būt stipri atšķirīgas atsevišķos gados, tas atkarīgs no dažādu bārisko veidojumu intensitātes. Stabili atmosfēras spiediena apstākļi Rīgā nav raksturīgi tomēr ir iespējami mazkustīgu sinoptisko procesu laikā; parasti šāda procesa noturība nepārsniedz 4–5 stundas vasaras laikā un 1 stundu ziemas laikā.

Spiediena svārstības diennakts laikā ir raksturīgas Eiropas vidējiem platumu grādiem: ir stipri izteikts 12 stundu periodiskums. Augstākās vērtības parasti tiek novērotas pusnakts un pusdienlaika stundās, zemākās – agri no rīta vai pēcpusdienā.

Relatīvais gaisa mitrums Rīgā ir visu gadu paaugstināts. Viszemākais tas ir pavasarī (mēnesī vidēji 71%), bet visaugstākais – rudens beigās un ziemā (86–87%). Relatīvā mitruma maksimums diennakts gaitā ir novērojams no rīta pirms saules lēkta, bet minimums – pēcpusdienā, gaisam arvien vairāk sasilstot. Vasarā relatīvais mitrums var samazināties dienā pat līdz 30% un mazāk, bet tik sausas dienas caurmērā ir tikai četras gadā. Paaugstināts relatīvais mitrums (vairāk par 80%) var būt 130 dienu (LVĢMA arhīva materiāli).

Valdošo okeāna gaisa masu ietekmē nokrišņu daudzums Rīgā, tāpat kā visā Latvijas teritorijā, ir liels – aptuveni 700 mm gadā; 72% no tiem ir lietus veidā, 16% – sniega veidā, pārējie nokrišņi ir jaukti. Visvairāk nokrišņu ir vasaras mēnešos (no jūnija līdz septembrim – 46% no gada kopējā nokrišņu daudzuma). Vasarā kopējais mēneša nokrišņu parādības ilgums var būt 60–65 stundas, ziemā 100–180 stundas.

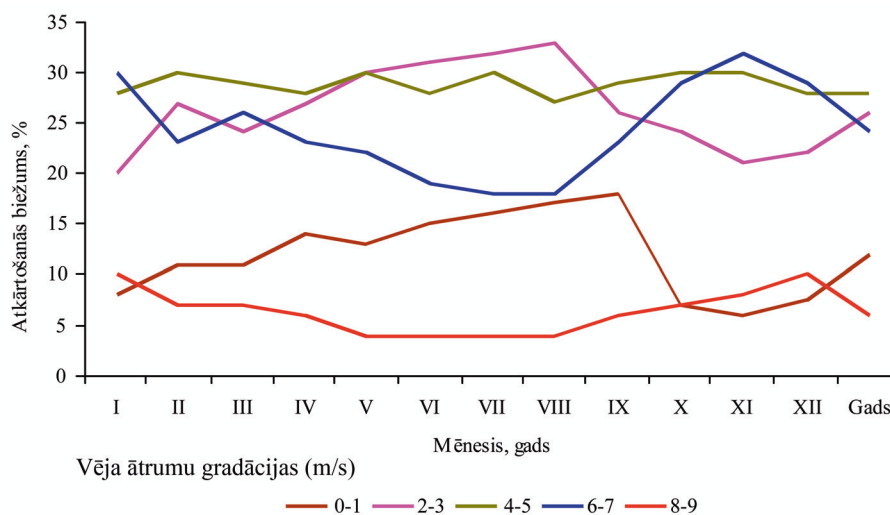
Stabila sniega sega izveidojas decembra beigās un pastāv līdz marta trešajai dekādei. Dažos gados sniega sega izveidojas jau novembra vidū. Bieži mēdz būt atkušņi, tāpēc sniega sega nav bieža – 1–20 cm. Puteņu maksimums parasti ir janvārī un februārī, sasniedzot 5 dienas mēnesī; putenis ilgst caurmērā 6 stundas (Rīga climat, 1983; LVĢMA arhīva materiāli).



3.1.4. att. Vidējais un maksimālais novērotais dienu skaits ar miglu Rīgā (1961–1990)

Pērkona negaiss vidēji ir 22 dienas gadā, galvenokārt vasarā. Visbiežāk pērkona negaiss novērots 1972. gadā – 36 dienas. Parasti tas ilgst 0,5–2 stundas. Visbiežāk negaiss ir vērojams pēcpusdienā, retāk – no rīta. Negaisu pavada spēcīgas lietussgāzes, brāzmais vējš, pat virpuļvētra, strauja temperatūras pazemināšanās (LVGMA arhīva materiāli). Krusa ir reta parādība, tā vērojama 2 dienas gadā, maksimums 7 dienas. Visbiežāk krusa aptver tikai kādu nelielu pilsētas daļu.

Mīgla parādību Rīgā novēro vidēji 41 dienu gadā, maksimums 60 dienu gadā. Visbiežāk (59%) migla Rīgā veidojas periodā no oktobra līdz martam, vidēji 5 dienas. Tomēr atsevišķos gados miglu pilsētā novēro daudz biežāk, pat līdz 13 dienas mēnesī (3.1.4. att.). Retāk migla parādība vērojama vasarā. Mīgla parādības ilgums aukstajā gada laikā ir aptuveni 2 reizes lielāks nekā siltajā laikā. Rudenī un ziemā miglas noturīgums ilgst aptuveni 5 stundas, maksimums 8 stundas, vasarā – 3 stundas. Tā veidojas galvenokārt naktī.

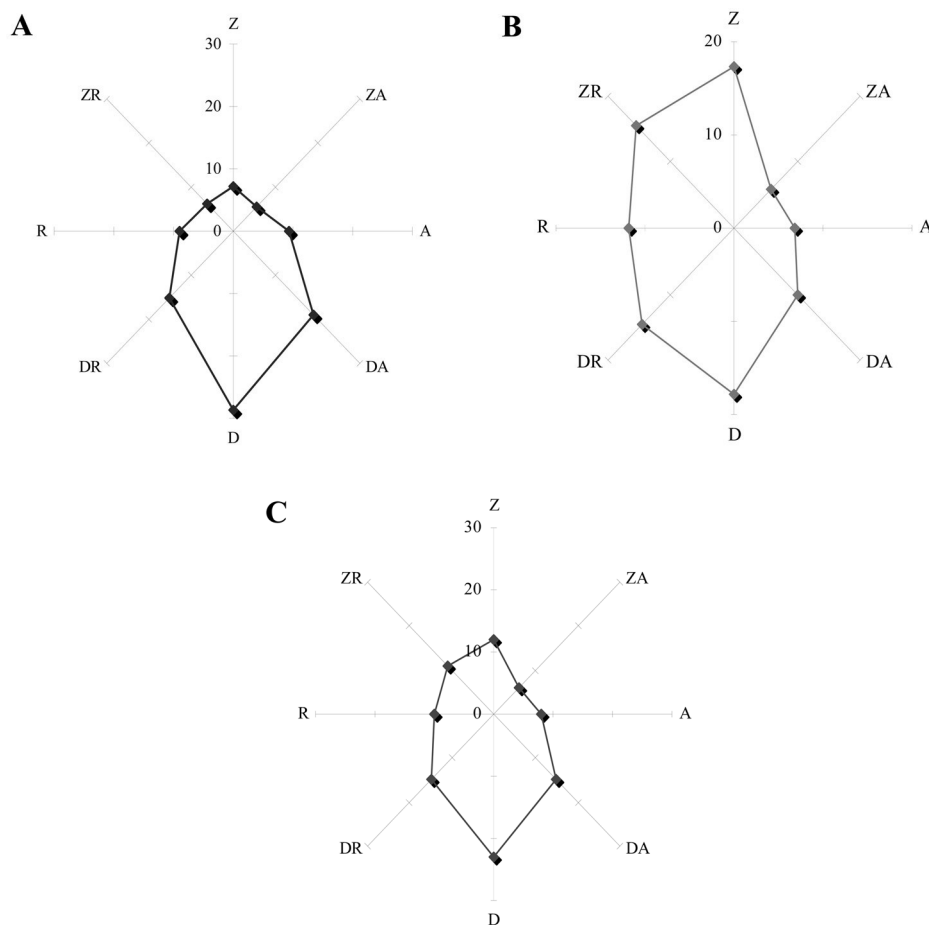


3.1.5. att. Dažādu vēja ātrumu gradāciju atkārtotās procentos no gadījumu skaita Rīgā (stundu vidējie rādītāji, 1961–1990)

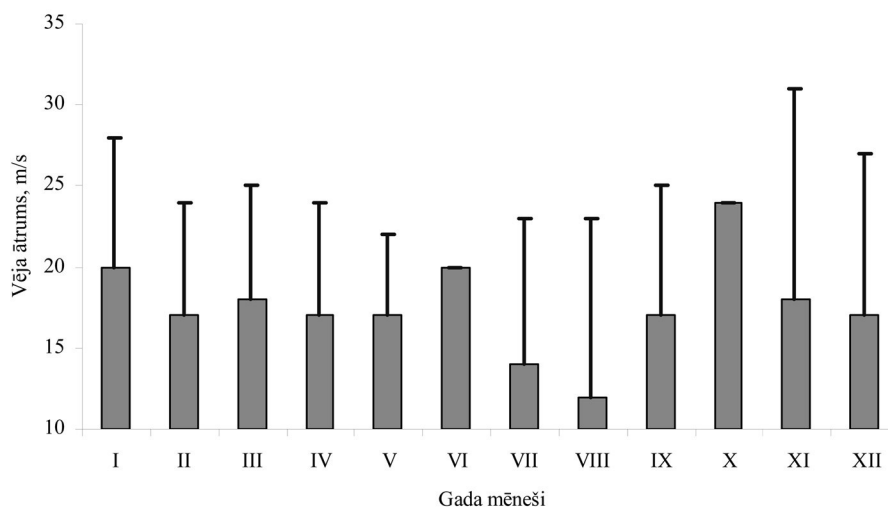
Vēja ātrums un virziens ir viens no būtiskākajiem faktoriem, kas nosaka atmosfēras piesārņojuma izkliedi. No emisijas avota piesārņojošās vielas tiek izkliedētas vēja pūšanas virzienā. Tāpēc, atkarībā no kāda noteikta objekta vai teritorijas atrašanās vietas attiecībā pret gaisa piesārņojuma emisijas avotu tiem katram ir savi noteikti nelabvēlīga virziena vēji, kuriem pūšot piesārņojuma koncentrācija šajā teritorijā piezemes slānī ir lielāka. Arī bezvējš vai nelieli vēja ātrumi ietekmē gaisa piesārņojuma koncentrācijas paaugstināšanos piezemes slānī. Turpretī tad, kad vēja ātrums ir liels, notiek straujāka piesārņojuma izkliede. Pilsētas vēja režīms tiek raksturots, pamatojoties uz novērojumiem meteoroloģiskajās stacijās. Šādi novērojumi tiek veikti 10–16 m augstumā virs zemes. Gadā kopumā Rīgā visbiežāk novēro vējus ar ātrumu 4–5 m/s (29% gadījumu), nedaudz retāk novēroti vēji ar ātrumu 2–3 m/s (26%) un 6–7 m/s (24%) (3.1.5. att.). Vēji ar maziem ātrumiem (0–1 m/s) un lieliem ātrumiem (lielākiem par 8 m/s) tiek novēroti retāk. Gada laikā mainās dažādu gradāciju vēju atkārtotās. Vējš ar ātrumu 4–5 m/s pūš apmēram 30% no gadījumu skaita

visos mēnešos. Savukārt vēji ar ātrumu 2–3 m/s biežāk tiek novēroti vasaras periodā, bet retāk rudenī un ziemā. Vasaras periodā palielinās arī to vēju īpatsvars, kuru ātrums 0–1 m/s, bet rudenī savukārt biežāki kļūst vēji ar ātrumu 6–7 m/s.

Gada aukstajā periodā (oktobris – marts) dominē dienvidu sektora vēji (no DR līdz DA), janvārī un februārī – DA vējš. Gada siltajā periodā (maijs – augusts) dominē rietumu vēji (no DR līdz ZR, R), galvenokārt pūšot vējam no ZR (3.1.6. att.). Vasaras periodā silto gaisa masu vēji ir DA virziena kontinentālie vēji. Stiprākie ir ziemas periodā dominējošie D un DA vēji; vasarā – R, rudenī – ZR vēji. Vēja ātrums būtiski mainās gada laikā. Aukstajā gada periodā, kad vēja ātrums ir lielāks, dominē vēji ar ātrumu 4–7 m/s; no maija līdz septembrim vēju ātrums ir 2–5 m/s. Vislētākākie vēji parasti tiek novēroti periodā no jūnija līdz septembrim, vēji ar maksimālu ātrumu vēlu rudenī un ziemā. Stipri vēji (15 m/s un vairāk) parasti pūš rudens un ziemas pārejas periodā (3.1.7. att.).



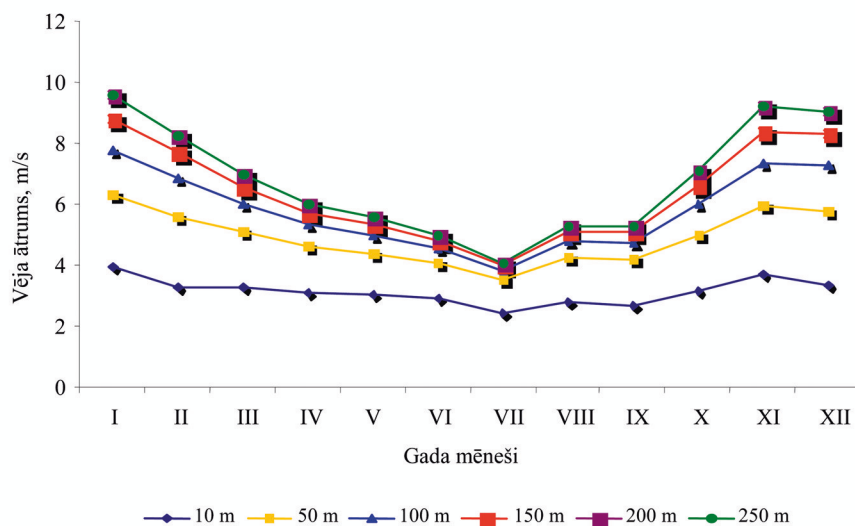
3.1.6. att. Vēja virziena procentuālā atkārtošanos Rīgā ziemas (A), vasaras (B) periodā un gadā (C) pēc ilggadīgiem novērojumiem (30 gadu novērojumu periods, 1961.–1990.)



Tapakšējā atzīme norāda 2 minūšu vēja ātrumu, augšējā – vēja brāzmas

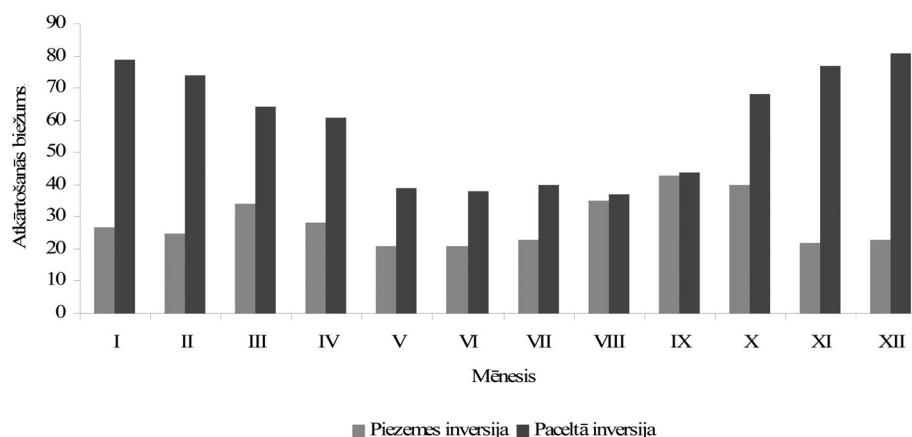
3.1.7. att. Maksimālais divu minūšu vēja ātrums un brāzmas Rīgā 30 gadu (1961.–1990.) novērojumu periodā

Vēja ātrums un virziens mainās līdz ar augstumu. 3.1.8. attēlā parādīti vēja ātruma mērījumi augstumā (10 m virs zemes virsmas) un aprēķinātais vēja ātrums līdz 250 m augstumam. Lielākās izmaiņas raksturīgas tieši ziemas periodam. Vēja ātruma aprēķini veikti, izmantojot Moņina–Obuhova similaritātes teoriju.



3.1.8. att. Vidējais vēja ātrums Rīgā 10, 50, 100, 150, 200 un 250 m augstumā gada laikā pa mēnešiem (1998.–2005.)

Nelabvēlīgi apstākļi atmosfēras piesārņojuma izkliedei veidojas tad, kad gaisa temperatūra, palielinoties augstumam virs zemes virsmas, pieaug vai arī nemainās. Šo parādību sauc par *temperatūras inversiju* vai *izotermiju*. Šādos apstākļos nenotiek atmosfēras gaisa apmaiņa ar augstāk esošajiem slāņiem un gaisa piesārņojuma koncentrācija pie zemes virsmas palielinās. Pilsētas apstākļos īpaši nelabvēlīgas gaisa piesārņojuma izkliedei ir gaisa temperatūras inversijas zemākajā (2 km) atmosfēras slānī. Izšķir ziemas inversijas un paceltās inversijas (temperatūras inversijas slāņa apakšējā robeža atrodas vairāku desmitu metru augstumā). Rīgā ziemas inversijas tiek novērotas 38–40% no kopējā novērojumu skaita. Biežāk tās veidojas pavasarī (34%) un rudenī (43%), bet mazāk vasaras periodā – tikai 21% (3.1.9. att.). Visbiežāk ziemas inversijas novēro naktīs, īpaši vasarā, kad tās veidojas 72–77% no visām vasaras ziemas inversijām. Dienas laikā ziemas inversijas izzūd, un kopumā dienas laikā tās ir tikai 10% no gadījumu skaita.



3.1.9. att. Ziemas un pacelto temperatūru inversiju atkārtotāšanās Rīgā 2003. gadā (L. Lizuma et al., 2003)

Rīta un vakara stundās ziemas inversijām ir divi maksimumi pārejas sezonās (pavasarī un rudenī 45–50%) un divi minimumi vasarā (10%) un ziemā (30%). Paceltās inversijas līdz 2 km augstumam Rīgā ir biežākas nekā ziemas inversijas (3.1.8. att.). Visbiežāk tās tiek novērotas ziemā (75–80% gadījumu) un retāk vasarā (35–40%). Šāds inversiju sadalījums gada laikā raksturīgs visiem novērojumu laikposmiem. Paceltās inversijas biežāk novērojamas rīta stundās (80–82% ziemā un 55–63% vasarā). Ziemā paceltās inversijas visbiežāk novērojamas 0,5–1,0 km augstumā, bet vasarā pacelto inversiju apakšējā robeža ir 1–2 km augstumā. Inversijas slāņa biezums (atmosfēras slānis (m), kurā tiek novērota inversija) un intensitāte (gaisa temperatūras izmaiņas inversijas slānī) mainās diezgan lielās robežās. Visbiežākās un intensīvākās inversijas tiek novērotas naktīs – janvārī un februārī inversijas slāņa biezums ir 0,4–0,5 km un intensitāte 2,5–3,0°C.

Paceltās inversijas biezums ir nedaudz lielāks kā ziemas inversijai, kas savukārt ir intensīvāka. Ziemas inversiju biezumam un intensitātei ir labi izteikta diennakts gaita. Vislabāk inversijas ir attīstītas naktīs. Gada griezumā spēcīgas ziemas inversijas

ar lieliem temperatūras gradientiem tiek novērotas ziemās. Janvārī un februārī nakts inversijas vidējais biežums ir 500–550 m, bet intensitāte aptuveni 3,5°C. Dienas inversijas ir nedaudz vājākas, bet arī to biežums ir apmēram 400 m (februārī), bet intensitāte 2,2°C (decembrī – janvārī). Vasarā inversiju biežums un intensitāte ir minimāla, jūlijā tās biežums ir 250 m un intensitāte 2,4°C. Dienas laikā ziemas inversijas tiek novērotas reti un to biežums un intensitāte ir niecīga. Paceltās inversijas gada gaitā ir mazāk izteiktas, lai gan intensīvākas un biežākas tās novērojamas ziemas periodā, bet mazāk intensīvas tās ir vasarā. Dienakts gaitā visbiežākās ir dienas inversijas (0,3–0,4 km), bet intensīvākās ir rīta un vakara inversijas.

Maksimālais gaisa masu sajaukšanās augstums raksturo gaisa masu konvekcijas slāņa biežumu, kurā notiek zemāko gaisa masu sajaukšanās ar augstāk esošajiem slāņiem. Piesārņojuma izkliedei nelabvēlīgi apstākļi veidojas, ja gaisa masu sajaukšanās augstums ir neliels. Rīgā vidējais gaisa masu sajaukšanās augstums mainās no 0,36–0,40 km ziemā un 1,20–1,30 km vasarā. Vislielākais sajaukšanās augstums ir jūnijā – 1,33 km, vismazākais janvārī – 0,36 km. Ziemā (decembrī – februārī) 75–80% no gadījumu skaita sajaukšanās slānis atrodas 0,00–0,50 km augstumā un 93–95% gadījumu – līdz 1 km augstumam. Vasarā palielinās gaisa masu sajaukšanās augstums, maksimālais sajaukšanās augstums vasarā 45–50% gadījumu ir 1–2 km, bet dažkārt tas sasniedz 3 km.

Visi meteoroloģiskie apstākļi, kas ietekmē augstus piesārņojuma līmeņus un ir nelabvēlīgi piesārņojuma izkliedei, darbojas kompleksi. To nosaka noteikta rakstura sinoptiskā situācija, kurai ir liela nozīme gaisa piesārņojuma izkliedei labvēlīgu vai nelabvēlīgu apstākļu formēšanā. Paredzot noteikta rakstura sinoptisko situāciju vairākas dienas uz priekšu, iespējams veiksmīgi prognozēt sagaidāmos gaisa piesārņojuma izkļedes apstākļus. Gadā vidēji Rīgu šķērso 170–180 atmosfēras frontes, tātad – praktiski katru otro dienu. Frontes virzīšanās ir saistīta ar vēja ātruma palielināšanos, ziemas un rudens periodos līdz pat vētras spēkam, un ar nokrišņiem. Aukstās frontes parasti ir saistītas ar ziemeļu vējiem, lielu mākoņainību (pamatā gubu mākoņi), kas ātri izkļēdējas, īslaicīgiem un intensīviem nokrišņiem, dažkārt negaisu un krusu. Siltās frontes parasti asociējas ar miglu, apledojuumu, snieguni un ilgstošiem nokrišņiem.

Frontālo parādību daudzums (biežums) parasti nav vienmērīgs, rudens – ziemas periodā tie ir intensīvāki biežo ciklonu dēļ. Ciklonu maksimums ir vērojams rudenī – 55 dienas, vasarā – 41 dienu. Visbiežāk novērotās piesārņojuma izkliedei nelabvēlīgās sinoptiskās situācijas rada

- 1) anticiklons, augsta spiediena atzars, bāriskā sedliene ar mazkustīgu atmosfēras fronti;
- 2) mazkustīga atmosfēras fronte anticiklona perifērijā, kas atrodas paralēli izobārām vai veido nelielu leņķi ar tām; šāda situācija bieži veidojas siltajā gada laikā anticiklona austrumu perifērijā un aukstajā gada laikā anticiklona rietumu vai ziemeļrietumu perifērijā;
- 3) anticiklons vai tā atzars, kas atrodas siltajā gaisa masā;
- 4) anticiklona laikā apakšējā viena kilometra slānī izveidojies spēcīgs temperatūras inversijas slānis, kas saglabājas lielāko dienas daļu;
- 5) apstākļi, kad pilsēta atrodas anticiklona vai tā atzara teritorijā, bet rietumu, ziemeļrietumu vai ziemeļu teritorijas – plaša un dziļa ciklona perifērijā;

- 6) anticiklons vai augsta spiediena atzars, kas šķērso teritoriju, kurai iepriekšējā dienā bijis raksturīgs augsts piesārņojuma līmenis ciklona perifērijā;
- 7) anticiklons, kas šķērso teritoriju, kura pirms tam atradusies ciklona siltajā sektorā, ja saglabājas siltā gaisa masa;
- 8) plaša un dziļa ciklona perifērija, kurā paralēli izobārām atrodas mazkustīga fronte;
- 9) plaša ciklona perifērija rajonā, kur iepriekšējā dienā atradies anticiklons un kopumā visā teritorijā bija augsts piesārņojuma līmenis.

Kopumā nelabvēlīgi piesārņojuma izkliedei ir mazkustīgi anticikloni vai anticiklonu atzari kā siltajā, tā arī aukstajā gada laikā. Valdot anticiklonam, augsts piesārņojuma līmenis tiek novērots, ja teritorija atrodas anticiklona centrālajā daļā vai ziemeļrietumu perifērijā. Anticikloni vai to atzari, kam raksturīga ātra pārvietošanās, samazina piesārņojuma līmeni. Aktivizējoties ciklonu darbībai, piesārņojuma līmenis samazinās. Kopumā Rīgas teritorijā anticiklonu darbība vidēji novērojama 160–180 dienas gadā. Biežāk anticikloni ir vasaras periodā, mazāk – rudenī (3.1.1. tabula)

3.1.1.tabula

**Vidējais ciklonu un anticiklonu skaits Rīgā 2003. gadā (L. Lizuma et al., 2003)**

Sezona	Anticikloni	Cikloni
Ziema	42	48
Pavasaris	46	46
Vasara	51	41
Rudens	36	55
Gads	175	190

Klimatu kompleksi nosaka atsevišķu komponentu kopējā ietekme, tāpēc izstrādājot klimata analīzi, tika izskatītas iespējamo laika apstākļu tipu atgādīšanās varbūtības un to noturīgums. Izveidojot laika apstākļu tipoloģiju, kuru nosaka atmosfēras stāvokļa parametri – mākoņainība, nokrišņi, to daudzums – kopumā tika noteikti 11 tipi. Saskaņā ar šādu tipoloģiju ziemas sezonai Rīgā ir raksturīgi 2 tipi – vāji un vidēji izteikts sala periods gan ar vēju, gan bez vēja (35–40% gadījumu) un mākoņains laiks ar temperatūru paaugstināšanos vai pazemināšanos pāri 0°C atzīmei (līdz 30% gadījumu). Šādos gadījumos gaisa temperatūra nenoslīd zem –12,4°C, zemo mākoņu daudzums ir 6 balles un vairāk. Vasaras periodam ir raksturīgi saulaini laika apstākļi ar vidēju vai augstu gaisa relatīvo mitrumu (virs 40%). Šāda laika apstākļu varbūtība ir 45–50% vasaras dienu. Vērā ņemama atgādīšanās varbūtība ir dienām ar zemu mākoņainību – 30–35%. Rudens mēnešos tādās dienās parasti ir novērojama paaugstināta mākoņainība, savukārt pavasarī ir otrādi – skaidrošanās dienas laikā. Rīgas klimata struktūra pēc Iljičevas klasifikācijas sistēmas redzama 3.1.2. tabulā.

Lai raksturotu Rīgas klimatu detalizētāk, ņemot vērā vietējās virsmas īpatnības un citus parametrus, papildus izmantoti mikroklimatiskie parametri, kuri aprēķināti, pamatojoties uz Moņina–Obuhova similaritātes teoriju un izmantojot tādas parametrus kā sajaukšanās augstums, atmosfēras stabilitāte, Moņina–Obuhova garums.

Virsmai uzsilstot, temperatūra paaugstinās un virsma emitē enerģiju, ko sauc par nepastāvīgo enerģiju, kas sasilda gaisu tiešā zemes virsmas tuvumā. Enerģija var tikt

emitēta arī latentā siltuma daudzuma formā, līdz ar to palielinās gaisa mitrums, tātad siltums tiek izmantots, lai palielinātu iztvaikošanu no virsmas. Attiecība starp latento un nepastāvīgo enerģiju tiek saukta par virsmas koeficientu, un tas ir galvenokārt atkarīgs no ūdens daudzuma uz virsmas. Moņina–Obuhova garums ir bieži lietots parametrs, lai raksturotu atmosfēras turbulenci. Šis parametrs raksturo mehāniski radīto turbulenci salīdzinājumā ar termisko (3.1.3. tab.).

3.1.2. tabula

**Rīgas klimata struktūra (3% atgadīšanās aptuveni atbilst vienai dienai gada laikā)**

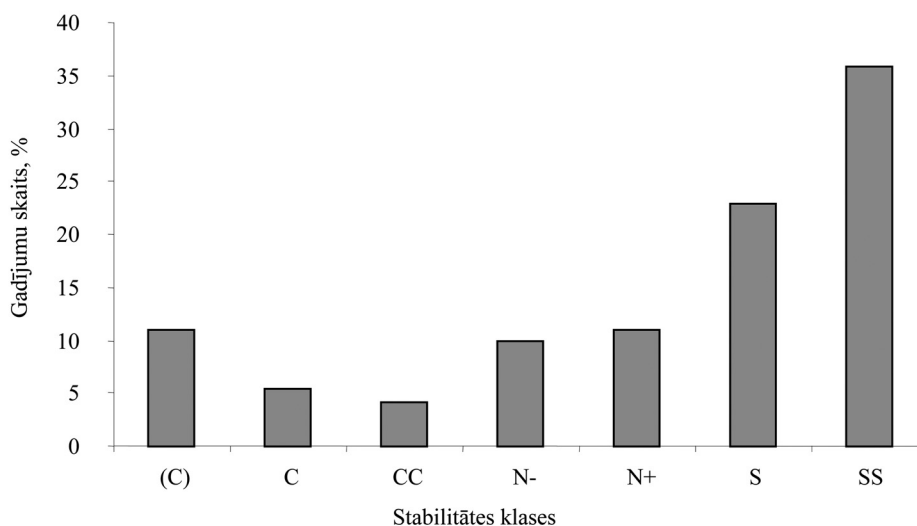
Klimata stāvokļa tipi	Klimata stāvokļa atgadīšanās (%) pa mēnešiem											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1. Saulains un sauss laiks	0	0	0	0	2	5	6	4	2	0	0	0
2. Saulains vidēji mitrs un mitrs laiks	1	2	2	30	45	47	42	43	42	26	10	0
3. Saulains vidēji mitrs un mitrs laiks ar mākoņainību naktī	4	4	6	15	15	14	12	14	10	15	6	0
4. Mākoņains dienā un ar nelielu mākoņainību naktī	1	1	9	13	21	19	20	18	17	10	6	7
5. Apmācies laiks ar nokrišņiem	2	2	9	11	5	4	5	5	13	15	15	12
6. Apmācies laiks bez nokrišņiem	3	4	6	11	11	11	15	16	15	20	22	15
7. Apmācies laiks ar temperatūras izmaiņām caur 0°C atzīmi	28	29	16	3	1	0	0	0	0	7	24	32
8. Skaidrs laiks ar temperatūras izmaiņām caur 0°C atzīmi	12	11	30	17	0	0	0	0	1	7	12	12
9. Neliels vai vidējs sala periods	35	34	22	0	0	0	0	0	0	0	5	22
10. Stipra sala periods	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11. Ļoti stipra sala periods	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.1.3. tabula

**Moņina–Obuhova atmosfēras stabilitātes iedalījums daļēji apbūvētai teritorijai ar zaļo zonu un virsmas apauguma raksturojuma koeficientu 0.5 cm (Cimorelli et al., 1998)**

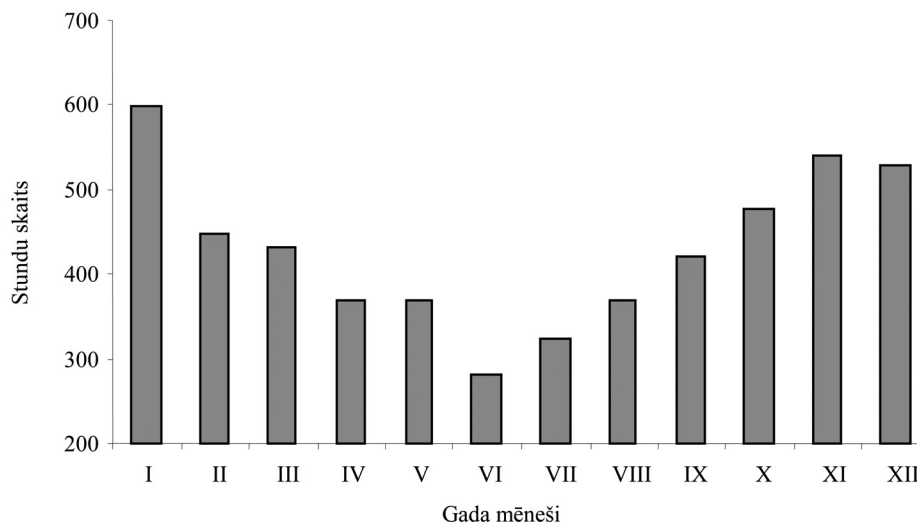
Moņina–Obuhova garums, m	Atmosfēras stabilitātes apzīmējumi	Raksturojums
Vairāk par 350	N+	Neitrāli apstākļi. Termālais efekts eksistē, bet tas ir mazsvarīgs
68 līdz 350	S	Stabili apstākļi, mehāniskā sajaukšanās ir samazināta atdzišanas efekta dēļ
0 līdz 68	SS	Noturīgi stabili apstākļi, mehāniskā sajaukšanās ir nenozīmīga, jo eksistē spēcīgs un stabils vertikāls slānis
-14 līdz 0	CC	Noturīgi konvektīvi apstākļi. Dominē uzsilšana
-68 līdz -14	C	Konvektīvi apstākļi, ir jūtama termiski inducētā turbulence
-650 līdz -68	(C)	Vāji izteikti konvektīvi apstākļi
Mazāk par -650	N-	Neitrāli apstākļi. Konvektīvais efekts eksistē, bet tas ir mazsvarīgs

Analizējot stabilitātes klases Rīgā 2004. gadā pēc ikstundas novērojumu datiem (3.1.10. att.), iespējams secināt, ka dominē stabilas atmosfēras situācijas (atgadīšanās biežums gada laikā – 69%), tātad bieži ir novērojamas nelabvēlīgas situācijas atmosfēras piesārņojuma izkliedei un uzkrāšanās procesiem atmosfēras piezemes slānī.



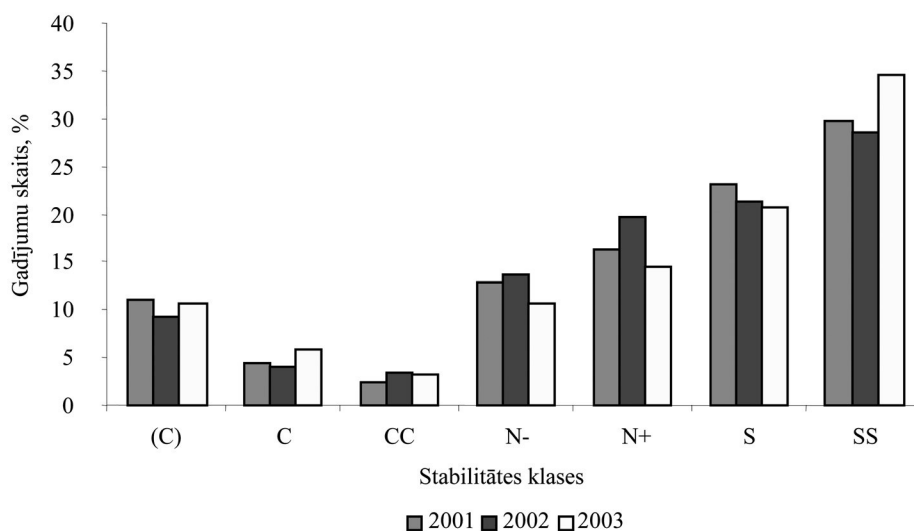
3.1.10. att. Atmosfēras stabilitātes klašu atgadīšanās biežums (%) 2004. gadā

Stabilas atmosfēras apstākļi, kas ir piesārņojuma izkliedei nelabvēlīgi, raksturīgi ruden, ziemas un pavasara sezonai (3.1.11. att.).

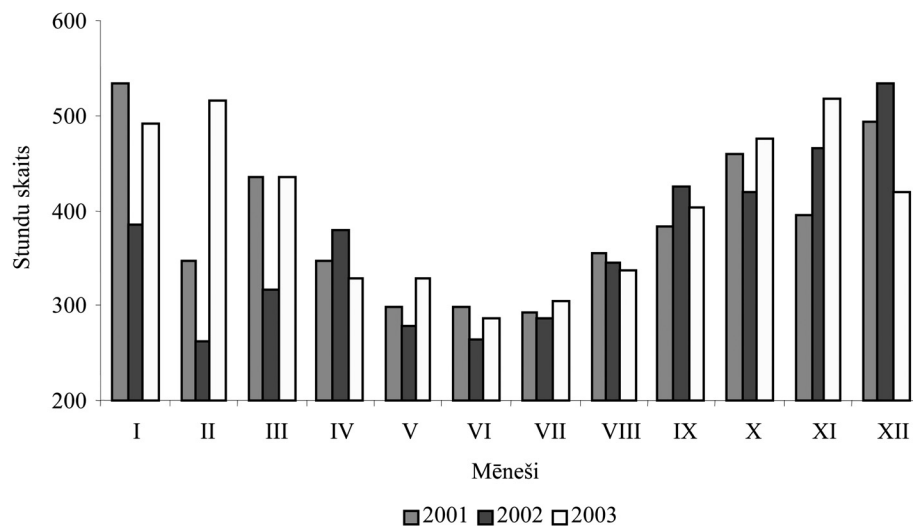


3.1.11. att. Stabilas atmosfēras (S+SS) gadījumu skaits Rīgā gada laikā (2004. gada dati)

Analizējot laika periodu no 2001. līdz 2003. gadam, konstatēts, ka stabilas atmosfēras atgadīšanās biežums un sezonālās izmaiņas praktiski nemainās un situācija ir analoga (3.1.12. un 3.1.13. att.).

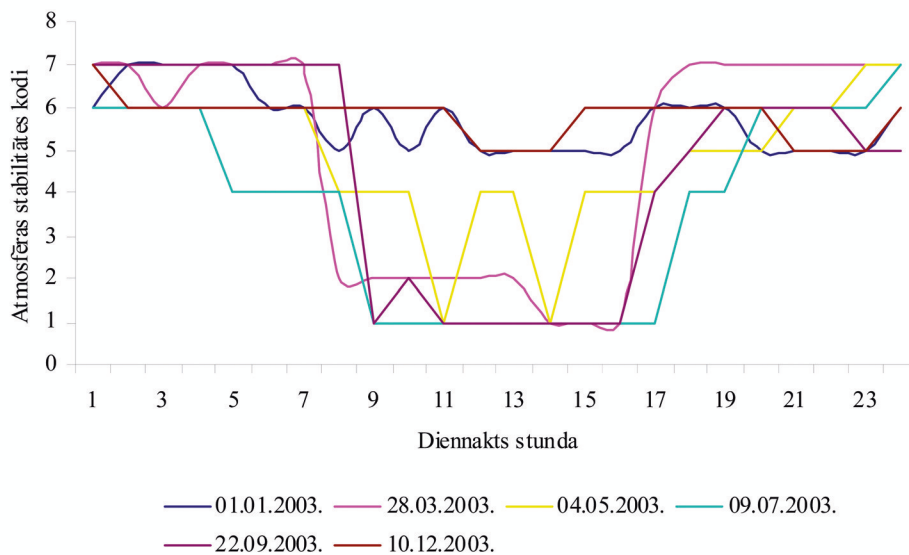


3.1.12. att. Atmosfēras stabilitātes klašu atgadīšanās biežums (%), 2001.–2003. gada vidējie dati



3.1.13. att. Stabils atmosfēras (S+SS) gadījumu skaits Rīgā gada laikā (2001.–2003. gada vidējie dati)

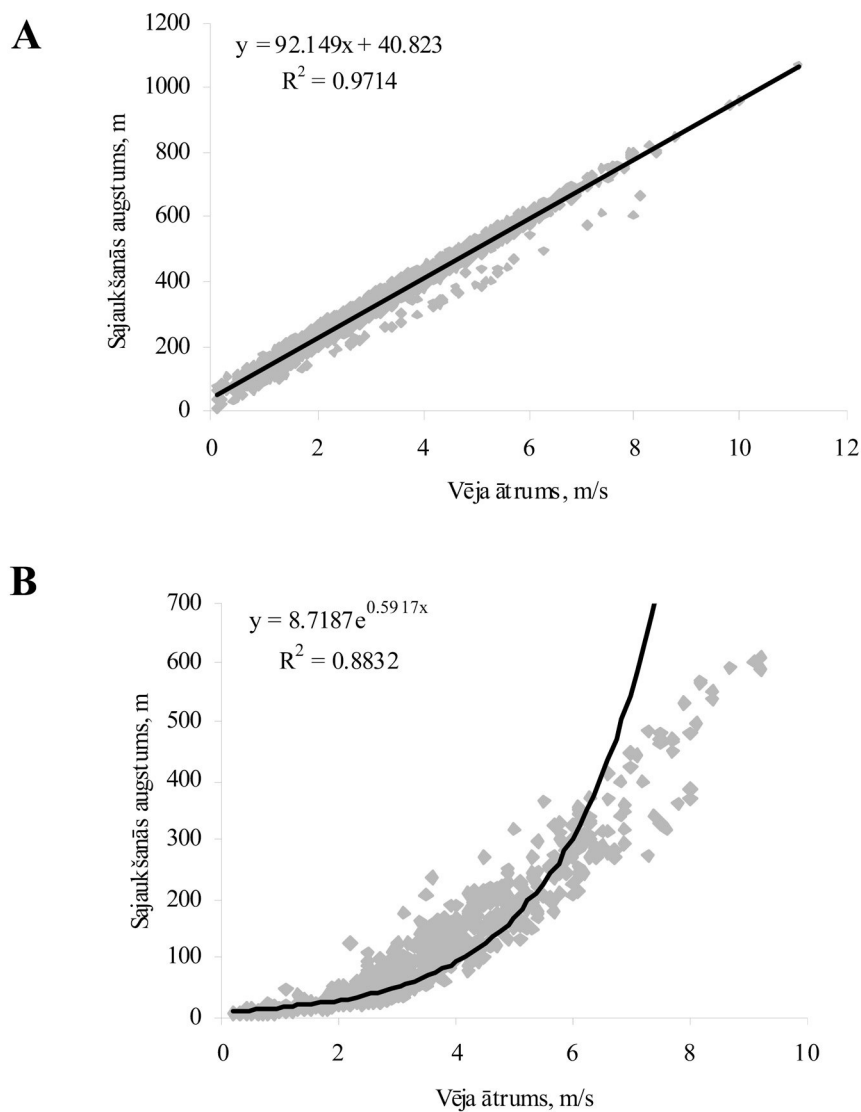
Atmosfēras stabilitātei ne vienmēr ir izteikts diennakts cikls (3.1.14. att., kurā sniegts dažādu dienu salīdzinājums), tomēr neatkarīgi no sezonas ir novērojama tendence nakts laikā stabilitātei palielināties.



3.1.14. att. Atmosfēras stabilitātes diennakts cikls

Lai novērtētu dominējošo faktoru piesārņojuma izkliedi, var izmantot mikro-klimatiskā parametra – sajaukšanās augstuma raksturojumu atkarībā no vēja ātruma (3.1.15. att.). Līdz ar to iespējams novērtēt dominējošo procesu – mehānisko turbulenci vai termisko turbulenci.

78% gadījumu gada laikā ir novērojama lineāra sakarība starp sajaukšanās augstumu un vēja ātrumu, tātad dominējošais atmosfēras stabilitātes faktors ir vēja ātrums un tikai 22% gadījumu piesārņojošo vielu izkliedi ietekmē termiski inducētā turbulence, kas nosaka sajaukšanās augstuma īpatnības. Abos gadījumos novērojama augsta korelācija starp vēja ātrumu un sajaukšanās augstumu. Termiski inducētas turbulences gadījumā korelācijas koeficients ir zemāks ( $R^2 = 0,8832$ ), tomēr pietiekams, lai par atmosfēras piesārņojuma līmeņa veidošanās galveno faktoru nosauktu vēja ātrumu.



3.1.15. att. Sajaukšanās augstuma un vēja ātruma savstarpējā korelācija dominējot mehāniskai turbulenci (A) un termiskajai turbulenci (B) Rīgā 2004. gadā

### 3.2. Rīgas mikroklīmatiskās iezīmes

Rīgā ir raksturīga klimatisko apstākļu dažādība. Tas nozīmē, ka labvēlīgos apstākļos nelielās teritorijās novērojamas meteoroloģisko elementu atšķirības – mikroklīmat. Šādas atšķirības ir saistītas ar to, ka dažāda rakstura virsmas, ko sauc par aktīvajām virsmām (zāliens, asfalts, betons, ūdens), dažādi absorbē vai atstaro saņemto saules enerģiju un līdz ar to vairāk vai mazāk sasilst. Virs dažādi sasilušajām virsmām veidojas atšķirīgi

atmosfēras spiediena apgabali, kas rada lokālu gaisa masu pārvietošanos jeb pilsētas brīzes. Meteoroloģisko elementu atšķirību mainību nosaka arī laika apstākļu fons (meteoroloģisko apstākļu kopums, kas vienlaikus raksturīgs plašai teritorijai). Vislielākās meteoroloģisko elementu atšķirības veidojas skaidrā laikā bez vēja vai arī tad, ja ir neliels vēja ātrums. Rīgas mikroklimatiskās iezīmes nosaka tai raksturīgās aktīvās virsmas: rūpnieciskā apbūve, Daugava, zaļā zona, Rīgas jūras līcis, samērā blīvā dzīvojamā apbūve. Brīvostas teritorijai kopumā raksturīgas pazeminātas vai fonam līdzīgas temperatūras režīms. Lielu ietekmi uz teritorijas lokālajiem klimatiskajiem apstākļiem atstāj Daugava un Rīgas jūras līcis, kas siltajā periodā pazemina gaisa temperatūras pie upes vai līča. Temperatūras paaugstinās, attālinoties no ūdens virsmas. Gaisa temperatūru starpība teritorijās pie līča un pilsētas iekšienē galvenokārt ir atkarīga no vēja virziena. Skaidrās vasaras dienās, kad vēji pūš no jūras (jūras brīzes), gaisa temperatūru starpība var sasniegt 7°C. Gaisa temperatūru starpība starp apbūvētajām teritorijām un zaļo zonu vai Daugavu, pastāvot labvēlīgiem meteoroloģiskajiem apstākļiem, Brīvostas teritorijā skaidrās bezvēja vasaras dienās var sasniegt 5°C, bet atsevišķos gadījumos ziemas vai pavasara naktīs, kad zemi klāj sniegs, – pat 10°C. Ja ir šāda temperatūru starpība, veidojas lokāli pilsētas vēji jeb pilsētas brīzes. Mazas mikroklimatiskas atšķirības Brīvostas teritorijā vērojamas, ja laiks ir apmācies un vēja ātrums vidēji ir no 4m/s līdz 7– 8 m/s.

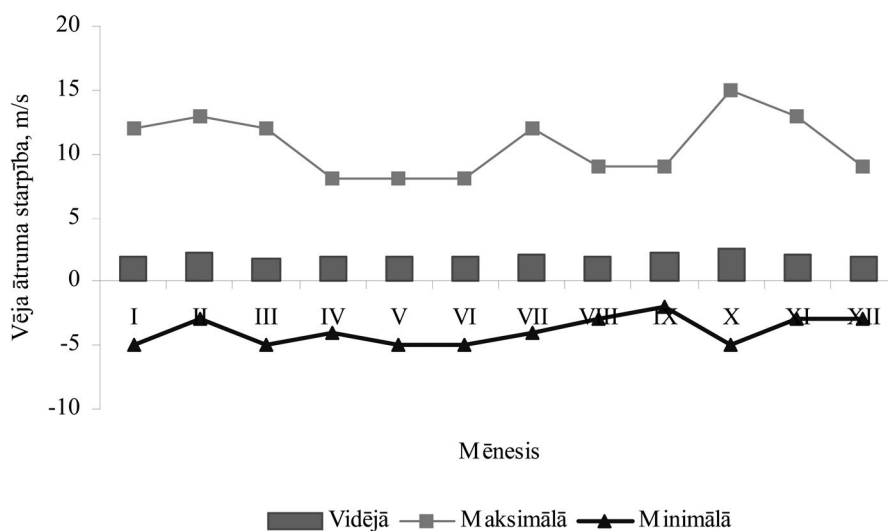
Vēja raksturs (ātrums un virziens) ir viens no svarīgākajiem faktoriem, kas ietekmē piesārņojošo vielu izkliedi. Šis rādītājs var būtiski atšķirties dažādās pilsētas teritorijās. Atšķirību noskaidrošanai Brīvostas teritorijā divās novērojumu stacijās tika salīdzināti vēju virzieni un ātrumi. Daugavgrīvas novērojumu stacijā kopumā raksturo teritorijas, kas atrodas Rīgas līča tuvumā. Novērojumu stacijā Slokas ielā, savukārt raksturo apbūvētu pilsētas teritoriju. Pētījumi tika veikti laika periodā no 1995. gada 1. janvāra līdz 2003. gada 31. jūlijam. Analīžu rezultāti sniedz priekšstatu par iespējamām vēju virzienu un ātrumu atšķirībām teritorijās.

Gadā kopumā vidējais vēja ātrums Rīgas līča tuvumā ir lielāks nekā pilsētas iekšējās teritorijās. Atsevišķos gadījumos vēja ātruma starpība var sasniegt pat 10 m/s. Oktobrī novērotas maksimālās vēja ātruma atšķirības ir pat 15 m/s (3.2.1. att.). Tas liecina par to, ka pilsēta darbojas kā gaisa plūsmu bremsējošs faktors. Tomēr atsevišķos gadījumos vēja ātrums pilsētas teritorijā var būt lielāks nekā pie līča (sk. negatīvās vērtības 3.2.1. att.).

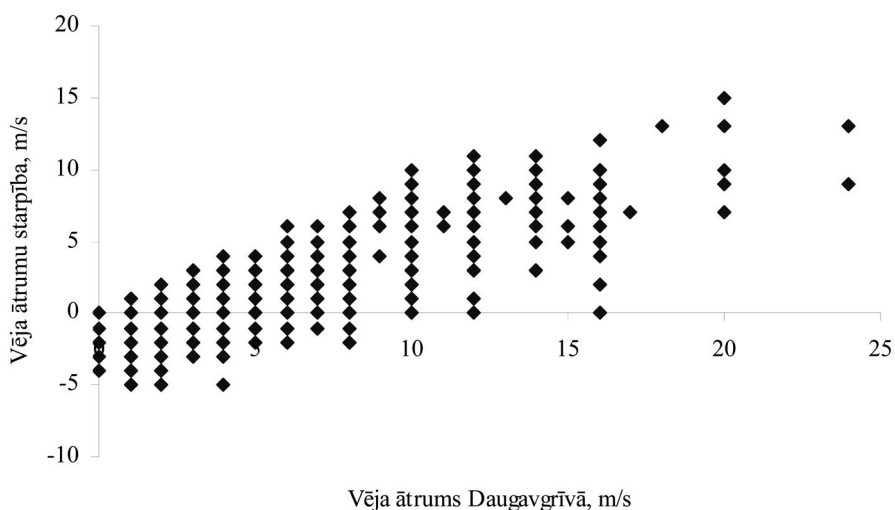
Uzskatāmi redzams, ka situācija, kad pilsētas iekšējā teritorijā vēja ātrums ir lielāks, iespējama, vējiem pūšot nelielā ātrumā (3.2.2. att.). Šādi apstākļi ir labvēlīgi, lai veidotos gaisa temperatūru starpība lokālās teritorijās, un tas norāda uz iespēju iekšpilsētas termālo brīžu jeb lokālu vēju sistēmu parādību veidošanos.

Ja ir liels vēju ātrums (lielāks par 9 m/s), nav novērots, ka iekšpilsētā vēja ātrums būtu lielāks nekā teritorijā pie Rīgas jūras līča. Priekšstatu par to, cik bieži (% no kopējā novērojumu skaita) atkārtojas dažādas vēju ātrumu atšķirības gadā kopumā, sniedz 3.2.3. attēls. Visbiežāk tiek novērots, ka vēja ātrums Daugavgrīvas novērojumu stacijā ir par 1–2 m/s lielāks nekā Slokas ielā. Ir arī gadījumi, kad vēja ātrumi abās novērojumu vietās neatšķiras (starpība ir 0 m/s). Aukstajā gada laikā (novembrī – aprīlī) biežāk novērojamās vēja ātrumu atšķirības ir 0–1 m/s, bet maijā – oktobrī biežāk novērojamās atšķirības ir 2 m/s, oktobrī pat 3 m/s. Analizējot novēroto vēju virzienu atšķirības azimuta grādos, abās novērojumu stacijās tika konstatēts, ka 21% vēju virzienu atšķirības ir līdz 5 azimuta grādiem, t. i., vēja virzieni būtiski nav atšķirušies. Kopumā 90% visu

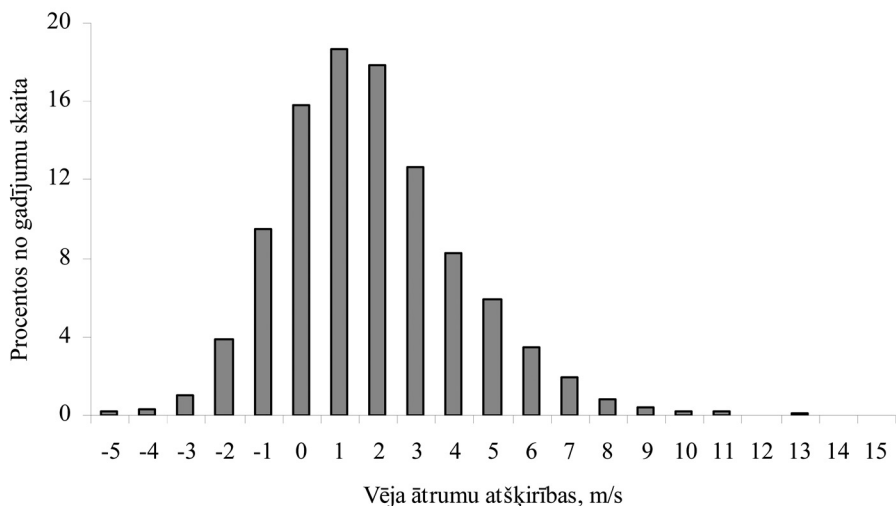
analizējamo novērojumu vēja virzienu atšķirības bija mazākas nekā 60 azimuta grādu. Tomēr atsevišķos gadījumos tika novērotas arī lielas vēja virzienu atšķirības – līdz pat 180 azimuta grādiem. Tas nozīmē, ka Daugavgrīvas novērojumu punktā un Slokas ielā vienlaikus var novērot pilnīgi pretēja virziena vējus. Šāda vēja parādība gan novērota mazāk nekā 1% no kopējo gadījumu skaita. (3.2.4. att.)



3.2.1. att. Vēja ātrumu starpība novērojumu stacijās Daugavgrīvā un Slokas ielā 2003. gadā (L. Lizuma et al., 2003)

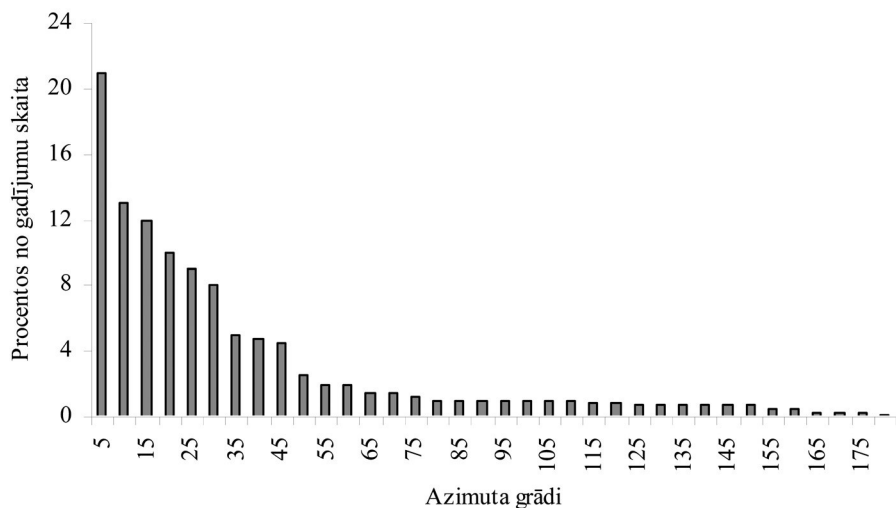


3.2.2. att. Vēja ātrumu starpības Daugavgrīvā un Slokas ielā pie dažādiem vēju ātrumiem 2003. gadā (L. Lizuma et al., 2003)



**3.2.3. att. Vēja ātrumu starpības Daugavgrīvas un Slokas iela novērojumu stacijās atkārtotā biezums procentos no kopējā – 3504 gadījumu skaita (L. Lizuma et al., 2003)**

Tika konstatēts, ka vēja virzienu lielākās atšķirības novērojamas, ja vēja ātrums mazāks, it īpaši tad, ja tas ir 1–4 m/s. Līdz ar to veidojas nelabvēlīgi apstākļi gaisa piesārņojuma izkliedei (3.2.3. att.).



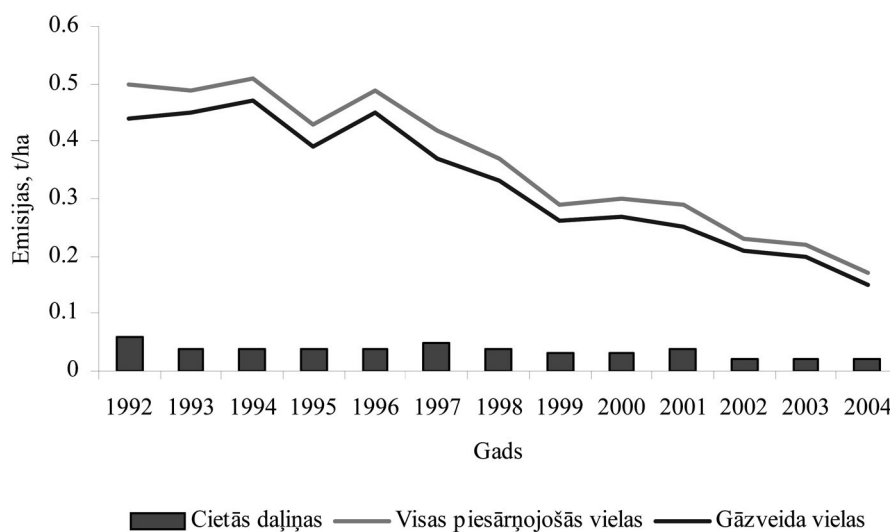
**3.2.4. att. Vēja virzienu starpību (azimuta grādos) atkārtotā biezums (procentos no gadījumu skaita) 2003. gadā (L. Lizuma et al., 2003)**

Kopumā visās sezonās 90% gadījumu vēja virzienu atšķirības nepārsniedz 90 azimuta grādus. Vēja virzienu un ātrumu atšķirības uzskatāmi pamato nepieciešamību, kādēļ vajadzīgi papildus vēja ātruma un virziena novērojumi Brīvostas teritorijā.

### 3.3. Atmosfēras piesārņojuma avoti un monitoringa rezultāti

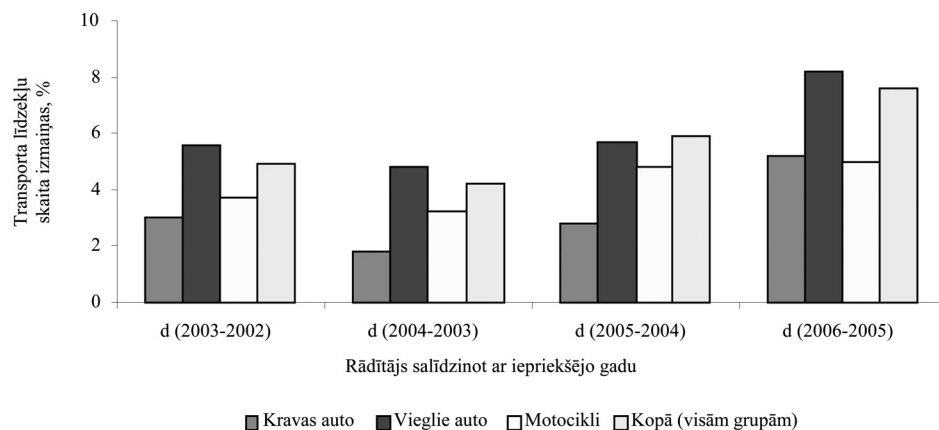
Raksturīgi, ka atmosfēras piesārņojuma līmeņa monitorings tiek veikts vielām, kurām ir noteikti gaisa kvalitātes normatīvi. Ievērojami plašāka informācija par atmosfērā emitētajām vielām ir iekļauta atsevišķu atmosfēras piesārņotāju ikgadējos pārskatos, kā arī nacionālā līmeņa pārskatos, ietverot piesārņojošās vielas, kurām gaisa kvalitātes normatīvi nav noteikti. Pamatojoties uz iepriekšminētajiem pārskatiem, iespējams noteikt lokālas izcelsmes piesārņojuma avotus un to ietekmi uz atmosfēras piesārņojuma līmeni, savukārt nacionālos un starptautiskos ziņojumos tiek raksturots pārrobežu pārnese procesos nonākušais atmosfēras piesārņojums.

Analizējot stacionāro emisijas avotu radīto atmosfēras piesārņojumu laika periodā no 1992. līdz 2004. gadam, redzams, ka būtiski ir samazinājušies gāzveida piesārņojošo vielu emitētie apjomi, bet cieto daļiņu piesārņojuma daudzums no stacionāriem emisijas avotiem praktiski nav mainījies (3.1.1. att.).



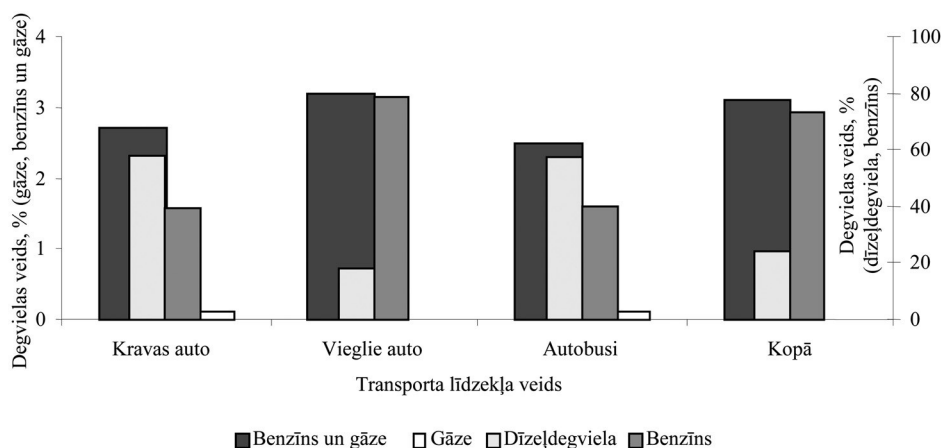
3.3.1. att. Emisiju apjoma izmaiņas no stacionāriem piesārņojuma avotiem laika periodam 1992.–2004. (CSB dati)

Būtiski ir mainījies mobilo emisijas avotu īpatsvars pēdējo 5 gadu periodā. Automašīnu skaits palielinās ar katru gadu (CSDD, 2006). Būtiskākais pieaugums ir vērojams vieglo automašīnu grupā – vidēji par 6% katru gadu salīdzinājumā ar iepriekšējo gadu. Pēc pēdējiem datiem, reģistrēto vieglo automašīnu skaits Latvijā 2006. gadā palielinājies par 8,2% (3.3.2. att.). Vidēji 32% no visiem transportlīdzekļiem ir reģistrēti tieši Rīgā (CSDD, 2006).



3.3.2. att. Transporta līdzekļu skaita izmaiņas Latvijā no 2001. gada līdz 2006. gadam (CSDD dati)

Analizējot izmantojamus transportlīdzekļus pēc degvielas veidiem, vidēji 73% transportlīdzekļu izmanto benzīnu un tikai 24% – dīzeļdegvielu (3.3.3. att.).



3.3.3. att. Transporta līdzekļu iedalījums pēc degvielas veida uz 2006. gada 1. aprīli (CSDD dati)

Ņemot vērā būtisko ikgadējo transportlīdzekļu pieaugumu, un stacionāro emisijas avotu radītā piesārņojuma daudzuma samazinājumu, iespējams secināt, ka tieši transports ir dominējošais atmosfēras piesārņojuma avots Rīgā gadījumos, kad tiek novērotas ilgtermiņā nemainīgas vai pieaugošas piesārņojošo vielu piezemes koncentrācijas. Raksturīgi, ka no stacionāriem emisijas avotiem atmosfērā nonāk dažādu kurināmo sadegšanas produkti (sēra dioksīds, slāpekļa oksīdi, oglekļa oksīds, cietās daļiņas), iztvaikošanas produkti (benzols, toluols, ksilols, dažādu naftas produktu smagās un vieglās frakcijas) un citas vielas, kas raksturīgas kādām atsevišķām rūpnieciskām ražotnēm. Transporta radīto emisiju sastāvā ir gan pilnīgas, gan nepilnīgas sadegšanas

produkti – slāpekļa oksīdi, oglekļa oksīds, cietās daļiņas, benzols. Praktiski jebkuru piesārņojošo vielu emisijas apjomus ir iespējams aprēķināt, pamatojoties uz empīriskiem vai masas bilances vienādojumiem un pēc tam veicot šo vielu izkliedes modelēšanu. Diemžēl šāda metode nav izmantojama cieto daļiņu gadījumā, jo cietajām daļiņām ir raksturīgi dažādi veidošanās mehānismi – eksistē gan tieši atmosfērā emitētās cietās daļiņas, kuru daudzumu ir iespējams noteikt, gan netiešais cieto daļiņu piesārņojums, kas rodas dažādu fizikālu un ķīmisku reakciju rezultātā. Netiešo cieto daļiņu piesārņojumu ir iespējams novērtēt, izmantojot ilggadējus cieto daļiņu dažādu frakciju mērījumus vienlaikus no dažādiem emisijas avotiem un atmosfēras piezemes slānī, un tādējādi raksturojot konkrētās vietas apstākļus un ietekmi netiešā cieto daļiņu piesārņojuma līmeņa veidošanās procesā. Ir zināmi vairāki cieto daļiņu un aerosolu veidi un veidošanās mehānismi:

- 1) neorganiskas izcelsmes un jūras sāļus saturošas cietās daļiņas, kas rodas mitruma klātbūtnē;
- 2) kondensācija no gāzveida agregātstāvokļa šķidrā agregātstāvoklī;
- 3) sadegšanas procesā rodas cietās daļiņas, kuru rašanās mehānisms ir abu iepriekš aprakstīto mehānismu kombinācija, tikai šajā gadījumā cietās daļiņas veidojas augstās temperatūrās (>100 °C) un to izmēri atšķiras;
- 4) augsnes erozijas procesi;
- 5) vulkānisms.

Globāli gada laikā atmosfērā nonāk 1000–3000 miljoni tonnu cieto daļiņu, kuru aerodinamiskais diametrs ir mazāks par 40 μm, un 80% šo cieto daļiņu ir dabiska izcelsme. (Brimblecombe, P., 1996; Bourton, C., 1994).

Atmosfērā nonākušās cietās daļiņas ir pakļautas vairākiem procesiem – kondensācijai, koagulācijai, ķīmiskām transformācijām, transportam jeb pārnesei u. c. Cietajām daļiņām ir raksturīgi dažādi izsēšanās mehānismi:

- 1) gravitācijas spēks, kura ietekme ir atkarīga no cieto daļiņu izmēriem;
- 2) Brauna difūzija;
- 3) slapjā izkrišana ar nokrišņiem (Bourton, C., 1994)

Ir praktiski neiespējami noteikt cieto daļiņu izmērus, jo tām raksturīga neregulāra forma. Modelēšanā tiek pieņemts, ka visas cietās daļiņas ir sfēriskas, un to kustības ātrums noteikts, izmantojot Stoksa likumu:

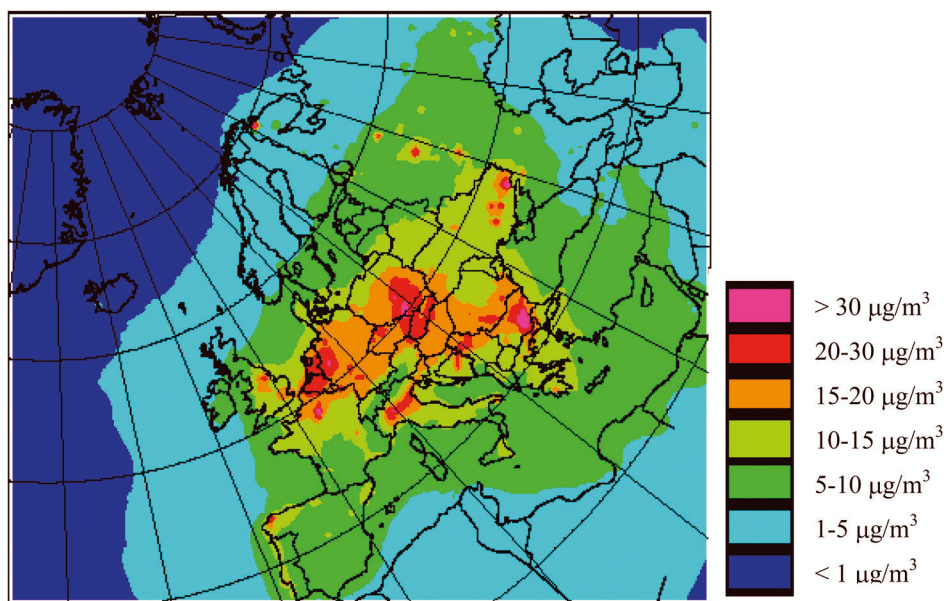
$$v_i = \frac{2r^2 \rho_p g}{9\nu}, \quad (7)$$

kur  $v_i$  – neliela izmēra sfēriska ķermeņa ātrums,  $\rho_p$  – daļiņas blīvums,  $\nu$  – viskozitāte,  $r$  – daļiņas diametrs. Stoksa likums ir piemērojams sfērisku daļiņu kustības ātruma aprēķiniem, ja daļiņu diametrs ir 15–30 μm. Ja daļiņu izmēri ir nelieli (mazāki par 0.1 μm), tad to koncentrācija ir zema, kas ir saistīts ar šīm cietajām daļiņām piemītošo koagulēšanās tendenci (Brimblecombe, 1996).

Augsta aerosolu koncentrācija atmosfērā samazina redzamību un rada dūmaku. Cieto daļiņu piesārņojums var izraisīt arī dažāda veida optiskas parādības – zaļganu saules gaismas nokrāsu, zaļus uzplaisnījumus, arī loku ap sauli vai mēnesi. Cieto

daļiņu optisko efektu raksturo, izmantojot Releja un Mī teoriju. Abas šīs teorijas apskata cietās daļiņas kā regulārus sfēriskus daļēji gaismu caurlaidīgus objektus. Releja teorija ir izmantojama, tikai raksturojot sīkās daļiņas (mazākas par  $0.03 \mu\text{m}$ ). Saskaņā ar Mī teoriju izkliedētās gaismas intensitāte ir izkliedēšanās leņķa salikta funkcija, kas ir atkarīga no viļņu garuma. Šī teorija izmantojama arī lielāka izmēra cieto daļiņu pētīšanā (Brimblecombe, 1996).

Cieto daļiņu pārrobežu pārnese pētījumi, aprēķini un iespējamie nākotnes piesārņojuma līmeņa scenāriji tiek izstrādāti starptautiskās programmas EMEP ietvaros. Pamatojoties uz Eiropas dalībvalstu sniegtajiem datiem par cieto daļiņu emisiju apjomiem, tiek veikti piesārņojuma koncentrācijas aprēķini. EMEP modelēšanas centra darbinieki izmanto modelēšanas sistēmu UNI-AERO. Tā ir Eilera tipa 27 procesus aprakstošu vienādojumu modelēšanas sistēma (EMEP, 2002). Pēc modelēšanas centra veiktajiem aprēķiniem, cietajām daļiņām ar aerodinamisko diametru  $10 \mu\text{m}$  gada vidējā dabiskā fona koncentrācija, ņemot vērā jūras ietekmi (t. s. "sea-salt" korekcijas faktoru), Latvijā sasniedz  $5\text{--}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (3.3.4. att.).



3.3.4. att. EMEP modelētās cieto daļiņu ar aerodinamisko diametru  $10 \mu\text{m}$  koncentrācijas Eiropā (EMEP, 2002)

Atmosfēras piesārņojuma novērtējums veikts, pamatojoties uz tā ķīmiskā sastāva analīzēm. Piesārņojošo vielu monitorings Rīgā tiek nodrošināts vairākos līmeņos – nacionālajā (valsts) un lokālajā (pašvaldības un atsevišķu uzņēmumu) līmenī. Nacionālā līmeņa monitoringa sistēma ir izveidota, ņemot vērā Eiropas Savienības direktīvu par vides pārvaldību (Council Directive 96/62/EC, 1996) un LR likumdošanā (MK noteikumi Nr. 588.–21.10.2003.) minētās prasības.

Sistemātiski atmosfēras piesārņojuma līmeņa mērījumi Rīgā ir uzsākti 1967. gadā, sākotnēji analizējot sēra dioksīda ( $\text{SO}_2$ ), slāpekļa dioksīda ( $\text{NO}_2$ ), oglekļa

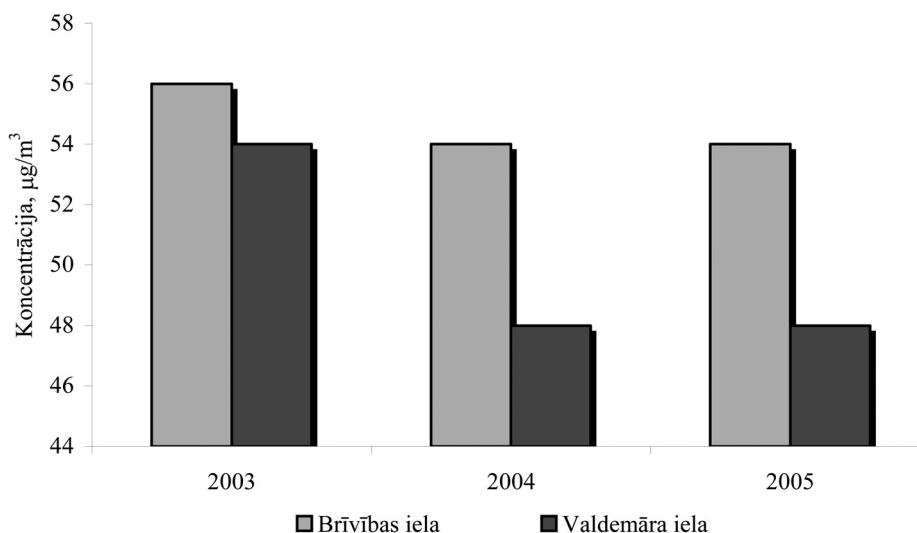
monooksīda (CO) un cieto daļiņu mērījumus. 1970. gadā Rīgā bija pieci monitoringa punkti. Ar 1979. gadu ieviests arī fenola koncentrāciju monitorings, bet 20. gs. 80. gados uzsākti citu gaistošo organisko savienojumu – formaldehīda, benzpirēna, hlorūdeņaraža, amonjaka, toluola, ksilola un benzola koncentrāciju mērījumi (LVĢMA arhīva materiāli). Monitoringa sistēmai pilnveidojoties, ar 1983. gadu Rīgā uzsākti smago metālu (svina, mangāna, vara, niķeļa) mērījumi atmosfēras gaisā, bet ar 1987. gadu – papildus vēl arī vanādija, dzelzs, cinka, hroma un rubīdija mērījumi.

Kopš 1998. gada ir notikušas kardinālas izmaiņas monitoringa sistēmā. Tas saistīts ar likumdošanas prasību izmaiņām, kā arī ar Eiropas Savienības direktīvās noteikto prasību ieviešanu. Ir mainījušās prasības attiecībā uz monitoringa sistēmas izvietojumu, mainījies arī kontrolējamo vielu klāsts un izmantojamās mērījumu metodes. 2003. gada 21. oktobrī ir pieņemti MK noteikumi Nr. 588 "Par gaisa kvalitāti", kuri ietver ES direktīvu prasības un izvirza detalizētus noteikumus atmosfēras gaisa piesārņojuma monitoringa veikšanai. Tajos ir norādītas primārās gaisu piesārņojošās vielas, kuras nepieciešams kontrolēt, kā arī doti gaisa kvalitātes normatīvi un mērķlielumi vielām, kurām gaisa kvalitātes normatīvi vēl nav noteikti. Gaisa kvalitātes normatīvi ir noteikti sēra dioksīdam, slāpekļa oksīdiem, cietajām daļiņām (ar aerodinamisko diametru līdz 10 µm), benzolam, oglekļa oksīdam, svinam, kadmijam, arsēnam, niķelim, benzpirēnam un ozonam. Nepārtraukts gaisa kvalitātes monitorings tādās aglomerācijās kā Rīga ir obligāts iepriekšminētajām vielām. Tas jāievieš arī citās vietās, ja iepriekšminēto vielu piesārņojuma līmenis pārsniedz vai var pārsniegt gaisa kvalitātes normatīvus. Rīgā, pamatojoties uz likumdošanas prasībām, tiek realizēts nepārtrauktas darbības monitorings. Monitoringa mērķis ir nodrošināt valsts un starptautiskās vides pārvaldes institūcijas ar informāciju par gaisa kvalitāti pilsētās, arī ar informāciju par normatīvu pārsniegšanas gadījumiem. Minimālais nepieciešamais mērījumu biežums ir atkarīgs no attiecīgās vielas: parasti tie ir stundu mērījumi, bet cieto daļiņu gadījumā – diennakts mērījumi un smago metālu gadījumā – nedēļas mērījumi. Prasības attiecībā uz novērojumu metodēm ir noteiktas Ministru kabineta 2003. gada 21. oktobra noteikumos Nr. 588 "Par gaisa kvalitāti" un arī Eiropas Savienības direktīvās. Direktīvas katrai vielai nosaka references metodi, lai nodrošinātu mērījumu savstarpējo salīdzināšanas iespēju. Ir pieļaujama arī citu metožu lietošana, ja tās nodrošina mērījumu precizitāti un kvalitāti, kā arī atbilst datu kvalitātes mērķiem. Gāzveida komponentu mērījumiem Rīgā tiek izmantota DOAS (diferenciālās optiskās absorbcijas spektroskopijas) metode, cieto daļiņu PM<sub>10</sub> mērījumiem – beta radiācijas metode, bet oglekļa oksīda mērījumiem – infrasarkanās absorbcijas metodi. Lai nodrošinātu Rīgas iedzīvotājus ar pilnvērtīgāku informāciju par gaisa kvalitāti, papildu monitoringa iekārtas ir uzstādītas Rīgas Brīvostas teritorijā, kur izvietoti dažādu produktu pārkraušanas termināli, rūpnieciskie uzņēmumi u. c.

Monitoringa rezultāti, analizēti kompleksi, novērtējot meteoroloģisko faktoru ietekmi un raksturojot to skaitliski, lai iegūtos norādījumus izmantotu regresijas modeļa izstrādē un atmosfēras piesārņojuma prognožu sastādīšanā.

Cieto daļiņu mērījumi Rīgā tiek veikti tikai transporta ietekmes novērtējuma stacijās – Kr. Valdemāra ielā un Brīvības ielā. Tie uzsākti 2003. gadā. Salīdzinājumā ar gaisa kvalitātes normatīviem Rīgā lielākie normu pārsniegšanas gadījumi ir tieši PM<sub>10</sub> piesārņojuma ziņā: parasti diennakts normatīvs katram nākamajam gadam tiek pārsniegts jau aprīlī – martā. Salīdzinot mērījumu rezultātus (3.3.5. att.), redzamas būtiskas

atšķirības, lai arī abas iekārtas ir izvietotas tipiskos ielu kanjonos, ar līdzīgu transporta intensitāti. Iespējamās atšķirības mērījumos varētu būt izskaidrojamas ar metožu atšķirīgo izmantojumu (Kr. Valdemāra ielā mērījumi tiek veikti vienā punktā, bet Brīvības ielā tiek izmantots atvērtā stara princips).



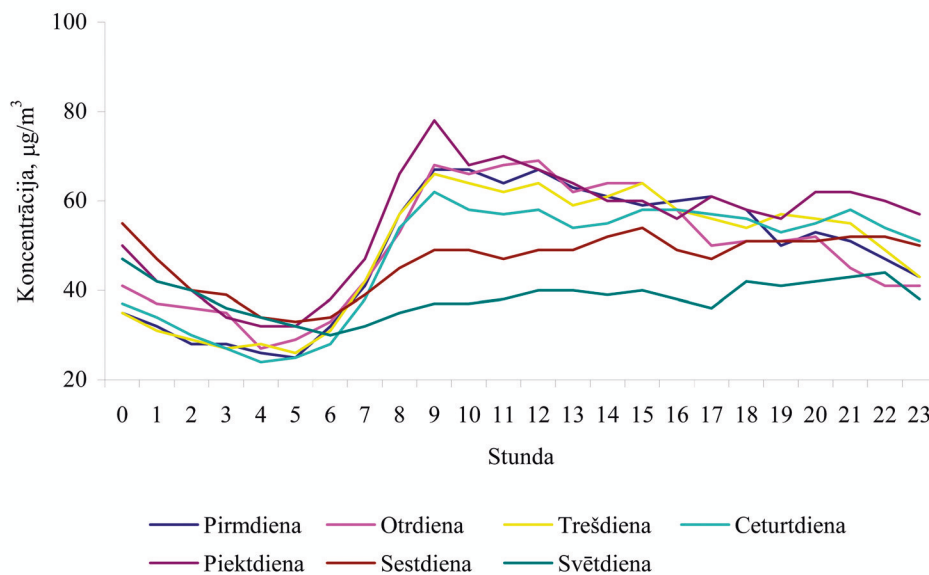
3.3.5. att. Cieto daļiņu gada vidējās vērtības transporta radītā piesārņojuma novērtējuma monitoringa stacijās Rīgā

Salīdzinot EMEP modeļa rezultātus ar veiktajiem mērījumiem, iespējams secināt, ka Rīgai ir raksturīgi lokāli emisijas avoti, kas būtiski paaugstina cieto daļiņu  $PM_{10}$  piesārņojuma līmeni pilsētā. Piemēram, Brīvības ielā radītais transporta ieguldījums gada griezumā pārsniedz  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , jo saskaņā ar mērījumiem cieto daļiņu  $PM_{10}$  gada vidējā koncentrācija Brīvības ielā pārsniedz  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , turpretim pārrobežu pārneses procesā radītā koncentrācija Latvijā ir līdz  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (3.3.4. un 3.3.5. att.).

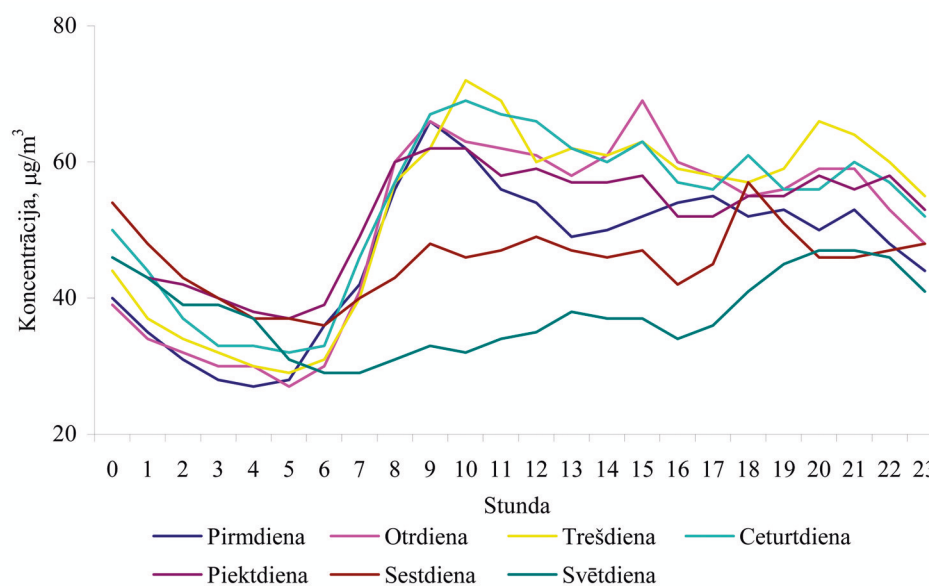
### 3.4. Piesārņojošo vielu koncentrāciju un meteoroloģisko parametru kompleksā analīze

Pēc monitoringa rezultātiem 2004. gadā cieto daļiņu vidējā vērtība Rīgā, Kr. Valdemāra ielā, bijusi  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , augstākā stundas koncentrācija –  $429 \mu\text{g}/\text{m}^3$  – konstatēta 17. aprīlī plkst. 0.00. 2005. gadā vidējā vērtība nav mainījies –  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , augstākā vērtība –  $346 \mu\text{g}/\text{m}^3$  novērota 30. jūlijā plkst. 18.00.

Analizējot stundas vidējās koncentrācijas dienas laikā (3.4.1. att.), redzams, ka neatkarīgi no dienas cieto daļiņu koncentrācijas laika posmā no plkst. 0.00 līdz 6.00 ir līdzīgas; atšķirības (vidēji līdz 37%) vērojamas starp darba dienām un brīvdienām. Tomēr šīs atšķirības nav tik būtiskas, lai izveidotu dažādus prognostiskos algoritmus. Augstākās cieto daļiņu koncentrācijas novērotas ap plkst. 9.00 no rīta, kad transporta plūsma ir visintensīvākā.

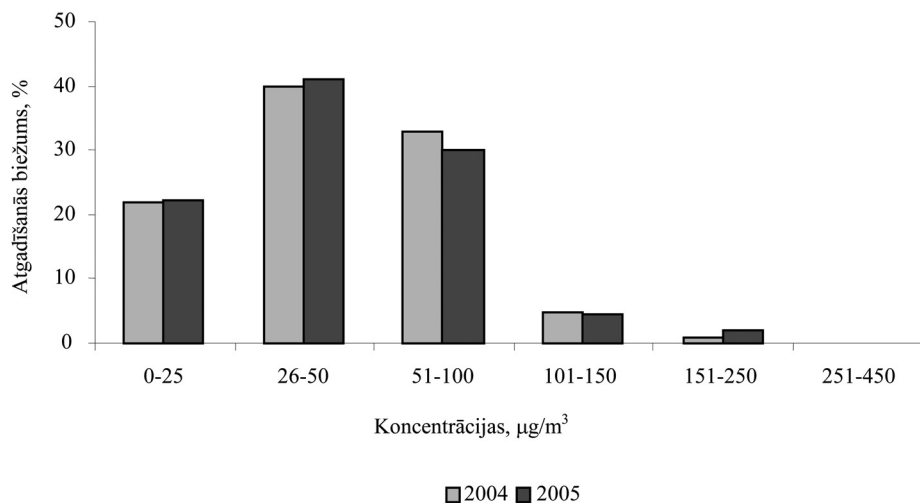


3.4.1. att. Cieto daļiņu stundas vidējo koncentrāciju variācijas diena laikā dažādās nedēļas dienās 2004. gadā novērojumu stacijā Kr. Valdemāra ielā



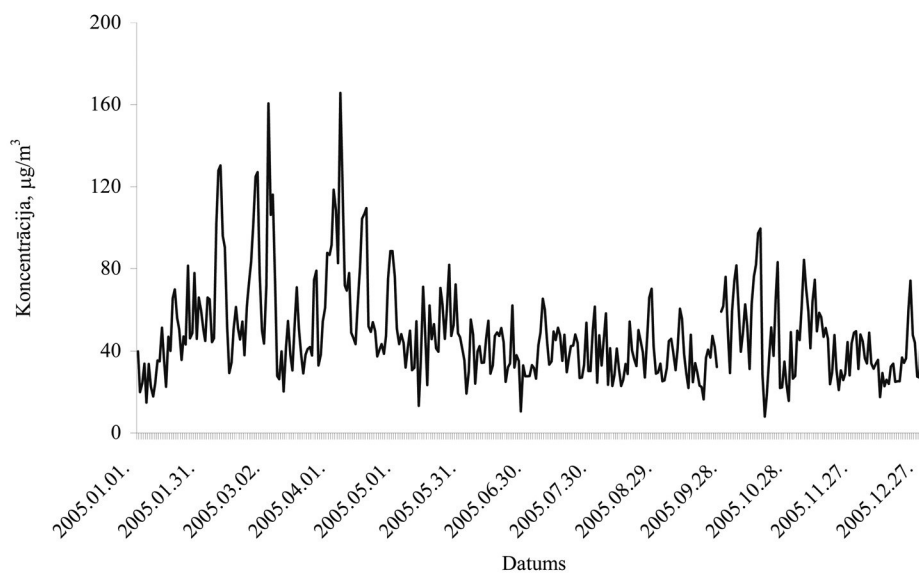
3.4.2. att. Cieto daļiņu stundas vidējo koncentrāciju variācijas diena laikā dažādās nedēļas dienās 2005. gadā novērojumu stacijā Kr. Valdemāra ielā

Detalizētāk analizējot cieto daļiņu stundas koncentrācijas, redzams, ka 2005. gadā salīdzinājumā ar 2004. gadu stundu koncentrāciju sadalījums būtiski nav mainījies. (3.4.3. att.).



3.4.3. att. Cieto daļiņu stundas vidējo koncentrāciju sadalījums (atgadīšanās biežums, %) 2004.–2005. gadā novērojumu stacijā Rīgā, Kr. Valdemāra ielā

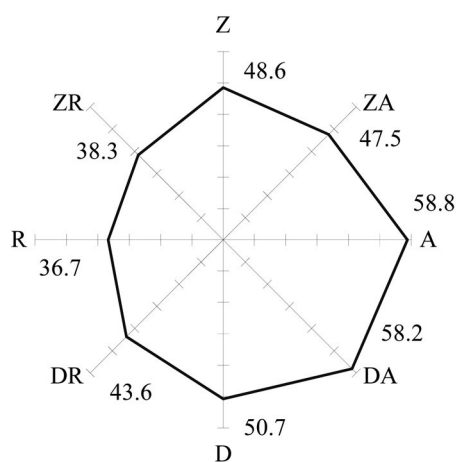
Analizējot diennakts vērtības, redzams, ka laika periodā no 2004. līdz 2005. gadam zemākā konstatētā koncentrācija ir  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kas indikatīvi varētu norādīt uz pārrobežu piesārņojuma līmeni un dabiskā fona līmeni. Šāds pieņēmums pilnībā atbilst EMEP modelēšanas rezultātiem. Koncentrāciju izmaiņām gada laikā ir raksturīgs cikls ar augstākām vērtībām pavasara periodā (3.4.4. att.)



3.4.4. att. Cieto daļiņu diennakts koncentrācijas 2005. gadā monitoringa stacijā Rīgā, Kr. Valdemāra ielā

Analizējot cieto daļiņu  $PM_{10}$  koncentrāciju atkarību no dažādiem meteoroloģiskiem parametriem, tiešu (lineāru vai nelineāru) sakarību atrast nav iespējams. Izdevies konstatēt vienīgi atsevišķas iezīmes un nosacījumus, kādos cieto daļiņu  $PM_{10}$  koncentrācijas ir augstākas salīdzinājumā ar citiem apstākļiem:

- 1) augstākas cieto daļiņu koncentrācijas ir konstatētas, pūšot austrumu, dienvidu-austrumu un dienvidu vējiem, neatkarīgi no to stipruma (3.4.5. att.);
- 2) cietām daļiņām ir tendence uzkrāties atmosfēras piezemes slānī, tāpēc īstermiņa un ilgtermiņa prognozes sastādītas, ņemot vērā piesārņojuma līmeni iepriekšējās dienās.



3.4.5. att. Cieto daļiņu stundas koncentrāciju sadalījums ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pēc vēju virziena monitoringa stacijā Rīgā, Kr. Valdemāra ielā 2004. gadā

Analizējot monitoringa rezultātus dažādos laika posmos un mainīgos meteoroloģiskos apstākļos, pēc rezultātiem ir iespējams secināt, ka cieto daļiņu piesārņojuma līmeņi un to ietekmes faktori novērojumu periodā būtiski nemainās un tiem nav īpašu atšķirību un iezīmju dažādos gados.

Analizējot gaisa kvalitāti Rīgas Brīvastā, detalizēts novērtējums tika veikts 41 uzņēmumam, kas darbojoties rada atmosfēras piesārņojumu. Viens no būtiskākajiem atmosfēras piesārņotājiem bija pārkraušanas termināls BLB. Uzņēmuma teritorijā izvietoti 16 emisijas avoti, kuri atmosfērā emitē (pēc 2001. gada 2-Gaiss statistiskajiem pārskatiem) slāpekļa dioksīdu (12,052 t/a), oglekļa oksīdu (12,912 t/a), cietās daļiņas (3,223 t/a), sēra dioksīdu (95,993 t/a), vanādijs (0,95993 t/a), mazuta tvaikus (109,332 t/a), petrolejas tvaikus (31,706 t/a) un metiletilketonu (1,376 t/a). Lai novērtētu uzņēmuma ietekmi uz apkārtējo vidi, veikta piesārņojošo vielu izkliede un iegūto rezultātu salīdzināšana ar normatīvajām vērtībām ne tikai uzņēmuma teritorijā, bet arī dzīvojamu māju rajonos (3.4.2. tab.). Tā kā emisijas avotu radītais piesārņojums dzīvojamu māju rajonā nepārsniedza 5% sliekšni no pieļaujamā robežlieluma, tātad bija vērtējams kā maznozīmīgs, tālāka analīze netika veikta. Uzņēmumam BLB tuvākās dzīvojamās mājas izvietotas Ezera ielas otrā pusē D virzienā, aptuveni 207 m attālumā no tā.

3.4.1. tabula

## Meteoroloģisko parametru un piesārņojošo vielu regresijas labuma matrica (Rīga, Kr. Valdemāra iela 2004. gads)

	Cietās daļiņas	Benzols	Slāpekļa oksīdi	Ozons	Ksilols	Toluols	Vēja ātrums	Vēja virziens	Temperatūra	Globālā radiācija	Relatīvais mitrums	Atmosfēras spiediens
Cietās daļiņas		0.2877	0.3521	0.1621	0.1976	0.2216	0.0092	0.0116	9E-05	0.0189	0.0559	0.0188
Benzols	0.2877		0.5535	0.3212	0.6915	<b>0.8218</b>	1E-05	0.0241	0.129	0.0031	0.0004	0.0077
Slāpekļa oksīdi	0.3521	0.5535		0.4189	0.4868	0.51	0.0167	0.0184	0.0453	0.0081	0.0066	0.0056
Ozons	0.1621	0.3212	0.4189		0.2795	0.3081	0.0292	0.0136	0.0835	0.0009	0.0305	0.0062
Ksilols	0.1976	0.6915	<b>0.4868</b>	0.2795		0.7625	0.0006	0.0078	0.0545	2E-05	1E-07	0.0037
Toluols	0.2216	0.8218	<b>0.51</b>	0.3081	0.7625		0.0009	0.0126	0.0827	4E-05	0.0009	0.0187
Vēja ātrums	0.0092	1E-05	0.0167	0.0292	0.0006	0.009		0.0118	0.0032	0.0107	0.0206	0.0492
Vēja virziens	0.0116	0.0241	0.0184	0.0136	0.0078	0.012	0.0118		0.0154	0.0286	0.0014	0.0056
Temperatūra	9E-05	0.129	0.0453	0.0835	0.0545	0.0827	0.0032	0.0154		0.2137	0.175	0.0018
Globālā radiācija	0.0189	0.0031	0.0081	0.0009	2E-05	4E-05	0.0107	0.0286	0.2137		0.3196	0.0116
Relatīvais mitrums	0.0559	0.0004	0.0066	0.0305	1E-07	0.0009	0.0206	0.0014	0.175	0.3196		0.0533
Atmosfēras spiediens	0.0188	0.0077	0.0056	0.0062	0.0037	0.0187	0.0492	0.0056	0.0018	0.0116	0.0533	

Ozona un slāpekļa oksīdu savstarpējā regresija raksturota kā logaritmiska, pārējos gadījumos kā lineāra sakarība. Būtiskākās regresijas labuma attiecības tabulā ir izceltas.

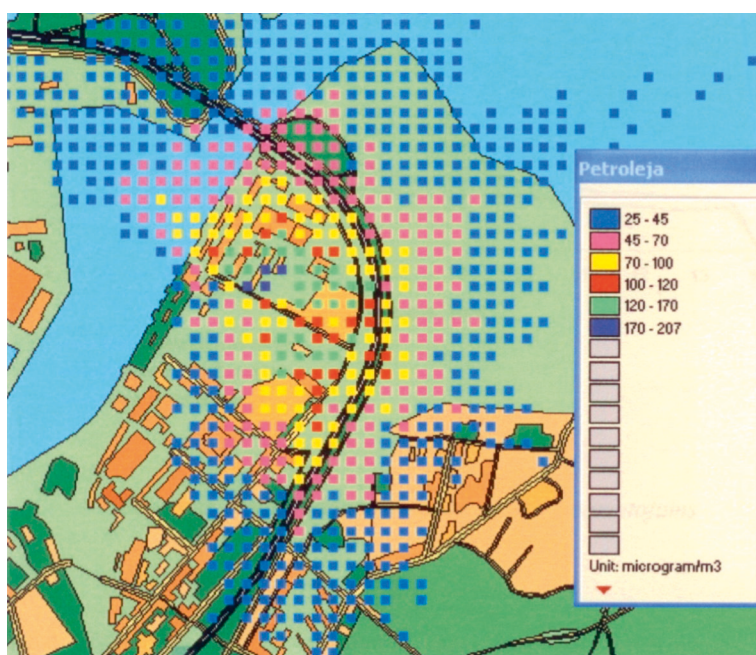
Cieto daļiņu izpētē izmantots Pasaules veselības aizsardzības rekomendētais normatīvais lielums, petrolejas, mazuta tvaiku un metiletilketona izpētē Krievijā noteiktais robežlielums, pārējo vielu izpētē – ES direktīvās ieteiktie robežlielumi.

3.4.2. tabula

**Uzņēmuma BLB izklīdes aprēķinos iegūtās piesārņojošo vielu koncentrācijas un detalizētākas analīzes pamatojums**

Piesārņojošā viela	Noteikšanas periods	Normatīvais lielums, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5% normatīvā lieluma sliekšnis, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Izklīdes rezultāti		Detailizētākas analīzes nepieciešamība
				Maksimālā koncentrācija, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Koncentrācija dzīvojamo māju rajonā	
Slāpekļa dioksīds	1 stunda	200	10	5.8	2.3	-
Oglekļa oksīds	8 stundas	10000	500	5.5	2.2	-
Sēra dioksīds	1 stunda	350	17.5	46	15	-
Cietās daļiņas	24 stundas	250	12.5	1.2	0.5	-
Vanādijs	24 stundas	1	0.05	0.4	0.1	+
Petrolejas tvaiki	30 minūtes	1000	50	207	58	+
Mazuta tvaiki	30 minūtes	1000	50	2765	155	+
Metiletil-ketons	30 minūtes	100	5	28	0.7	-

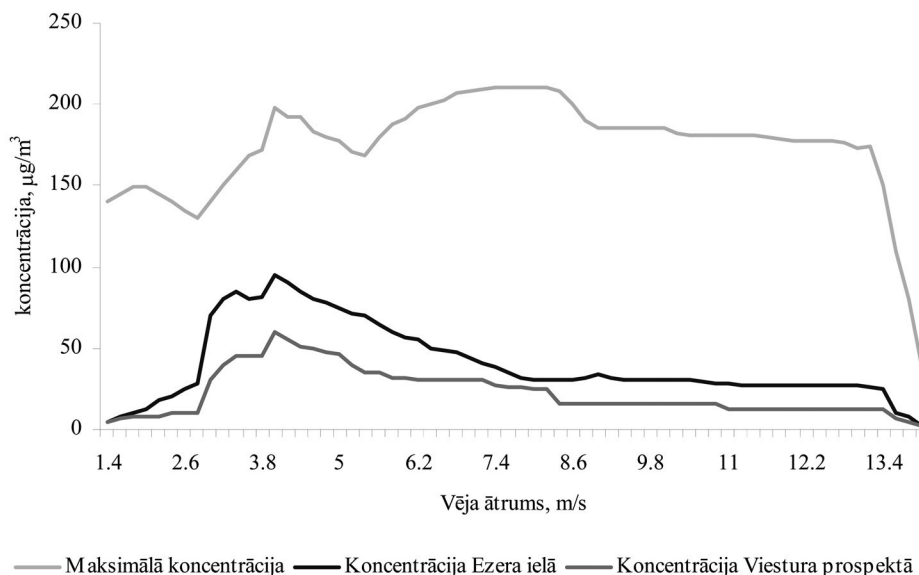
Atbilstoši analīzes rezultātiem paaugstinātas petrolejas tvaiku koncentrācija potenciāli iespējama dzīvojamo māju rajonā (3.4.6. att.).



3.4.6. att. Petrolejas tvaiku izklīdes karte (stundas 98-procentilās koncentrācijas)

Koncentrāciju veidošanās analīze uzsākta, novērtējot vēja ātruma ietekmi dzīvojamo māju rajonos un uzņēmuma teritorijā – emisijas avotu tiešā tuvumā (3.4.7. att.). Izteikti

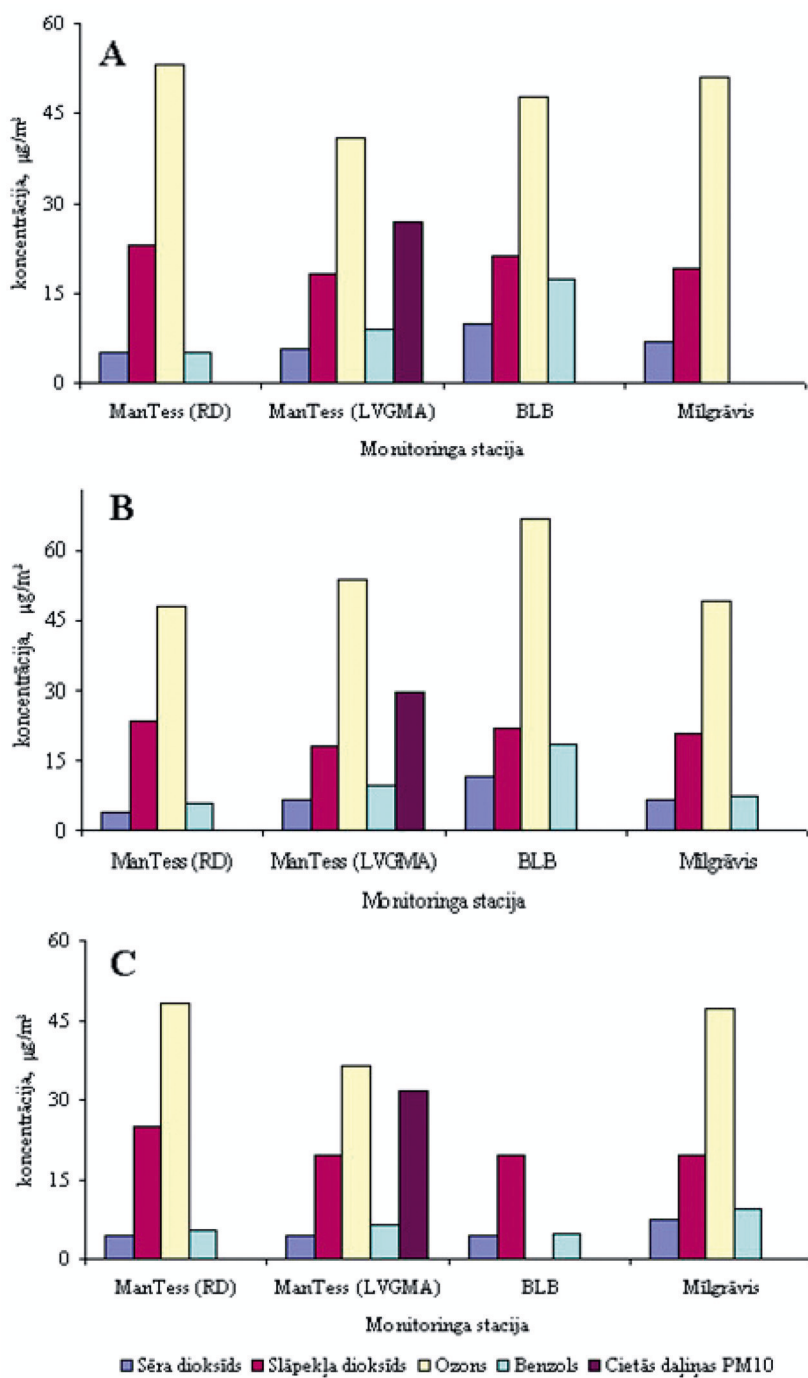
nelabvēlīgs (veicina piesārņojošo vielu uzkrāšanos dzīvojamo māju rajonā) ir ziemeļu un ziemeļaustrumu virziena vējš ar ātrumu 2,6–5,0 m/s.



3.4.7. att. Koncentrāciju izmaiņas uzņēmuma BLB teritorijā un dzīvojamo māju rajonā atkarībā no vēja ātruma

Tā kā dzīvojamo māju masīvi izvietoti D, DR virzienā no uzņēmuma teritorijas, par nelabvēlīgiem attiecīgi uzskatāmi Z, ZA virziena vēji. Šāda virziena vēju ar ātrumu 2,6–5,0 m/s atgadīšanās varbūtība gada laikā ir 4% (pēc ilggadējiem meteoroloģiskajiem novērojumiem).

Gaisa kvalitātes monitoringu Rīgas Brīvoztā veic četrās stacijās (uzņēmumu BLB un ManTess teritorijā un ietekmes zonā). Nosakot ozonu, slāpekļa dioksīdu, sēra dioksīdu, benzolu un cietās daļiņas ar aerodinamisko diametru 10 mikroni, tiek izmantota DOAS metode. 2003.–2005. gadā iegūtie monitoringa rezultāti parādīti 3.4.8. attēlā

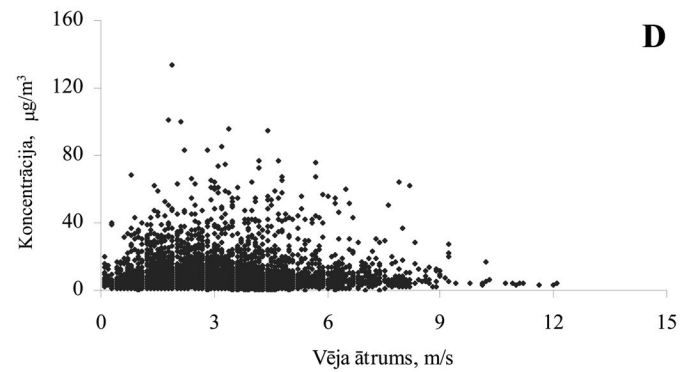
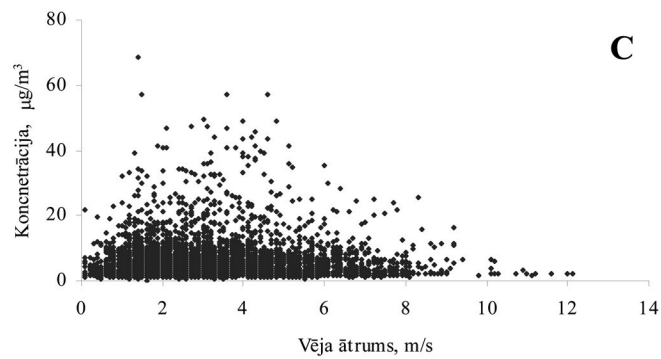
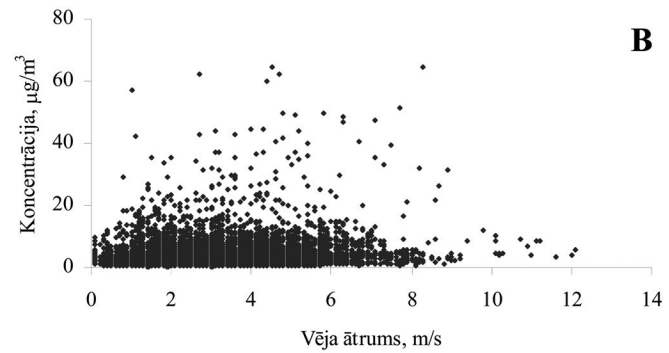
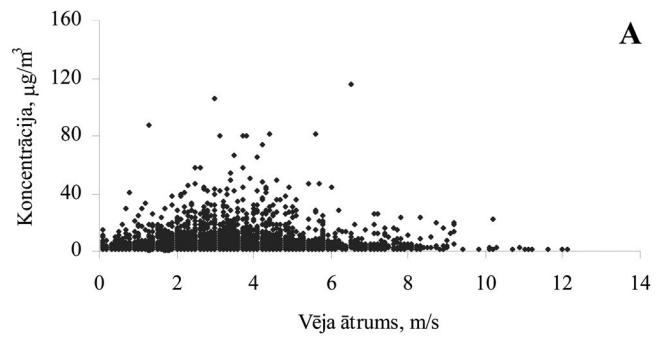


3.4.8. att. Piesārņojošo vielu koncentrācijas Rīgas Brīvostā 2003. (A), 2004. (B) un 2005. (C) gadā

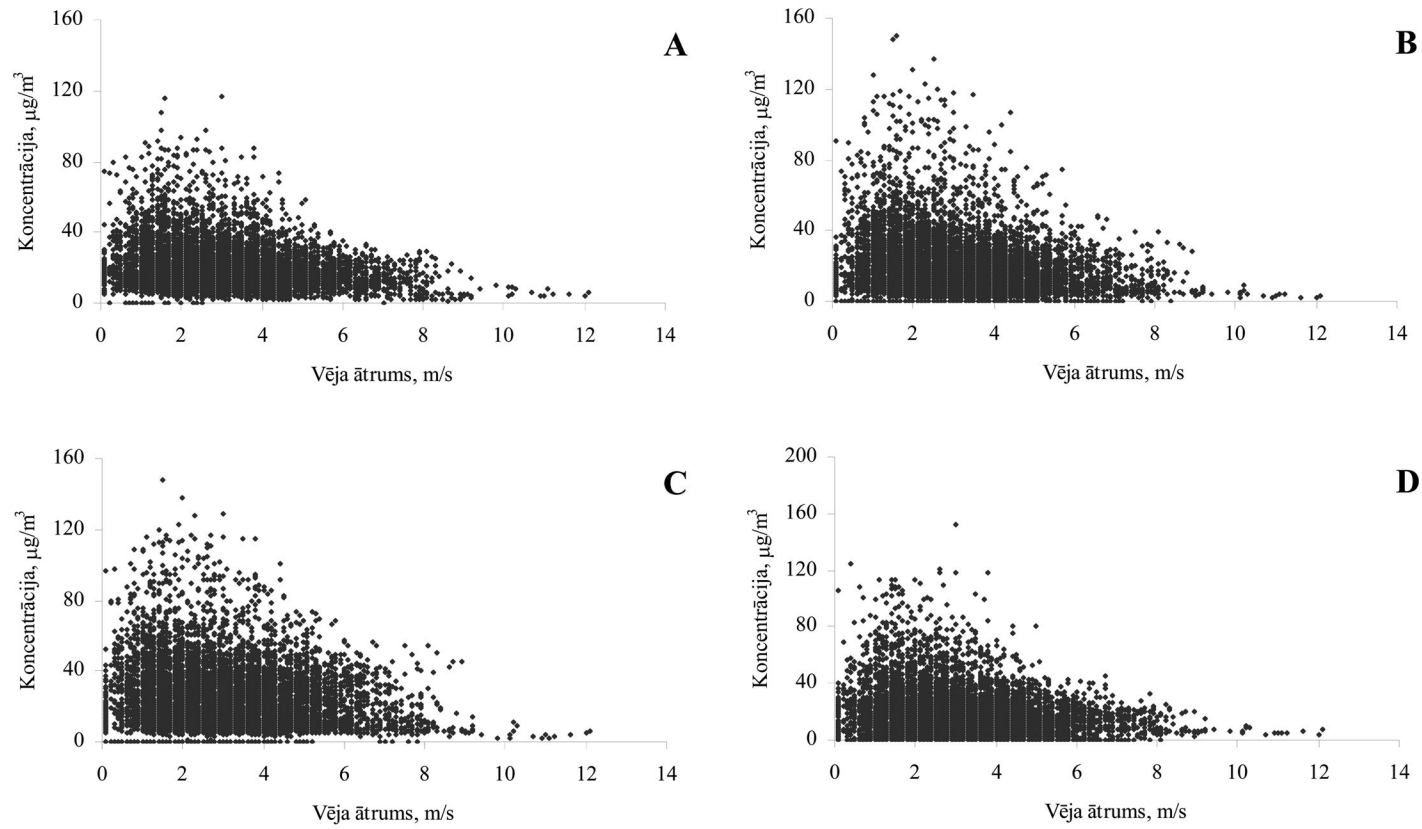
Sēra dioksīda gada vidējās koncentrācijas Rīgas Brīvostas monitoringa stacijās laika periodā no 2003. līdz 2005. gadam nav būtiski mainījušās. Zemākā gada vidējā vērtība novērota 2004. gadā monitoringa stacijā ManTess (RD), Tvaika ielā 44–4.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bet augstākā 2004. gadā monitoringa stacijā BLB, Ezera ielā, – 11.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . 2005. gadā notikusi būtiska sēra dioksīda koncentrāciju samazināšanās stacijā BLB: sēra dioksīda gada vidējās koncentrācijas samazinājušās par 64%. Atsevišķi analizējot gadījumus, kad novērotas augstākās sēra dioksīda koncentrācijas, tika konstatēts, ka būtisks faktors šādu koncentrāciju veidošanās procesā ir vējš ar ātrumu 2–8 m/s (3.4.9. att.). Analizējot sēra dioksīda koncentrāciju atkarību no vēja virzieniem, iespējams secināt, ka augstākas sēra dioksīda koncentrācijas raksturīgas, pūšot ziemeļu un dienvidrietumu vējiem (3.4.12. att.).

Augstākās slāpekļa dioksīda stundas koncentrācijas konstatētas šaurākam vēja ātruma diapazonam – 2–4 m/s. Tāpat kā sēra dioksīda gadījumā, Rīgas brīvostas teritorijā augstākās slāpekļa dioksīda koncentrācijas novērojamas, ja vēja ātrums ir 2–8 m/s (3.4.10. att.). Paaugstinātas slāpekļa dioksīda koncentrācijas praktiski izraisījuši visu virzienu vēji, izņemot ZA virziena vēju. Novērota līdzība starp vidējām koncentrācijām un maksimālām koncentrācijām, vējam pūšot dažādos virzienos (3.4.12. att.).

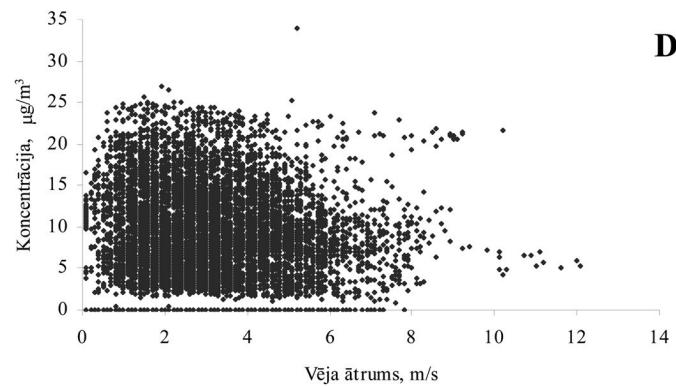
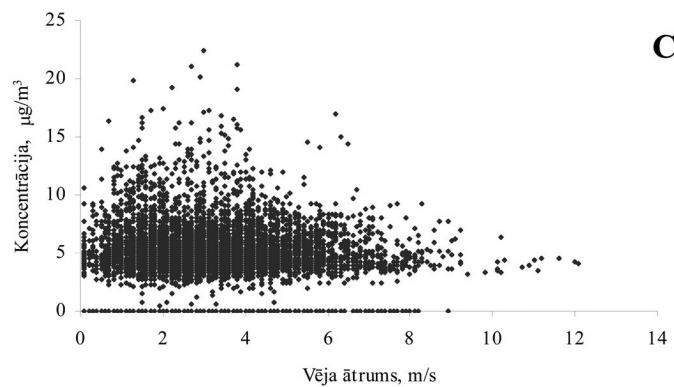
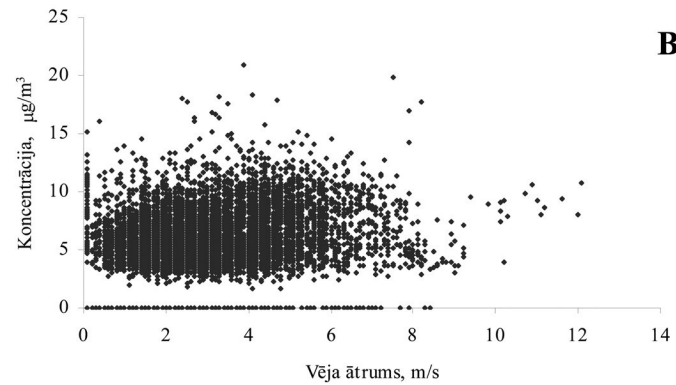
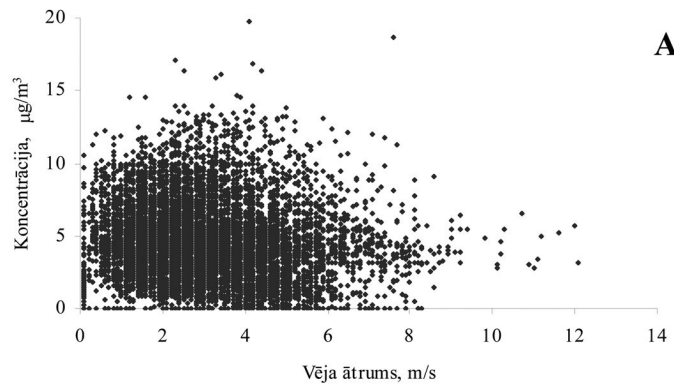
Zemākās benzola koncentrācijas novērotas, pūšot ZA virziena vējiem – gan vidējo, gan maksimālo koncentrāciju vērtības attiecīgi samazinās par 30% un 75%. Pārējos gadījumos nav novērotas būtiskas koncentrāciju izmaiņas (3.4.13. att.). Tāpat kā sēra dioksīda un slāpekļa dioksīda gadījumā, par nelabvēlīgu vēja ātrumu piesārņojuma izkliedei uzskatāms vējš ar ātrumu 2–8 m/s (3.4.11. att.).



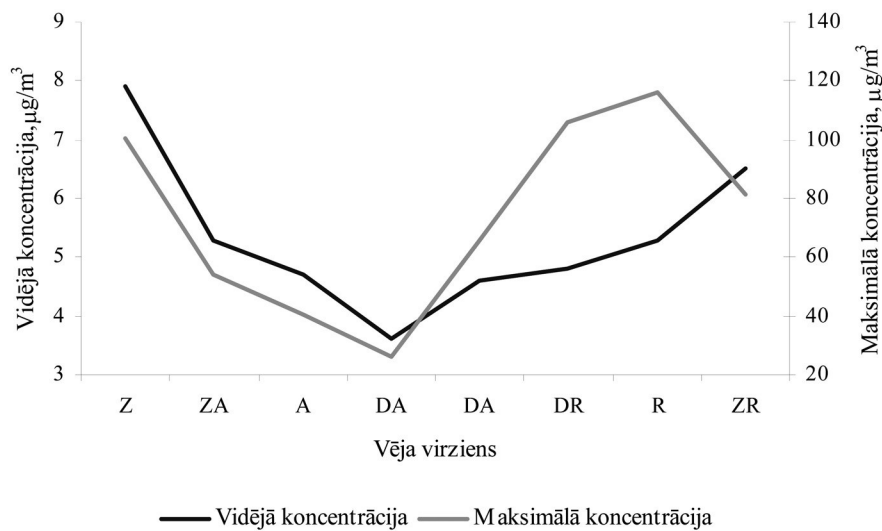
3.4.9. att. Novērotās sēra dioksīda koncentrācijas Rīgas brīvēstā (A – stacija BLB, B – stacija ManTess (LVĢMA), C – stacija ManTess (RD), D – stacija Mīlgrāvis) atkarībā no vēja ātruma 2005. gadā



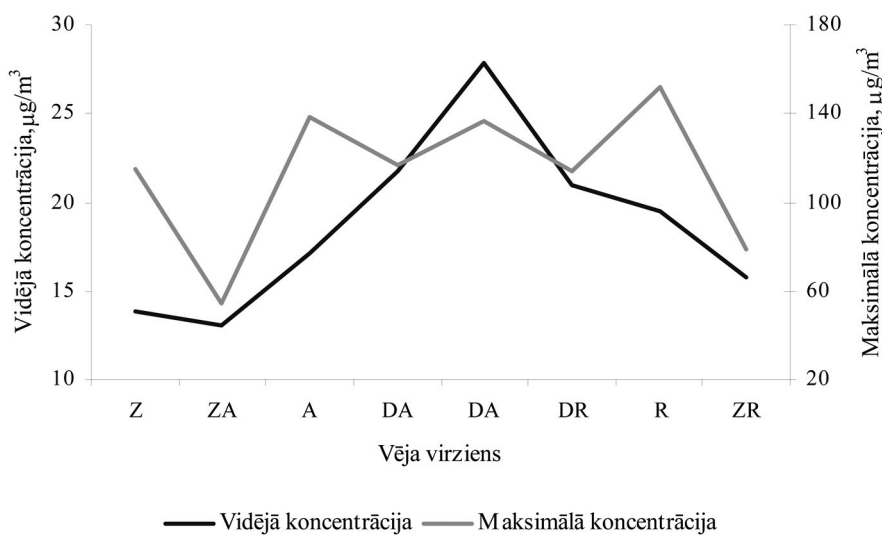
3.4.10. att. Novērotās slāpekļa dioksīda koncentrācijas Rīgas brīvoztā (A - stacija BLB, B – stacija ManTess (LVĢMA), C – stacija ManTess (RD), D – stacija Mīlgrāvis) atkarībā no vēja ātruma 2005. gadā



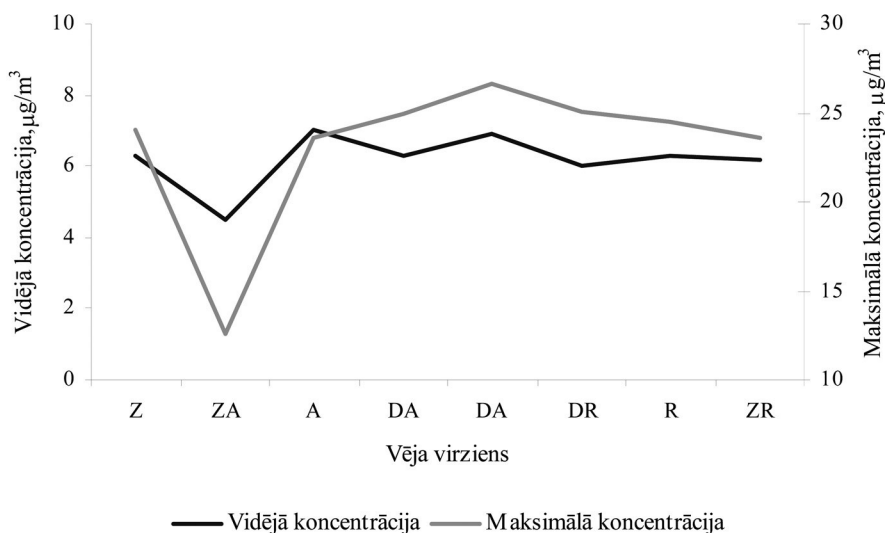
3.4.11. att. Novērotās benzola koncentrācijas Rīgas brīvdostā (A – stacija BLB, B – stacija ManTess (LVGMA), C – stacija ManTess (RD), D – stacija Mīlgrāvis) atkarībā no vēja ātruma 2005. gadā



3.4.12. att. Novērotās sēra dioksīda vidējās un maksimālās koncentrācijas Rīgas brīvēstā atkarībā no vēja virziena 2005. gadā



3.4.13. att. Novērotās slāpekļa dioksīda vidējās un maksimālās koncentrācijas Rīgas brīvēstā atkarībā no vēja virziena 2005. gadā



3.4.14. att. Novērotās benzola vidējās un maksimālās koncentrācijas Rīgas brīvdostā atkarībā no vēja virziena 2005. gadā

### 3.5. Piesārņojošo vielu īstermiņa koncentrāciju prognozes izmantojot mainīgo regresijas metodi

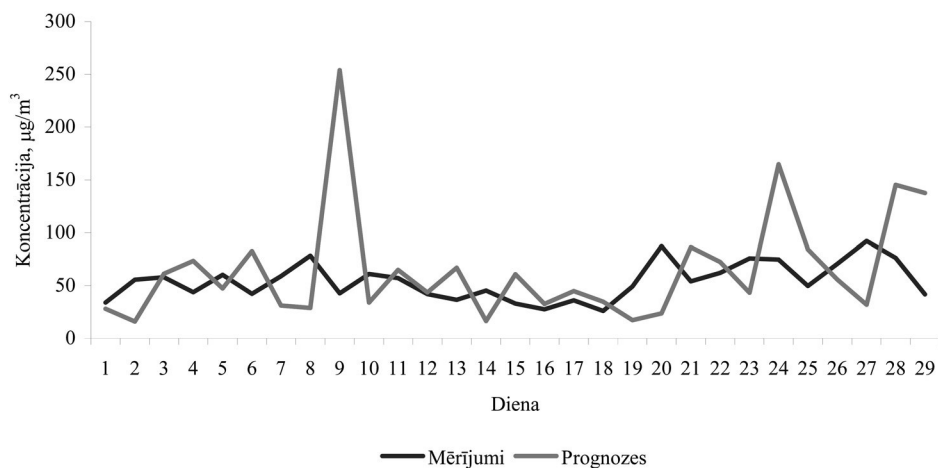
Īstermiņa (nākamo 24 stundu) cieto daļiņu piesārņojuma līmeņa prognožu sastādīšana veikta, izmantojot mainīgo regresijas metodi:

$$X(t) = X_{mean} + A(t) - \theta_1 \times A(t-1) - \theta_2 \times A(t-2) - \theta_q \times A(t-q) \quad (8)$$

kur  $X(t)$  ir prognozējamā koncentrācija,  $X_{mean}$  – vidējā koncentrācija ilgākā laika periodā,  $A(t-i)$  – novirze no iepriekšējā lieluma datu rindā,  $\theta_1, \dots, \theta_q$  – modeļa ievades parametri.

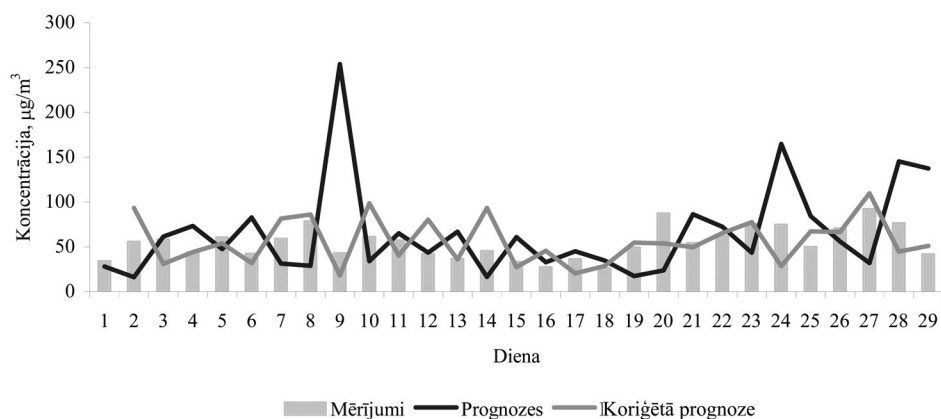
Cieto daļiņu prognozes izstrādātas un modelētas 2004. gadam, kā viens no pamata ievades parametriem izvēlēts vēja ātrums neatkarīgi no tā, ka ne vienmēr tika konstatēta tieša sakarība starp vēja ātrumu uz cieto daļiņu koncentrācijām. Šajā nodaļā aprakstīta prognozes sastādīšanas gaita un faktori, kas ietekmē rezultātu kvalitāti.

Salīdzinot prognozētās un mērītās koncentrācijas (3.5.1. att.), redzams, ka lielākās atšķirības novērojamas dienās ar nepilnīgu novērojumu rindu. Tā, piemēram, 9. janvārī novērojumi tika veikti tikai dažas stundas, un tas, iespējams, arī ir atšķirīgo vērtību cēlonis.



3.5.1. att. Cieto daļiņu piesārņojuma līmeņa īstermiņa prognozes un koncentrāciju mērījumi 2004. gada janvārī

Gadījumos, ja no iepriekšējās dienas datu rindas nav bijušas pietiekamas, prognozes precizēšanai ir iespējams izmantot divu iepriekšējo dienu koncentrāciju mērījumus, un tādējādi koriģētā PM<sub>10</sub> koncentrāciju prognoze janvārim ir precīzāka (3.5.2. att.).

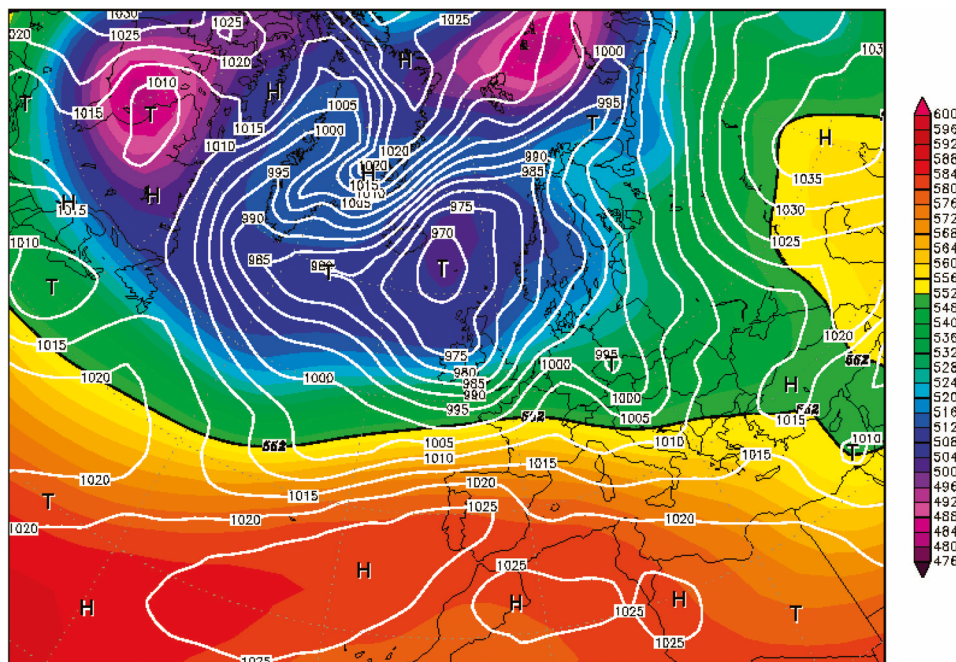


3.5.2. att. Cieto daļiņu piesārņojuma līmeņa īstermiņa koriģētā prognoze un koncentrāciju mērījumi 2004. gada janvārī

#### Metodes kļūda

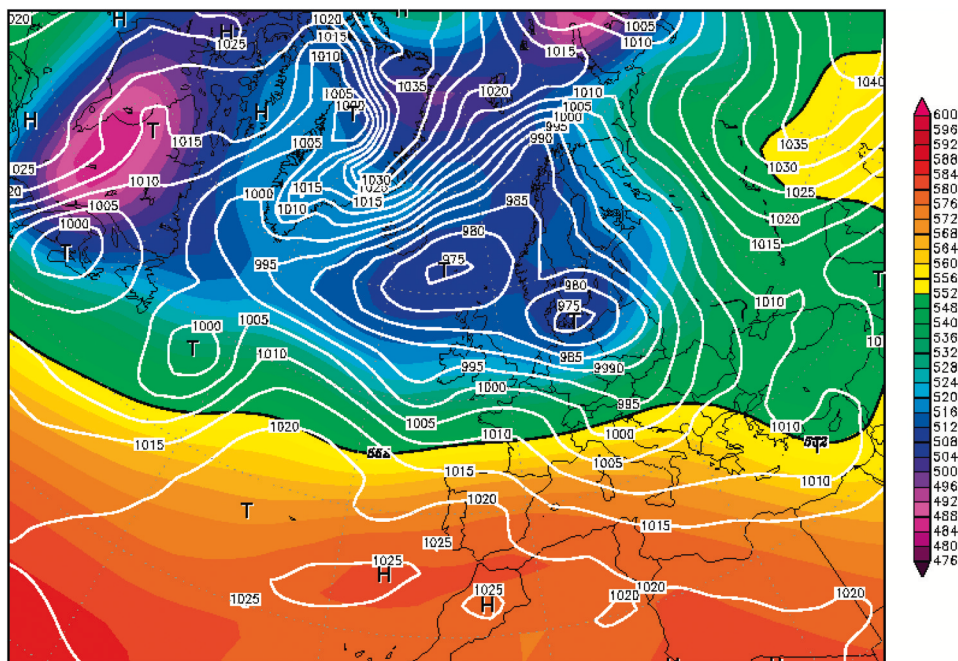
Analizējot novēroto koncentrāciju vērtības un prognozēto, redzams, ka izmantotā regresijas metode dod salīdzināmus rezultātus, tomēr eksistē atsevišķas situācijas, kad redzamas būtiskas atšķirības starp mērīto un prognozēto cieto daļiņu vērtību, dažos gadījumos pat līdz 110%, kā tas tika novērots laikā no 2004. gada 14. janvāra līdz

15. janvārim (3.5.2. att.). Analizējot atmosfēras spiediena karti tuvāko dienu periodam, var konstatēt, ka 13. janvārī Latvija atradusies anticiklona ietekmes zonā, kas sekmē piesārņojuma līmeņa paaugstināšanos, savukārt jau naktī no 14. janvāra uz 15. janvāri Latvija atradusies tiešā ciklona ietekmē (3.5.3. un 3.5.4. att.), un tas arī izraisījis piesārņojuma līmeņa samazināšanos. Analizējot koncentrāciju izmaiņas sinoptisko procesu ietekmē tika konstatēts, ka cieto daļiņu piesārņojuma līmeni ir iespējams raksturot kvantitatīvi sinoptisko procesu ietekmi aprakstot kā ietekmes faktoru, kas izteikts procentos (šajā gadījumā ietekmes faktors ir + 68%).

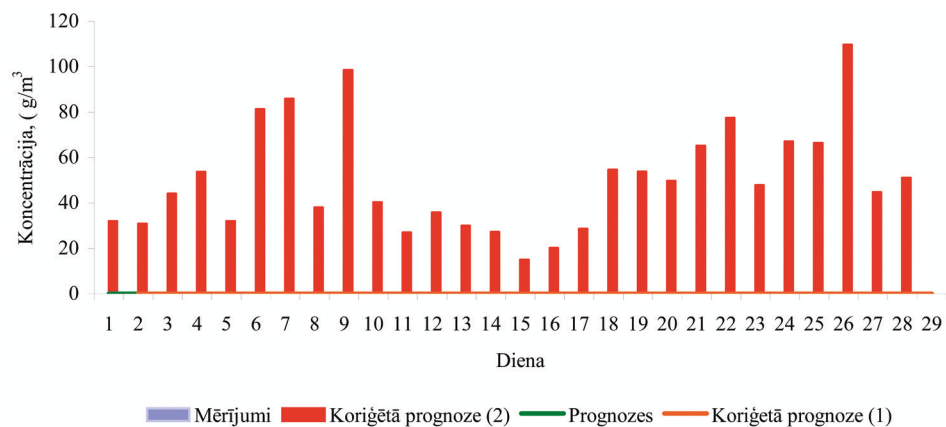


3.5.3. att. Atmosfēras spiediena karte 2004. gada 13. janvārim ([www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de))

Atkārtoti koriģējot prognozi, saskaņā ar prognozētajām spiediena izmaiņām tiek iegūta atmosfēras piesārņojuma līmeņa prognoze ar precizitāti līdz 37% (3.5.5. att.), kas uzskatāma par pietiekamu.



3.5.4. att. Atmosfēras spiediena karte 2004. gada 14. janvārim (www.wetterzentrale.de)



3.5.5. att. Cieto daļiņu piesārņojuma līmeņa īstermiņa koriģētās prognozes un koncentrāciju mērījumi 2004. gada janvārī

### 3.6. Piesārņojošo vielu ilgtermiņa koncentrāciju prognozes, izmantojot trajektoriju analīzi

Ilgtermiņa (nākamo 4 dienu) cieto daļiņu piesārņojuma līmeņa prognozes sastādītas, izmantojot Lagranža masas pārnese un trajektoriju analīzes metodi. Analīze veikta, izmantojot modeli HySplit (*Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory model*). Prognozētās koncentrāciju izmaiņas netiek raksturotas kvantitatīvi, bet tikai aptuveni prognozējot dienas, kad gaidāmas cieto daļiņu piesārņojuma līmeņa izmaiņas.

Gaisa masu pārnese kartes tiek aprēķinātas tuvāko 96 stundu periodam un saskaņā ar šīm kartēm sastādītas prognozes. Masas pārnese trajektorijas aprēķina 3 dažādos augstumos – 500 m, 50 m un 10 m augstumā. Saskaņā ar iepriekš veiktajiem pētījumiem par vēja virzieniem, kuru rezultātā vērojama piesārņojuma līmeņa uzkrāšanās, iespējams prognozēt, ka, realizējoties masas pārnese procesiem no Dienvideiropas un Centrāleiropas, gaidāma vidējo koncentrāciju palielināšanās aptuveni par 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

*Trajektoriju analīzes piemērs atbilst laika posmam 2005. gadā no 11. līdz 15. augustam.*

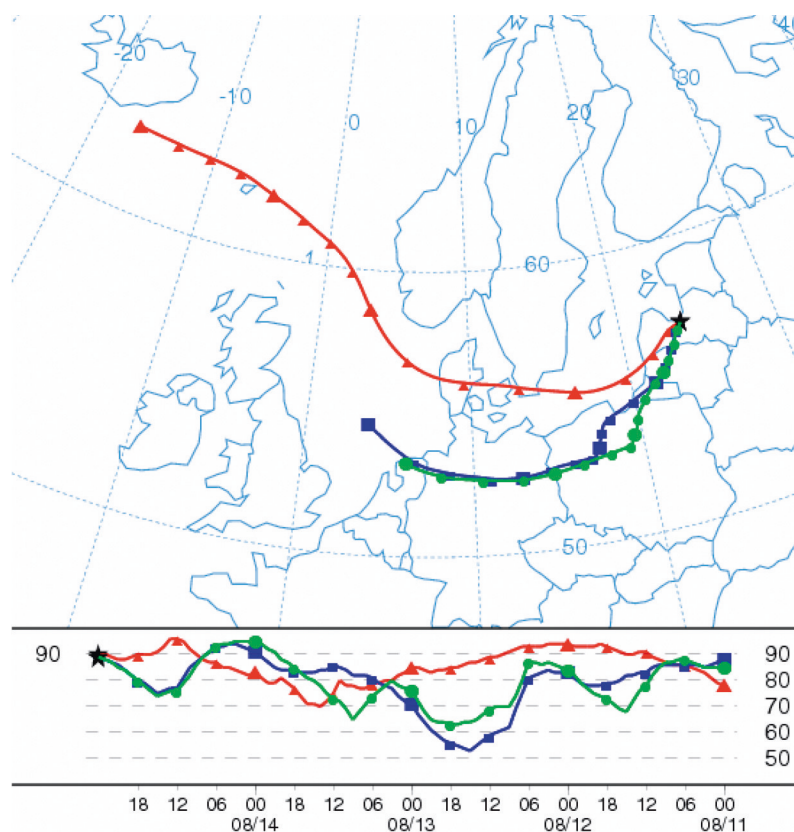
Saskaņā ar trajektoriju karti (3.6.1. att.), tuvāko 4 dienu laikā ir gaidāma neliela piesārņojuma līmeņa paaugstināšanās pārrobežu piesārņojuma pārnese dēļ. Saskaņā ar trajektoriju karti lielākām koncentrāciju izmaiņām vajadzētu būt 13. augustā. Analizējot mērījumu rezultātus, iespējams secināt, ka neliels koncentrāciju pieaugums tiešām konstatēts (3.6.1. tab.).

3.6.1. tabula

**Cieto daļiņu koncentrācijas Rīgā 2005. gadā no 11. līdz 14. augustam**

Datums	Cieto daļiņu diennakts koncentrācija pēc mērījumu rezultātiem, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2005.08.11.	23
2005.08.12.	26
2005.08.13.	33.7
2005.08.14.	28.8

Izmantojot trajektoriju analīzes metodi, sarežģīti ir precīzi kvantitatīvi prognozēt piesārņojuma līmeņa paaugstināšanos, tomēr šī metode ir lietojama kvalitatīvu prognožu sastādīšanai ilgtermiņā un sniedz realitātei atbilstošus rezultātus. Prognožu uzlabošanai nepieciešama metodes izmantošana ilgtermiņā.



3.6.1. att. Gaisa masu pārnese (trajektoriju) karte laika periodam no 2005. gada 11. līdz 14. augustam

Gaisa masu pārnese trajektoriju analīze veikta laika periodam no 2005. gada 1. janvāra līdz 2006. gada 1. jūnijam. Analīzes rezultāti apkopoti 3.6.2. tabulā.

3.6.2. tabula

Gaisa masu trajektoriju analīzes rezultāti Rīgā (01.01.2005.–01.06.2006.)

Datums	Trajektoriju raksturojošo meteoroloģisko faktoru kopums ar atkaļejošu soli					Trajektorijas virziens ar 24 h soli
	0	-24 h	-48 h	-72 h	-96 h	
01-01-2005	59	61.5	62	61	n	ZRZ-ZRZ-ZRZ-ZRZ
08-01-2005	97.5	96	95	95	95	DR-DR-DR-DR
15-01-2005	72	73	73	74	74	Z-Z-Z-ZAZ
22-01-2005	94	94	92	94	93	D-DRD-DR-DR
29-01-2005	82	83.5	83	81	81	A-DA-DA-A
01-02-2005	90	87.5	90	87	n	ZR-ZRZ-ZRZ
15-02-2005	96	95	94	92.5	93	DR-DR-DR-DR
01-03-2005	88	88	89	87.5	88.5	Z-Z-Z-Z
08-03-2005	93	92	92	91	90	Z-ZRZ-ZR-R

15-03-2005	95	94	95.5	95	92.5	DR-R-Z-ZA
22-03-2005	89	87.5	86	86.3	89	R-ZR-ZR-Z
29-03-2005	71	71	71	74	72	ZA-ZA-ZA-ZAZ
01-04-2005	67	67	65	66.5	n	ZR-ZR-ZR
08-04-2005	96	92.5	92	93	90.5	DR-DR-DR-DRD
22-04-2005	92	90.5	91.5	89	87.5	ZRZ-ZRZ-ZRZ-ZRZ
29-04-2005	57	56.5	58.5	59	58	ZA-A-A-DAA
01-05-2005	51	51.5	54	n	n	Z-ZAZ
08-05-2005	63	66	65	61	66	DRR-R-ZR-ZRZ
15-05-2005	37	38	42.5	42	40	ZRZ-ZRZ-ZRZ-ZR
22-05-2005	60	61	59.5	63	61	A-ZA-ZR-ZRR
29-05-2005	51	51	55	55	54	R-R-R-ZRR
01-06-2005	94	94	94	94	n	DRR-R-ZR
08-06-2005	78	77	80	80	80	ZR-ZR-ZR-ZR
15-06-2005	36	37	38	37	37	ZRZ-DRD-DR-ZR
22-06-2005	42	42	41.5	43	43	Z-Z-Z-ZAZ
29-06-2005	79	80	80	80	80	Z-Z-Z-Z
01-07-2005	90	90	90	n	n	Z-ZAZ
08-07-2005	43	43	45	43	42.7	ZA-ZA-ZAZ-ZAZ
15-07-2006	65	64	67	67	67	DR-DR-DR-DR
22-07-2005	74	76	76	76	76.5	DR-R-R-ZR
29-07-2005	65	66	67	68	67	R-R-ZRR-ZR
01-08-2005	58	59	60	60.5	n	DR-DR-DR
08-08-2005	73	73	74.5	75	74	DR-R-R-ZRR
15-09-2005	90	89	89.5	90	88.5	DR-R-ZRR-ZRR
22-09-2005	83	83	82	82	84	DR-DR-DR-DRR
29-09-2005	90	87	89	87	86.5	DR-DR-DR-DR
01-10-2005	92	92.5	89	n	n	DA-D
08-10-2005	65.5	65.5	65	65	65	DRD-D-DA-ZR
15-10-2005	81	81	79	78	79	R-DR-D-DA
22-10-2005	86	84.5	86	84.5	83	DR-DR-DRR-DRR
08-11-2005	94	93	95	93.7	93	Z-ZR-ZR
15-11-2005	89	89.5	88	89	88	DR-DR-DR-DR
22-11-2005	94	91.5	94	90.5	92	ZA-ZA-Z-Z
29-11-2005	90	89.5	89	90.5	90	ZR-R-DR-DR
01-12-2005	78	75	79	n	n	R-ZR
08-12-2005	94	94	94	94	90.8	DA-DA-DA-DA
15-12-2005	97.5	97.5	96	94	95	R-R-R-R
22-12-2005	82	83.5	83	80	84	Z-ZRZ-ZR-Z
29-12-2005	89	90	89	88	87.5	DA-DA-DA-DA
01-01-2006	93	90.5	91.5	93	n	DR-DR-DRR
08-01-2006	73	71	70	72	73	Z-ZRZ-ZR-ZAZ
15-01-2006	35	34	34.5	35	37.5	DRD-DRD-DR-R
22-01-2006	85	86	83.5	85	79	A-DAA-A-ZAA
29-01-2006	87	87	86.5	87.5	86.5	ZR-ZR-ZRR-DRR

01-02-2006	99	97	95	97.5	n	ZRR-R-DRR
08-02-2006	88	81	84.5	84	83.7	DRD-DR-R-ZR
15-02-2006	90	90	86	90	89	Z-ZR-R-DRR
01-03-2006	71	71.3	71	68	73	DRD- DR-R-ZRZ
08-03-2006	86	87.5	88	87.5	86	ZRZ-Z-ZAZ-ZA
15-03-2006	89	89	89	87	86	DRR-DR-DR-DR
22-03-2006	58	58	59	62	61	Z-Z-Z-Z
29-03-2006	93	92.5	91	92.5	92	DR-DR-DRR-R
01-04-2006	95.5	94.5	93	95	n	DR-DR-DR
08-04-2006	87	83	87	85.5	85	DR-DR-R-ZRR
15-04-2006	97	96	94.5	95.5	96	DR-DR-DRR-R
22-04-2006	48	50.5	52.5	50	52	ZR-ZR-ZR-ZR
29-04-2006	32	33.5	34	32.5	32.5	D-DA-A-ZA
01-05-2006	33	34	33.5	n	n	DR-DR
08-05-2006	48	48	49	47	70	ZAZ-Z-ZRZ-R
15-05-2006	65	64	68	68	67.5	R-ZRR-ZR-Z
22-05-2006	99	99	99	96	97	DR-DR-DR-DRR
29-05-2006	61	63	63	64.5	63.5	ZR-R-ZR-ZR
01-06-2006	92	90	91.5	92.5	n	ZA-DRD-R

Apzīmējumi:

- 1) n – trajektoriju nav iespējams aprēķināt nepilnīgas datu kopas dēļ;
- 2) ZA-DRD-R – trajektorijas kustības virziens norādīts pēc 16 rumbu sistēmas.

## Secinājumi

1. Izmantotais Gausa modelis piesārņojošo vielu dispersijas novērtējumam, trajektoriju analīze ilgtermiņa prognožu sastādīšanai un komplementārā regresijas un spiediena sadalījuma metode sniedz labus un ar mērījumiem salīdzināmus rezultātus Rīgas pilsētā.
2. Cieto daļiņu  $PM_{10}$  īstermiņa prognožu sastādīšanas procedūras izstrādē būtiska nozīme ir piesārņojuma uzkrāšanās procesiem. Augstākā prognozes attaisnošanās konstatēta aprēķinu algoritmos, iekļaujot pēdējo 48 stundu laikā novērotās koncentrācijas.
3. Rīgas mikroklimatisko iezīmju analīze pierāda, ka Rīgas centrālajai daļai ir raksturīgas atšķirīgas meteoroloģisko parametru iezīmes. Lielākās meteoroloģisko elementu atšķirības veidojas skaidrā laikā bez vēja vai pie neliela vēja ātruma. Šādi apstākļi ir izteikti nelabvēlīgi atmosfēras piesārņojuma izkliedei un tas pierāda atsevišķas meteoroloģiskās novērojumu stacijas nepieciešamību Rīgas centrālajā daļā modelēšanas un prognozēšanas mērķiem.
4. Atmosfēras stabilitātes analīžu rezultāti pierāda, ka 35% gadījumu gada laikā Rīgā ir novērojama ļoti stabila un 25% gadījumu stabila atmosfēra; tātad vairāk kā 50% gadījumu gada laikā Rīgā dominē nelabvēlīgi apstākļi atmosfēras piesārņojuma izkliedei. Šādi nelabvēlīgi apstākļi dominē rudens – ziemas – pavasara periodā, kad papildus jau esošajam (gan fona, gan atropogēnas izcelsmes) piesārņojumam atmosfērā nonāk piesārņojums no kurināmā sadegšanas iekārtām.
5. Rīgas aglomerācijā dominē meteoroloģiskās situācijas (78% gadījumu gada laikā), kurās novērojama lineāra sakarība starp sajaukšanās augstumu un vēja ātrumu. Noteicošais atmosfēras stabilitātes faktors ir vēja ātrums un tikai 22% gadījumu piesārņojošo vielu izkliedi ietekmē termiski inducētā turbulence, kas nosaka gaisa masu sajaukšanās augstumu.
6. Eilera tipa modeļu sistēmas UNI-AERO rezultātu un mērījumu analīze pierāda, ka Rīgai ir raksturīgi lokāli emisijas avoti, kas būtiski paaugstina cieto daļiņu  $PM_{10}$  piesārņojuma līmeni pilsētas (lokālā) mērogā.
7. Izmantotā regresijas analīzes metode un komplementārā spiediena sadalījuma analīze sniedz labus un ar mērījumiem salīdzināmus atmosfēras piesārņojuma līmeņa modelēšanas un prognožu rezultātus. Izmantojot abas metodes, cieto daļiņu  $PM_{10}$  prognozes kļūda nepārsniedz 37%, kas nav pretrunā ar datu kvalitātes mērķiem.

## Literatūra

- Arnfield A. J. 1982. An approach to the estimation of the surface radiative properties and radiation budget of cities. *Phys. Geogr.*, 3(2), 97–122.
- Atahanasiadis I., Karatzas K., Mitkas P. 2005. Contemporary air quality forecasting methods: A comparative analysis between classification algorithms and statistical methods. In *Proceedings: Fifth International Conference on Urban Air Quality, Valencia, Spain*.
- Atkinson B. W. 1971. The effect of an urban area on the precipitation from a moving thunderstorm, *J. Appl. Meteorol.*, 10, 47–55.
- Atkinson B. W. 1981. Meso-scale atmospheric circulation. *London: Academic Press*.
- Atwater M. A. 1971. The radiation budget for polluted layers of the urban environment, *J. Appl. Meteorol.*, 10, 205–214.
- Bornstein R. D., Johnson D. S. 1977. Urban-rural wind velocity differences. *Atmos. Environ*, 1, 597–604.
- Baumbach G. 1996. Air quality control. *Berlin: Springer-Verlag*.
- Bourton C. 1994. Topics in atmospheric and interstellar physics and chemistry. *EDP Sciences Les Ulis, Volume 1*.
- Bourton C. 2000. From weather forecasting to exploring the solar system. *EDP Sciences Les Ulis, Volume 4*.
- Brazel A. J., Johnson D. M. 1980. Land use effects on temperature and humidity in the Salt River Valley, Arizona. *Arizona-Nevada Acad. Sci. Jour.*, 15, 54–61.
- Brimblecombe P. 1996. Air composition and chemistry. *London: Cambridge University Press*.
- Chandler T. J. 1965. The climate of London. *London: Hutchinson*.
- Changnon S. A. 1969. Recent studies of urban effects on precipitation in the United States. *Am Meteorol. Soc.*, 411–421.
- Changnon S. A. 1983. Purposeful and accidental weather modification: our current understanding. *Phys. Geog.*, 126–139.
- Chatfield C. 2004. The analysis of time series. An Introduction. Sixth Edition. *CRC Precc LLC*.
- Chow S. D. 1992. The urban climate of Shanghai. *Atmos. Environ*, 9–15.
- Cheng H. P., Cheng J. R., Yeh G. T. 1998. A Lagrangian-Eulerian method with adaptively local zooming and peak/valley capturing approach to solve three-dimensional advection-diffusion transport equations. *Int. J. Numer Meth. Eng.*, 587–615.
- Cimorelli A. J., Perry S. G., Venkatram A., Weil J. C., Paine R. J., Wilson, R. B., Lee R., F., Peters W. D. 1998. *AERMOD description of model formulation*.
- COUNCIL DIRECTIVE 96/62/EC of 27 September 1996 on ambient air quality assessment and management.
- Dettwiller J. W., Changnon S. A. 1976. Possible urban effects on maximum daily rainfall at Paris, St. Louis, and Chicago, *Jour. Appl. Meteorol.*, 15, 517–519.
- EMEP. 2002. Transboundary partulate matter in Europe: *Status Report 5/2002*, 89.
- Flohn H. 1959. Bemerkungen zum problem der globalen klimaschwankungen. *Arch. Meteor Geophy B*, 9(13), 1–13.
- Gardner M. W., Dorling S. R. 1998. Artificial neural networks (the multilayer perception)-a review of applications in atmospheric sciences. *Atmos. Environ.*, 2627–2636.
- Harvey D. (1989) *The urban experience Baltimore: Johns Hopkins University Press*.

- Hauser P. M., Gardner R. W., Laquian A. A., El-Shakhs S. 1982. Population and the urban future. *Albany: State University of New York Press.*
- Högström U. 1996. Review of some basic characteristics of the atmospheric surface layer. *Boundary Layer Meteorol.*, 78, 215–246.
- Idso S. B., Brazel A. J. 1978. Climatological effects of atmospheric particle pollution, *Nature* 274 (5673), 781–782.
- Johansson C., Smedman A., Högström U., Brasseur J. G., Khanna S. 2001. Critical test of Monin-Obukhov similarity during convective conditions. *J. Atmos. Sci.*, 58, 1549–1566.
- Koziol A., Pudykiewicz J. 1998. On high resolution modelling of size resolved stratospheric aerosol. *J. Atmos. Sci.*, 3127–3147.
- Kukkonen J., Bozo L., Palmgren F., Sokhi R.S. 2003. Particulate matter in Urban Air. In: Moussiopoulos, N. (Ed.), Air quality in cities. SATURN, EUROTRAC-2 Subproject Final Report. *Berlin: Springer-Verlag*, 91–120.
- Landsberg H. E. 1941. Physical climatology. State College, Pa.: *Pennsylvania State College.*
- Landsberg H. E. 1981. The urban climate. *New York: Academic Press.*
- Lee D. O. 1979. The influence of atmospheric stability and the urban heat island on urban-rural wind speed differences. *Atmos. Environ.* 13, 1175–1180.
- Lizuma L., Steinberga I. 2003. Rekomendācijas Rīgas Brīvostas uzņēmumu darbības regulēšanai. MK noteikumi Nr. 588.-21.10.2003. “Noteikumi par gaisa kvalitāti”.
- Mörkkofer W. 1947. Die Bedeutung lokalklimatischer Einfluss für die Kurortplanung, *Ann. Schweizer. Gesell. f. Balneol. u. Klimatol.*, 38, 31–38.
- Millionis A.E., Davies T.D. 1994. Regression and stochastic models for air pollution - I. Review, comments and suggestions. *Atmos. Environ.*, 28, 2801–2810.
- Nieuwstadt F.T.M., Dop H. Van 1982. Atmospheric turbulence and air pollution modelling, *D. Reidel Publish. Comp.*
- Noteikumi par Latvijas būvnormatīvu LBN 003-01 “Būvklimatoloģija”. Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumi Nr. 376-23.08.2001. ar grozījumiem Nr. 396-07.06.2005.
- Oke T. R. 1979. Review of urban climatology 1973–1976, *Tech. Note 169, Geneva: World Meteorological Organization.*
- Oke T. R. 1980. Climatic impacts of urbanization, in *Interactions of energy and climate. Boston: Reidel*, 339–356.
- Oke T. R. 1981. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *J. Climatol.*, 1, 237–254.
- Oke T. R. 1982. The energetic basis of the urban heat island, *Q J Roy Meteor. Soc.*, 108(455), 1–24.
- Perez P., Reyes J. 2001. Prediction of particulate air pollution using neural techniques. *Neural Comput Appl.*, 10, 165–171.
- Perez P., Reyes J. 2002. Prediction of maximum of 24-h average of PM10 concentrations 30h in advance in Santiago, Chile. *Atmos. Environ.*, 36, 4555–4561.
- Persson A., Grazzini F. 2005. ECMWF Meteorological bulletin M3.2. *User guide to ECMWF forecast products*, 162.
- Petersen J. T., Flowers E. C. 1977. Interaction between air pollution and solar radiation, *Sol Energy*, 19, 23–32.
- Petersen J. T., Stoffel T. L. 1980. Analysis of urban-rural solar radiation data from St. Louis, Missouri, *J. Appl. Meteorol.*, 19, 275–283.
- Petersen J. T., Flowers E. C., Rudisill J. H. 1978. Urban-rural solar radiation and atmospheric turbidity measurements in the Los Angeles basin, *J. Appl. Meteorol.*, 17, 1595–1609.

- Rainer F., Reis S. 2004. Emissions of air pollutants – measurements, calculations and uncertainties. GENEMIS EUROTRAC-2 Subproject Final Report. *Berlin: Springer-Verlag*, 335.
- Qian M. W., Longhetto A., Cassardo C., Giraud C., Hong Z. X., Luo W. D., Zhao Y. J. 2000. Heat energy balance in the convective atmospheric boundary layer at Xianghe (Beijing Area), China. *J. Atmos. Sci.*, 57, 3881–3891.
- Satoh M. 2004. Atmospheric circulation dynamics and general circulation models. *Chichesterf: Praxis Publishing Ltd*.
- Sivertsen B. 2000. Air quality forecasts in urban areas. *NILU, F 13/2000, Q-303, Norway*, 26.
- Slini Th., Karatzas K., Papadopoulos A. 2002. Regression analysis and urban air quality forecasting: an application for the city of Athens. *Global Nest: the Int. J.*, 153–162.
- Steiner D., Burtscher H. 1993. Studies on dynamics of absorption and desorption from combustion particles, by temperature dependent measurement of size, mass and photoelectric yield. *Water, Air and Soil Pollution*, 68, 159–176.
- Stull R. B. 1994. A convective transport theory for surface fluxes. *J. Atmos. Sci.*, 51, 3–22.
- Zannetti P. 2003. Air quality modelling. theories, methodologies, computational techniques, and available databases and software. *EnviroComp Institute and Air & Waste Management Association*, 430.
- Turner. 1969. Workbook of atmospheric dispersion estimates. EPA APTI Course 423: Dispersion of air pollution – theory and model application. *Selected readings Packet*.
- Yoshino M. M. 1975. Climate in a small area. *Tokyo: University of Tokyo Press*.
- Климат Риги. 1983. Рига, *Авотс*.
- Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы. 1981. *Московское отделение гидрометеоздата, Москва*.
- Чубуков Л. А., Ильичева Е. М. 1957. Основные принципы классификации климатических курортов СССР.

### Interneta resursi

- <http://apollo.lsc.vsc.edu> (skatīti 05.2005.).
- <http://www.csb.lv> (skatīti 04.2005.).
- [www.csdd.lv](http://www.csdd.lv) (skatīti 05.2006.).
- [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de) (skatīti 05.2005.).