



Atskaite projektam

**„PĒTĪJUMS
PAR BENZOLA PIESĀRŅOJUMU RĪGĀ:
FONA KONCENTRĀCIJAS NOTEIKŠANA UN
ZONĒJUMA KARTES IZSTRĀDE”**

Rīgas Vides fonda projekts. Līgums Nr. DMV-15-104-lī, 20.05.2015.

Rīgā,
2016. gada 17. februārī.

Saturs

IEVADS.....	3
PASKAIDROJUMA RAKSTS - Rīgas pilsētas gaisa piesārņojuma ar benzolu (C ₆ H ₆) teritoriālo zonu kartes	4
1. Vispārīgs raksturojums.....	4
2. Gaisa kvalitātes normatīvi benzolam.....	8
3. Faktiskās situācijas analīze	9
3.1. Ilgtermiņa monitoringa rezultātu analīze	9
3.2. Indikatīvo mērījumu rezultāti 2015. gadā	20
4. Benzola izkliedes aprēķinu rezultāti.....	24
5. Izmantoto normatīvo aktu un informatīvo materiālu saraksts.....	28
PIELIKUMI:	
A. PIELIKUMS - Tēžu kopsavilkums zinātniskai konferencei.....	29
B. PIELIKUMS - Stenda ziņojums RTU zinātniskā konferencē.....	30
C. PIELIKUMS - publikācija starptautiskam zinātniskam žurnālam	31
D. PIELIKUMS - Gaisa piesārņojuma ar benzolu zonējuma karte limitētām un faktiskām emisijām.....	42
E. PIELIKUMS - Gaisa piesārņojuma zonējuma ar benzolu karte Rīgas pilsētai faktiskām emisijām.....	42
F. PIELIKUMS - Gaisa piesārņojuma ar benzolu zonējuma karte Rīgas pilsētai (pēc faktiskām emisijām) ar ielu nosaukumiem un māju numuriem	42
G. PIELIKUMS - Faktisko benzola emisiju fails	42

IEVADS

Darba mērķis – Rīgas pilsētas gaisa piesārņojuma ar benzolu teritoriālo zonu karšu sagatavošana faktiskām un limitētām emisijām.

Saskaņā ar 20.05.2015. noslēgto līgumu (Nr.DMV-15-104-lī) starp Rīgas domes Mājokļa un vides departamentu un SIA „Vidzemes Elektrotehnikas Fabrika”, tika veikti šādi darbi:

- 1) ilgtermiņa monitoringa rezultātu analīze;
- 2) indikatīvi benzola mērījumi dažādās sezonās;
- 3) gaisa piesārņojuma ar benzolu zonu karšu izstrāde limitētām un faktiskām emisijām, pamatojoties uz jaunākiem (2014. gada) datiem pēc operatoriem izsniegtām atļaujām un to faktisko aktivitāti, transporta plūsmu struktūru un intensitāti, izkliežu aprēķinus attēlojot uz Rīgas kartes digitālās pamatnes. Saskaņā ar iepriekšminēto izstrādātas sekojošas kartes:
 - i. Gaisa piesārņojuma ar benzolu zonējuma karte Rīgas pilsētai ar pilsētas teritoriju robežām un ielu nosaukumiem limitētām un faktiskām emisijām. Kopskats. – 2 kartes A2 formātā (M1:60000).
 - ii. Gaisa piesārņojuma zonējuma ar benzolu karte Rīgas pilsētai faktiskām emisijām. Dalījuma kopskats. – 1 karte A2 formātā (M1:60000).
 - iii. Gaisa piesārņojuma ar benzolu zonējuma karte faktiskām emisijām Rīgas pilsētai ar ielu nosaukumiem un māju numuriem. Fragmenti 1 – 13 A1 formātā (M1:5000).

Karšu materiāls sagatavots divos eksemplāros digitālā formā.

PASKAIDROJUMA RAKSTS - Rīgas pilsētas gaisa piesārņojuma ar benzolu (C₆H₆) teritoriālo zonu kartes

1. Vispārīgs raksturojums

Gaistošie organiskie savienojumi (GOS, angļu valodā *VOC – volatile organic compounds*), kuri novērojami atmosfērā raksturo salīdzinoši lielu grupu piesārņojošo vielu gāzveida formā. Kopumā šajā grupā ir ap 500 dažādu savienojumu – alkāni, alkīni, aromātiskie ogļūdeņraži, piesātinātie un nepiesātinātie aldehīdi, ketoni, esteri u.c., t.sk. benzols.

Benzola noturība (dzīves ilgums) apkārtējā vidē gāzveida formā ir no dažām stundām līdz dažām dienām atkarībā no apkārtējās vides, klimata un citu piesārņojošo vielu koncentrācijām atmosfērā. Dominējošais mehānisms, kas norit atmosfērā un veicina benzola piesārņojuma samazināšanos, - reakcijās ar hidroksilradikāļiem; ne tik efektīva, lai arī, vērā nemama ir nokrišņu intensitāte, jo benzolam raksturīga arī vāja šķīdība ūdenī.

Benzols ir jēlnaftas, dažādu naftas produktu, t.sk. degvielu sastāvā, tā tilpuma īpatsvars 1-5%. Atbilstoši Eiropas Savienības likumdošanai ([Direktīva 2003/17/EK](#)) un attiecīgi Latvijas likumdošanai ([MK 322](#)), maksimāli pieļaujamā benzola tilpuma koncentrācija degvielā ir 1 %. Tas atmosfērā nonāk iztvaikošanas procesu rezultātā un nepilnīgas sadegšanas gadījumā. Citi benzola piesārņojuma avoti – fosilā kurināmā sadedzināšanas iekārtas, ķīmiskā ražošana, kur tiek izmantots benzols (piemēram, fenola, cikloheksāna ķīmiskā sintēze), smēķēšana ([Bahadar et al., 2014](#)).

Benzola bīstamību raksturo ilgtermiņa pētījumi, saskaņā ar kuriem pēc Starptautiskās Vēža pētījumu aģentūras IARC (*International Agency for Research on Cancer*) datiem tas iekļauts 1. kategorijā - "Kancerogēns cilvēkiem"; šajā kategorijā iekļauj vielas un maisījumus, kuru bīstamība ir skaidri pierādīta. Benzols ir viela, kurai nav iespējams noteikt drošu piesārņojuma līmeni ([WHO, 2000](#)), kas nozīmē – benzola piesārņojums paaugstina kancerogenitātes risku jebkurā koncentrācijā. Individīda uzņemtā koncentrācija ir atkarīga no cilvēka dzīves ieradumiem, apkārtējās vides u.c. rādītājiem. Vairākos pētījumos konstatēts, ka ikdienas uzņemtā benzola doza variē robežās no 180 līdz 1300 μg, vidējais ikdienas rādītājs ir 320 μg, papildus tiek identificēti citi benzola avoti, kuri paaugstina veselības riska rādītājus:

- smēķēšana – 1800 μg/dienā;
- pasīvā smēķēšana – 50 μg/dienā;
- auto vadīšana ikdienā – 49-203 μg/dienā ([Hughes et al., 1994](#); [Wallace, 1989](#)).

Benzola kaitīgā ietekme uz cilvēka organismu novērojama kā:

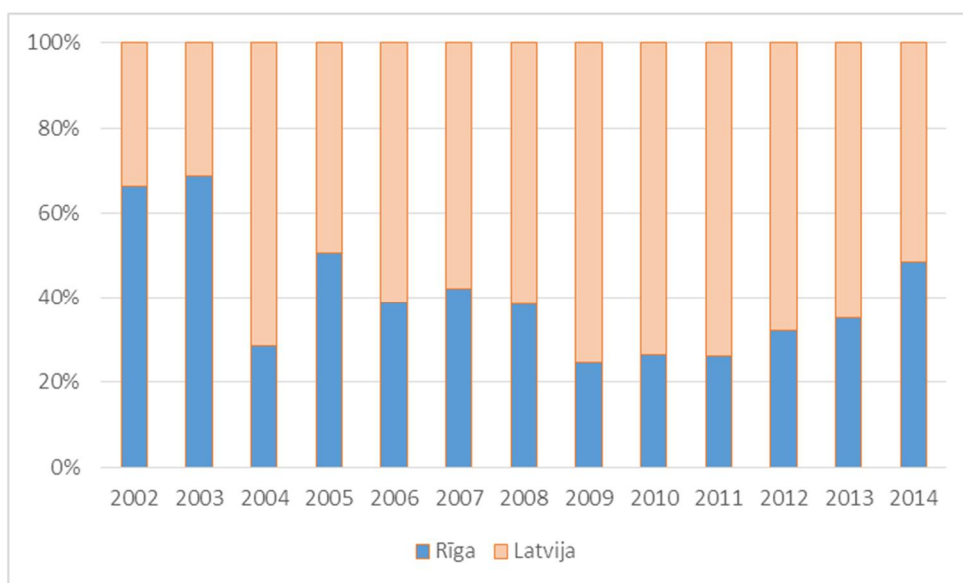
- hematoksiska ietekme – asinsainas izmaiņas (pancitopēnija, aplastiskā anēmija, trombocitopēnija, granulocitopēnija u.c.);
- imunotoksiska ietekme – kaulu smadzeņu bojājumi;
- reproduktīvās sistēmas traucējumi – teratogēna ietekme;
- genotoksiska iedarbība – hromosomu, DNA bojājumi;
- ļaundabīgie audzēji – leukēmija ([Benzene, 1982](#); [Benzene, 1993](#); [Paci et al., 1989](#); [Toxicological profile for benzene, 1993](#)).

Lai analizētu benzola piesārņojuma izplatību Rīgas pilsētā un izstrādātu zonu kartes, veikta piesārņojuma dispersijas modelēšana ar programmu AERMOD (beztermiņa licence Nr. AER0006364), izmantojot Gausa matemātisko modeli; saskaņā ar Valsts Vides dienesta

izsniegto atļauju programmas izmantošana saskaņota atbilstoši Latvijas likumdošanas aktiem (MK 02.04.2013. noteikumiem Nr. 182 “Noteikumi par stacionāru piesārņojuma avotu emisijas limita projektu izstrādi”). Modelēšana veikta, balstoties uz stacionāro avotu radītajām emisijām, izmantojot valsts statistiskā pārskata par gaisa aizsardzību „Nr.2-Gaiss” atskaites par uzņēmumu radītajām faktiskajām un limitētajām emisijām 2014. gadā un informāciju par autotransporta plūsmām Rīgas pilsētas ielās.

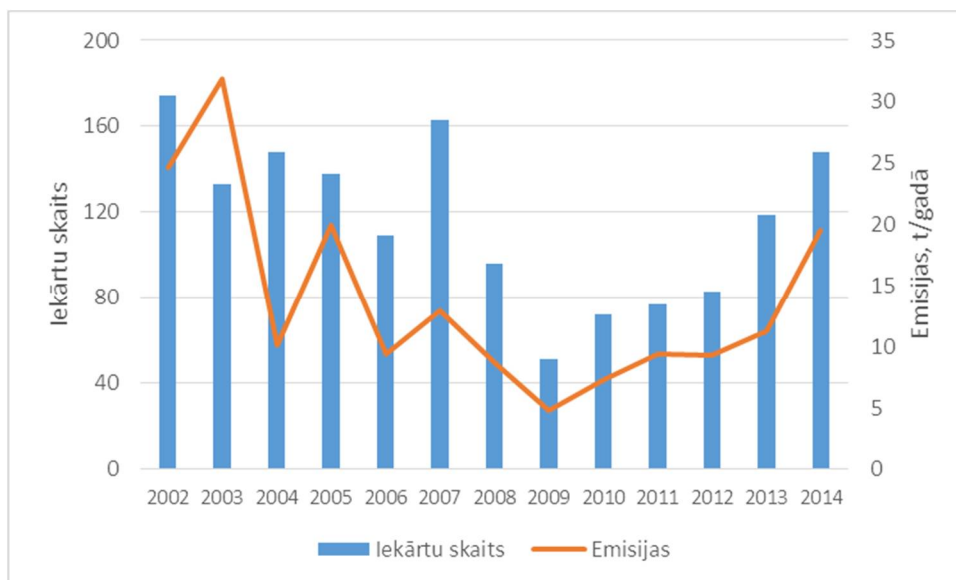
Izkliežu aprēķinu programmas datu bāzē ievadīta informācija par izmešu avotu ģeogrāfisko novietojumu, augstumu, diametru, plūsmas ātrumu, izmešu izplūdes dinamisko informāciju – tabulas par emisijas avota darbību diennakts, mēneša un gada griezumā un emisiju apjomu. Savukārt, informācija par autotransporta plūsmu AERMOD modelim iegūta no Rīgas Domes Mājokļu un vides departamenta, kura rīcībā bija autotransporta vienību uzskaites dati. Programmā ievadītā informācija izdrukas formā no programmas pievienota G. Pielikumā.

2-Gaiss datu bāzē ir pieejama informācija par stacionāro piesārņojuma avotu darbību. Kopumā Rīgā koncentrēta lielākā daļa emisijas avotu, valsts līmenī laika posmā no 2002. gada līdz 2014. gadam galvaspilsētā emitētā benzola īpatsvars variē no 31 % līdz 76 % (skat. 1. attēlu). Laika posmā no 2002.-2008. novērojama liela mainība, pēc 2009. gada – ir stabila tendence benzola emisijām palielināties.



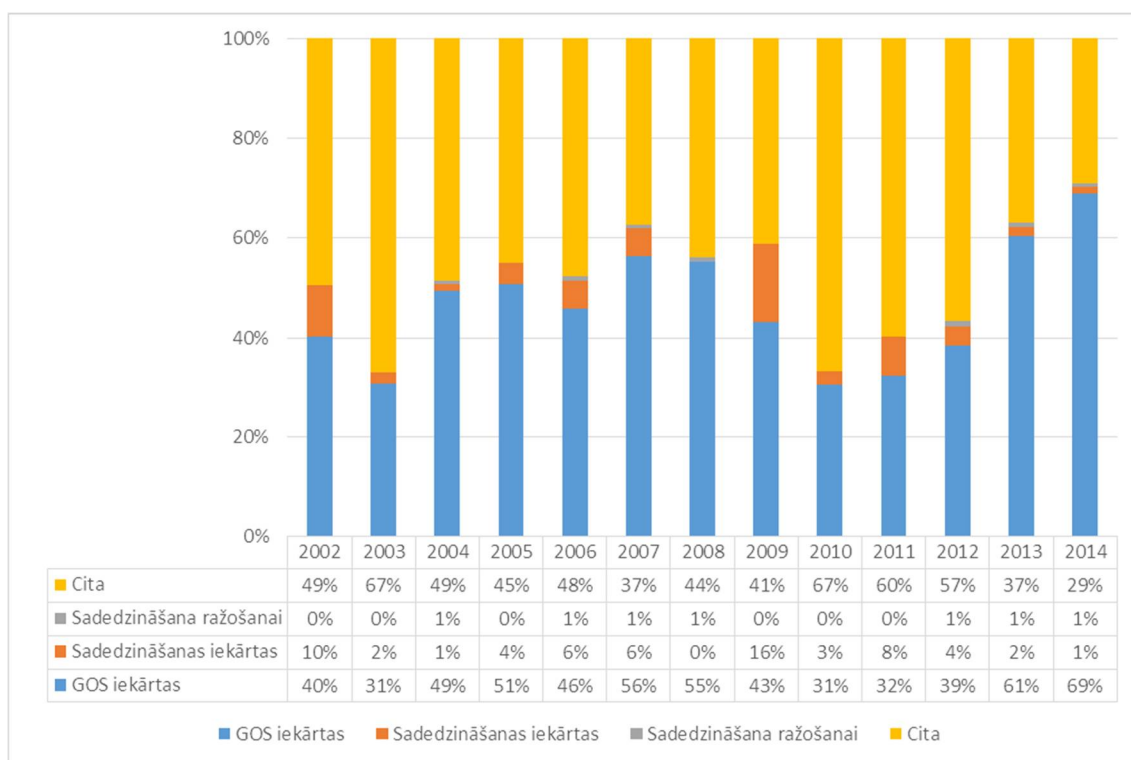
1. att. Benzola emisiju īpatsvars Rīgā salīdzinājumā ar kopējo benzola emisiju daudzumu Latvijā laika posmā 2002.-2014., 2-Gaiss datu bāzes dati

Datu bāzē pieejamā informācija par benzola emisijām ir pilnīga naftas produktu pārkraušanas uzņēmumiem, savukārt, nelielām iekārtām (piemēram, degvielas uzpildes stacijām) benzola emisijas nav novērtētas. Pašreiz (2014. gadā) novērtēto emisijas avotu daudzums Rīgā ir 148, laika posmā no 2010. gada vērojama stabila tendence palielināties gan emisijas avotu skaitam, gan atmosfērā emitētā benzola apjomam (skat. 2. attēlu zemāk).



2. att. Benzola emisiju un avotu mainība Rīgā, 2-Gaiss datu bāzes dati.

Analizējot benzola emisijas avotu specifiku, skaita ziņā dominē gaistošo organisko savienojumu (GOS) emitējošās iekārtas, pārējo iekārtu (sadedzināšanas iekārtas un cita veida iekārtas) īpatsvars pēdējo 5 gadu laikā arvien samazinās (skat. 3. att).



3. att. Benzola emisijas iekārtu mainība 2002.-2014., 2-Gaiss datu bāzes dati.

Veidojot stacionāro piesārņojuma avotu datu bāzi, papildus 2-Gaiss iekļautajiem emisiju avotiem izvērtētas arī degvielas uzpildes stacijas (DUS):

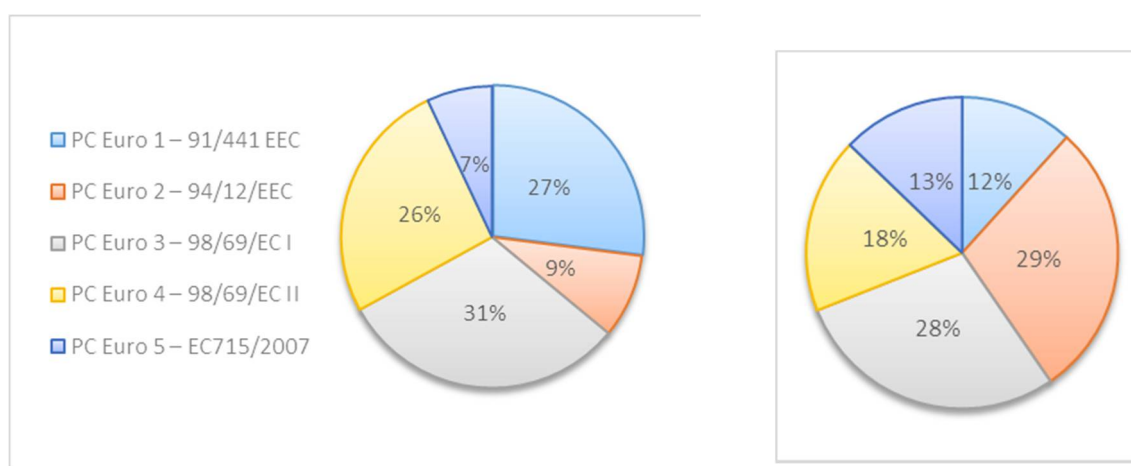
- stacijās, kur atmosfērā nonāk benzīna tvaiki, atbilstoši benzīna kvalitātes standartiem, pieņemts, ka 1 % no šīm emisijām ir benzola tvaiki;

- stacijās, kur atmosfērā nonāk dīzeļdegvielas tvaiki, atbilstoši degvielas kvalitātes sertifikātam, 0.02 % no šīm emisijām ir benzola tvaiki.

Izmantojot šādu metodoloģisku pieeju, datu bāze papildināta ar 101 emisijas avotu.

Atmosfērā emitētā benzola daudzums no mobiliem piesārņojuma avotiem novērtēts, ņemot vērā vairākus faktorus:

- 1) plūsmas intensitāte un iedalījums vieglajās un smagajās automašīnās, informācija iegūta no Rīgas Domes Satiksmes departamenta; kopumā raksturoti 180 ielu posmi 387 km garumā;
- 2) transporta plūsmu strukturālais iedalījums, atbilstoši Ceļu satiksmes drošības direkcijas datiem, noteikts šāds: ~ 57 % ir automašīnas ar benzīna dzinējiem, ~43 % - ar dīzeļdegvielas dzinējiem vieglo automašīnu grupā;
- 3) transporta plūsmu iedalījums atbilstoši Euro klasēm veikts, pamatojoties uz Ceļu satiksmes drošības direkcijas datiem (apkopojums dots 4. attēlā).



4. att. Automašīnu sadalījums atbilstoši Euro klasifikācijai vieglo (kreisā pusē) un smago (labā pusē) automašīnu grupā, CSDD dati

Benzola emisiju daudzumi novērtēti, izmantojot jaunākās pieejamās ziņošanas vadlīnijas konvencijas “Par robežšķērsojošo gaisa piesārņošanu lielos attālumos” (Ženēvas konvencija) ietvaros apstiprinātai metodikai (EMEP/EEA, 2013), atbilstoši kurai benzola emitētais apjoms tiek novērtēts kā ne metāna gaistošo organisko savienojumu (NMVOC) frakcija. Aprēķiniem izmantotie NMVOC emisiju faktori apkopoti 1. tabulā.

1. tabula

NMVOC emisiju faktori (g/km) dažādām automašīnu klasēm

Euro standarts	Vieglās automašīnas, benzīns	Vieglās automašīnas, dīzeļdegviela	Smagās automašīnas, dīzeļdegviela
PC Euro 1	0,53	0,047	0,326
PC Euro 2	0,251	0,035	0,207
PC Euro 3	0,119	0,02	0,189
PC Euro 4	0,065	0,014	0,008
PC Euro 5	0,065	0,008	0,008

Katrai no automašīnu klasēm, atkarībā no izmantotās degvielas, noteikti benzola saturs frakcijas (% masas) rādītāji:

- Euro klases automašīnas ar benzīna dzinējiem – 5,61 %;
- Euro klases automašīnas ar dīzeļdegvielas dzinējiem – 1,98 %;
- Smagās automašīnas ar dīzeļdegvielas dzinējiem – 0,07 %.

Meteoroloģiskajam raksturojumam izklīdes aprēķinos izmantoti Rīgas novērojumu stacijas (Rīga – Universitāte) 2014.gada novērojumu dati.

2. Gaisa kvalitātes normatīvi benzolam

Pieļaujamo benzola piesārņojuma līmeni reglamentē Ministru kabineta 03.11.2009. noteikumi Nr.1290 “Noteikumi par gaisa kvalitāti”. Lai nodrošinātu cilvēka veselības aizsardzību, benzolam noteikts gada normatīvs – $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Bez normatīvā lieluma benzolam noteikts augšējais un apakšējais piesārņojuma novērtēšanas sliekšnis:

- 1) 70 % no gada robežlieluma vērtības ($3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) – augšējais novērtējuma sliekšnis;
- 2) 40 % no gada robežlieluma vērtības ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) – apakšējais novērtējuma sliekšnis.

Augšējā un apakšējā novērtējuma sliekšņa kritērijs tiek izmantots monitoringa tīkla izveidē:

- a) difūzo emisijas avotu tuvumā:
 - a. Ja piesārņojuma līmenis pārsniedz augšējo novērtējuma sliekšni un iedzīvotāju skaits ir robežās no 500-749 tūkstoši (Rīgā 2014.g. sākumā pēc Centrālās statistikas pārvaldes datiem – 643368), nepieciešamas 2 monitoringa stacijas;
 - b. Ja piesārņojuma līmenis ir robežās starp augšējo un apakšējo novērtējuma sliekšni, ņemot vērā iedzīvotāju kritēriju – 1 stacija;
 - c. Vienai no iekārtām, pārsniedzot augšējo novērtēšanas sliekšni, jāmēra fona piesārņojums, vēl vienai – transporta radītā ietekme;
- b) novērtējot piesārņojuma līmeni punktveida emisijas avotu tuvumā, paraugu ņemšanas vietu skaitu stacionāriem mērījumiem nosaka, ņemot vērā emisiju blīvumu, iespējamo gaisa piesārņojuma izklīdes raksturu un potenciālo ietekmi uz iedzīvotājiem.

Benzola piesārņojuma līmeņa mērījumiem izmanto bāzes (references) metodi, kas noteikta standartā LVS EN 14662:2005 “Gaisa kvalitāte – Benzola koncentrāciju mērīšanas standartmetode”, vai citu līdzvērtīgu analīzes metodi (MK 1290).

MK noteikumu (MK 1290) 15. pielikumā doti datu kvalitātes mērķi benzola novērtēšanai:

- stacionāro mērījumu nenoteiktība – 25 %;
- minimālais nepieciešamais iegūto mērījumu datu apjoms (stacionāri vai indikatīvi mērījumi) – 90 %;
- minimālais nepieciešamais mērījumu laiks pilsētas fona un transporta piesārņojuma novērošanas vietās (mērījumiem jābūt vienmērīgi sadalītiem gada laikā, lai raksturotu dažādus klimata un satiksmes apstākļus) – 35 %;
- minimālais nepieciešamais mērījumu laiks rūpnieciskajās teritorijās – 90 %;
- indikatīvo mērījumu nenoteiktība – 30 %;

- minimālais nepieciešamais mērījumu laiks indikatīviem mērījumiem, izlases kārtā veicot vienas dienas mērījumus reizi nedēļā, tos sadala vienmērīgi gada laikā vai astoņu gada nedēļu laikā – 14 %;
- modelēšanas nenoteiktība – 50 %.

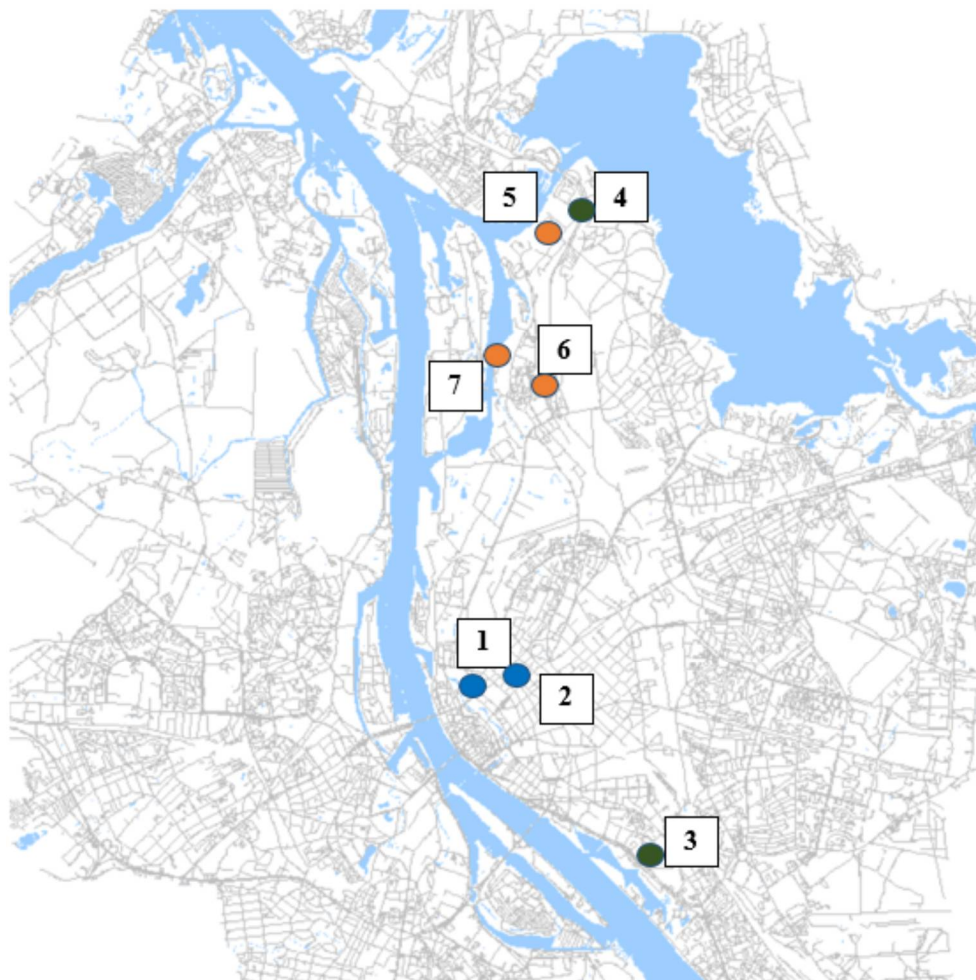
3. Faktiskās situācijas analīze

3.1. Ilgtermiņa monitoringa rezultātu analīze

Benzola novērojumi Rīgā kopš novērojumu uzsākšanas 2003. gadā veikti dažādās pilsētas vietās:

- Brīvostas teritorijā un tās uzņēmumu ietekmes zonā – rūpnieciskā piesārņojuma novērtēšanas stacijas;
- Pilsētas centrā – transporta radītā piesārņojuma novērtēšanas stacijas;
- Pilsētas fona līmenī – fona stacija.

Monitoringa staciju izvietojums dots 5. attēlā, detalizēts raksturojums - 2. tabulā.



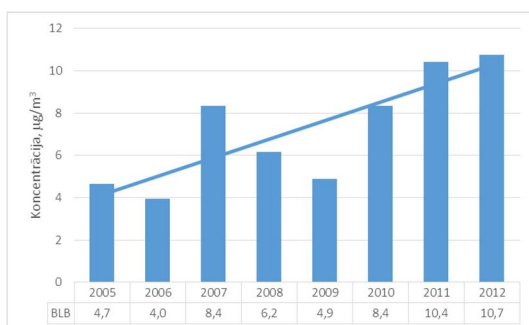
5. attēls. Benzola stacionāro monitoringa staciju izvietojums

Stacijas Nr. kartē	Stacijas nosaukums	Adrese	Analizētais monitoringa periods	Mērījumu metode	Monitoringa stacijas tips
1	Valdemāra	Valdemāra iela 18	2005-2014	Gāzu hromatogrāfija	Transporta
2	Brīvības	Brīvības iela 73	2004-2014	DOAS	Transporta
3	Ķengarags	Maskavas iela 165	2009-2014	DOAS	Fona
4	Mīlgrāvis	Viestura prosp. 24	2003-2009	DOAS	Fona
5	BLB	Ezera iela 22	2005-2012	DOAS	Rūpnieciskā piesārņojuma
6	Tvaika	Tvaika iela 44	2004-2013	DOAS	Rūpnieciskā piesārņojuma
7	ManTess	Tvaika iela 7a	2004-2012	DOAS	Rūpnieciskā piesārņojuma

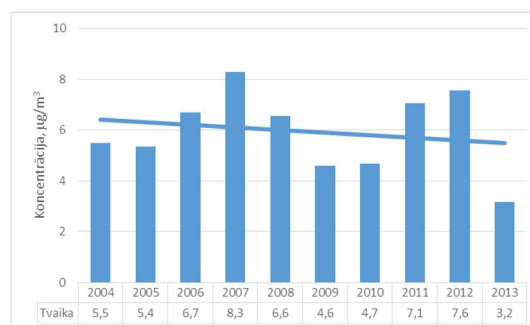
- (1) DOAS – diferenciālā optiskā absorbcijas spektroskopija;
 (2) stacijās Brīvības un Mīlgrāvis periodiski gaisa kvalitātes analīze veikta izmantojot arī difūzās paraugu ņemšanas iekārtas, benzola koncentrācija noteikšana veikta laboratorijā ar gāzu hromatogrāfijas-masspektrometrijas (GC/MS) metodi.

MONITORINGA REZULTĀTU ANALĪZE RŪPNIESCĪKĀ PIESĀRŅOJUMA STACIJĀS

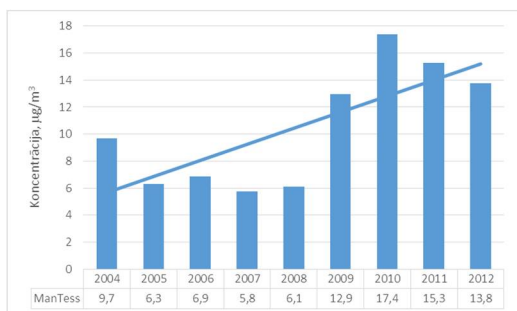
Rūpnieciskā piesārņojuma (galvenokārt, saistībā ar Brīvostas aktivitātēm) mērīšana ir veikta 3 monitoringa stacijās – BLB, Tvaika un ManTess. Gada vidējo tendenču analīzes rezultātā konstatēts, ka stacijās BLB un ManTess vērojama tendence piesārņojuma līmenim palielināties, savukārt, stacijā Tvaika – ļoti vāja tendence piesārņojuma līmenim samazināties (skat. 6.-8. attēlus).



6. attēls. Benzola koncentrāciju izmaiņas stacijā BLB

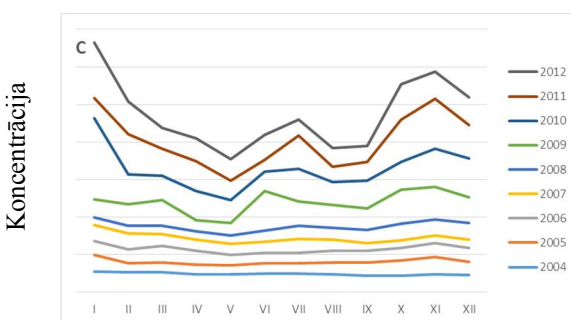
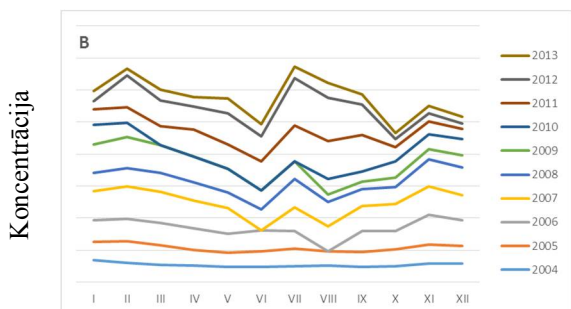
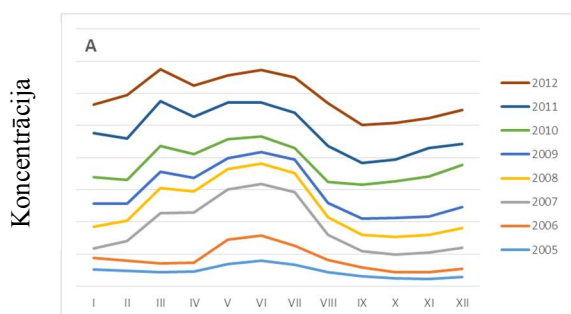


7. attēls. Benzola koncentrāciju izmaiņas stacijā Tvaika



8. attēls. Benzola koncentrāciju izmaiņas stacijā ManTess

Ņemot vērā benzolam noteikto gada normatīvu ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), normatīvs netika pārsniegts tikai stacijā Tvaika (novērojumu periods 2004-2013), abās pārējās stacijās (BLB, 2005-2012; ManTess, 2004-2012) piesārņojuma līmenis vērtējams kā nepieļaujami augsts.



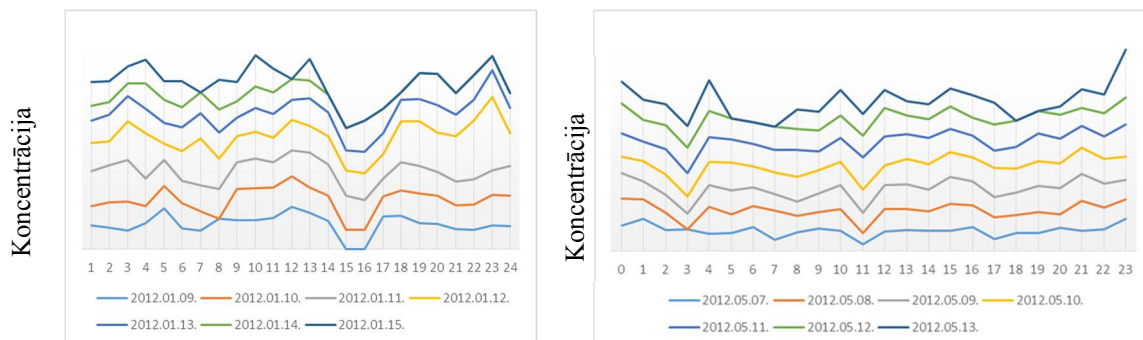
9. attēls. Benzola koncentrāciju izmaiņu cikla uzkrāto līkņu diagrammas gada laikā stacijās BLB (A), Tvaika (B) un Mantess (C)

Benzola vidējo koncentrāciju izmaiņas (mēnešu vidējo vērtību griezumā) gada laikā analizētajos staciju darbības periodos mainās būtiski (skat. 9. attēlu). Izmaiņu attēlošanai izmantota uzkrāto līkņu diagramma, ar kuras palīdzību iespējams novērtēt strukturālās izmaiņas periodā, bet ne analizēt absolūtās vērtības.

Uzsākot novērojumus rūpnieciskā piesārņojuma stacijās, šādas izmaiņas pirmajos monitoringa gados netika konstatētas, piemēram, stacijā BLB 2005. gadā mēnešu vidējās vērtības mainās nelielā diapazonā – gada vidējā vērtība ir $4,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, standartnovirze – $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Analizējot mēnešu vidējās vērtības un to mainību visā novērojumu periodā, redzams, ka stacija Mantess būtiski atšķiras no abām pārējām stacijām ar to, ka augstākās benzola koncentrācijas novērojamas tieši gada aukstākajā periodā; bez tam, ar 2007.-2009. gadu vērojama lielāka benzola koncentrāciju variācija gada laikā; jāatzīmē, ka šī variācija kļūst ar katru gadu arvien izteiktāka. Šādu tendenci varētu skaidrot ar piesārņojuma avotu ietekmes būtiskuma palielināšanos.

Detalizētai benzola koncentrāciju analīzei nedēļas griezumā, izvēlētas divas meteoroloģiski atšķirīgas nedēļas – aukstajā gada periodā (9.01.2012.-15.01.2012.) un siltajā periodā (7.05.2012.-13.05.2012.). 10. attēlā redzamas benzola koncentrāciju ik stundu variācijas diennakts periodā nedēļas garumā.



10. att. Benzola diennakts variāciju uzkrāto līkņu diagrammas gada aukstajā periodā (kreisajā pusē) nedēļas griezumā (9.01. – pirmdiena, darba diena; attiecīgi 14.01. un 15.01. – sestdiena un svētdiena, brīvdienas) un siltajā periodā (labajā pusē) nedēļas griezumā (7.05. – pirmdiena, darba diena; attiecīgi 12.05. un 13.05. – sestdiena un svētdiena, brīvdienas) stacijā BLB

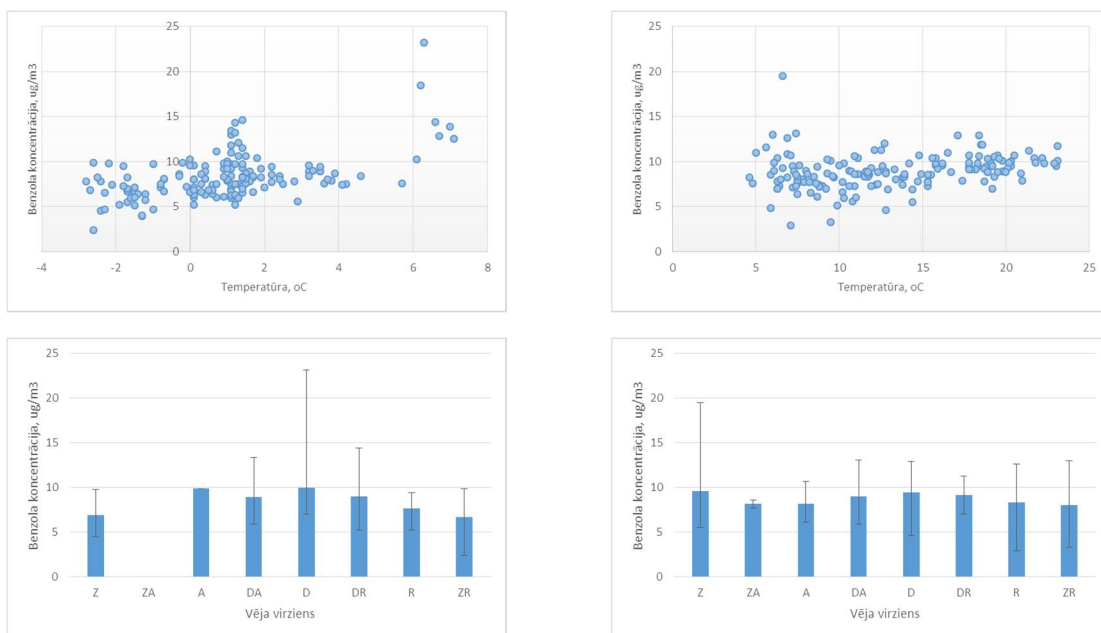
Benzola koncentrāciju un meteoroloģisko rādītāju analīze rāda, ka starp atmosfēras temperatūru un benzola koncentrācijām ir vāja, bet statistiski būtiska lineāra sakarība, kas ir izskaidrojams tādējādi, ka siltākos apstākļos ir novērojama intensīva gaistošo organisko savienojumu (GOS) iztvaikošana.

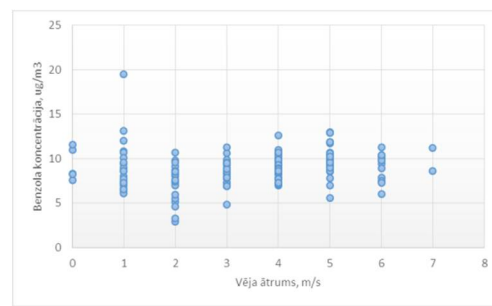
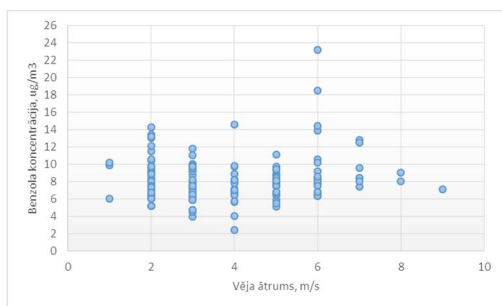
Indikatīvai meteoroloģisko parametru un koncentrācijau analīzei izvēlēti šādi periodi:

- aukstais periods: 9.01.2012.-15.01.2012.;
- siltais periods: 7.05.2012.-13.05.2012.

Analizējot vēja ātruma saikni ar benzola koncentrācijām, nekāda cieša sakarība netika konstatēta, savukārt, vēja virziena ietekme vērtējama kā būtiska. Redzams, ka dienviņu virziena vēju gadījumā vērojama lielāka koncentrāciju izkliede salīdzinājumā ar cita virziena vējiem, kas skaidrojams ar citu piesārņojuma avotu izvietojumu dienviņu virzienā attiecībā pret staciju BLB.

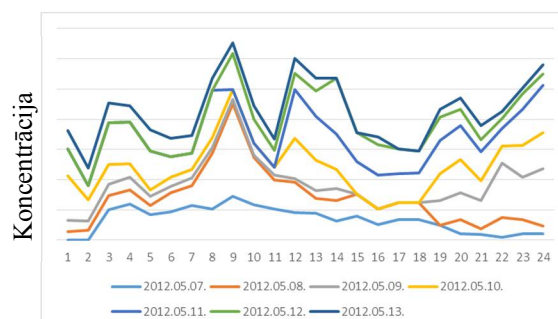
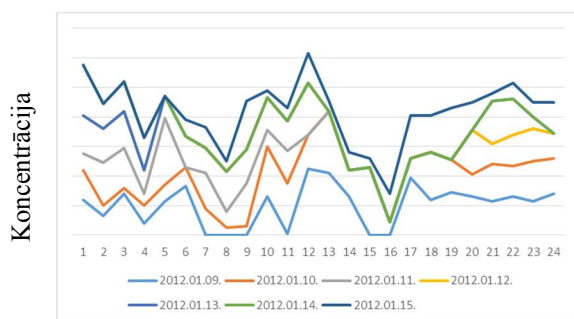
Rezultātu analīze grafiski attēlota 11. attēlā zemāk.





11. att. Benzola koncentrāciju saikne ar meteoroloģiskiem parametriem gada aukstajā periodā (kreisajā pusē) un siltajā periodā (labajā pusē) stacijā BLB

Monitoringa stacijā Tvaika ielā 44 iegūtie mērījumi atšķiras no stacijas BLB, lai arī abas stacijas atrodas salīdzinoši tuvu. Koncentrāciju analīze veikta pēc līdzīgas metodoloģijas kā stacijas BLB gadījumā. Diennakts variāciju gadījumā redzams (skat. 12. attēlu), ka lielākas variācijas novērojamas brīvdienās, kas skaidrojams ar ne tik būtisku transporta ietekmi Tvaika ielā.

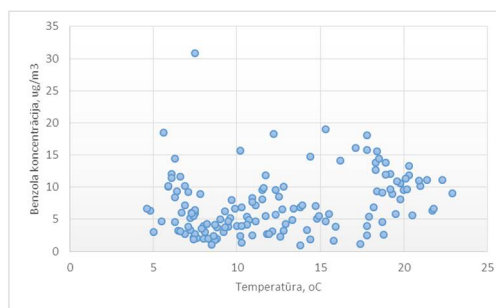
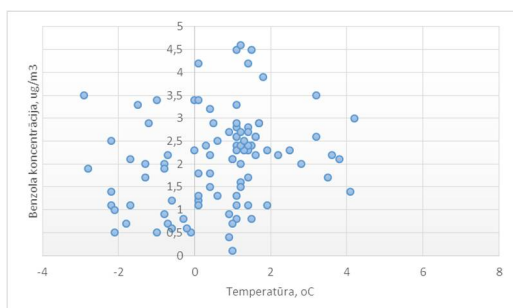


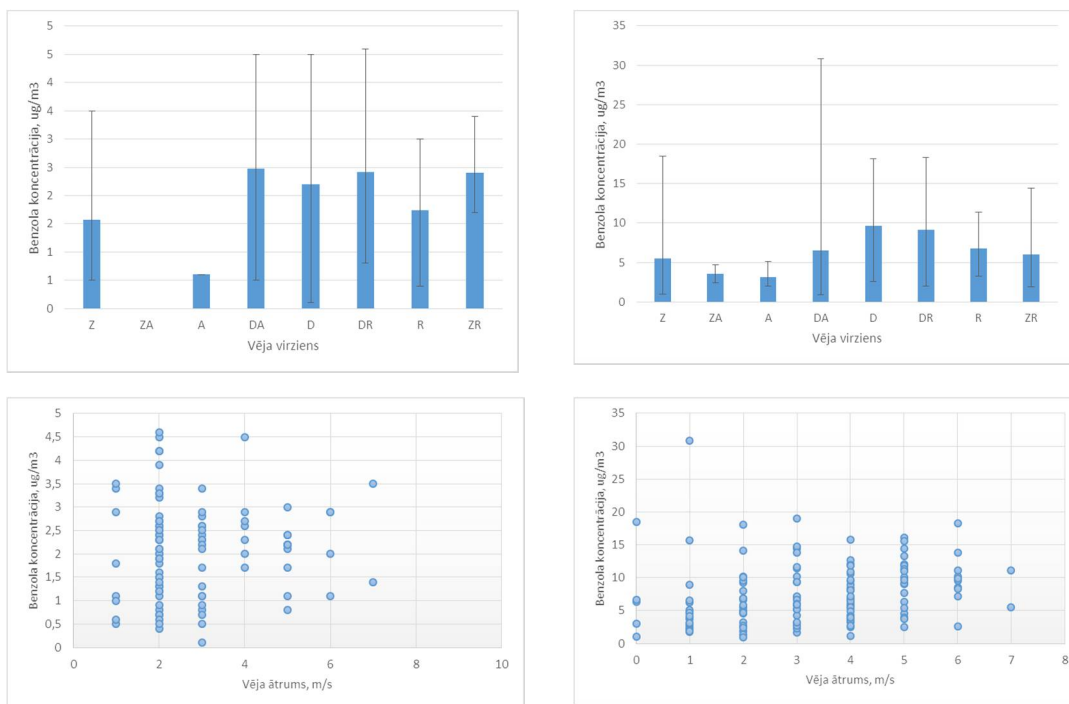
12. att. Benzola diennakts variāciju uzkrāto līkņu diagrammas gada aukstajā periodā (kreisā pusē) un siltajā periodā (labā pusē) stacijā Tvaika

Benzola koncentrāciju un meteoroloģisko rādītāju analīzes rezultātā secināts:

- Stacijā Tvaika siltajā periodā vērojama lineāra tieša saikne starp atmosfēras gaisa temperatūru un benzola koncentrācijām; aukstajā periodā šāda saikne nav konstatēta;
- Līdzīgi kā stacijas BLB gadījumā, lielāka koncentrāciju izkliede vērojama dienvidu sektoru vēju gadījumā, kas norāda uz atsevišķu avotu ietekmes konstatēšanu;
- Gada siltajā periodā konstatēts, ka vēja ātrumam palielinoties vērojamas augstākas benzola koncentrācijas; aukstajā periodā šāda tendence nav vērojama.

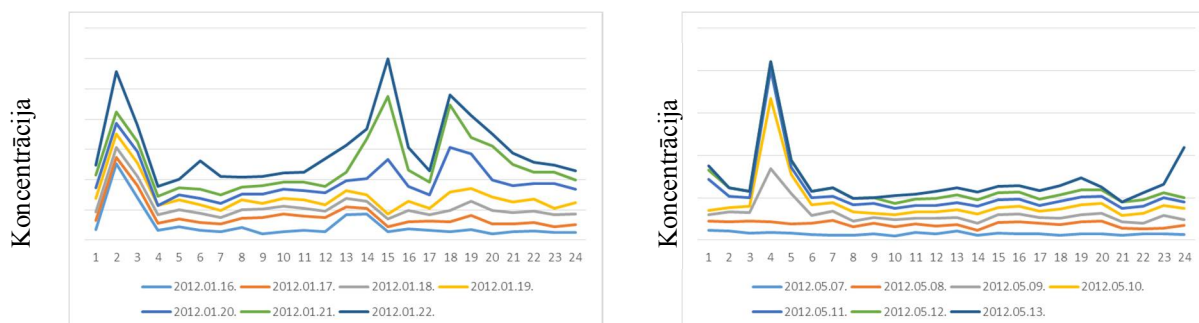
Rezultātu analīze grafiski attēlota 13. attēlā zemāk.





13. att. Benzola koncentrāciju saikne ar meteoroloģiskiem parametriem gada aukstajā periodā (kreisajā pusē) un siltajā periodā (labajā pusē) stacijā Tvaika

Stacija ManTess izvietota ļoti tuvu stacijai Tvaika, tomēr iegūtie novērojumu rezultāti būtiski atšķiras, par to liecina koncentrāciju nedēļas cikls (skat. 14. att.). Šajā monitoringa stacijā vērojama līdzīga iezīme - brīvdienās novērojama lielāka benzola koncentrāciju mainība neatkarīgi no gadalaika.

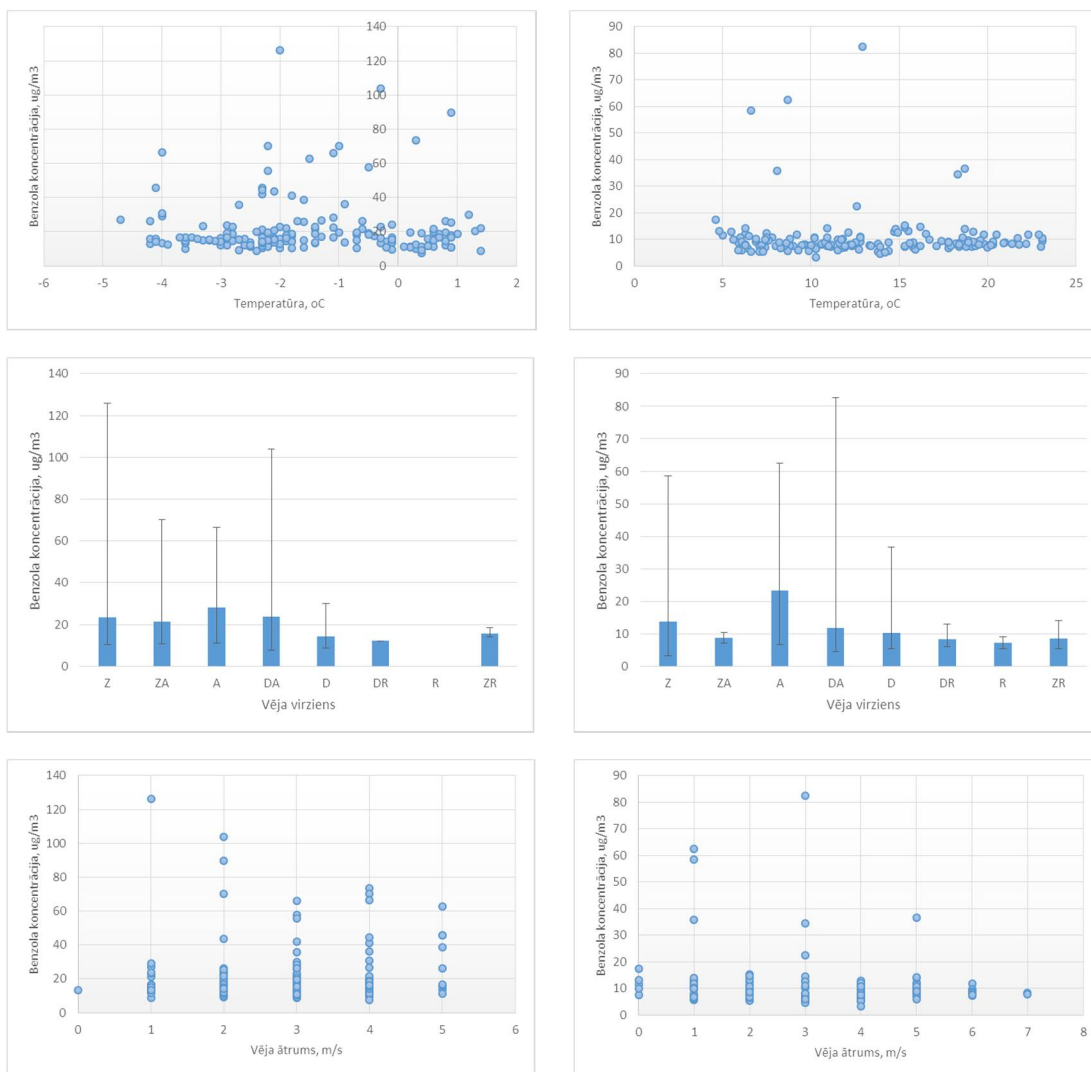


14. att. Benzola diennakts variāciju uzkrāto līkņu diagrammas gada aukstajā un siltajā periodā stacijā ManTess

Benzola koncentrāciju un meteoroloģisko rādītāju analīzes rezultātā secināts:

- Stacijā ManTess atmosfēras temperatūrai nav saikne ar benzola koncentrācijām;
- Lielāka koncentrāciju izkliede vērojama gan dienvidu, gan ziemeļu sektoru vēju gadījumā, kas norāda uz atsevišķu avotu ietekmes konstatēšanu – Brīvostas uzņēmumi izvietoti gan ziemeļu, gan dienvidu virzienā attiecībā pret monitoringa staciju;
- Vēja ātruma ietekme uz benzola koncentrācijām nav konstatēta.

Rezultātu analīze grafiski attēlota 15. attēlā zemāk.



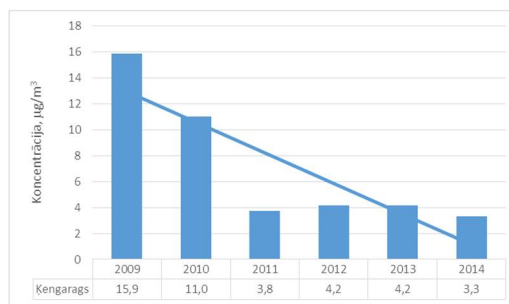
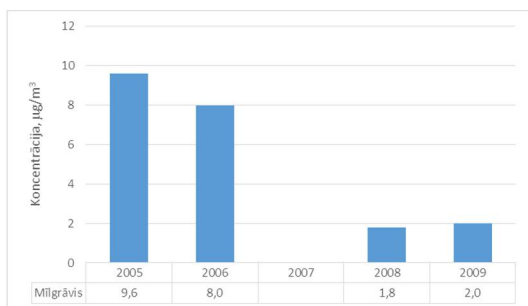
15. att. Benzola koncentrāciju saikne ar meteoroloģiskiem parametriem gada aukstajā periodā (kreisajā pusē) un siltajā periodā (labajā pusē) stacijā ManTess

MONITORINGA REZULTĀTU ANALĪZE FONĀ STACIJĀS

Benzola fona piesārņojuma mērīšana veikta 2 monitoringa stacijās – Mīlgrāvis un Ķengarags.

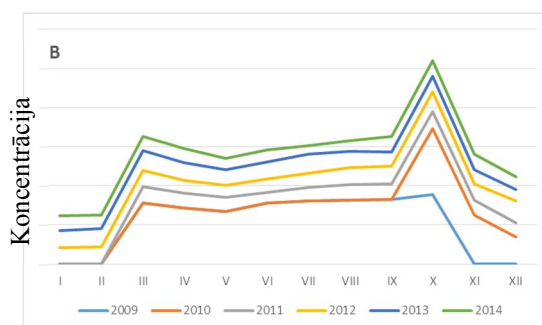
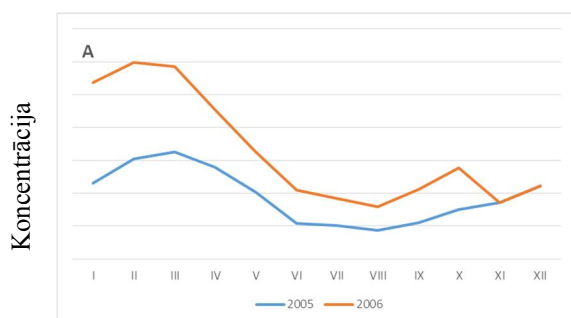
Gada vidējo tendenču analīzes rezultātā konstatēts, ka abās stacijās vērojama tendence piesārņojuma līmenim samazināties (skat. 16. att.). 2007. gadā stacijā Mīlgrāvis novērojumi netika veikti, 2008.-2009. – indikatīvie mērījumi ar difūzijas iekārtām (mēneša vidējā ekspozīcija, gada vidējā koncentrācija par 11 mēnešiem), ziemā 2010.gadā stacija tika slēgta. 2009. gadā iegūtie mērījumi stacijā Mīlgrāvis par indikatīviem, tehnisku iemeslu dēļ novērojumu skaits ir mazāks par 50 % (32 %).

Stacijā Ķengarags 2009.-2010.g. novērotas salīdzinoši augstas benzola koncentrācijas, ziemā pilnvērtīga ietekmes cēloņu analīze nav iespējama fragmentāro mērījumu dēļ (2009. gadā iegūtas tikai 19 %, bet 2010. gadā – 8 % stundas koncentrācijas), pēc mērījumiem redzams, ka iekārta strādājusi nestabili.



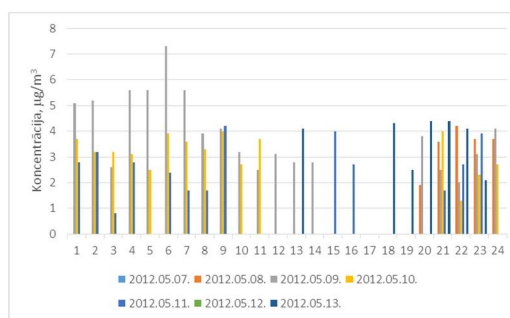
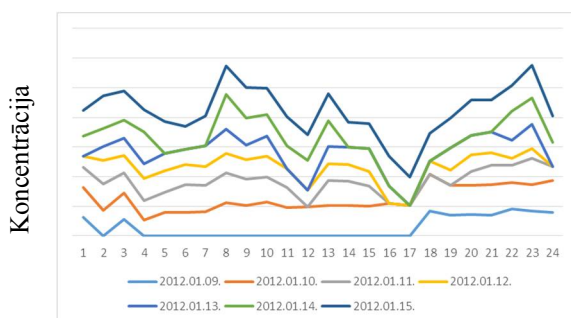
16. attēls. Benzola koncentrāciju izmaiņas stacijā Mīlgrāvis (kreisā pusē) un stacijā Ķengarags (labajā pusē)

Benzola gada koncentrāciju profils fona stacijās novērojumu periodā nav būtiski mainījies, skat. 17. attēlu zemāk.



17. attēls. Benzola koncentrāciju uzkrāto līkņu diagrammas gada laikā stacijā Mīlgrāvis (A), Ķengarags (B)

Analizējot koncentrāciju mainību diennakts periodā gan darba dienās, gan brīvdienās gada siltajā un aukstajā periodā, redzamas samērā nelielas variācijas ziemas periodā, vasaras periodā izklide ir lielāka (skat. 18. att.), tomēr salīdzinājumā ar novērojumiem rūpnieciskā piesārņojuma ietekmes stacijās, tā vērtējama kā nebūtiska.

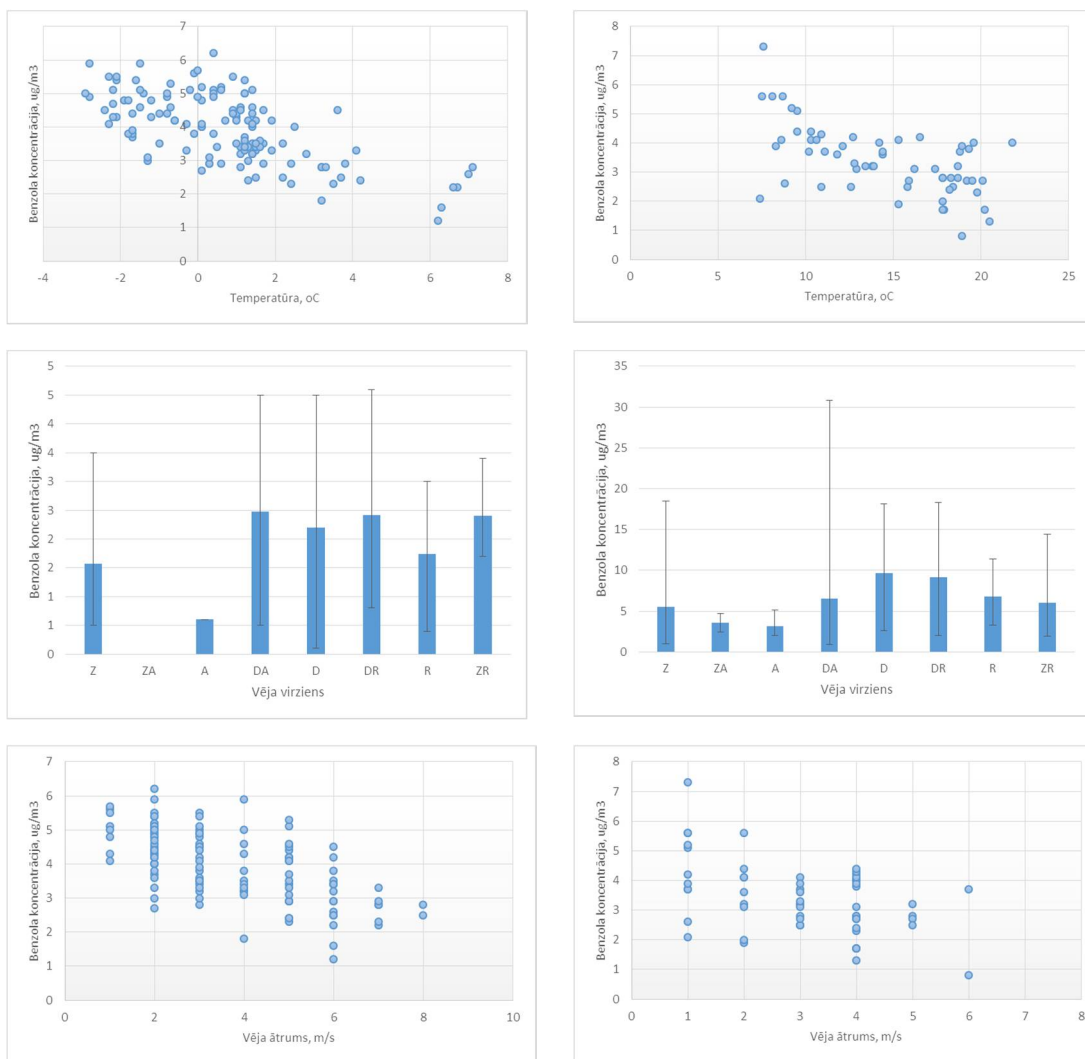


18. att. Benzola diennakts variāciju uzkrāto līkņu diagramma gada aukstajā (kreisajā pusē) un stabiņu diagramma siltajā (labajā pusē) periodā stacijā Ķengarags

Benzola koncentrāciju un meteoroloģisko rādītāju analīzes rezultātā secināts:

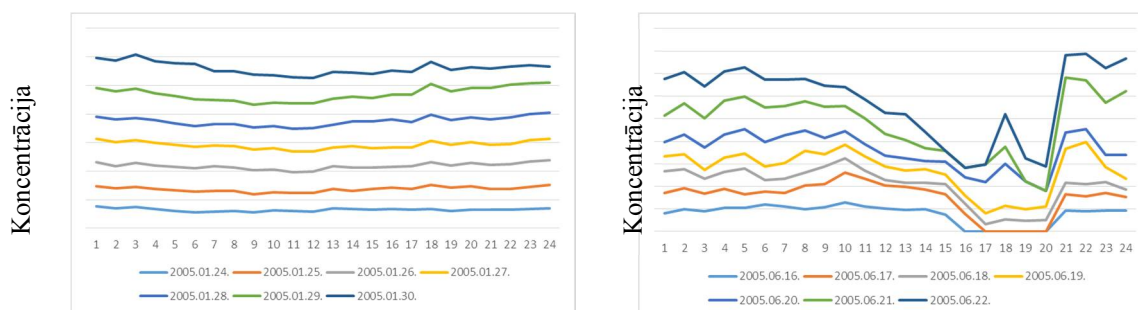
- Stacijā Ķengarags vērojama pretēja sakarība (atšķirībā no novērotā rūpnieciskā piesārņojuma monitoringa stacijās) starp atmosfēras temperatūru un benzola koncentrācijām - palielinoties temperatūrai, benzola koncentrācijas samazinās;
- Mazākā koncentrāciju variācija vērojama pie ziemeļu un ziemeļu-austrumu virziena vējiem;
- Palielinoties vēja ātrumam, benzola koncentrācija samazinās.

Rezultātu analīze grafiski attēlota 19. attēlā zemāk.



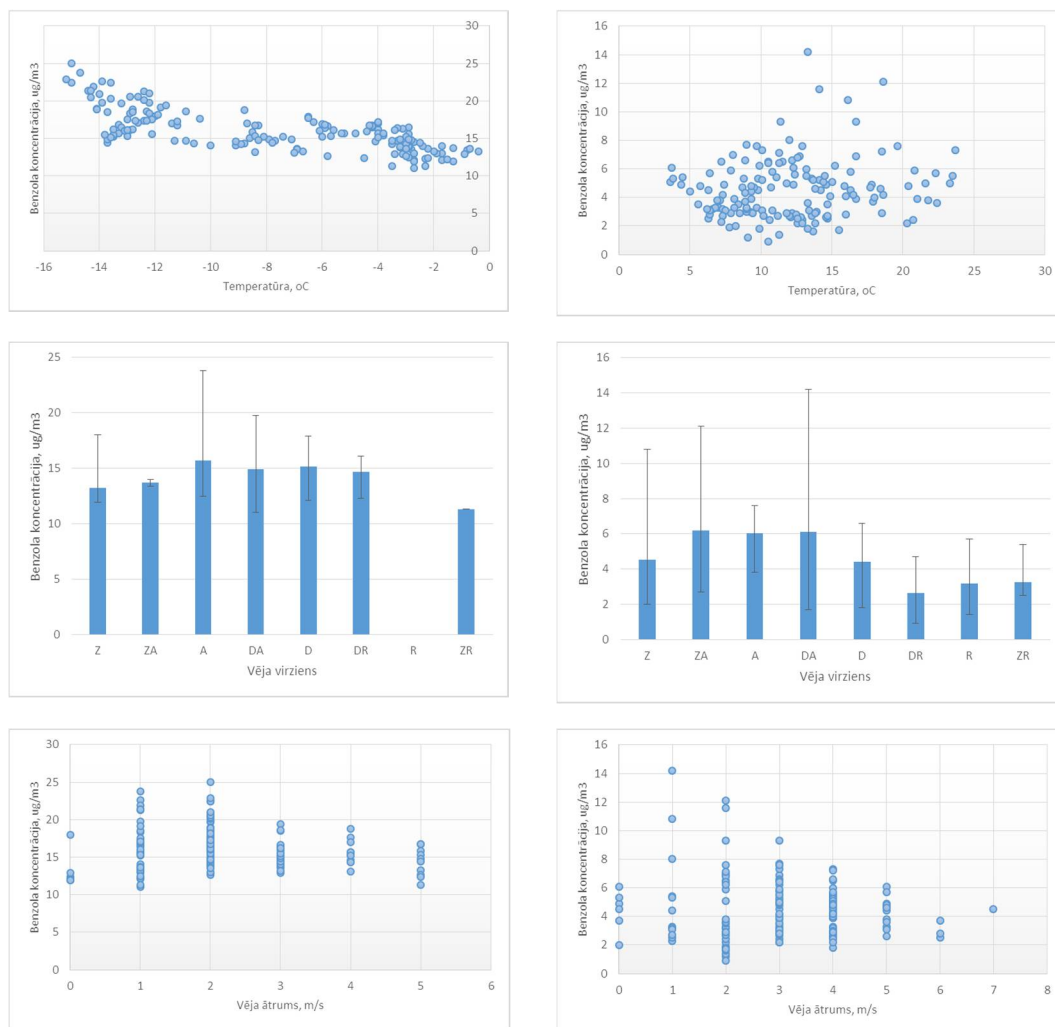
19. att. Benzola koncentrāciju saikne ar meteoroloģiskiem parametriem gada aukstajā periodā (kreisajā pusē) un siltajā periodā (labajā pusē) stacijā Ķengarags

Benzola diennakts cikls stacijā Mīlgrāvis gada aukstajā periodā ir nemainīgs, siltajā periodā novērojamas nelielas koncentrāciju variācijas pēcpusdienās un vakara pusē neatkarīgi no nedēļas dienas (darba diena vai brīvdiena), skat. 20. attēlu zemāk.



20. att. Benzola diennakts variāciju uzkrāto līkņu diagrammas gada aukstajā (kreisajā pusē) un siltajā (labajā pusē) periodā stacijā Mīlgrāvis.

Siltajā periodā augstās koncentrācijas vakarā pēc plkst. 20:00 saistītas ar ļoti lēnu vēju (1-2 m/s), kas traucēja piesārņojuma dispersiju pilsētā. Koncentrāciju variāciju attēlošanai izmantotas uzkrāto līkņu diagrammas, pēc kurām iespējams noteikt atšķirību mērogu dažādās dienās, šajā gadījumā – augstākās koncentrācijas novērotas 19.06.2005. un 21.06.2005. pēc plkst. 20:00.



21. att. Benzola koncentrāciju saikne ar meteoroloģiskiem parametriem gada aukstajā periodā (kreisajā pusē) un siltajā periodā (labajā pusē) stacijā Mīlgrāvis

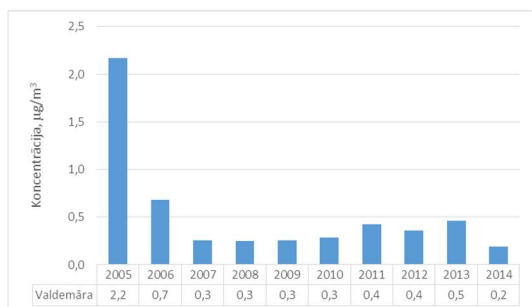
Benzola koncentrāciju un meteoroloģisko rādītāju analīzes rezultātā secināts:

- Stacijā Mīlgrāvis vērojama nebūtiska sakarība starp atmosfēras temperatūru un benzola koncentrācijām;
- Mazākā koncentrāciju variācija vērojama pie rietumu sektora vējiem;
- Palielinoties vēja ātrumam, benzola koncentrācija samazinās.
- Rezultātu analīze grafiski attēlota 21. attēlā.

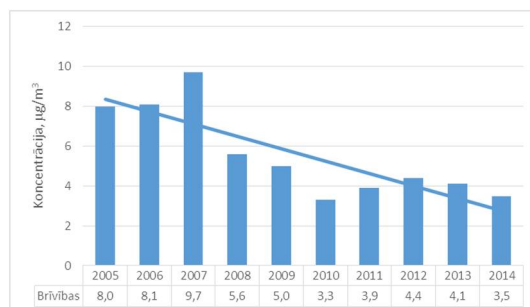
MONITORINGA REZULTĀTU ANALĪZE TRANSPORTA IETEKMES NOVĒRTĒJUMA STACIJĀS

Transporta radītais benzola piesārņojums tiek mērīts Rīgas centrā, stacijās Brīvības un Valdemāra ielās. Gada vidējo tendenču analīzes rezultātā konstatēts, ka stacijā Brīvības

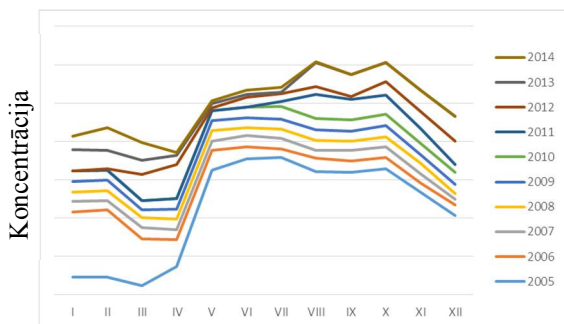
novērojama tendence koncentrācijām samazināties (skat. 23. attēlu), savukārt stacijā Valdemāra laika periodā no 2007. gada līdz 2014. gadam variācijas ir nelielas un gada vidējās koncentrācijas nav būtiski mainījušās (skat. 22. attēlu).



22. attēls. Benzola koncentrāciju izmaiņas stacijā Valdemāra



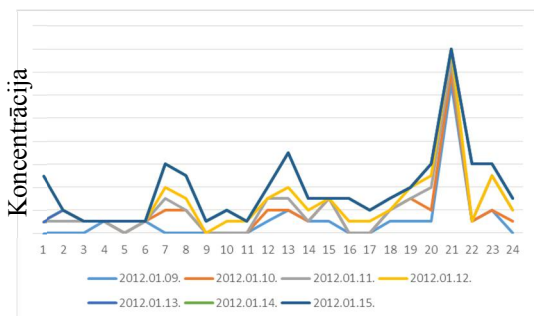
23. attēls. Benzola koncentrāciju izmaiņas stacijā Brīvības



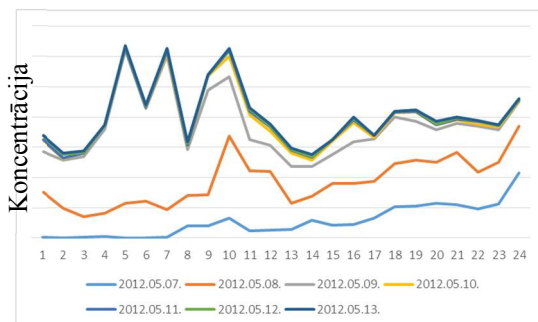
23. attēls. Benzola koncentrāciju variāciju uzkrāto līkņu diagrammas gada laikā stacijā Valdemāra

Benzola vidējo koncentrāciju izmaiņas (mēnešu vidējo vērtību griezumā) stacijā Valdemāra visā novērojumu periodā praktiski nav mainījušās - gada sākumā vērojamas zemākās koncentrācijas, augstākās vērtības konstatētas gada siltākajā periodā (skat. 23. att.).

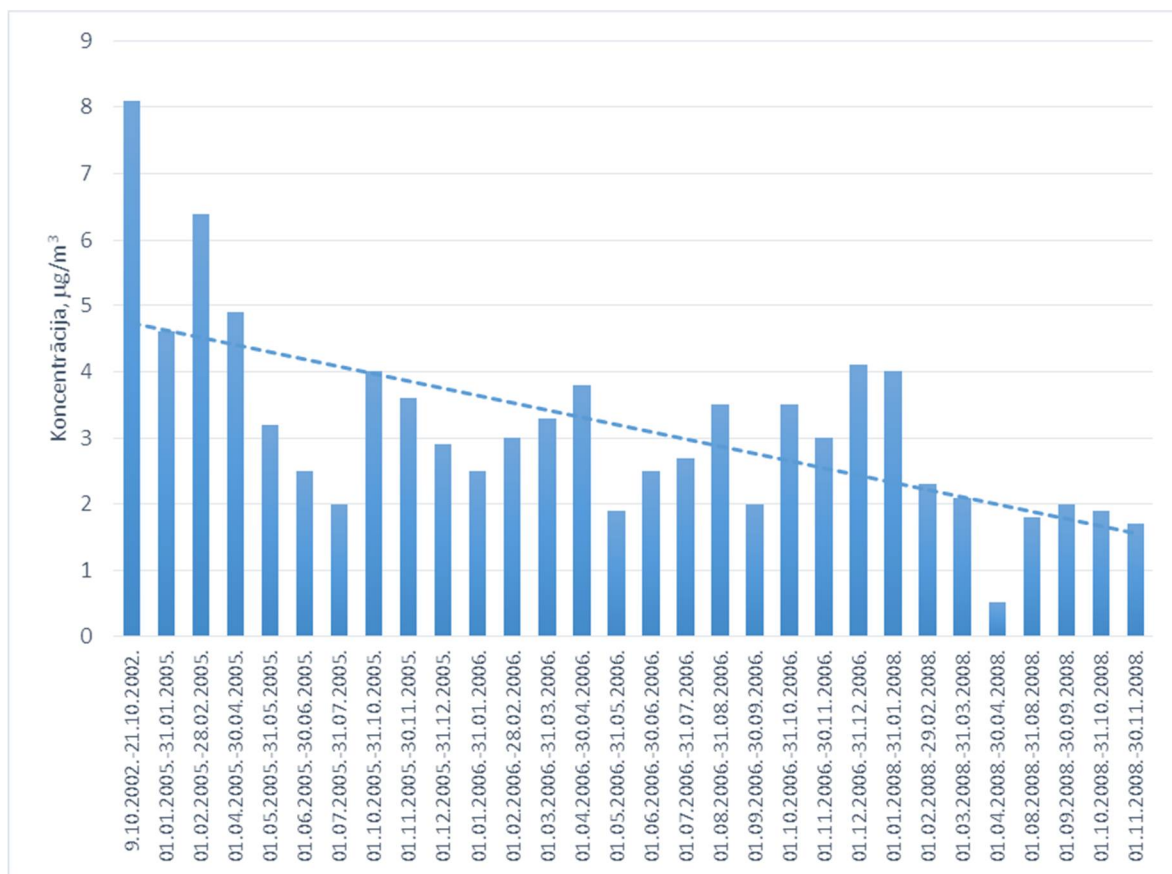
Analizējot benzola diennakts ciklu, redzams, ka tas ir ļoti mainīgs, - lielas koncentrāciju variācijas novērojamas gan dažādos diennakts periodos, gan nedēļas dienās; stabili nemainīgākā koncentrācija konstatēta pirmdienās (skat. 24. Attēlu zemāk).



24. att. Benzola diennakts variāciju uzkrāto līkņu diagrammas gada aukstajā (kreisajā pusē) un siltajā (labajā pusē) periodā stacijā Valdemāra



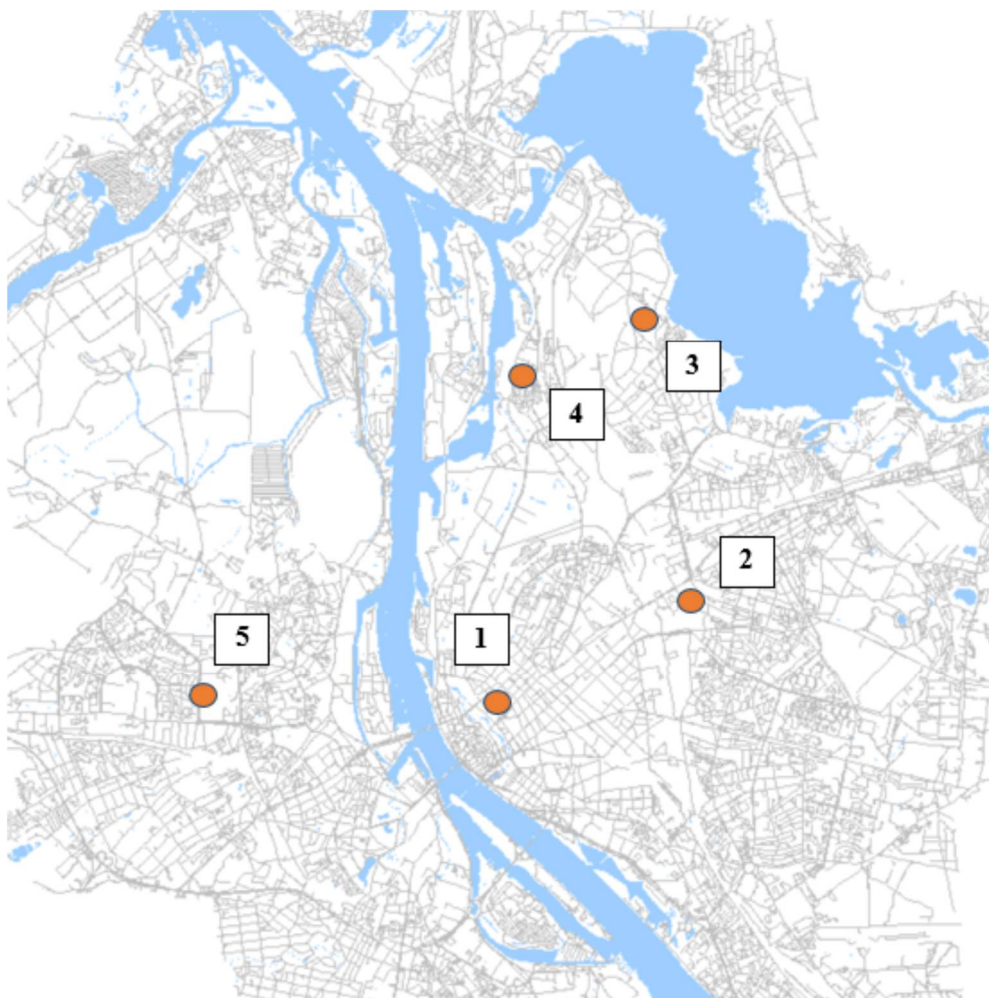
Meteoroloģisko rādītāju sakarību analīze ar benzola koncentrācijām neparādīja būtisku sakarību starp tiem. Difūzo mērījumu rezultātu izpēte Brīvības ielā parādīja, ka pilsētas centrā benzola koncentrācijām ir tendence samazināties, tas redzams 25. attēlā.



25. att. Difūzo mērījumu rezultāti stacijā Brīvības ielā.

3.2. Indikatīvo mērījumu rezultāti 2015. gadā

Indikatīvie mērījumi 2015. gadā Rīgas teritorijā veikti 5 atšķirīgos monitoringa punktos, to izvietojums dots 26. attēlā, raksturojums – 3. tabulā.



26. att. Indikatīvo mērījumu punkti Rīgā 2015. gadā.

Mērījumu punkti izvēlēti ar mērķi uzzināt benzola piesārņojuma līmeni atšķirīgās teritorijās Rīgas pilsētā; tie veikti gada siltajā periodā – augustā un aukstajā periodā – decembrī.

3. tabula

Mērījumu punkts kartē	Mērījumu punkta nosaukums	Piesārņojuma avoti
1	Elizabetes iela	Transports
2	Teika, Lielvārdes iela	Transports, DUS
3	Mežaparks, Meža prospekts	Transports
4	Osta, Tvaika iela	Transports, ostas aktivitātes
5	Imanta, Kurzemes prospekts	Transports

Mērījumiem izmantotā metode – aprobēta indikatorcaurulīšu metode, izmantotas benzola 0,25/a (8103691) caurulītes, kurās esošais pildījums benzola klātbūtnē iekrāsojas tumši pelēkā vai melnā krāsā. Rezultāti apkopoti 4. tabulā zemāk.

Nr.	Vieta, laiks	Siltais periods		Aukstais periods	
		Datums, laiks	Koncentrācija, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Datums, laiks	Koncentrācija, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1	Elizabetes iela	31.08.2015., 8:00-9:00	3,7±1,1	4.12.2015., 14:00-15:00	2,2±0,7
2	Teika, Lielvārdes iela	31.08.2015., 9:00-10:00	5,4±1,6	8.12.2015., 14:20-15:35	6,5±1,9
3	Mežaparks, Meža prospekts	31.08.2015., 10:00-11:00	4,3±1,3	10.12.2015., 19:00-20:15	5,4±1,6
4	Osta, Tvaika iela	31.08.2015., 11:00-12:00	3,8±1,1	09.12.2015., 18:05-19:05	7,6±2,3
5	Imanta, Kurzemes prospekts	31.08.2015., 12:00-13:00	2,2±0,7	6.12.2015., 17:05-18:05	5,2±1,6

Piezīme: tabulā uzrādīti mērījumi ņemot vērā mērījumu kļūda

Indikatormetodes raksturojums

Dräger benzola indikatorcaurulītes tiek izmantotas benzola koncentrāciju noteikšanai kā ekspresmetode; katru caurulīti iespējams izmatot tikai 1 reizi, tajā iepildītā ķīmiskā viela reaģē iekrāsojot caurulīti noteiktā krāsā. Gaisa parauga ņemšanai (sūknēšanai) tika izmantots Accuro manuālais sūknis, caurulišu paraugi un sūknis redzami 27. attēlā.

Pirms gaisa parauga ņemšanas caurulītei tiek nogriezti abi gali, lai gaisa paraugu varētu izsūknēt cauri pildījumam.



27. attēls. Benzola indikatorcaurulītes (A) un Accuro manuālais sūknis (B)

Pirms mērījumu veikšanas nepieciešamas zināšanas par mērījumu vietu, pilsētā vērtējot ārtelpu gaisa kvalitāti rekomendē izmantot indikatorcaurulītes, ar kurām iespējams noteikt salīdzinoši zemas benzola koncentrācijas (< 1 ppm), darba vidē un īpaši piesārņotā vidē gaisa kvalitātes mērījumiem jāizvēlas indikatorcaurulītes augstām benzola koncentrācijām (> 15 ppm). Šajā gadījumā izmantotas benzola indikatorcaurulītes zemo benzola koncentrāciju noteikšanai. Uz caurulītēm ir 2 paralēlas benzola novērojumu skalas, - ja koncentrācija ir mazāka par 1 ppm, - nepieciešams lielāks gaisa parauga tilpums (šādi iespējams izvairīties no priekškoncentratora izmantošanas), ja benzola koncentrācija apkārtējā vidē pārsniedz 1 ppm, analīzei izmantojamais gaisa paraugs tilpums var nepārsniegt (200 ml).

Reakcijas princips:



Optimālā temperatūra paraugu ņemšanai ir no 0 °C līdz 40 °C, rezultātu korekcija veicama atbilstoši faktiskajam atmosfēras spiedienam, izmantojot šādu formulu korekcijas faktora (F) aprēķiniem:

$$F = \frac{1013 \text{ hPa}}{F_{act}}, \text{ kur}$$

F_{act} – faktiskais atmosfēras spiediens mērījumu veikšanas vietā un laikā, hPa.

Atmosfēras spiediena mērījumi iegūti no Latvijas Vides ģeoloģijas un meteoroloģijas centra meteoroloģiskās stacijas, kura novietota Rīgas centrā (Raiņa bulvārī 19). 2015.gada 31. augustā laikā no 8:00-13:00 faktiskais atmosfēras spiediens svārstījās robežās no 1015,8 līdz 1016 hPa, kas nozīmē, ka korekcijas faktors, kas jāņem vērā koncentrāciju aprēķinos, ir robežās no 0,99705 līdz 0,99724.

Pārreķina koeficienti aukstā perioda mērījumiem:

	04.12.2015	06.12.2015	08.12.2015	09.12.2015	10.12.2015
14:00	1,00516	-	0,98235	-	-
15:00	1,00726	-	0,98264	-	-
16:00	-	-	0,98283	-	-
17:00	-	1,0127	-	-	-
18:00	-	1,01341	-	-	-
19:00	-	-	-	0,99528	0,99656
20:00	-	-	-	0,99519	0,99695

Koncentrāciju noteikšanu var ietekmēt citu gaistošo savienojumu klātbūtne, tā iespējama šādos apstākļos:

- ja benzola koncentrācijas ir ļoti augstas (40 ppm);
- toluola, ksilola un etilbenzola klātbūtnē augšējais slānis iekrāsojas brūnā krāsā.

Nolasot koncentrācijas no indikatorcaurulītes, nepieciešams ievērot:

- nepietiekama apgaismojuma klātbūtnē nolasījums var būt kļūdainis;
- nolasīšanai jāizvēlas gaišs fons;
- nolasot mērījumu, izlietotā indikatorcaurulīte jāsalīdzina ar neizlietotu.

Skala uz indikatorcaurulītes ir skaidri izteikta, un salīdzinot ar “tukšo paraugu”, kļūdainis nolasījums ir mazvarbūtīgs, metodes nenoteiktība tiek vērtēta 30 % robežās.

Paralēli mērījumi, izmantojot references metodi, netika veikti.

Benzola izkliedes aprēķinu rezultāti

Modelēšana veikta divām situācijām: limitētām operatoru emisijām un atbilstoši faktiskām emisijām. Modelēšanas programmā ievadītie emisiju apjomi iegūti valsts statistiskā pārskata par gaisa aizsardzību „Nr.2-Gaiss” uzņēmumu sniegtām atskaitēm par 2014. gadu un datiem par autotransporta vienību skaitu pilsētas ielās (Rīgas Domes Mājokļu un vides departamenta sniegtā informācija). Izkliedes aprēķini veikti regulāra režģa punktos, visiem avotiem izmantots vienāds aprēķinu solis – 50 m.

Veiktā limitēto emisiju izkriežu aprēķina analīze rāda, ka pastāv potenciāls risks, ka Rīgā atsevišķās vietās iespējama būtiska normatīva pārsniegšana, ja uzņēmumi darbotos uz pilnu jaudu un atmosfērā emitētu visas atļaujās iekļautās benzola emisijas (28. attēls). No kartes redzams, ka būtisku ietekmi rada Rīgas Brīvestā izvietotie piesārņojuma avoti, vērā nemama ir arī transporta radītā ietekme.

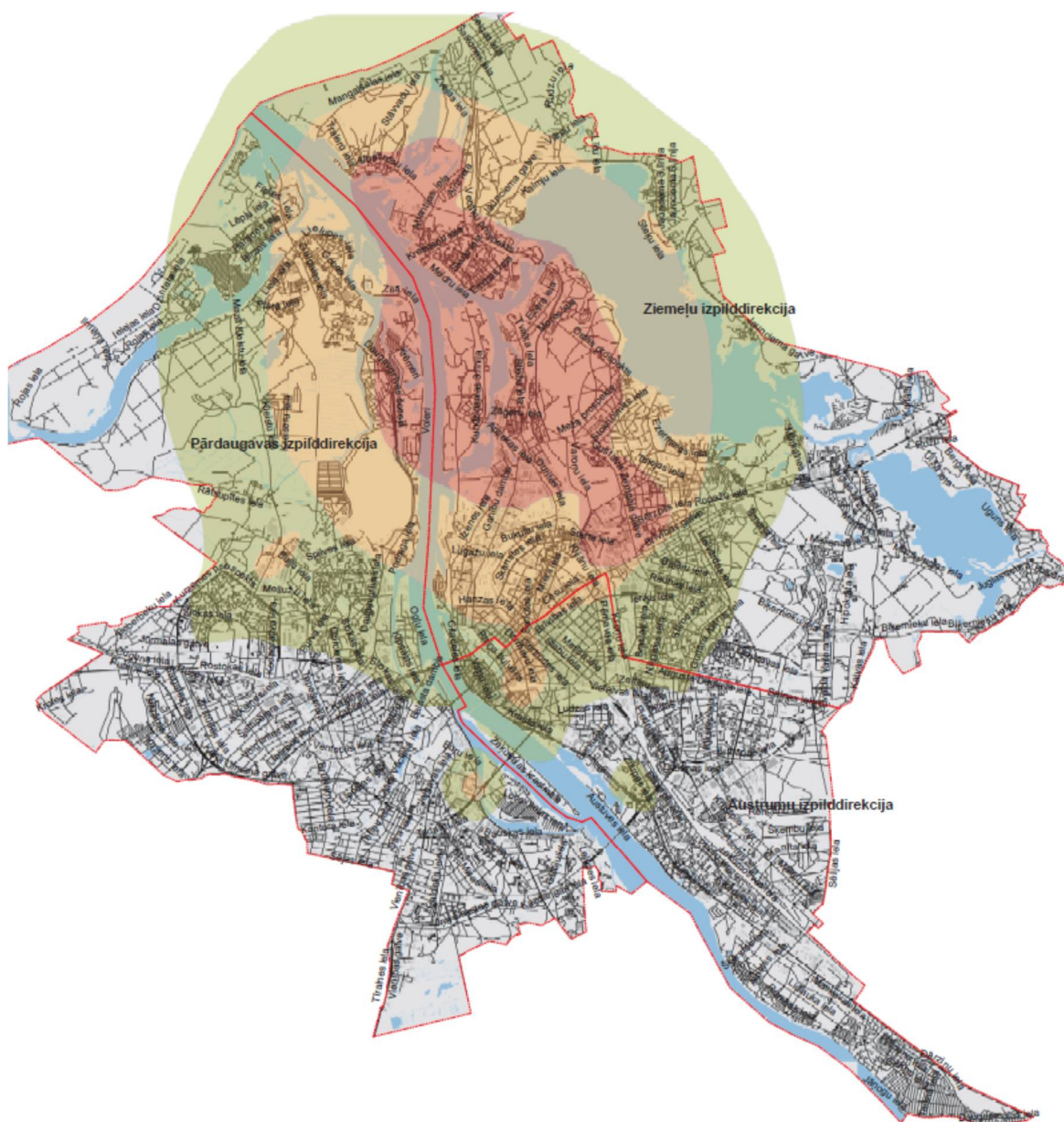
Limitētām benzola emisijām izstrādātas šādas benzola piesārņojuma zonas:

I zona – benzola gada vidējā koncentrācija būtiski pārsniedz pieļaujamo normatīvu un ir lielāka par 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

II zona – benzola gada vidējā koncentrācija pārsniedz pieļaujamo normatīvu, gada vidējā koncentrācija ir robežās no 5 līdz 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

III zona – benzola gada vidējā koncentrācija pārsniedz augšējo novērtēšanas sliekšni, bet gada normatīvs netiek pārsniegts; gada vidējā koncentrācija ir robežās no 3,5 līdz 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

IV zona – benzola gada vidējā koncentrācija ir mazāka augšējo novērtēšanas sliekšni – 3,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



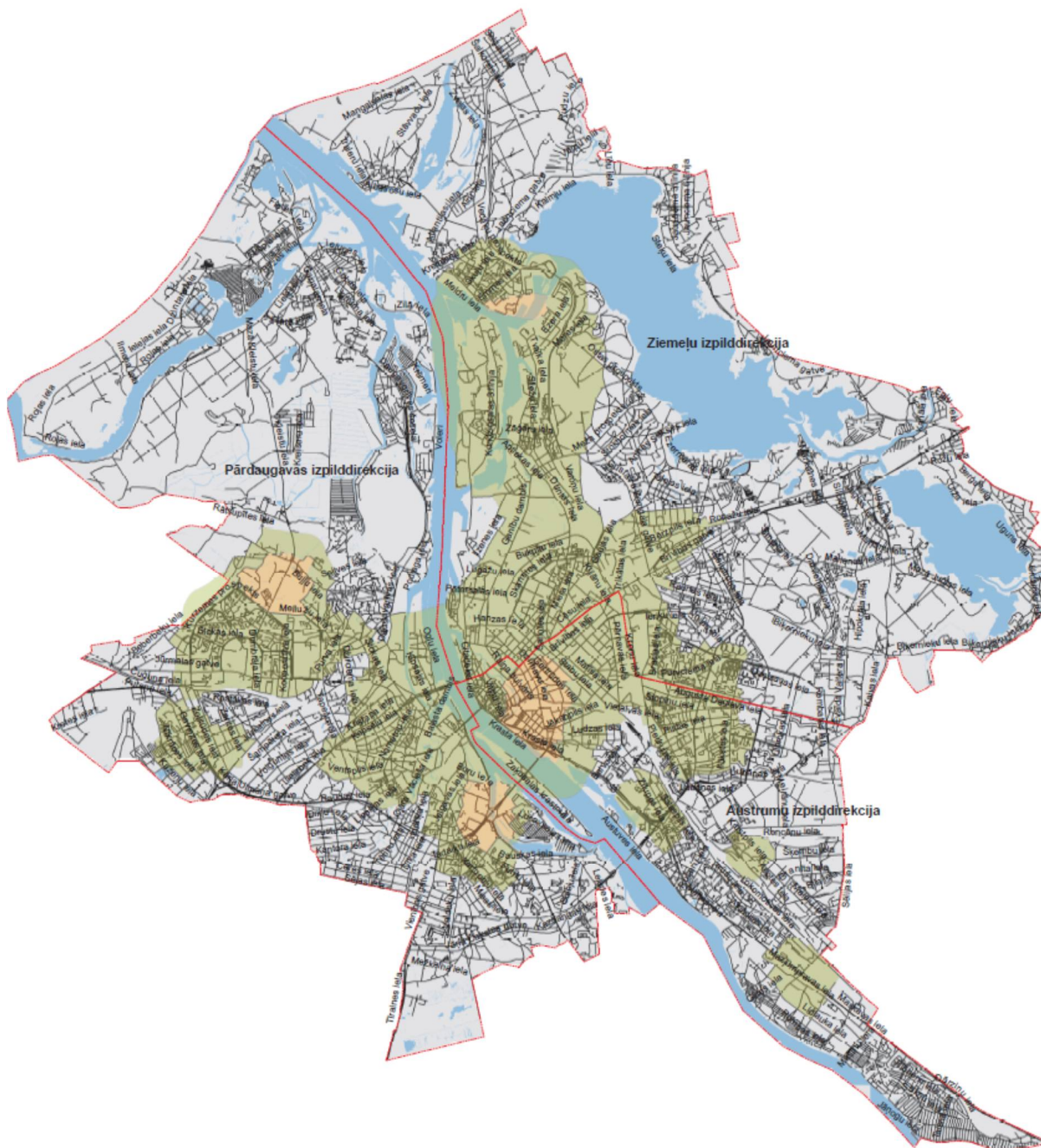
Apzīmējumi

- I zona - benzola koncentrācija lielāka par $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- II zona - benzola koncentrācija ir $5\text{-}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ robežās
- III zona - benzola koncentrācija ir $3,5\text{-}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ robežās
- IV zona (neiekrāsota) - benzola koncentrācija mazāka par $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

28. attēls. Benzola piesārņojuma teritoriālais zonējums Rīgā saskaņā ar limitētajām emisijām

Faktiskām benzola emisijām izstrādātas šādas benzola piesārņojuma zonas:

- I zona** – benzola gada vidējā koncentrācija pārsniedz normatīvu, tā ir virs $5,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- II zona** – benzola gada vidējā koncentrācija ir robežās no $3,5$ līdz $5,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- III zona** – benzola gada vidējā koncentrācija ir robežās no $2,0$ līdz $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- IV zona** – benzola gada vidējā koncentrācija ir mazāka par $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



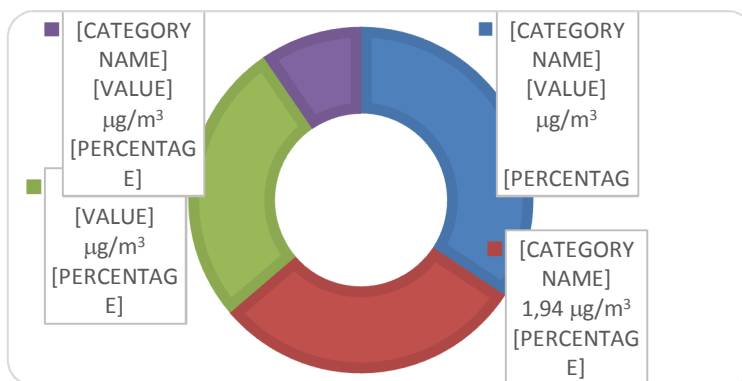
Apzīmējumi

- | | |
|--|--|
| I zona - benzola koncentrācija ir lielāka par 5 µg/m ³ | Administratīvo rajonu robeža |
| II zona - benzola koncentrācija ir 3,5-5 µg/m ³ robežās | Ielas |
| III zona - benzola koncentrācija ir 2-3,5 µg/m ³ robežās | Ūdenstilpnes |
| IV zona (neiekāršota) - benzola koncentrācija mazāka par 2 µg/m ³ | Rīgas pilsētas teritorija |

29.attēls. Benzola piesārņojuma teritoriālais zonējums Rīgā saskaņā ar faktiskajām emisijām

Veiktā faktisko emisiju izkliežu aprēķina analīze rāda, ka transports, jo īpaši sastrēgumi, ir būtisks benzola piesārņojuma avots; atsevišķās augstākas piesārņojuma zonas Brīvostas tuvumā saistītas ar saimnieciskām aktivitātēm tās teritorijā (29.attēls).

Pirms izklīdes aprēķinu veikšanas, piesārņojuma avoti iedalīti grupās, lai izvērtētu atsevišķu avotu ietekmes īpatsvaru. Izklīdes aprēķinu programmā ievadīto emisijas avotu raksturojums (Excel faila formā) dots G. Pielikumā, emisiju avotu ietekmes īpatsvars kopējā piesārņojuma līmenī redzams 30. attēlā zemāk, izklīdes aprēķinu programmā ievadīto emisiju daudzumi avotu grupās – 5. tabulā.



30. attēls. Benzola gada vidējo koncentrāciju attēlojums emisijas avotu grupās

5.tabula

Nr.	Avotu grupa	Izklīdes aprēķinu programmā ievadītie emisiju daudzumi, t/gadā
1	Transports	30,746
2	Rūpniecība	36,904
3	DUS	55,725

Viens no veidiem kā pārbaudīt modelēšanas ceļā iegūtos rezultātus, ir tos salīdzināt ar monitoringa staciju sniegto informāciju (6.tabula). Salīdzinājums veikts izmantojot 2014. gada vidējās benzola koncentrācijas un iegūtos modelēšanas rezultātus pēc 2014. gada faktiskajām benzola emisijām gaisā.

6.tabula

Stacija	Mērījumu rezultāti, µg/m ³	ApNS, µg/m ³	AuNS, µg/m ³	Modelēšanas rezultāti, µg/m ³
Tvaika	3,9	1,95	5,85	2,35
Brīvības	3,48	1,74	5,22	3,79
Ķengarags	3,31	1,66	4,97	1,96

ApNS – apakšējā novērtējuma robeža, noteikta izmantojot 50 % nenoteiktības kritēriju;
 AuNS – augšējā novērtējuma robeža, noteikta izmantojot 50 % nenoteiktības kritēriju.

Kā redzams no 5.tabulā sniegtās informācijas, izklīdes modeļa veiktie aprēķini atbilst normatīvajos aktos noteiktajam 50 % nenoteiktības kritērijam.

5. Izmantoto normatīvo aktu un informatīvo materiālu saraksts

1. Bahadar, H., Mostafalou, S., Abdollahi, M., 2014. Current understandings and perspectives on non-cancer health effects of benzene: A global concern. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 273: 83-94.
2. Benzene, 1982. In: Some industrial chemicals and dyestuffs. Lyon, International Agency for Research on Cancer, pp. 93–148 (IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Vol. 29).
3. Benzene. Geneva, World Health Organization, 1993. (Environmental Health Criteria, No. 150).
4. Eiropas Parlamenta un Padomes 2003.gada 3.marta Direktīva 2003/17/EK Atsauce tekstā: **Direktīva 2003/17/EK**.
5. Hughes, K., Meek, M.E., Bartlett, S., 1994. Benzene: Evaluation of risks to health from environmental exposure in Canada. *Environmental carcinogenesis and ecotoxicology reviews*, C12: 161–171.
6. Ministru Kabineta noteikumi Nr. 332-26.09.2000. Noteikumi par benzīna un dīzeļdegvielas atbilstības novērtēšanu. Atsauce tekstā: **MK 332**.
7. Ministru Kabineta noteikumi Nr. 1290-03.11.2009. Noteikumi par gaisa kvalitāti. Atsauce tekstā: **MK 1290**.
8. Paci, E., Buiatti, E., Seniori Costantini, A.S., Miligi, L., Pucci, N., Scarpelli, A., Petrioli, G., Simonato, L., Winkelmann, R., Kaldor, J.M., Aplastic anemia, leukemia and other cancer mortality in a cohort of shoe workers exposed to benzene, 1989. *Scandinavian journal of work and environmental health*, 15: 313–318.
9. Toxicological profile for benzene, 1993. Atlanta, GA, US Department of Health and Human Services.
10. Valsts statistiskais pārskats par gaisa aizsardzību „Nr.2-Gaiss”.
11. Wallace, L.A., 1989. Major sources of benzene exposure. *Environmental health perspectives*, 82: 165–169.
12. WHO, 2000. Air quality guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series, No. 91.

A. PIELIKUMS - Tēžu kopsavilkums zinātniskai konferencī

Tēžu kopsavilkums [I. Steinberga, J. Bikse Jr., J. Kleperis, J. Bikse. **Application of dispersion models for development of atmospheric pollution management zones in Riga agglomeration**] (pieņemts, dalība konferencē apstiprināta) zinātniskai konferencī “*17th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*”, kura norisināsies 2016.gada 9.-12. maijā Budapeštā, Ungārijā.

2/1/2016

LU e-pasts :: HARMO 17 Budapest: Notification of acceptance

Temats **HARMO 17 Budapest: Notification of acceptance**
No Ferenczi Zita <ferenczi.z@met.hu>
Kam iveta.steinberga <iveta.steinberga@lu.lv>
Datums 2016-01-06 16:41



- Template_extended_abstract_Harmo17.doc (~44 kB)

Dear Iveta Steinberga,

on behalf of the Organizing Committee of the 17th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, I am pleased to inform you that your paper has been accepted for **poster presentation** at the session: *Environmental impact assessment: Air pollution management and decision support systems*.

Author(s): I. Steinberga, J. Bikse Jr., J. Kleperis, J. Bikse

Title: Application of dispersion models for development of atmospheric pollution management zones in Riga agglomeration

The reference number of your abstract is: **H17-177**

We would like to remind you to send the extended version of your paper in electronic format by

March 21, 2016

at the latest. The extended abstract is required to be submitted in MS-Word format and should not contain more than 5 pages. Please see as well the layout guidelines attached. The extended abstracts should be sent via e-mail to **harmo17@met.hu**

All extended versions of papers submitted will be issued in the electronic Conference Proceedings, which will be available at the conference on USB stick.

As soon as the scientific programme is defined, we will provide you with all the information concerning the date and time of your presentation as well as the name of the lecture hall.

Please check the website of the conference regularly for announcements, updated content, and important deadlines (harmo17.org).

Thank you again for your interest in HARMO'17. We look forward to seeing you at Budapest.

László Bozó

On behalf of the Local Organisers

B. PIELIKUMS - Stenda ziņojums RTU zinātniskā konferencē 2015.gada oktobrī.



Application of dispersion models for development of atmospheric pollution management zones in Riga agglomeration

I. Šteinberga¹, J. Bikše Jr.¹, J. Kleperis^{2,3}, and J. Bikše⁴

¹Faculty of Geography and Earth Sciences, University of Latvia, Riga, Latvia

²Institute of Solid State Physics, University of Latvia, Riga, Latvia

³Housing and Environment Department, Riga City Council, Riga, Latvia.

⁴Faculty of Engineering, Vidzeme University of Applied Sciences, Valmiera, Latvia
jveta.steinberga@du.lv; +37126467809

Background

- Almost in all European countries air quality models are used for regulatory purposes - issuing emission permits, cases studies for environmental impact assessment, analysis of future development and planning.
- Directive 2008/50/EC (into force from 11 June 2008) regulate that air quality status should be maintained where it is good and improved if necessary.
- Riga municipality has monitored air pollution in Riga and nearby areas for more than 10 years and results showed necessity to regulate pollution, particular nitrogen dioxide (NO₂) and particulate matter (PM₁₀) because of too high concentration.
- Air dispersion model was applied to develop atmospheric pollution management zones for NO₂ and PM₁₀; This was 4th time when NO₂ zoning is applied for Riga (previously in years 2004, 2007, 2010), but first time for PM₁₀ and benzene.
- One of the actions showing roadmap for air quality improvement consist of revision of emission data and sources data base, and further modelling in order to identify hot spots for further actions.

Methodology

In this study:

- Meteorological pre-processors for data quality control and preparation are used (data matrix 2013; 5 year data statistics);
- Annual emission permits and reports for 2013-2014;
- Video-counting traffic data for daily profiles;
- Traffic statistics from Road Traffic Safety Directorate and further calculations according EURO car classes depending on fuel, engine, driving speed, etc.;
- Benzene field measurements were done by Dräger indicator tubes;
- Gaussian plume dispersion model (commercial names – EnviMan, AERMOD) is used.

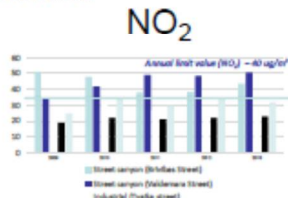


Figure 2. NO₂ annual concentrations, µg/m³

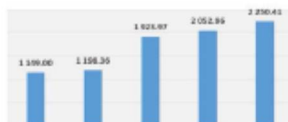


Figure 4. Variations of NO₂ emissions, t/year



Figure 7. NO₂ modelling results, annual concentrations, µg/m³

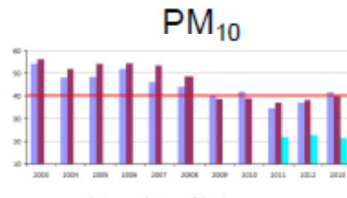


Figure 2. PM₁₀ annual concentrations, µg/m³

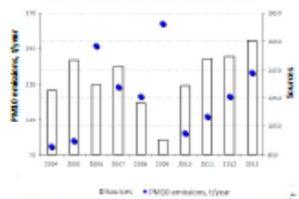


Figure 5. Variations of PM₁₀ stationary sources and emissions

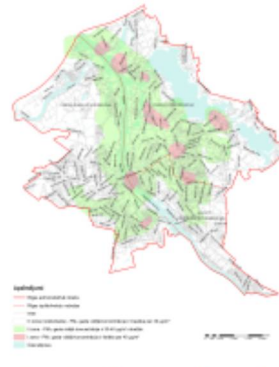


Figure 8. PM₁₀ modelling results, annual concentrations, µg/m³



Figure 3. Variations of benzene annual emissions and volatile organic compound point sources

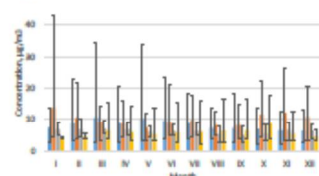


Figure 6. Monthly variations of benzene concentrations, 2004-2013

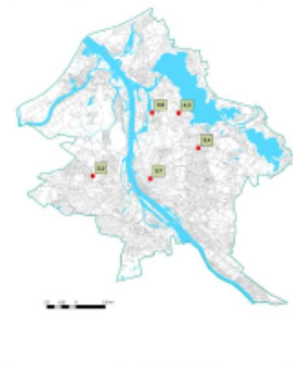


Figure 9. Benzene concentrations (µg/m³) during field measurements in 2015

Conclusions

- Dispersion model is very usable for modeling of zonation of atmospheric pollutants and zoning for NO₂ and PM₁₀ has been accomplished;
- Model for benzene zonation is suggested because of elevated concentrations in Riga air. Field measurements confirm widely spread concentration variations between different parts of Riga;
- NO₂ pollution in city centre closely correlate with traffic flow and future actions for improvement are necessary
- Modelling results showed highest concentrations of PM₁₀ in relation to traffic impact and in Riga Sea Port territory where activities are conducted to coal handling and processing.
- According to traffic source analysis 30-40 % of PM₁₀ coming from re-suspension processes, 1-2 % from abrasion processes and left as exhaust aerosols.
- Analysis of longterm benzene monitoring data and reporting data on source activity show dominance and massive impact of oil processing and handling companies.

C. **PIELIKUMS - publikācija starptautiskam zinātniskam žurnālam “Atmospheric Pollution Research” (sagatavota un iesniegta).**

Application of dispersion model for development of atmospheric pollution management zones in Riga agglomeration

Iveta Steinberga¹, Janis Bikše Jr¹, Janis Kleperis^{2,3}, and Janis Bikše⁴

¹Faculty of Geography and Earth Sciences, University of Latvia, Riga, Latvia

²Institute of Solid State Physics, University of Latvia, Riga, Latvia

³Housing and Environment Department, Riga City Council, Riga, Latvia

⁴Faculty of Engineering, Vidzeme University of Applied Sciences, Valmiera, Latvia

Abstract

Almost in all European countries air quality models are used for regulatory purposes - issuing emission permits, case studies for environmental impact assessment, analysis of future development and planning. Directive 2008/50/EC (into force from 11 June 2008) regulate that air quality status should be maintained where it is good and improved if necessary. Riga municipality has monitored air pollution in Riga and nearby areas for more than 10 years, and results showed necessity to regulate pollution, particular nitrogen dioxide (NO₂) and particulate matter (PM₁₀) because of too high concentration. Besides air pollution of NO₂ and PM₁₀ there are another substance of high concern – benzene (C₆H₆); while at background and traffic monitoring stations pollution levels are satisfactory (under the limit value), at industrial levels detected pollution exceeds limit values even for 2 times. This paper describes elaboration of benzene pollution zones in Riga agglomeration.

Keywords: air quality management; urban air pollution control; modelling; benzene; monitoring

1. Introduction

There are a group of agents (e.g. asbestos, benzene and ionizing radiation) according to IARC (International Agency for Research on Cancer) classified as highly carcinogens (included in Group 1: "Carcinogenic to humans" - there is enough evidence to conclude that it can cause cancer in humans). Cancer risk estimation for benzene for lifetime exposure to a concentration of 1 µg/m³ is estimated to 6×10⁻⁶ for leukaemia, more over benzene is so called “no-threshold compound” (World Health Organization (WHO), 2000). Health risks of benzene could be estimated from carcinogenic and non-carcinogenic point of view. Non-cancerous health effects are associated with: (1) haematological effects – aplastic anaemia, leukaemia (Bahadar et al., 2014); (2) immunological effects – chromosomal damage, oxidative stress and DNA strand break (Smith, 2010); (3) reproductive and development effects – male fertility problems, spermatic DNA damage, menstrual disorder, adverse effect on the intrauterine foetal growth (Huang, 1991; Katukam et al., 2012; Parker et al., 2005; Song et al., 2005; Yin et al., 1987; Xing et al., 2010); (4) central nervous system effects – neurological abnormalities in the form of atrophy of lower extremities, neuropathy of upper extremities (Baslo and Aksoy, 1982), Alzheimer`s disease (Kanada et al., 1994; Moulton and Yang, 2012), cognitive effects, motor and behavioral changes (Lo Pumo et al., 2006); (5) respiratory effects from damage of respiratory organs to fatal outcome (Avis and Hutton, 1993; Weaver et al., 2007); (6) endocrine effects e.g. decreasing of thyroid stimulating hormone TSH (Uzma et al., 2008; Verma and Rana, 2009); (7) effect on glucose homeostasis (Khan and Yusufi, 2009); (8) cardiovascular effects causing chronic diseases e.g. hypertension (Wiwanitkit, 2007); (9) effects on liver functionality, e.g. on liver enzymes (Perez et al., 2006); (10) renal effects – oliguria, azotaemia (Roy et al., 2008). Dietary, inhalation and dermal contact of benzene may cause incidences of human lung, skin and bladder cancers (Boström et al., 2002).

Benzene in air exists mainly in vapour phase, with residence times varying between a few hours and a few days, depending on environment, the climate and the concentrations of other pollutants. Reaction with hydroxyl radicals is the most important means of degradation. It can also be removed from air by rain.

Benzene is a natural component of crude oil, and petrol contains 1–5% by volume. Benzene is produced in large quantities from petroleum sources and is used for the chemical synthesis of ethyl benzene, phenol, cyclohexane and other substituted aromatic hydrocarbons (European Commission, 1993). Benzene is a chemical that is both anthropogenically produced (exhaust from motor vehicles; handling of gasoline, tobacco smoke, wood smoke; and from industrial emissions) and naturally occurring (e.g., in forest fires and volcanic emissions). The major source is exhaust emissions and evaporation losses from motor vehicles, and evaporation losses during the handling, distribution and storage of petrol.

2. Material and methods

2.1. Description of study site

The Riga city (capital of Latvia) is located in Northeast Europe close to Baltic Sea Gulf. This is mostly economically developed centre in Latvia. About 31-76 % of total country benzene emissions comes from sources located in Riga, and for last 5 years Riga became more and more substantial pollution source (see Figure 1). Benzene long-term measurements were taken at three typologically different sites in order to identify pollution at industrial, traffic and background level. Totally data from seven monitoring stations were analysed for long term assessment; more detailed description of these sites were given in section 3.1. Additionally in 2015 Dräger indicator tubes were used for indicative measurements, 10 measurements at 5 sites were taken in total.

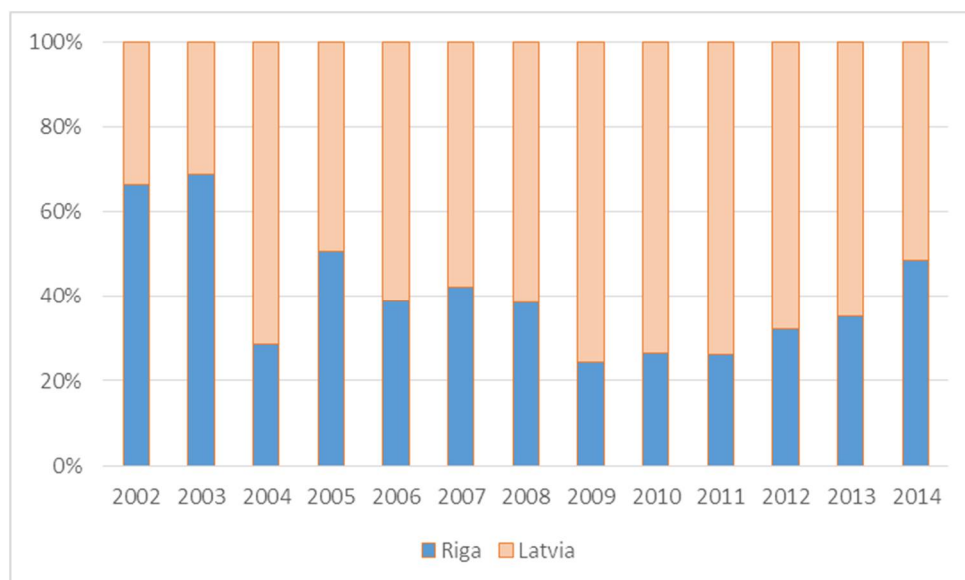


Figure 1. Variability of benzene pollution sources in Riga at national background

Riga is located in a temperate climate zone and weather conditions are determined by the Atlantic air masses, the Baltic Sea and the Riga Sea Gulf stretching deep into the country. The temperature during the year typically varies from -7°C to 24°C, occurrence of precipitation closely correlate to season – most likely precipitations is observed in January nor in May. The most common forms of precipitation are light rain, moderate snow, light snow, and thunderstorms. The relative humidity typically ranges from 45% (comfortable) to 97% (very humid), rarely dropping below 28% (dry). Typical wind speeds vary from 0 m/s to 6 m/s (calm to moderate breeze), rarely exceeding 9 m/s (fresh breeze). The wind is most often out of the south (24% of the time), south west (13% of the time), north (12% of the time), and south east (11% of the time).

2.2. Emission estimation

Data of industrial point and area source were obtained from emission inventory data base what is the official data repository, which is used for environment tax payment for 2014. Totally 328 stationary sources were included in emission data base.

Benzene source structure analysis show very strong increasing tendency of volatile organic compound sources during the last three years (see Figure 2) what is mainly connected to Riga Sea Port development.

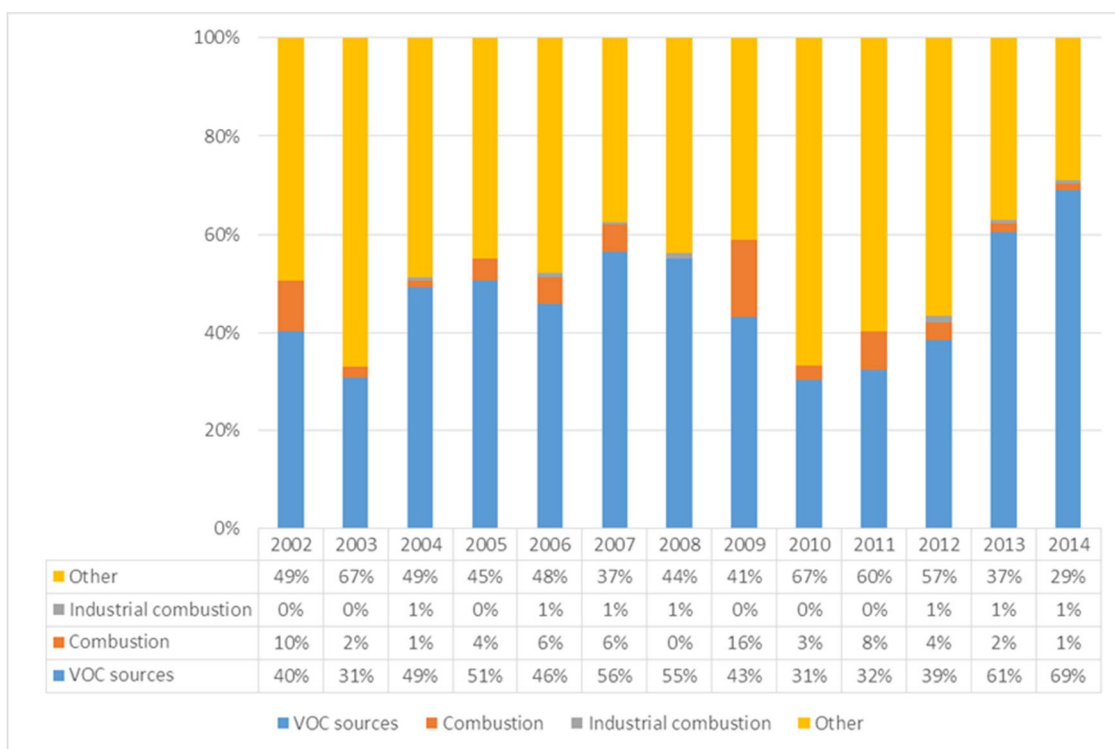


Figure 2. Benzene source structure in Riga

Additionally to stationary sources estimation of benzene emissions from vehicles were calculated based on traffic flow intensity and description (age distribution according to technological classification). Emissions were calculated according to EMEP/Corinair methodology (EMEP, 2013), following emission factors were used to calculate non-methane volatile organic compounds (NMVOC):

- for gasoline passenger cars – 0.530 g/km (PC Euro 1 – 91/441 EEC), 0.251 g/km (PC Euro 2 – 94/12/EEC), 0.119 g/km (PC Euro 3 – 98/69/EC I), 0.065 g/km (PC Euro 4 – 98/69/EC II and PC Euro 5 – EC715/2007);
- for diesel passenger cars – 0.047 g/km (PC Euro 1 – 91/441 EEC), 0.035 g/km (PC Euro 2 – 94/12/EEC), 0.02 g/km (PC Euro 3 – 98/69/EC I), 0.014 g/km (PC Euro 4 – 98/69/EC II), 0.008 g/km (PC Euro 5 – EC715/2007);
- for diesel heavy duty vehicles – 0.207 g/km.

According to methodology (EMEP, 2013) emissions of benzene should be calculated as a fraction of NMVOC, for gasoline vehicles 5.61 %, but for diesel vehicles – 1.98 % of benzene fraction is suggested.

Distribution of vehicles across Euro classes were done according to Road Traffic Safety Directorate annual statistics – heavy vehicles: light vehicles – 10% : 90%. Distribution of light vehicles depending of using fuel – gasoline: diesel – 57% : 43%. Distribution in classes is given in Figure 3.

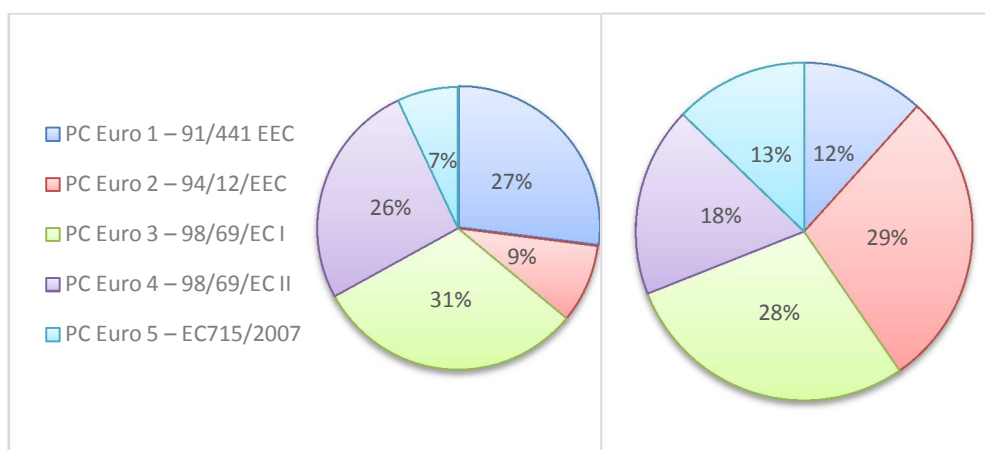


Figure 3. Distribution of gasoline (left side) and diesel passenger cars
Totally 180 street segments were estimated covering 387 km.

2.3. Meteorological data pre-processing

All necessary ground level meteorological data (air temperature at 2 m height, wind speed and wind direction at 10 m height, global radiation at 2 m height) from Riga meteorological station (N 56.9506; E 24.1161) was obtained for meteorological inputs for AERMET data pre-processor what was used to calculate boundary layer parameters, such as the Monin-Obukhov length, convective velocity scale, temperature scale, mixing height, and surface heat flux.

3. Monitoring results

3.1. Monitoring network

Monitoring of benzene at background, industrial and traffic sites started already at 2004. Benzene has been measured by an automated differential optical absorption spectroscopy (DOAS). Unlike the other methods, which are point measurements, DOAS measures over a distance and detects the mean concentration in the air. Description of monitoring sites is given in Table 1, location – Figure 4.

Table 1.

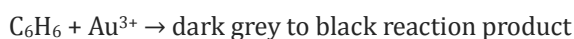
Description of monitoring sites

Number on the map	Site Name	Coordinates	Monitoring period	Measurement method	Monitoring site type
1	Brīvības	E 507645.5766 N 312820.4334	2004-2014	DOAS	Traffic
2	Kengarags	E 509740.0543 N 310018.6311	2009-2014	DOAS	Background
5	BLB	N 507923.1880 E 320513.2752	2005-2012	DOAS	Industrial
4	ManTess	N 507229.6380 E 317869.6997	2004-2012	DOAS	Industrial
5	Tvaika	N 506995.0426 E 317864.0945	2004-2013	DOAS	Industrial
6	Imanta	N 502206.6394 E 312688.9616	2015	Indicator tubes	Traffic

7	Centre	N 507132.1754 E 312384.5175	2015	Indicator tubes	Traffic
8	Teika	N 511270.1600 E 314953.5606	2015	Indicator tubes	Traffic
9	ZOO	N 509429.6920 E 317879.3192	2015	Indicator tubes	Background
10	Brivosta	N 507282.7401 E 318061.0000	2015	Indicator tubes	Industrial

DOAS devices measuring benzene continuously, hourly and 30-minutes measurements were used for trend analysis. Indicative measurements with Drager indicator tubes (0,25/a, 8103691) were approved for low benzene concentration detection, measurements were done for 1 hour in different meteorological conditions – during warm season (August 31, 2015; air temperature above 20° C, calm, clear sky, sunny) and during cold season (December 4-10, 2015; air temperature about 0° C, windy 5-8 m/s, light precipitation).

Principle of reaction for benzene determination is following:



Recommended temperature for measurements varies from 0° C to 40° C; additionally pressure correction factor (F) was calculated according to manufacturer suggestions by following equation:

$$F = \frac{1013\text{hPa}}{F_{\text{act}}}, \text{ where}$$

F_{act} – actual atmospheric pressure, hPa.

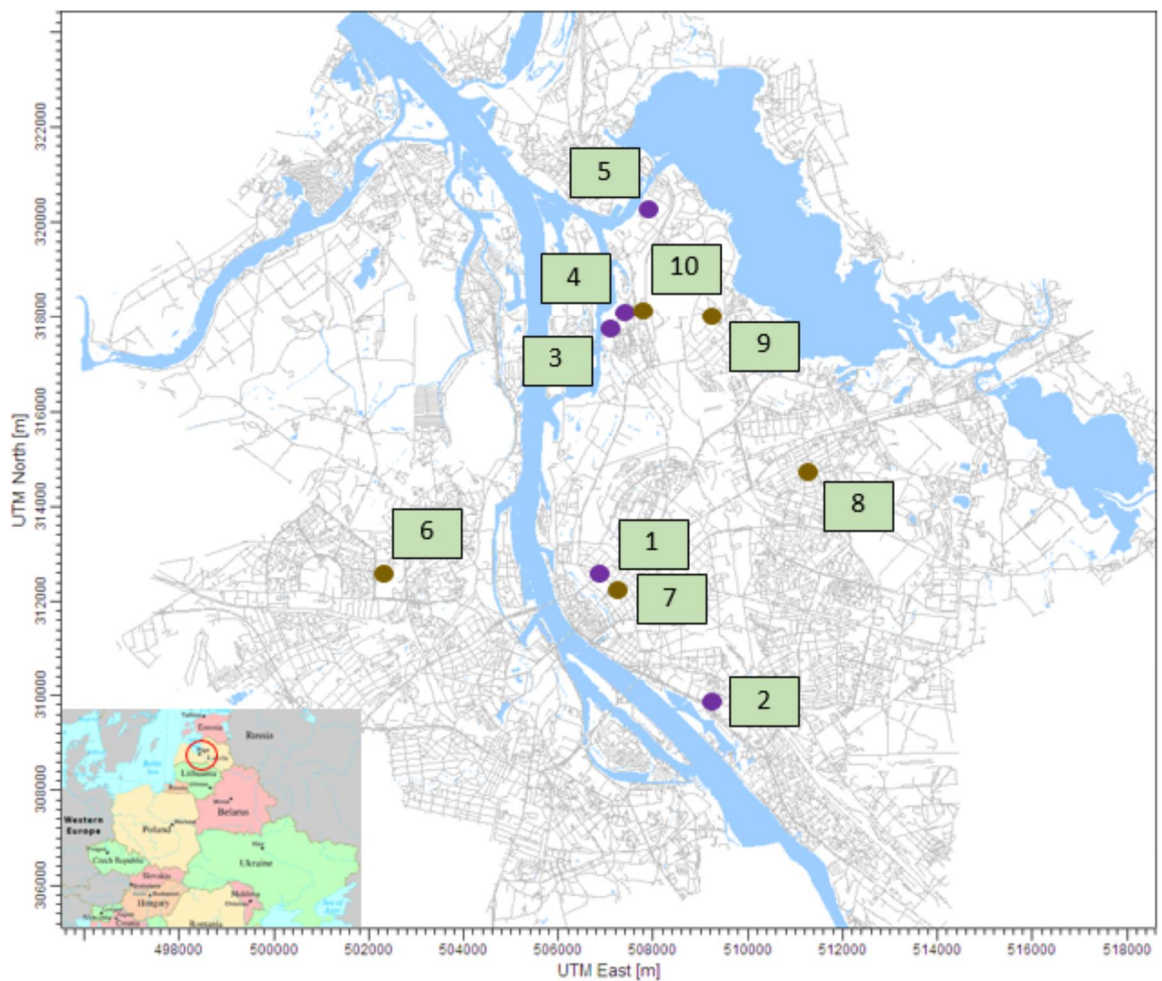


Figure 4. Location of monitoring sites

3.2. Long term monitoring results

Trend analysis of long term monitoring results show different tendencies: (1) in industrial sites tendency is growing (in 2 cases) and also decreasing (in 1 case); (2) at background level sites benzene concentrations show very strong tendency to decrease; (3) at traffic sites tendency is decreasing (1 site) and stays at the same level (1 site). While at background and traffic sites benzene pollution level could be assumed as satisfactory (under limit value – 5 ug/m^3), at industrial sites pollution is exceptionally high and limit value is exceeded more than twice. Some of monitoring results are given in Figure 5.

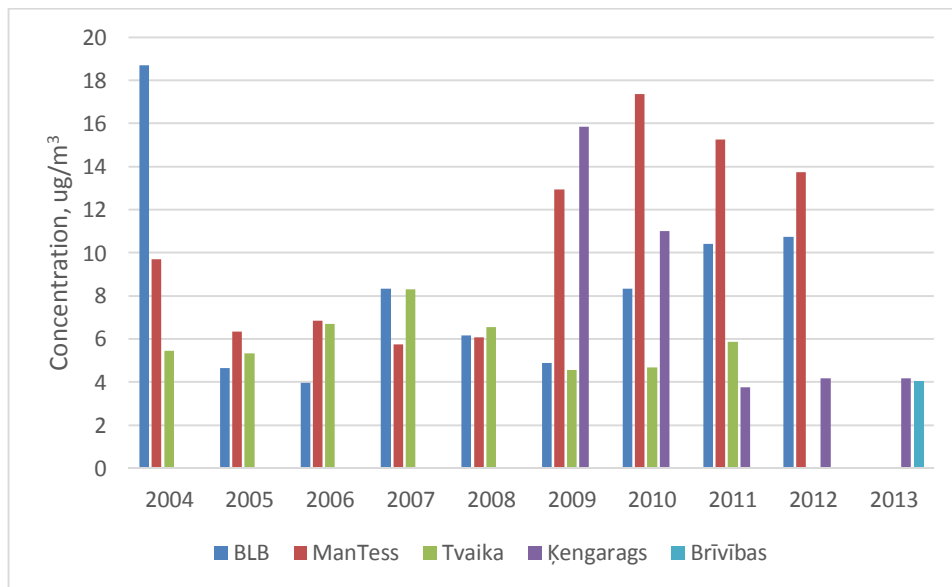


Figure 5. Long-term monitoring results in monitoring stations.

Depending on monitoring site benzene concentration distribution varies very much. While at background level concentrations over 10 ug/m³ didn't recognized at all, then some cases of high concentrations were met in traffic site, but in industrial stations occurrence of high pollution episodes show growing tendency. Some of monitoring results are given in Figure 6.

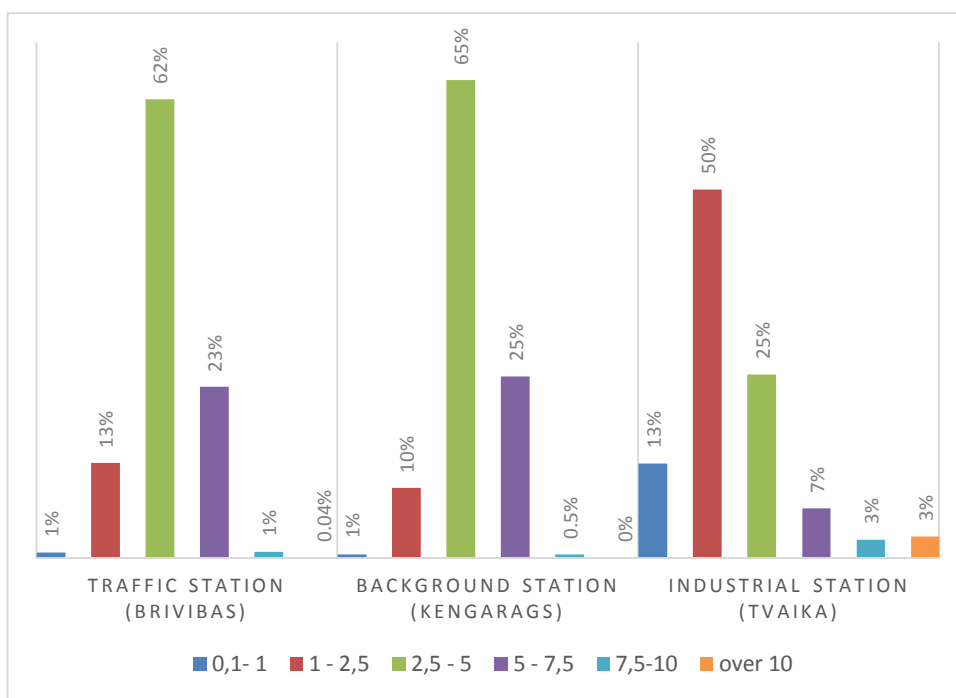


Figure 6. Benzene concentration distribution in different monitoring sites

3.3. Indicative monitoring results

Indicative measurements show lowest benzene concentrations in city centre what is mainly explained by very low traffic flow during warm season and strong wind conditions during cold measurement campaign. The highest pollution episode recognized close to Riga Sea Port, reaching 7.6 ug/m³. All results are given in Table 2.

Indicative monitoring results

No.	Site	Warm period		Cold period	
		Date, time	Concentration, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Date, time	Concentration, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1	Centre	31.08.2015, 8:00-9:00	3,7	4.12.2015, 14:00-15:00	2,2
2	Teika	31.08.2015, 9:00-10:00	5,4	8.12.2015, 14:20-15:35	6,5
3	ZOO	31.08.2015, 10:00-11:00	4,3	10.12.2015, 19:00-20:15	5,4
4	Brīvosta	31.08.2015, 11:00-12:00	3,8	09.12.2015, 18:05-19:05	7,6
5	Imanta	31.08.2015, 12:00-13:00	2,2	6.12.2015, 17:05-18:05	5,2

4. Simulation results

Benzene spatial distribution was modelled for strictly defined pollution zones which are associated with limit values, lower and upper assessment levels. Maps of benzene pollution were elaborated for following pollution zones:

- I zone – benzene annual concentration exceeds limit value $5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- II zone – benzene annual concentration varies between 3.5 and $5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- III zone – benzene annual concentration varies between 2.0 and $3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- IV zone – benzene annual concentration is less than $2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

According to EK regulations and local legislation rules particular zones could be associated with further development plans, while in high pollution zone any additional pollution sources are prohibited, in less polluted zones (e.g. $2.0 - 3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) there is strong need for further monitoring in order to inform habitats and air quality managers about air pollution condition. Map of benzene pollution zones were given in Figure 7.

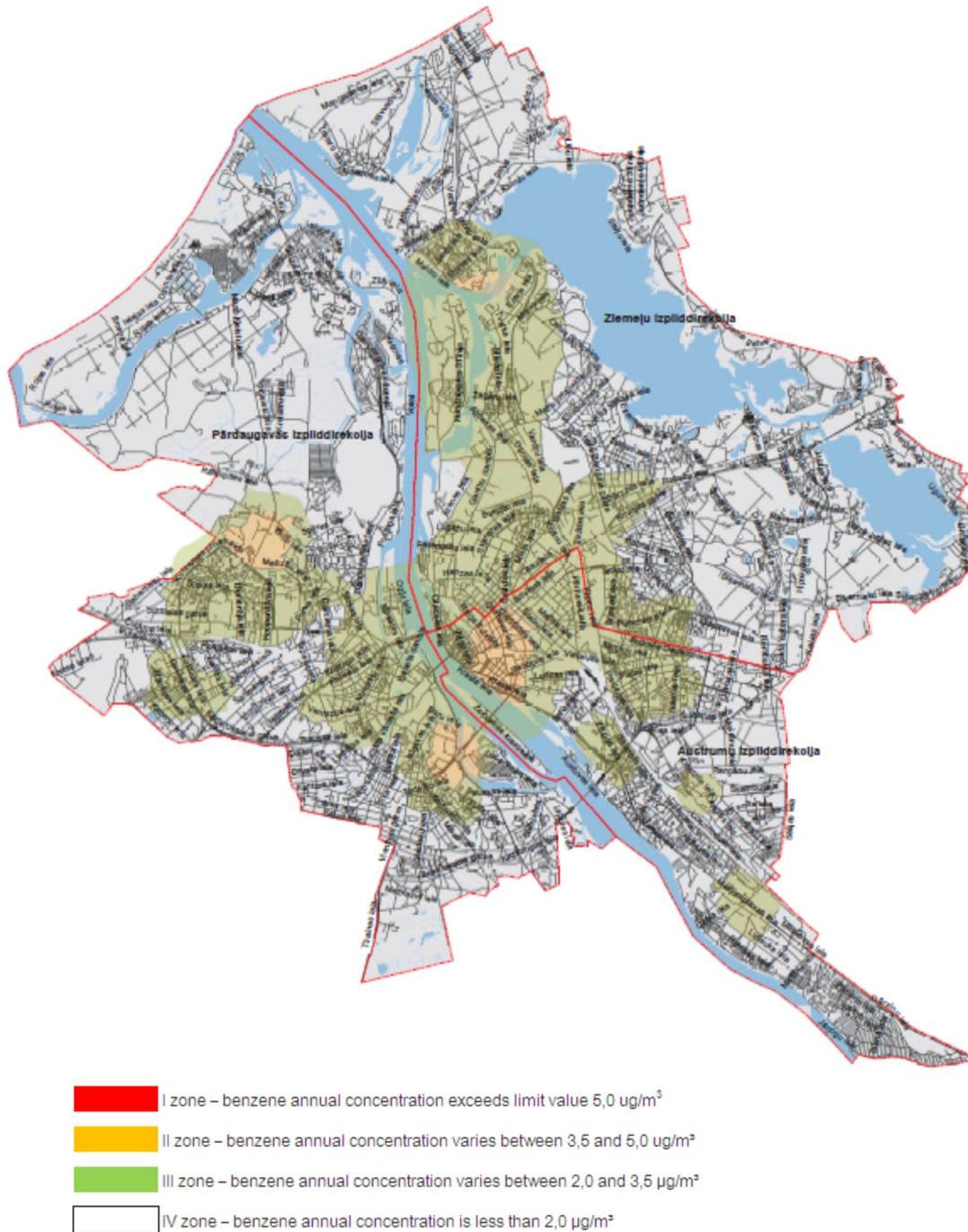


Figure 7. Benzene pollution zones.

According to modelling results, benzene pollution zones are very closely connected to city traffic, traffic jams and Riga Sea Port activities. Source-receptor modelling of benzene shows how important is source geometry and working regime; while in 2014 69 % of benzene emissions come from industry including volatile organic compound sources only 29 % of benzene concentrations at receptor level gives this type of source. As most significant source in case of benzene pollution within all city is traffic (see Figure 8).

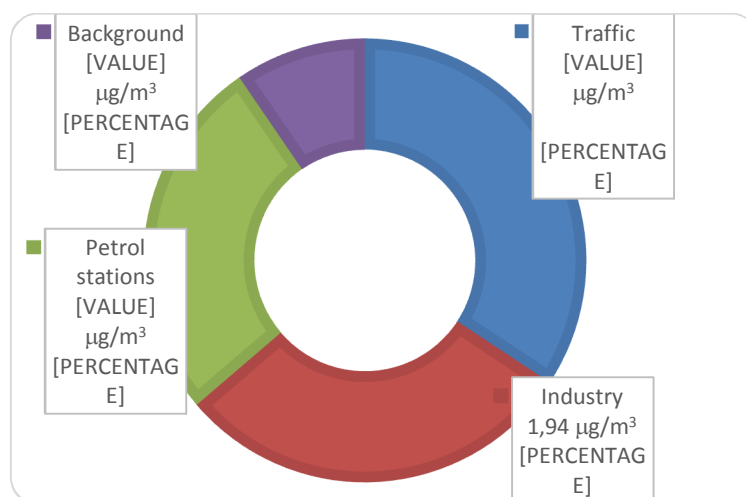


Figure 8. Benzene source pollution zones.

In addition, in order to evaluate modelling results, these results were checked according to data quality objective criteria what is set to 50 %. This quality procedure were successfully performed for 3 points, results are given in Table 3.

Table 3

Check Point	Monitoring results, ug/m ³	Lower assessment level, ug/m ³	Upper assessment level, ug/m ³	Modelling results, ug/m ³
Tvaika iela	3,9	1,95	5,85	2,35
Brīvības iela	3,48	1,74	5,22	3,79
Ķengarags	3,31	1,66	4,97	1,96

5. Final comments

- (1) Main benzene pollution sources in Riga are traffic and volatile organic compound sources located in Riga Freeport territory.
- (2) Growing tendency of volatile organic sources could rise benzene pollution level in Riga central and North part, but connection between number of sources, emissions and ground level concentrations is quite complex. While in 2014 69 % of benzene emissions come from industry including volatile organic compound sources only 29 % of benzene concentrations at receptor level give this type of source.
- (3) Modelling results of benzene shows evidences of further monitoring necessity in city centre and other territories where benzene pollution levels varies between 3,5 ug/m³ – 5 ug/m³;
- (4) Analysis of long term benzene measurements shows growing presence of very high pollution episodes in industrial sites, what is determined by source activity.

Acknowledgements

This work was supported by Riga City Council.

References

- Avis, S.P., Hutton, C.J., 1993. Acute benzene poisoning: a report of three fatalities. *Journal of Forensic Sciences* 38, 599–602.
- Bahadar, H., Mostafalou, S., Abdollahi, M., 2014. Current understanding and perspectives on non-cancer health effects of benzene: A global concern. *Toxicology and Applied Pharmacology* 276, 83-94.
- Baslo, A., Aksoy, M., 1982. Neurological abnormalities in chronic benzene poisoning. A study of six patients with aplastic anemia and two with preleukaemia. *Environmental Research* 27, 457–465.

Boström, C.E., Gerde, P., Hanberg, A., Jernström, B., Johansson, C., 2002. Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air. *Environmental Health Perspectives* 110 (3), 451–488.

EUROPEAN COMMISSION. Environmental Chemicals Data Information Network (Ecdin) (<http://ulisse.etoit.eudra.org/Ecdin/Ecdin.html>). Ispra, Italy, Joint Research Centre, 1993.

Huang, X.Y., 1991. Influence on benzene and toluene to reproductive function of female workers in leathershoe-making industry. *Chinese journal of preventive medicine* 25, 89–91.

Kanada, M., Miyagawa, M., Sato, M., Hasegawa, H., Honma, T., 1994. Neurochemical profile of effects of 28 neurotoxic chemicals on the central nervous system in rats (1). Effects of oral administration on brain contents of biogenic amines and metabolites. *Industrial Health* 32, 145–164.

Katukam, V., Kulakarni, M., Syed, R., Alharbi, K., Naik, J., 2012. Effect of benzene exposure on fertility of male workers employed in bulk drug industries. *Genetic Testing and Molecular Biomarkers* 16, 592–597.

Khan, S., Yusufi, A., 2009. Effect of benzene on the enzymes of carbohydrate metabolism, brush border membrane (BBM) and oxidative stress in kidney and other rat tissues. *Biology and Medicine* 1, 28–41.

Lo Pumo, R., Bellia, M., Nicosia, A., Micale, V., Drago, F., 2006. Long-lasting neurotoxicity of prenatal benzene acute exposure in rats. *Toxicology* 223, 227–234.

Moulton, P.V., Yang, W., 2012. Air pollution, oxidative stress, and Alzheimer's disease. *Journal of Environmental and Public Health* 2012, 472751.

Parker, J.D., Woodruff, T.J., Basu, R., Schoendorf, K.C., 2005. Air pollution and birth weight among term infants in California. *Pediatrics* 115, 121–128.

Perez, C.A., Bosia, J.D., Cantore, M.S., Chiera, A., Cocozzella, D.R., Adrover, R.E., Borzi, S., Curciarello, J.O., 2006. Liver damage in workers exposed to hydrocarbons. *Journal of Gastroenterology and Hepatology* 29, 334–337.

Roy, A., Brautbar, N., Lee, D., 2008. Hydrocarbons and renal failure. *Nephron* 58, 385–392.

Smith, M.T., 2010. Advances in understanding benzene health effects and susceptibility. *Annual Review of Public Health* 31, 133–148.

Song, B., Cai, Z.M., Li, X., Deng, L.X., Zheng, L.K., 2005. Effect of benzene on sperm DNA. *National journal of andrology* 11, 53–55.

Uzma, N., Salar, B.M., Kumar, B.S., Aziz, N., David, M.A., Reddy, V.D., 2008. Impact of organic solvents and environmental pollutants on the physiological function in petrol filling workers. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 5, 139–146.

Verma, Y., Rana, S.V., 2009. Endocrinal toxicity of industrial solvents — a mini review. *Indian Journal of Experimental Biology* 47, 537–549.

Weaver, C.V., Liu, S.P., Lu, J.F., Lin, B.S., 2007. The effects of benzene exposure on apoptosis in epithelial lung cells: localization by terminal deoxynucleotidyl transferase-mediated dUTP-biotin nick end labelling (TUNEL) and the immunocytochemical localization of apoptosis-related gene products. *Cell Biology and Toxicology* 23, 201–220.

Wiwanitkit, V., 2007. Benzene exposure and hypertension: an observation. *Cardiovascular Journal of Africa* 18, 264–265.

Xing, C., Marchetti, F., Li, G., Weldon, R.H., Kurtovich, E., Young, S., Schmid, T.E., Zhang, L., Rappaport, S., Waidyanatha, S., Wyrobek, A.J., Eskenazi, B., 2010. Benzene exposure near the U.S. permissible limit is associated with sperm aneuploidy. *Environmental Health Perspectives* 118, 833–839.

Yin, S.N., Li, G.L., Hu, Y.T., Zhang, X.M., Jin, C., Inoue, O., Seiji, K., Kasahara, M., Nakatsuka, H., Ikeda, M., 1987. Symptoms and signs of workers exposed to benzene, toluene or the combination. *Industrial Health* 25, 113–130.

World Health Organization (WHO), 2000. Air quality guidelines for Europe. World Health Organization, Geneva

Zemāk minētie 4 pielikumi saskaņā ar Līguma noteikumiem, iesniegti un pieejami elektroniskā formātā. Kopskatu kartes abiem zonējumiem (M1:60000) iesniegtas gan drukātā formā (A2) un elektroniskā formā (CD).

D. PIELIKUMS - Gaisa piesārņojuma ar benzolu zonējuma karte (limitētām un faktiskām emisijām) Rīgas pilsētai ar pilsētas teritoriju robežām un ielu nosaukumiem. Kopskats – 2 kartes A2 formātā (M1:60000).

E. PIELIKUMS - Gaisa piesārņojuma zonējuma ar benzolu karte Rīgas pilsētai faktiskām emisijām. Dalījuma kopskats – 1 karte A2 formātā (M1:60000).

F. PIELIKUMS - Gaisa piesārņojuma ar benzolu zonējuma karte Rīgas pilsētai (pēc faktiskām emisijām) ar ielu nosaukumiem un māju numuriem. Fragmenti 1 – 13 A1 formātā (M1:5000).

G. PIELIKUMS - Faktisko benzola emisiju fails, dati no programmas AERMOD.