



Projekta atskaite

PĒTĪJUMS

PAR GAISA PIESĀRŅOJUMA ATKARĪBU NO TRANSPORTLĪDZEKĻU SKAITA UN KUSTĪBAS RAKSTURA PILSĒTAS CENTRA KANJONA TIPĀ IELĀ

(Rīgas vides aizsardzības fonda projekts,
2017. gada 3. februāra līgums Nr. DMV-17-60-lī)

Projekta autors – SIA „Vidzemes Elektrotehnikas Fabrika”

**Rīga
2017**

Saturs

Ievads	3
1. Transporta problemātika urbanizētās teritorijās	4
2. Vēsturisko datu analīze.....	10
2.1. Transporta plūsmu variācija Rīgas centrā	10
2.2. Gaisa kvalitātes monitoringa rezultātu analīze	20
3. Modelēšanas scenāriju raksturojums.....	26
3.1. Transporta klašu apraksts	26
3.2. Modeļa raksturojums.....	27
4. Modelēšanas rezultāti.....	31
4.1. scenārijs “Maksimālās slodzes stundās tikai sabiedriskais transports”	35
4.2. scenārijs “Jauno transporta līdzekļu scenārijs”	37
4.3. scenārijs “Vieglais transports tikai brīvdienās”	38
4.4. scenārijs “Ierobežota vieglā transporta satiksme”	39
4.5. scenārijs “Sezonālie ierobežojumi”	40
5. Tirgus izpētes rezultāti - tehnoloģiskie risinājumi un metodes transporta uzskaitēi kanjona tipa ielās, iegādes / izveides iespēju izvērtējums.....	41
6. Gaisa kvalitātes indeksa interneta aplikācijas izstrāde.....	49
Secinājumi.....	51
Izmantotās literatūras saraksts.....	52
1. Pielikums. Publikācija.....	54
2. Pielikums. Konferences ziņojuma kopsavilkums.	61

Ievads

Projekta „Pētījums par gaisa piesārņojuma atkarību no transportlīdzekļu skaita un kustības rakstura pilsētas centra kanjona tipa ielā” ietvaros ir veikta vēsturisko datu analīze, aprakstītas Latvijas Republikas normatīvo aktu prasības (standarti) dažādiem transporta līdzekļiem (klasēm), sagatavoti un analizēti dažādi modeļscenāriji, lai izvērtētu dažādu transporta plūsmu plānošanas un restrukturizācijas ietekmi uz gaisa kvalitāti, īpašu uzmanību pievēršot cieto daļiņu PM₁₀ un slāpekļa oksīdu NO_x piesārņojumam.

Modeļscenāriji sagatavoti specializētā transporta plūsmu ietekmes modelēšanas programmā OSPM (Operational Street Pollution Model). Šis modelis izstrādāts Orhūsas Universitātē (Aarhus University) Dānijā, un tas tiek plaši pielietots gan pētījumos Eiropā un pasaulē, gan transporta plūsmu plānošanā un pārvaldībā.

Pētījuma ietvaros iegūtie rezultāti sagatavoti un aprobēti starptautiskā zinātniskā konferencē ziņojuma veidā, tie tiks prezentēti starptautiska mēroga zinātniskajā konferencē *European Aerosol Conference 2017*, kura notiks 2017. gada 28. augustā Cīrihē (Šveicē). Ziņojuma kopsavilkums dots Pielikumā.

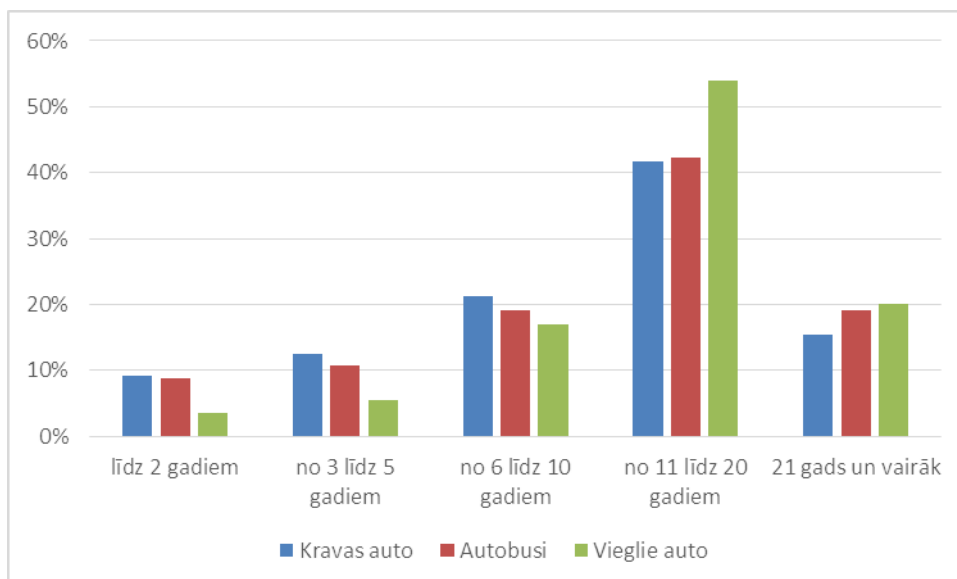
Pētījuma rezultāti ir apkopoti publikācijā, kuru paredzēts iesniegt starptautiski citējamā zinātniskā žurnālā. Publikācija pievienota Pielikumā.

Projekta ietvaros tika veikta tirgus izpēte par dažādiem tehnoloģiskajiem risinājumiem un metodēm transporta uzskaitēi kanjona tipa ielās. Izpētes rezultāti aprakstīti projekta 5.nodaļā.

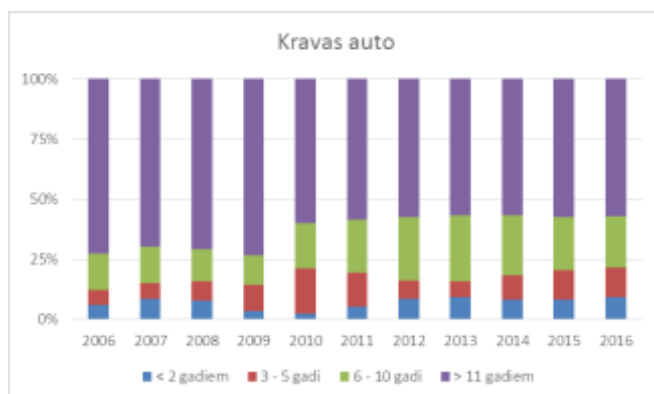
Saskaņā ar darba uzdevumu, projekta ietvaros tika izveidota gaisa kvalitātes mērījumu rezultātu interpretēšanas sistēma (gaisa kvalitātes indeksa – GKI - aprēķinu metode) saskaņā ar Eiropas Savienības darba grupas DG ENV ieteikumiem, izmantojot datus no monitoringa stacijas Mīlgrāvja ielā 10, Rīgā.

1. Transporta problemātika urbanizētās teritorijās

Aktuālākie transporta līdzekļu uzskaites dati liecina par arvien pieaugošu vieglo un kravas transporta līdzekļu palielinājumu pēdējos gados nacionālā līmenī, saskaņā ar Centrālās Statistikas pārvaldes publicēto pārskatu, pēdējos 4 gados ikgadējais vidējais palielinājums vieglo transporta līdzekļu klasēs sasniedz 3 %, savukārt kravas transporta līdzekļu grupā – 6 % (Transports Latvijā, 2016). Izvērtējot reģistrēto transporta līdzekļu skaitu pēc vecuma un izmantotās degvielas, redzams, ka Latvijā dominē 10-20 gadus vecas automašīnas (neatkarīgi no automobiļu klases – vieglie, smagie automobiļi vai autobusi) ar karburatora tipa un dīzeļdzinējiem. Detalizēts raksturojums – iedalījums vecuma klasēs – dots 1. attēlā, savukārt iedalījums pēc izmantotā degvielas veida – 3. attēlā.



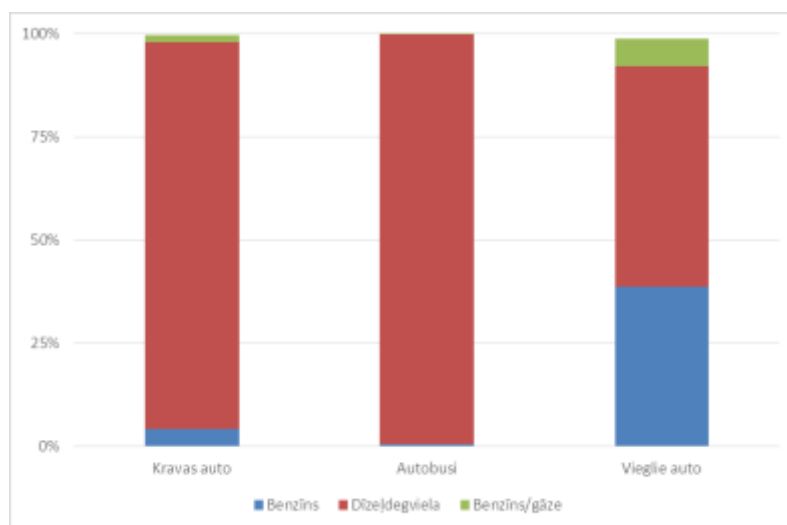
1. attēls. Reģistrēto transporta līdzekļu iedalījums Latvijā vecuma klasēs 2016. gada beigās (avots: Centrālās Statistikas Pārvaldes datu bāze, <http://data.csb.gov.lv>)



Izvērtējot pēdējo 10 gadu datus, novērojama līdzvērtīga tendence, - visās transporta līdzekļu klasēs galvenokārt dominē automašīnas, kuras ir vecākas par 11 gadiem, skat. 2. attēlu.



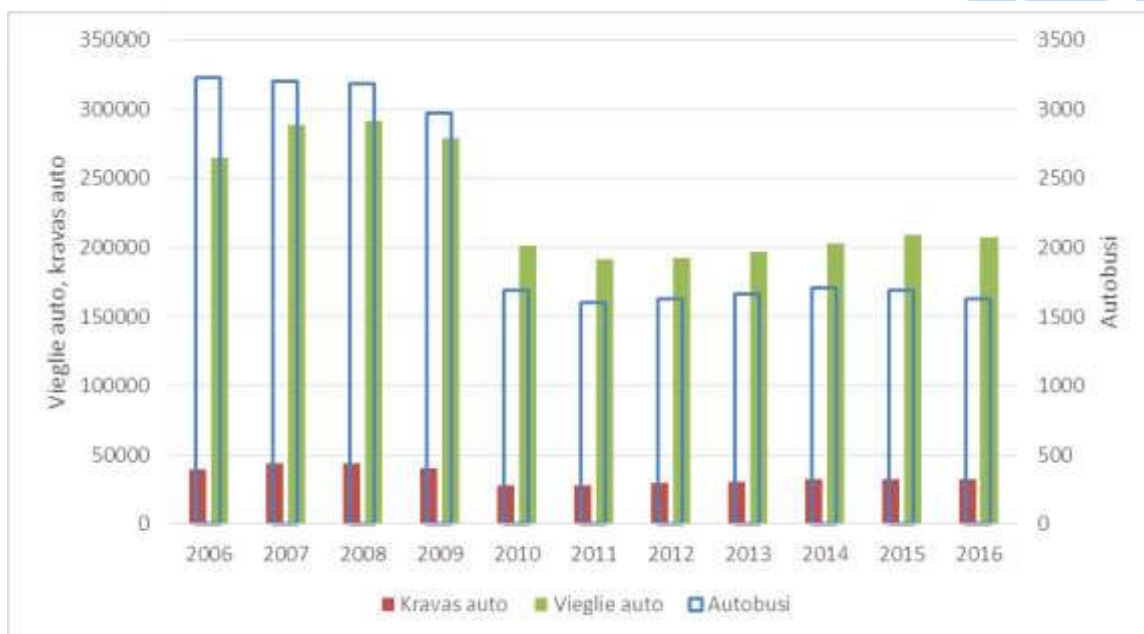
2. attēls. Reģistrēto transporta līdzekļu iedalījums Latvijā vecuma klasēs laika periodā 2006. - 2016. (avots: Centrālās Statistikas Pārvaldes datu bāze, <http://data.csb.gov.lv>)



3. attēls. Reģistrēto transporta līdzekļu iedalījums Latvijā pēc degvielas veida 2016. gada beigās (avots: Centrālās Statistikas Pārvaldes datu bāze, <http://data.csb.gov.lv>)

Reģistrēto transporta līdzekļu datu bāzē redzams, ka bez benzīna, dīzeļdegvielas un gāzes auomobiļu darbināšanai tiek izmantota elektrība (2016. gadā – 241 vieglais auto, 11 kravas auto), naftas gāze (2016. gadā – 1 kravas auto, 5 vieglie auto) un dabas gāze (2016. gadā – 5 kravas auto, 11 vieglie auto).

Izmantotā degviela un transporta līdzekļa vecums lielā mērā nosaka transporta radīto piesārņojumu jeb piesārņojošo vielu emisiju apmēru. Stabilā transporta līdzekļu palielinājuma tendence Rīgā (skat. 4.attēlu) un nemainīgais “autoparka vecums” liecina par transporta radītā piesārņojuma problēmas pastāvēšanu arī nākotnē.



4. attēls. Rīgā reģistrēto transporta līdzekļu skaita izmaiņas laika periodā 2006. – 2016. (avots: Centrālās Statistikas Pārvaldes datu bāze, <http://data.csb.gov.lv>)

Analizējot transporta līdzekļu skaita izmaiņas, jāņem vērā, ka ar 30.12.2009. Ministru Kabineta noteikumos „Transportlīdzekļu reģistrācijas noteikumi” ieviesta jauna norma - transportlīdzekļu izslēgšana no reģistra, kuru var veikt šādos gadījumos:

- ja transportlīdzeklis pastāvīgi reģistrēts ārvalstī, un šo faktu apliecina informācija attiecīgās ārvalsts reģistrā (ja CSDD ir nodrošināta automatizēta pieeja attiecīgajam reģistram) vai attiecīgās ārvalsts reģistra izsniegts dokuments;
- ja transportlīdzeklim piecus gadus nav veikta valsts tehniskā apskate un transportlīdzekļu reģistrā ar šo transportlīdzekli nav veikta neviena reģistrācijas darbība.

Ņemot vērā iepriekš minēto Ministru Kabineta noteikumu stāšanos spēkā, vērojams būtisks reģistrēto transporta līdzekļu samazinājums (skat. 4. attēlu). Augšminētā norma ir iekļauta arī aktualizētajā MK noteikumu versijā (MK Nr. 1080-30.11.2010.).

Transporta radītā piesārņojuma un saistīto problēmu pētījumi ir gana plaši, lielākoties tiek pievērsta uzmanība sastrēgumiem, potenciālajām veselības problēmām dažādās mērķa grupās – bērniem, grūtniecēm, pensionāriem, sportiski aktīviem cilvēkiem, savukārt, daļā citās valstīs veikto pētījumu tiek analizēta ielu kanjonu ģeometrija, multikanjonu efekts, piesārņojuma ventilēšanās iespējamība. Izvērtējot dažādu autoru pētījumos publicēto, kā lielākie riska faktori saistībā ar transporta radīto piesārņojumu minēti:

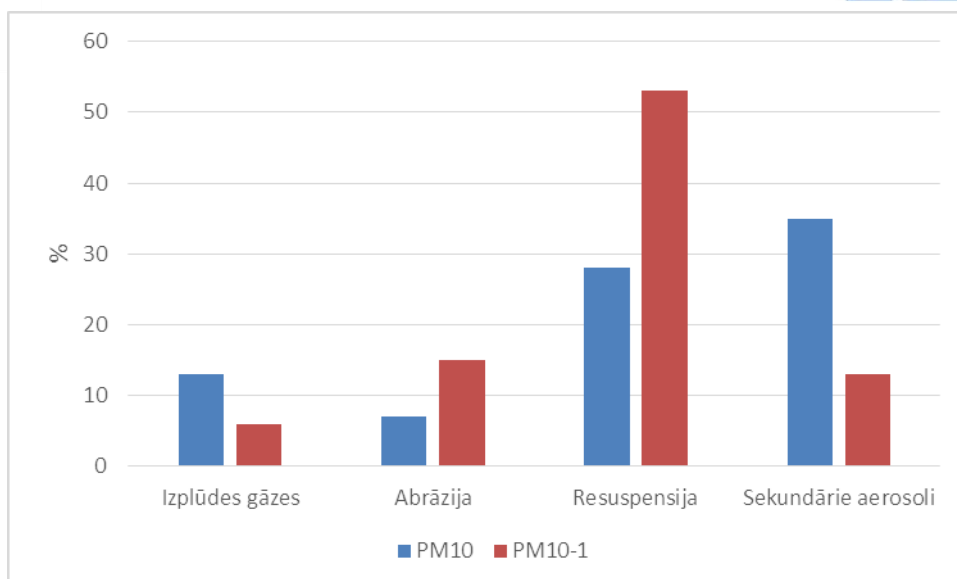
- pazemināts (< 2,5 kg) jaudzimušo svars (Lee et al., 2008; Ritz and Yu, 1999);
- priekšlaicīga (līdz 37.grūtniecības nedēļai) bērna dzimšana (Wilhelm et al., 2011);
- elpošanas ceļu saslimšanu biežums un saasinājums (Jerret and Finkelstein, 2005; Spiric et al., 2012);
- sirds-asinsvadu slimības (Beelen et al., 2014; Langrish et al., 2012);
- centrālās nervu sistēmas traucējumi (Block et al., 2012).

Papildus iepriekš minētajam, Starptautiskā vēža pētniecības aģentūra (*International Agency for Research on Cancer*) transporta radīto piesārņojumu klasificējusi kā I grupas kancerogēnu, t.i., pamatojoties uz cēloņefekta pētījumiem, iespējams droši apgalvot, ka šis piesārņojums paaugstina vēža saslimstības risku.

Analizējot transporta radīto piesārņojumu, parasti galvenā uzmanība tiek pievērsta slāpekļa (II) oksīdam NO, slāpekļa dioksīdam NO₂, slāpekļa oksīdu grupai NO_x, cietajām daļiņām PM₁₀, sīkākās frakcijas cietajām daļiņām PM_{2.5}, kvēpiem no dīzeļdzinējiem, oglekļa oksīdam CO, metāliem, lai gan kopumā izplūdes gāzēs sastopamo vielu spektrs ir daudz plašāks. Piemēram, Eiropas Komisijas emisijas faktoru datu bāzē (EMEP/CORINAIR, 2016) iekļauti arī emisiju faktori amonjakam, nemetāna gaistošajiem organiskajiem savienojumiem, svinam, formaldehīdam, benzolam, toluolam, ksilolam, etilbenzolam un citām vielām. Īpaša uzmanība tiek pievērsta tieši dīzeļdzinēju izplūdes gāzēm, jo to sastāvā ir vismaz 40 toksisku komponentu, tām raksturīga īpaši augsta PM_{2.5} koncentrācija (Costa et al., 2017).

Izplūdes gāzes raksturo tikai aptuveni 1/3 daļu no problēmas, jo autotransports cieto daļiņu formā rada arī resuspensijas un abrāzijas piesārņojumu. Abrāzijas cietajām daļiņām raksturīga specifiska morfoloģija mehāniskās izcelsmes dēļ, - tās bieži vien ir regulāras formas, tomēr iespējami arī izņēmumi, piemēram, FeCr daļiņas (korozijas produkts). Abrāzijas daļiņām raksturīga augsta Fe, Cu, Ba, Sb un Zn koncentrācija (Quass et al., 2008; Weinbruch et al., 2014). Resuspendētā materiāla sastāvs ir kardināli atšķirīgs, tām raksturīga augsta silikātu, dzelzs oksīdu/hidroksīdu koncentrācija. Papildus iepriekš minētajam, kā netiešs transporta inducēts piesārņojuma veids ir sekundārais aerosolu piesārņojums, kuram raksturīgs īpaši smalko daļiņu (< 1 μm) īpatsvars, kuras sastāv no nātrija sulfāta, nātrija nitrāta un organiskā materiāla (Vester et al., 2007).

Nemot vērā, ka katrā pētījumu vietā mērījumu rezultāti atšķiras, kas saistīts ar ielu kanjonu strukturālām īpatnībām, braukšanas režīmu, plūsmas struktūru, iegūtos rezultātus nav iespējams vispārināt un piemērot Rīgai. Tomēr, kā indikatīvs indikatīvs rādītājs tie var liecināt par sagaidāmajiem rezultātiem, piemēram, 5. attēlā dots aerosolu piesārņojuma avotu devuma salīdzinājums Vācijā (Rūras apgabalā) transporta ietekmes monitoringa stacijā.



5. attēls. Cieto daļiņu piesārņojuma līmeņa novērtējums no transporta procesuālā griezumā (avots: Weinbruch et al., 2014).

Atmosfēras piesārņojuma noturību un izkliedi ietekmē teritoriālās īpatnības (apbūve, reljefs) un klimatiskie apstākļi. Pilsētās par īpaši piesārņotām vietām tiek uzskatīti ielu kanjoni. Termins “ielu kanjons” (*street canyon*) saskaņā ar sākotnējo definīciju raksturojams kā šaura iela ar vienlaidus līnijā izvietotām būvēm abās ielas pusēs, tomēr mūsdienās tiek izmantots paplašinātais traktējums, atkāpjoties no vienlaidu apbūves abās ielas pusēs. Attiecībā uz platākām ielām nereti tiek lietots termins “avēniju kanjoni” (*avenue canyon*). Ielu kanjonu ģeometriskie izmēri tiek izteikti ar to malu attiecību, - kanjona augstuma un platuma attiecība (Vardoulakis et al., 2003). Avēniju tipa kanjoniem malu attiecība tiek noteikta kā 0,5, bet dziļā tipa kanjoniem (*deep canyon*) malu attiecība noteikta vienāda ar divi. Kā trešais ielu kanjona ģeometriskās uzbūves parametrs tiek izmantots kanjona garums, ko raksturo attālums starp 2 punktiem pētāmajā apgabalā. Pēc ielu garuma attiecībā pret noteikto kanjona augstumu tiek izmantots šāds iedalījums:

- īsā tipa kanjons, $L/H \sim 3$;
- vidēja tipa kanjons, $L/H \sim 5$;
- garā tipa kanjons, $L/H \sim 7$.

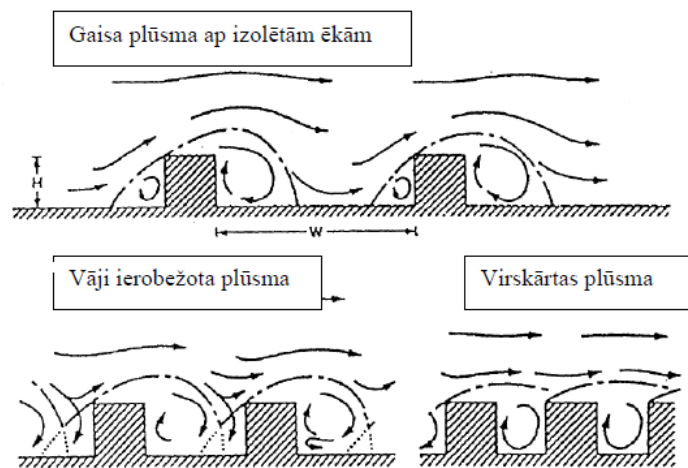
Mikroklimatisko režīmu ielu kanjonā raksturo no transporta plūsmas atkarīgā mehāniski inducētā turbulence un termiski inducētā turbulence.

Lai izprastu piesārņojuma izklijas specifiku ielu kanjonos, jānovērtē morfoloģiskās īpatnības, novietojums attiecībā pret valdošiem vējiem, iespēju robežās, - specifiskais mikroklimats aktīvā turbulentā slānī (parasti no 2 m augstuma līdz apbūves augstumam). Vielu dispersija ielu kanjonos atkarīga no apbūves blīvuma un augstuma, jumtu tipa (slīpie vai plakanie jumti), bezvēja apstākļos radītās transportlīdzekļu turbulences rakstura blīvas transporta plūsmas gadījumā, kā arī no dažādiem meteoroloģiskajiem rādītājiem, piemēram, saules radiācijas un tās atstaroto un uzņemto enerģiju, kam ielu kanjonos ir nozīme, raksturojot jumtu segumu spēju uzkrāt atstaroto saules enerģiju. Kanjona tipa ielām raksturīgs augstāks piesārņojums gājēju (ielas) līmenī, bez tam, - aglomerācijās raksturīgs augsts receptoru blīvums. Ja atklāta tipa teritorijās būtiskākais rādītājs, kas raksturo vielu dispersiju

ir vēja ātrums, tad blīvas apbūves gadījumā uzmanība pievēršama arī vēja virzienam. Piemēram, ielu kanjonam paralēlu vēju gadījumā sasniedzot ātrumu 4 m/s, kanjona iekšienē vistīcāmāk veidosies virpuļveida kustības (Vardoulakis et al., 2003). Nereti, analizējot turbulenci ielu kanjonos, par būtiski atšķirīgiem tiek uzskatīti šādi apstākļi:

- lēna vēja ($< 1,5$ m/s) situācija;
- ielu kanjonam perpendikulāra vēja plūsma, ātrums $> 1,5$ m/s;
- ielu kanjonam paralēla vēja plūsma, ātrums $> 1,5$ m/s (Vardoulakis et al., 2003).

Turbulences īpatnības ap dažādi izvietotām ēkām raksturotas grafiski, skat. 6. attēlu. Ja apbūves augstuma attiecība pret ielas platumu ir $< 0,3$, tad plūsmas režīms atbilst gaisa plūsmai ap izolētām ēkām, blīvākas apbūves gadījumā ($H/W \sim 0.5$) raksturīga vāji ierobežota plūsma. Regulāra tipa kanjona gadījumā ($H/W = 1$) raksturīga virskārtas plūsma, ko raksturo primārā virpuļa izveidošanās ielu kanjonā, tās rezultātā ir kavēta ventilācija ielu kanjonā.



6. attēls Gaisa plūsmas režīmi atkarībā no apbūves (avots: Oke, 1987).

2. Vēsturisko datu analīze

Vēsturisko datu analīze veikta, izmantojot Rīgas Domes sniegtos novērojumu datus, analīzē izmantotais datu apkopojums redzams 1. tabulā.

1. tabula

Transporta plūsmu uzskaites datu raksturojums

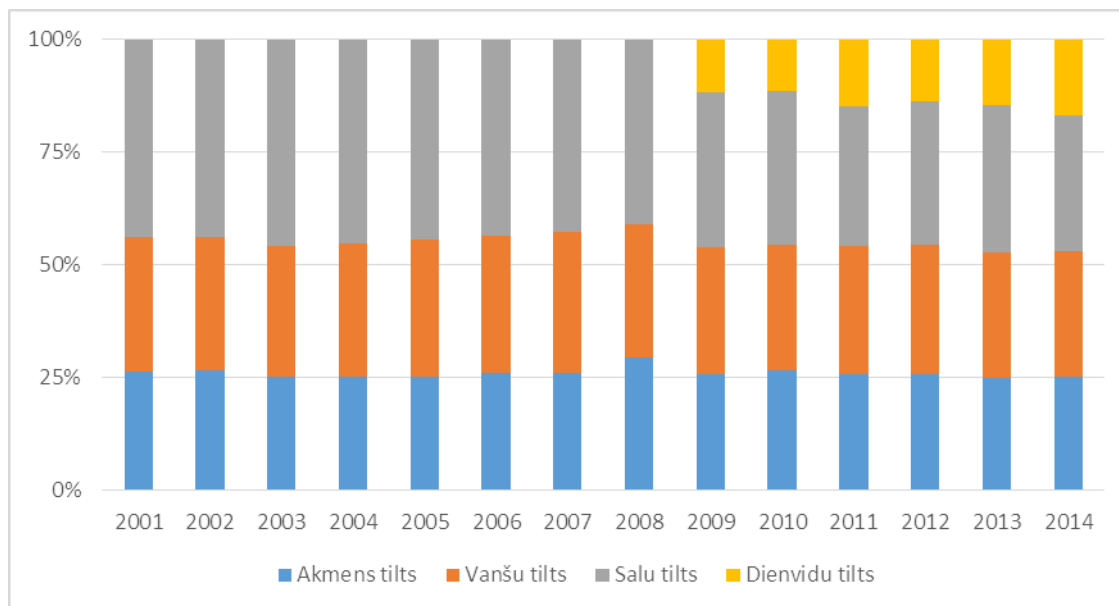
Novērojumu periods	Ekspozīcijas laiks	Novērojumu vieta	Piezīmes
2001-2014	#/diennaktī	Akmens tilts Vanšu tilts Salu tilts Dienvīdus tilts	-
4.09.2012., 13:00-18:00	Ikstundu dati	Brīvības / Tallinas ielas krustojums	-
5.09.2012., 8:00-13:00			
24.10.2012., 13:00-18:00	Ikstundu dati	Kalpaka / Kr. Valdemāra ielas krustojums	-
25.10.2012., 8:00-13:00			
25.10.2009., 00:00-24:00	Ikstundas dati	Kr. Valdemāra / Lāčplēša iela krustojums	- Pieejami arī izejas dati 15 minūšu ekspozīcijai; - Ir iedalījums transporta līdzekļu klasēs – viegie, smagie auto, autobusi, trolejbusi
21.04.2010., 00:00-24:00	Ikstundas dati	Kr. Valdemāra / Jēkaba / Kronvalda bulv. krustojums	
21.04.2010., 00:00-24:00	Ikstundas dati	Kr. Valdemāra / Z. Annas-Meierovica bulv. krustojums	
Janvāris, 2003., 00:00-24:00	Ikstundas dati	Kr. Valdemāra iela, posms: Lāčplēša-Dzirnavu iela	- Darba dienas; - Ir iedalījums transporta līdzekļu klasēs – viegie, smagie auto, autobusi, trolejbusi, mikroautobusi
Janvāris, 2003., 00:00-24:00	Ikstundas dati	Brīvības iela, posms: Bruņinieku - Ģertrūdes iela	
02.01.2012.-02.09.2012.	Ikstundas dati	Vanšu tilts	-
2009-2012	Nedēļas dati	Vanšu tilts	-

Kā redzams tabulā, pašreiz notiek periodiska plūsmu uzskaitē dažādās novērojumu vietās, iegūtos rezultātus grūti savstarpēji saistīt, jo atšķiras mērījumu veikšanas periodi, arī uzskaites metodikas, visbiežāk novērtēts kopējais transporta līdzekļu skaits, tikai atsevišķos gadījumos veikta uzskaitē transporta līdzekļu klasēs - viegie, smagie auto, autobusi, trolejbusi, mikroautobusi.

Pilnīga priekšstata iegūšanai par plūsmu dinamiku būtu nepieciešama plūsmu uzskaitē ikstundas griezumā katrai no klasēm vismaz gada periodā, lai izvērtētu atšķirības starp darba dienām, brīvdienām, sezonālās īpatnības.

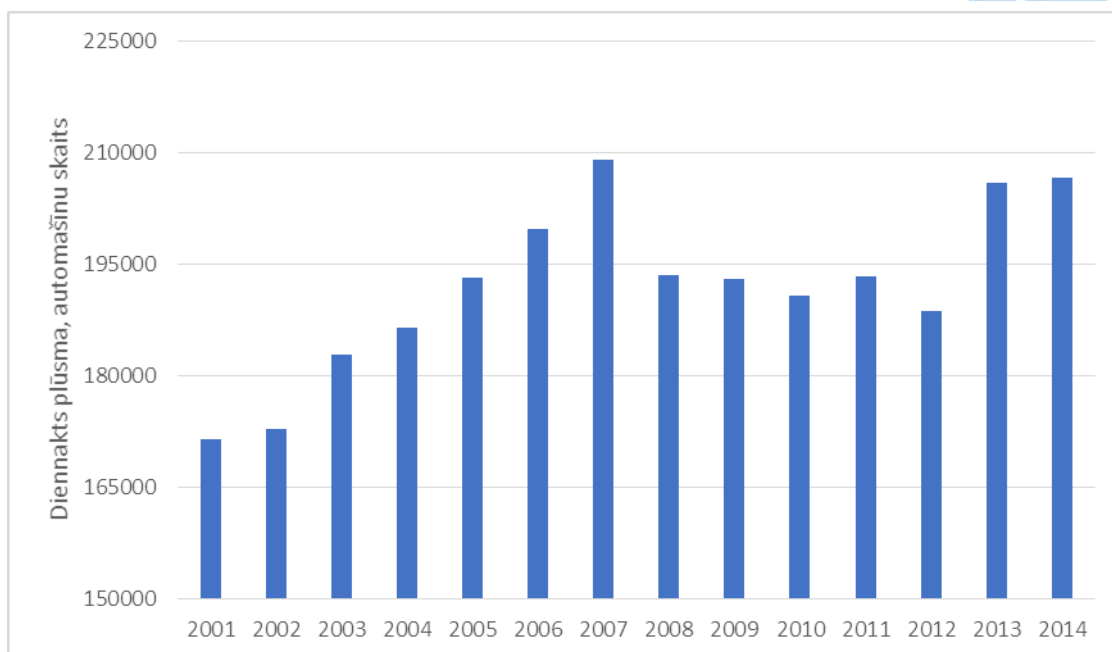
2.1. Transporta plūsmu variācija Rīgas centrā

Transporta plūsmu intensitāti Rīgas centra ielās lielā mērā nosaka plūsmu intensitāte uz tiltiem. Plūsmu diennakts uzskaitē laika periodā 2001. – 2014. liecina, ka līdz 2009. gadam kopumā plūsmu sadalījums ir nemainīgs: vidēji 44 % automašīnu šķērso Salu tiltu, 30 % - Vanšu tiltu un 26 % Akmens tiltu. Pēc Dienvidu tilta nodošanas ekspluatācijā redzams, ka faktiski tiek atslogots Salu tilts (vidēji 14 % apmērā), skat. 7. attēlu.



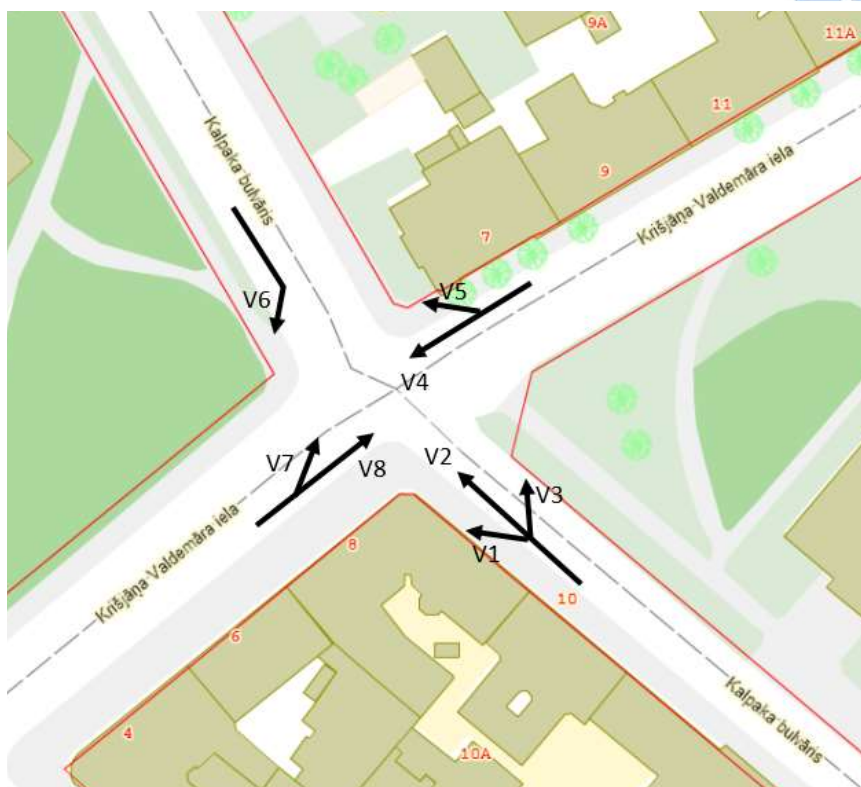
7. attēls. Transporta plūsmu sadalījums uz Rīgas tiltiem, kā izejas dati izmantoti diennakts rādītāji (avots: Rīgas Dome).

Transporta plūsmu kopējā analīze liecina par ikgadēju transporta skaita palielinājumu uz tiltiem vidēji 3,4 % apmērā attiecībā pret iepriekšējo gadu līdz 2008. gadam, kad valstī sākās ekonomiskā krīze, pēc tam novērojama stabila situācija līdz 2012. gadam ar nelielām izmaiņām, savukārt, 2013. gadā vērojams straujš transporta plūsmas intensitātes kāpums 9 % apmērā, skat. 8. attēlu.



8. attēls. Transporta plūsmu kopējās izmaiņas uz Rīgas tiltiem, kā izejas dati izmantoti diennakts rādītāji (avots: Rīgas Dome).

Tā kā projekta uzdevumi saistīti ar scenārijmodeļa izveidi reāliem apstākļiem un atvasināto hipotētisko modeļu izveidi, tad lielākā uzmanība pievērsta iepriekšējiem pētījumiem saistībā ar Valdemāra ielas posmu. Ielu tīkls veido pietiekami sazarotu sistēmu, un ne visas transporta vienības, kuras šķērso tiltu arī turpina braukšanu pa attiecīgo ielu taisnā posmā. Līdz ar to, lai raksturotu plūsmas noturību Kr. Valdemāra ielā, detalizētāk analizēta plūsmu sadalīšanās. Diemžēl šāda uzskaitē veikta ierobežoti, izmantoti 2011. gadā iegūtie uzskaites rezultāti (24.10.2011. 13:00-18:00 [pirmdiena]; 25.10.2011. 8:00-13:00 [otrdiena]). 9. attēlā redzami virzieni, kuros veikta manuālā transporta līdzekļu uzskaitē, reģistrējot kopējo transporta vienību skaitu stundā.



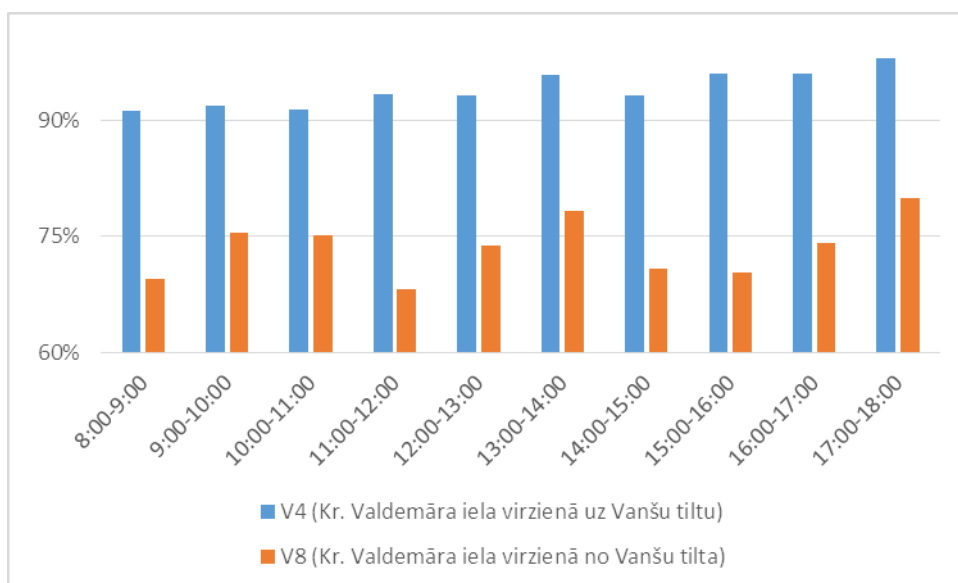
9. attēls. Transporta vienību manuālās uzskaites virzieni Kr.Valdemāra ielā / Kalpaka bulvārī
(avots: Rīgas Dome, kartes pamatne: RIGIS sistēma)

Transporta vienību analīze joslās liecina, ka dominējoši transporta līdzekļi, kuri šķērso (vai gatavojas šķērsot) Daugavu, brauc taisni:

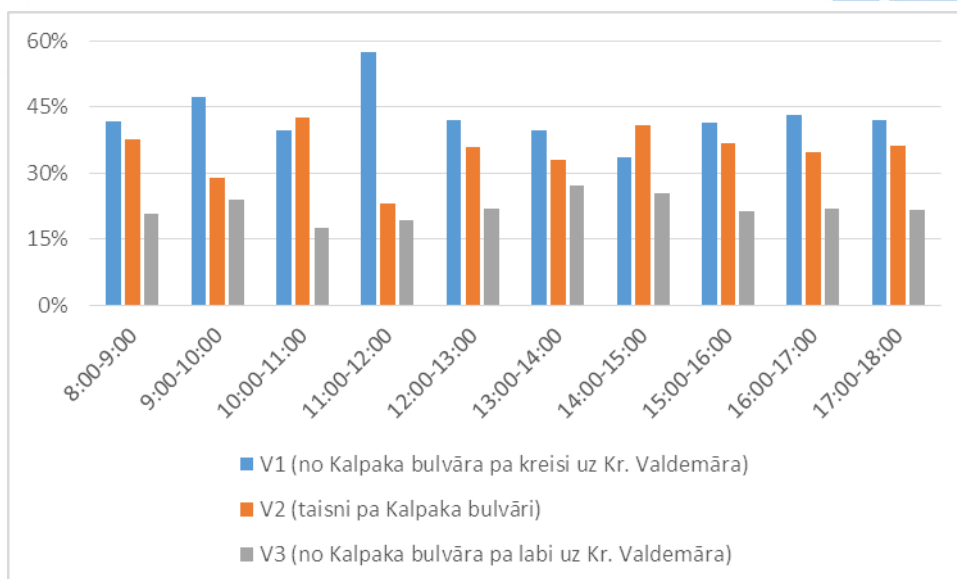
- pa Kr.Valdemāra ielu virzienā uz Vanšu tiltu brauc vidēji 94 % automašīnu;
- pa Kr.Valdemāra ielu virzienā no Vanšu tilta brauc vidēji 74 % automašīnu.

Arī no Kalpaka bulvāra lielākā automašīnu plūsma pagriežas virzienā uz Kr.Valdemāra ielu. Plūsmu frakcionārais dalījums dots 10. attēlā.

A



B

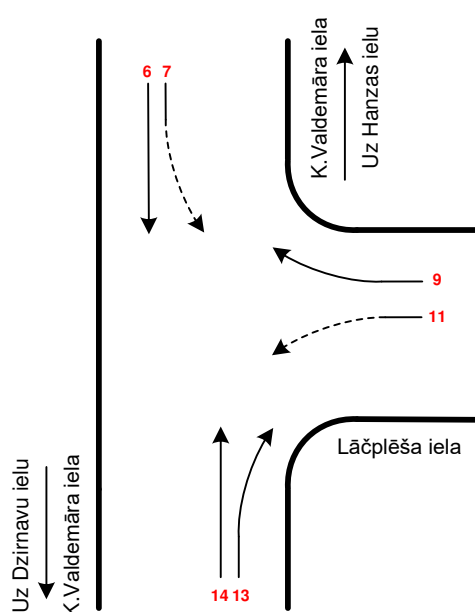


10. attēls. Transporta plūsmas noturība un mainība krustojumā Kr.Valdemāra iela / Kalpaka bulvāris (avots: Rīgas Dome)

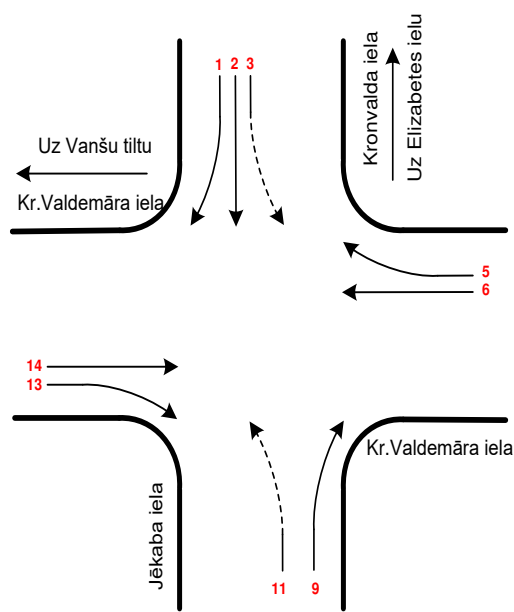
A – Kr.Valdemāra iela; B – Kalpaka bulvāris

Plūsmu mainība laikā 8:00-18:00 darba dienā liecina, ka diennakts stundai ir salīdzinoši neliela nozīme, novērojamas variācijas vien dažu procentu ietvaros.

Detalizētāka transporta plūsmu uzskaitē Kr. Valdemāra ielā (Kr.Valdemāra / Lāčplēša ielas krustojums; Kr.Valdemāra / Jēkaba ielas / Kronvalda bulvāra krustojums; Kr. Valdemāra / Z.A. Meierovica bulvāra krustojums) veikta 25.10.2009. (svētdienā) un 21.04.2010. (trešdienā), reģistrējot ne tikai kopējo transporta līdzekļu skaitu, bet klasificējot tos apakšklasēs katru stundu 24 h periodā; uzskaites vietas grafiski redzamas 11.-13. attēlā.



11. attēls. K.Valdemāra – Lāčplēša ielas krustojums ar shematiski norādītiem transporta

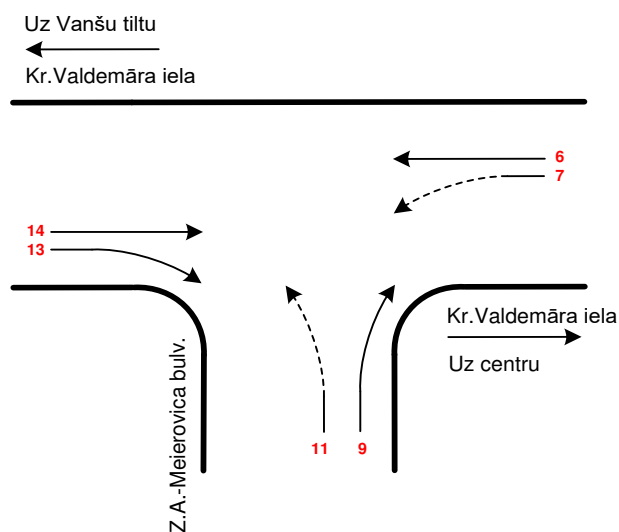


12. attēls. Kr.Valdemāra - Jēkaba - Kronvalda bulv. krustojums ar



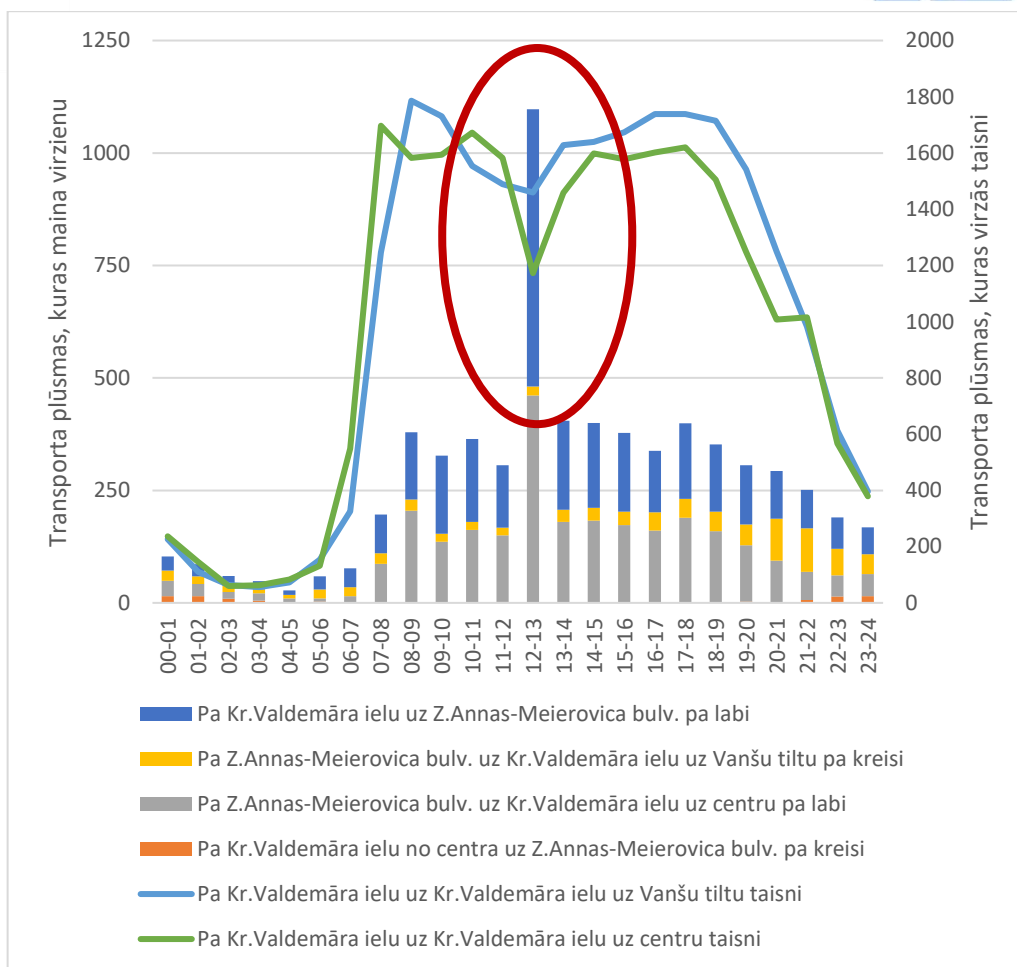
kustības virzieniem

shematiski norādītiem transporta
kustības virzieniem



13. attēls. Kr.Valdemāra - Z.Annas-Meierovica bulv. krustojums ar shematiski norādītiem transporta kustības virzieniem

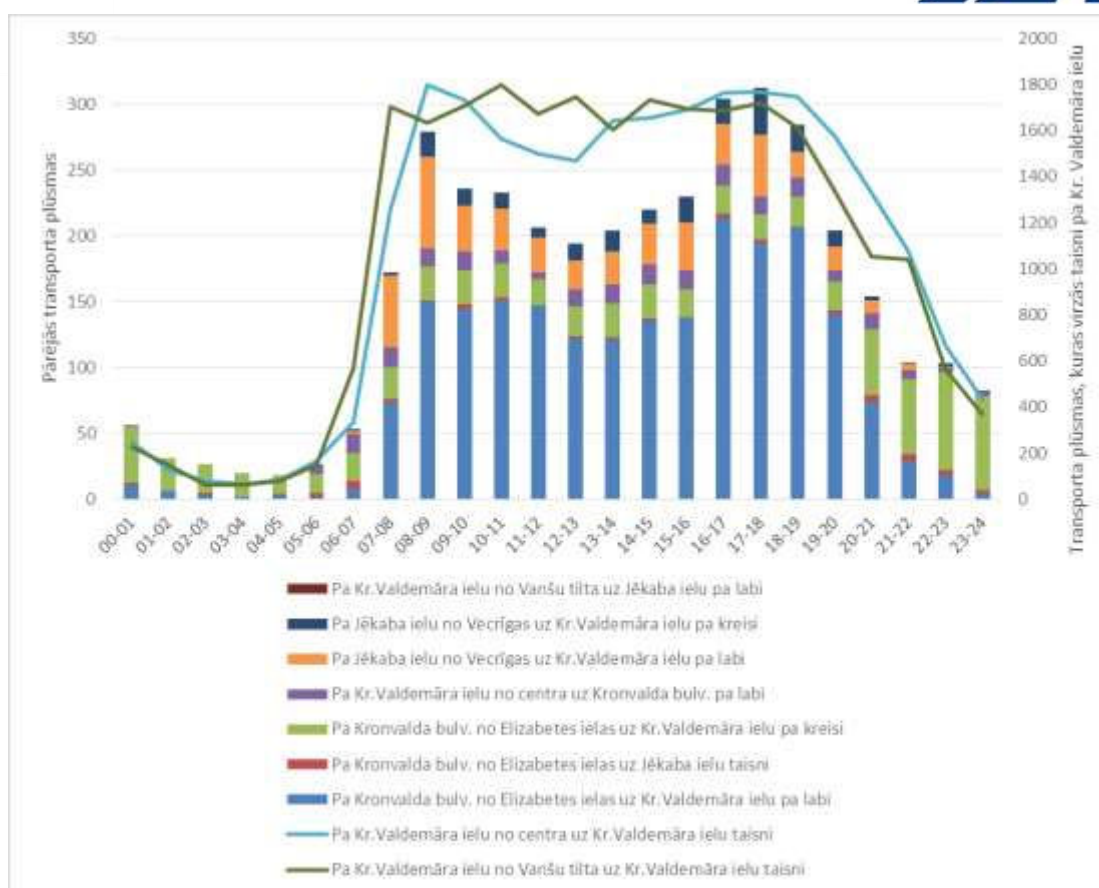
Arī šie 2009. un 2010. gada diennakts uzskaites dati liecina par to, ka lielākā daļa automašīnu pa Kr. Valdemāra ielu brauc taisni. Izvērtējot plūsmas mainību diennakts laikā, redzams, ka darba dienai raksturīgs straujš plūsmas intensitātes palielinājums 7:00 no rīta (līdz pat 20 reizēm), kas saglabājas stabils visas dienas laikā. Transporta plūsmu diennakts variācijas profils redzams 14.-16. attēlā.



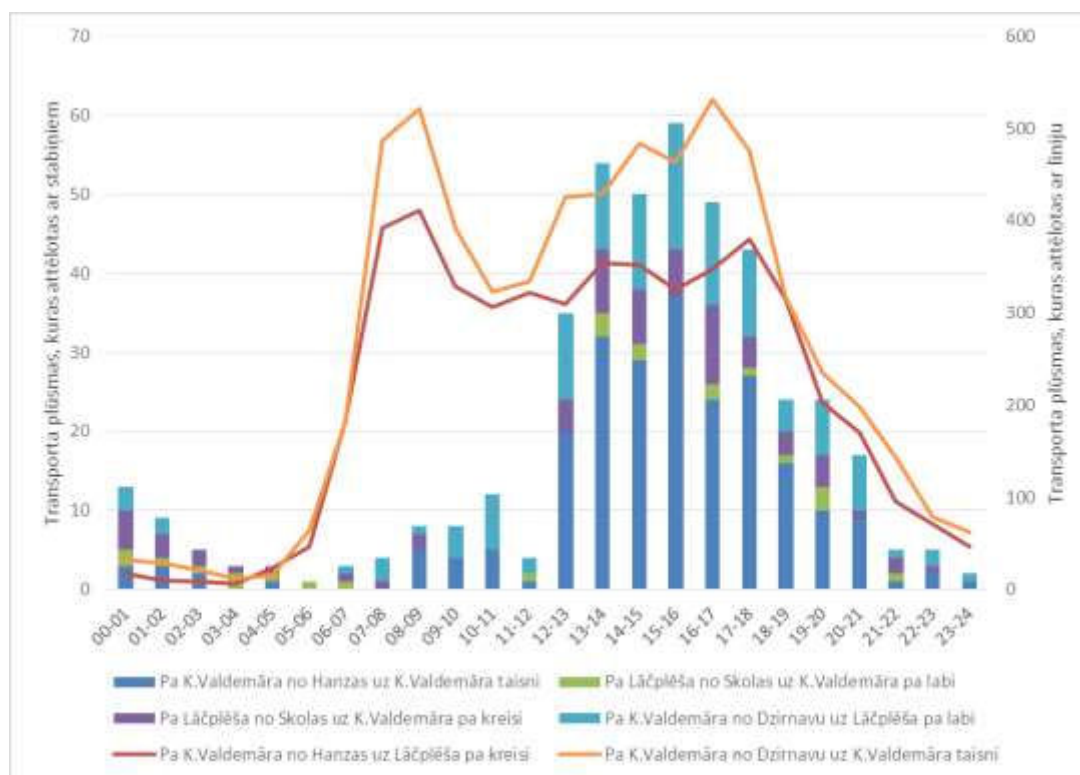
14. attēls. Transporta plūsmas diennakts profils Kr.Valdemāra - Z. Annas-Meierovica bulv. krustojumā (2010.04.21.)

Analizējot manuālos transporta uzskaites datus Kr.Valdemāra – Z. Annas Meierovica bulvāra krustojumā, pastiprinātu interesi izraisa uzskaites dati laika periodā 12:00-13:00, kad it kā būtiski palielinās plūsmas intensitāte visās joslās (skat. 14. attēlu), kurās tiek mainīts kustības virziens, nogriežoties. Šādām krasām izmaiņām nav skaidrojuma, bez tam, transporta plūsmu analīze citos krustojumos neparāda lielāku noslodzi uz atzarotām ielām, kas nozīmē, - visticamāk uzskaites veicēji kļūdījušies.

Brīvdienās (skat. 16. attēlu) transporta plūsmas intensitāte rīta stundās ir salīdzinoši zema, palielinājums novērojams tikai pēc 12:00, un tas ilgst līdz 18:00, pēc tam plūsmas intensitāte atkal strauji samazinās. Salīdzinot transporta plūsmu intensitātes darba dienās un brīvdienās, atšķirības vērojamas 5-6 reižu diapazonā.

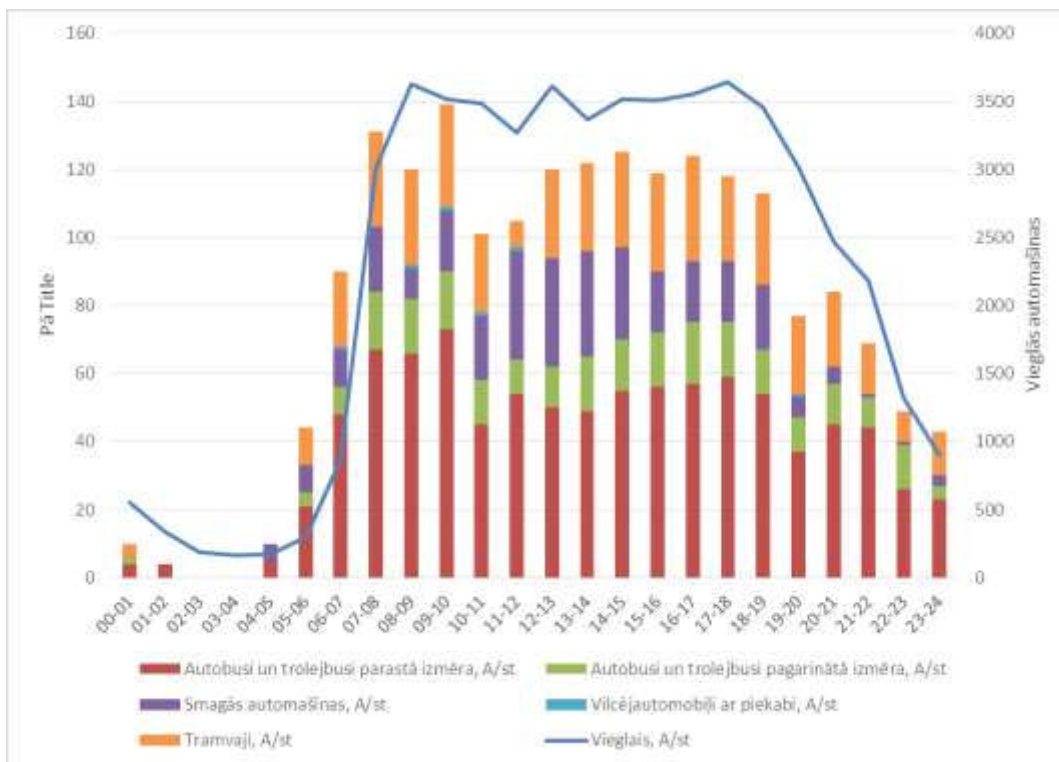


15.attēls. Transporta plūsmas diennakts profils Kr.Valdemāra - Jēkaba - Kronvalda bulv. krustojumā (2010.04.21.)



16.attēls. Transporta plūsmas diennakts profils Kr.Valdemāra - Lāčplēša ielas krustojumā (2009.10.25.)

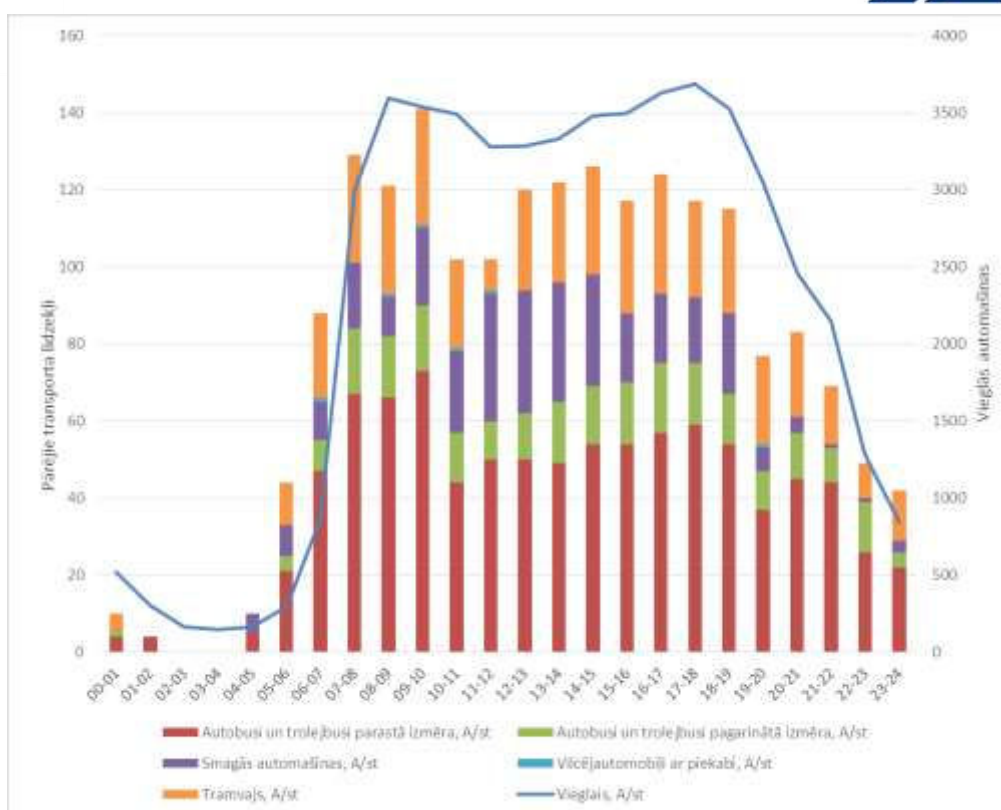
Transporta struktūras analīze liecina par dominējošo vieglo transporta līdzekļu plūsmu neatkarīgi no darba dienas vai brīvdienas. Darba dienās vieglo automašīnu īpatsvars ir vidēji 96 %, savukārt brīvdienās tas samazinās līdz 88 %. Sabiedriskā transporta īpatsvars kopējā plūsmā sastāda vien dažus procentus – 2 -3 %. Detalizēts plūsmas raksturojums trīs uzskaites vietās dots 17.-19. attēlā.



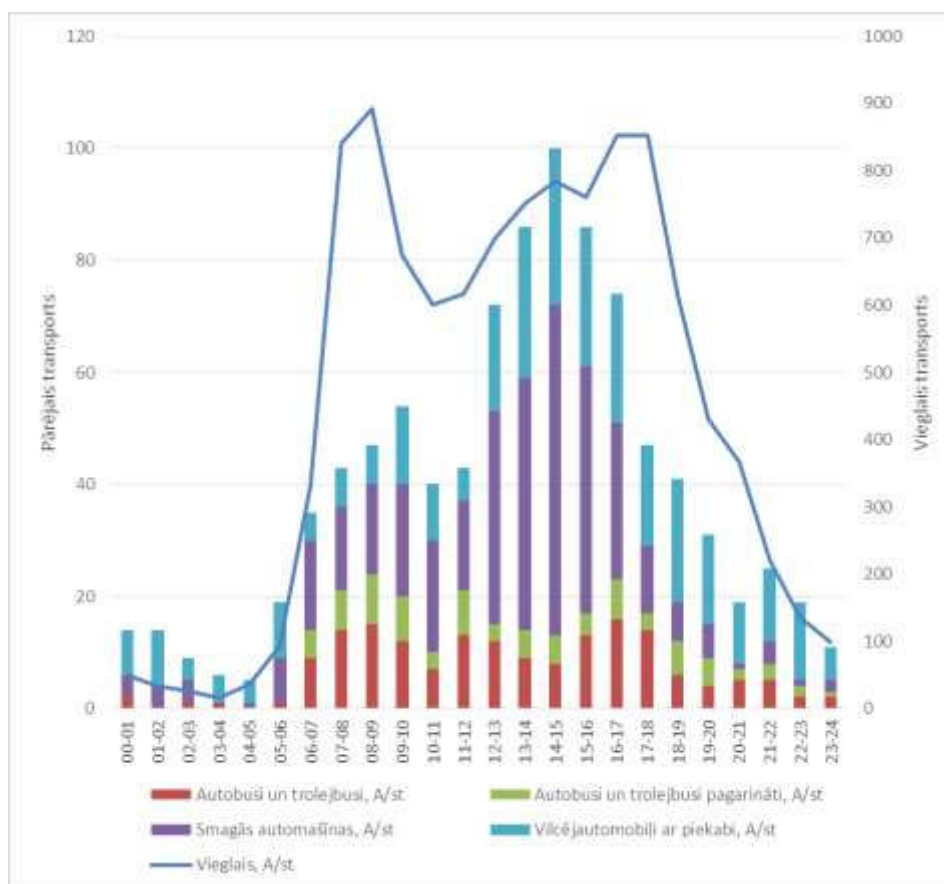
17.attēls. Transporta plūsmas struktūra Kr.Valdemāra - Z.Annas-Meierovica bulv. krustojumā (2010.04.21.)

Diemžēl šie detalizētās uzskaites dati neparāda mikroautobusu īpatsvaru kopējā plūsmā. Attiecībā uz mikroautobusu skaitu, iespējams aplēst (saskaņā ar uzskaiti 2003. gada janvārī darba dienās), ka to īpatsvars varētu sastādīt 8-10 %.

Uzskaites vieta Kr. Valdemāra - Lāčplēša ielas krustojumā parāda atšķirīgus noslodzes rādītājus smagā autotransporta klasē. Ja Kr. Valdemāra ielas sākuma posmā (tuvāk Vanšu tiltam) smagā transporta īpatsvars vien ir 1 % robežās - dienas vidū novērojamas vidēji 30 smagā transporta vienības stundā, kas saistīts ar kustības ierobežojumiem šādam transportam - tad krustojumā ar Lāčplēša ielu smagā transporta īpatsvars vidēji ir 6 %.



18. attēls. Transporta plūsmas struktūra Kr.Valdemāra - Jēkaba - Kronvalda bulv. krustojumā (2010.04.21.)



19. attēls. Transporta plūsmas struktūra Kr.Valdemāra - Lāčplēša ielas krustojumā (2009.10.25.)

2.2. Gaisa kvalitātes monitoringa rezultātu analīze

Vēsturisko datu analīze veikta, izmantojot Rīgas Domes sniegtos gaisa kvalitātes novērojumu datus. Analīzē izmantoto datu apkopojums redzams 2. tabulā.

2. tabula

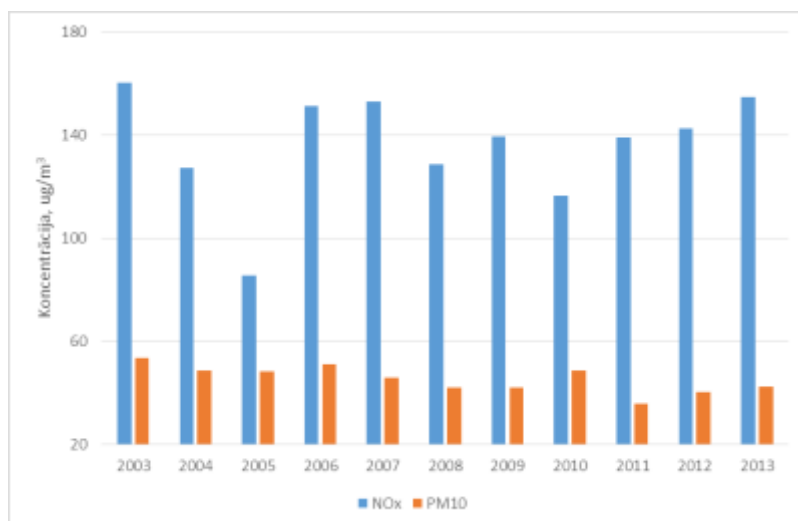
Analīzē izmantoto gaisa kvalitātes novērojumu datu raksturojums

Novērojumu periods	Ekspozīcijas laiks	Novērojumu vieta	Piezīmes
1.03.2003. – 31.12.2013.	Ikstundas dati	Monitoringa stacija Kr. Valdemāra ielā 18	C ₆ H ₆ , CO, NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM ₁₀ , toluols, ksilols
1.01.2014. – 31.12.2014.	30 minūšu dati		
1.01.2015.-11.08.2015.	Ikstundas dati		PM ₁₀

Analīzes veikšanai izmantotie monitoringa dati iepriekš apstrādāti, t.i., veikta to kvalitātes kontrole. Pārbaude veikta, izmantojot šādu algoritmu:

- izslēgtas (izdzēstas) visas rādījumu negatīvās vērtības;
- izslēgtas visas nulles vērtības, pieņemot, ka pēc būtības nevienai no vielām urbanizēta teritorijā nav raksturīgas šādas koncentrācijas;
- izslēgtas datu kopas, kad ilgstoši (vismaz 6 stundas) konstatēta nemainīga (identiska) koncentrācija;
- detalizēti pārbaudītas t.s. “izlecošās” vērtības, kuras ir ārpus $c_{vid} \pm 4 * STDEV$ diapazona; ja šīs ekstrēmās vērtības bija iespējams loģiski izskaidrot (ilgstošas paaugstināta piesārņojuma epizodes, specifiski meteoroloģiskie apstākļi), tās analizējamo datu kopā tika atstātas.

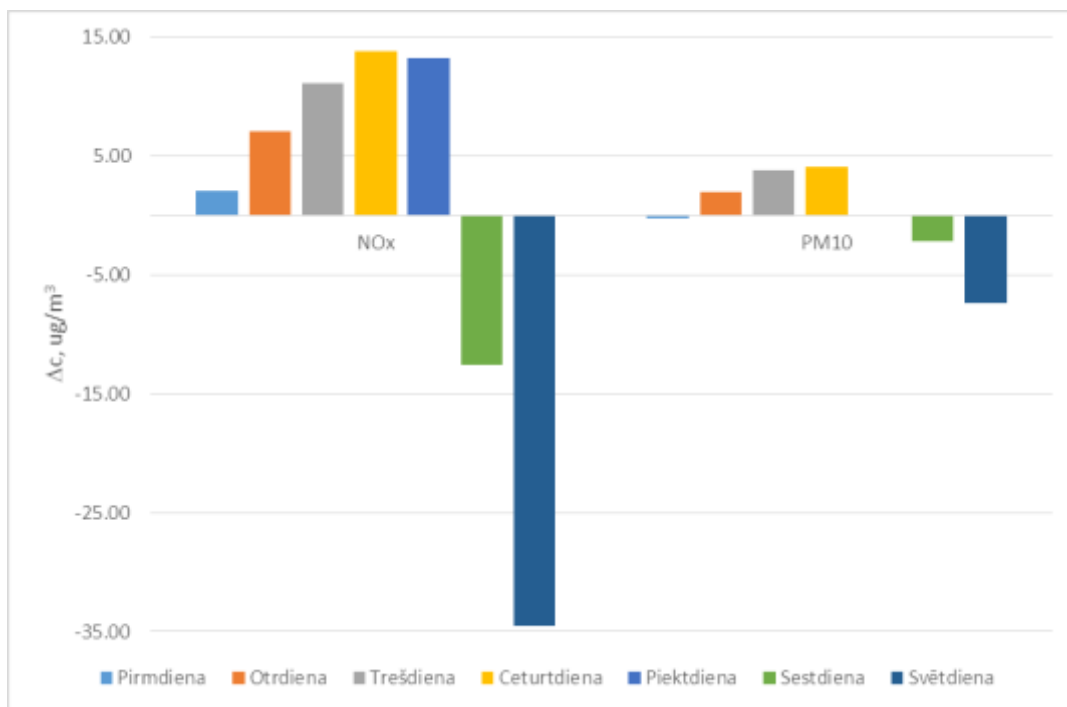
Ņemot vērā projekta uzdevumu nosacījumus, analīze veikta tikai 2 no monitorētajām vielām – cietajām daļiņām PM₁₀ un slāpekļa oksīdiem (NO_x), kā arī ņemot vērā Kr.Valdemāra ielā uzstādītās gaisa kvalitātes monitoringa stacijas darbības stabilitāti un darba uzdevumus, statistiskā analīze veikta laika periodam 2003-2013. Vidējās vērtības dotas 20. attēlā.



20. attēls. Stundas vidējās vērtības laika periodā 2003.-2013.

Stundas vidēji vērtību attēlojums nerada priekšstatu par diennakts variācijām, koncentrāciju mainību nedēļas griezumā, arī sezonālām svārstībām. Uz pārējo gadu fona izceļas 2005. gadā novērotās zemās NO_x koncentrācijas, kas šajā gadījumā skaidrojamas ar nepietiekamu datu kopu, piemēram, novērojumi netika veikti periodā 25.10.2005.-31.12.2005., un tas ir periods, kad novērojamas sezonāli augstākas koncentrācijas.

Piesārņojošo vielu koncentrāciju apkopojums nedēļas griezumā sniedz detalizētāku ieskatu transporta darbības ietekmē. Analizējot datus katra gada griezumā, ne vienmēr iespējams iegūt vispārinātus secinājumus, skat. 22. attēlu, tādēļ tie apkopoti, un redzams, ka augstākās koncentrācijas gan NO_x, gan PM₁₀ gadījumā novērojamas trešdienās un ceturtdienās, savukārt zemākās, kā jau tas bija sagaidāms, - brīvdienās. 21. attēlā redzama starpība starp vidējām vērtībām visā periodā un attiecīgajās nedēļas dienās.



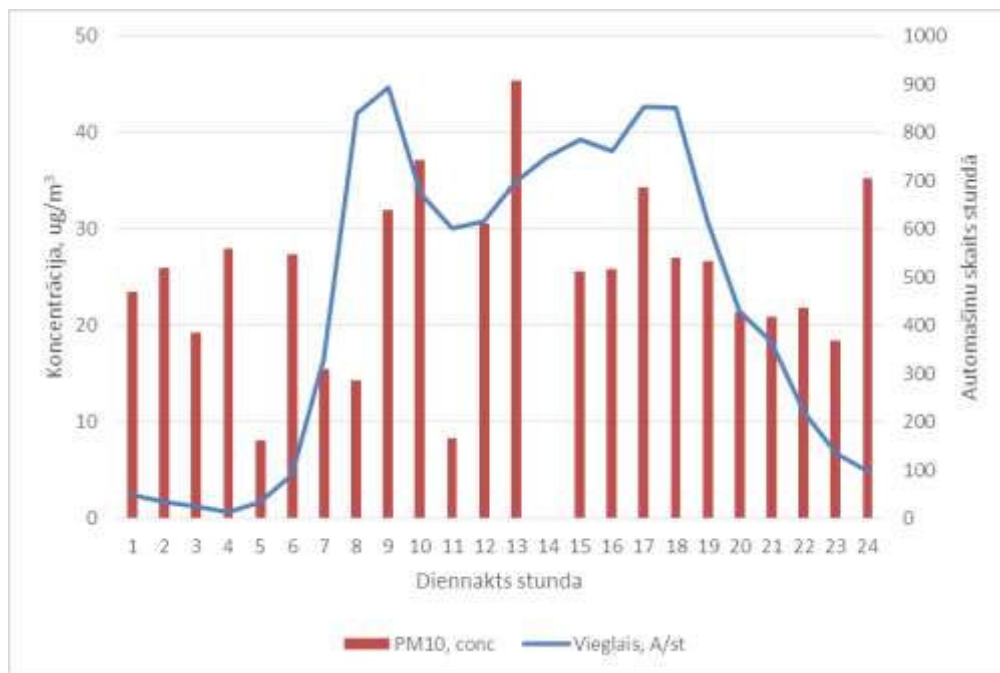
21. attēls. Novirzes no stundas vidējās vērtības laika periodā 2003.-2013.

Abu piesārņojošo vielu gadījumā novērojama līdzvērtīga tendence - vienlaikus novērotas augstas abus piesārņojošo vielu koncentrācijas, kas viennozīmīgi norāda uz kopēju piesārņojuma avotu. Raksturīgi, ka lielākas atšķirības starp brīvdienām un darba dienām novērojamas NO_x gadījumā, piemēram, salīdzinot svētdienas un ceturtdienas, atšķirības var sasniegt pat 48 ug/m³; PM₁₀ gadījumā diapazons ir salīdzinoši neliels – 12 ug/m³.



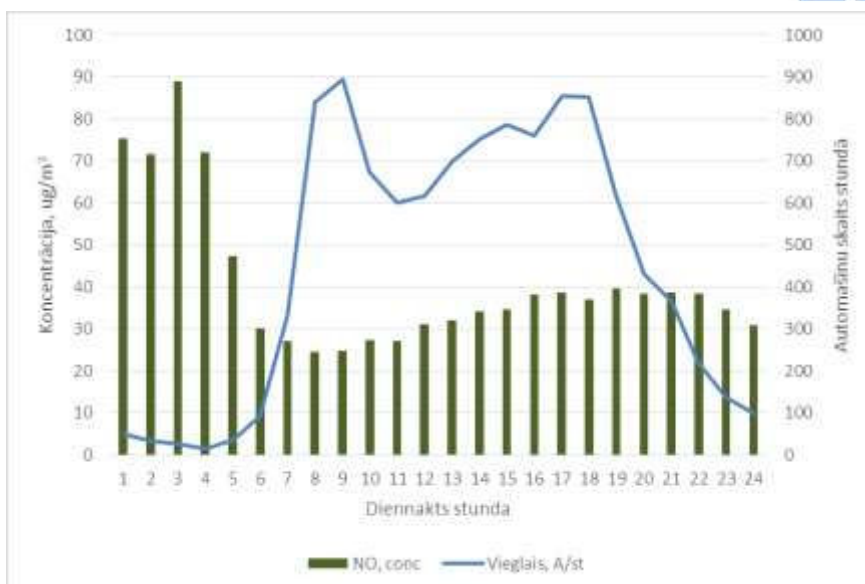
22. attēls. Novirzes no stundas vidējās vērtības katrā no nedēļas dienām periodā 2003-2013.

Apskatot koncentrāciju izmaiņas transporta plūsmu variāciju kontekstā, izmantoti transporta vienību uzskaites rezultāti Kr. Valdemāra ielas – Lāčplēša ielas krustojumā (25.10.2009.), Kr. Valdemāra ielas – Jēkaba ielas – Kronvalda bulvāra krustojumā (21.04.2010.) un Kr. Valdemāra ielas – Z. Annas – Meierovica bulvāra krustojumā (21.04.2010.).

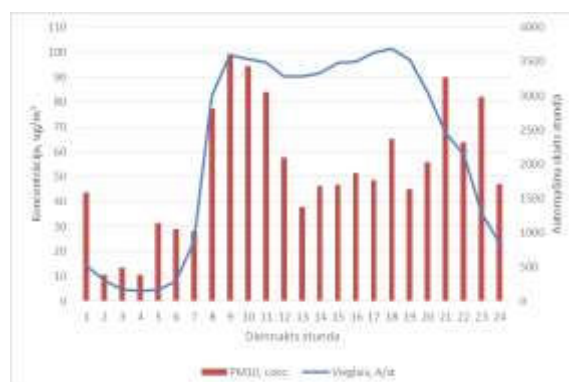
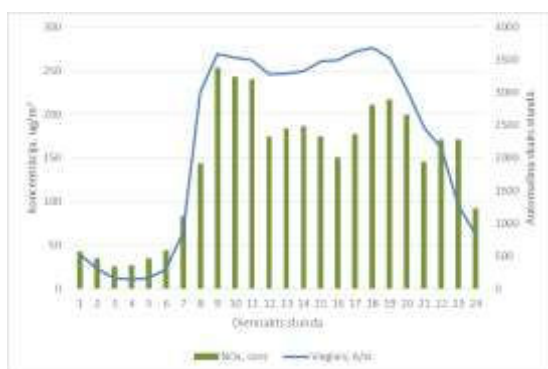


23. attēls. Vieglo automašīnu skaita mainība Kr. Valdemāra– Lāčplēša ielas krustojumā un PM₁₀ koncentrāciju izmaiņas monitoringa stacijā Kr. Valdemāra ielā 18 (25.10.2009.)

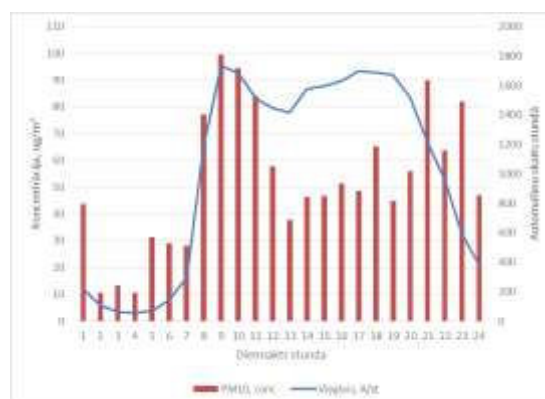
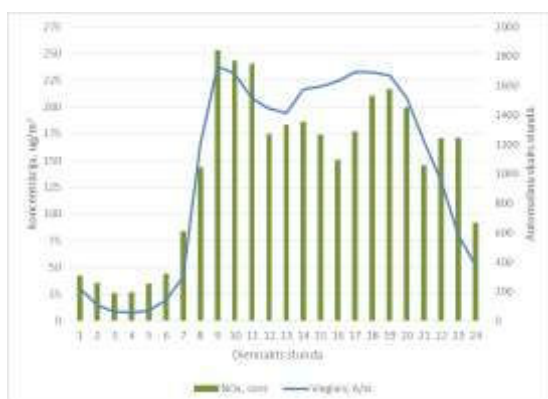
Diemžēl 25.10.2009. tehnisku iemeslu dēļ netika veikti NO_x mērījumi, bet ir veikti NO koncentrāciju mērījumi. Orientējoši var pieņemt, ka šajā gadījumā NO_x atbilst NO (pieņēmums balstīts uz novērojumiem līdzīgos meteoroloģiskos apstākļos, arī brīvdienā; atbilstības koeficients – 98-99%).



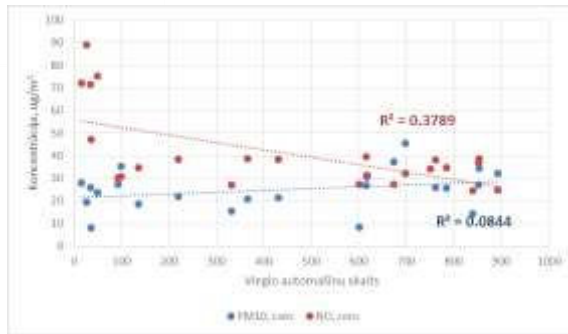
24. attēls. Vieglo automašīnu skaita mainība Kr. Valdemāra– Lāčplēša ielas krustojumā un NO koncentrāciju izmaiņas monitoringa stacijā Kr. Valdemāra ielā 18 (25.10.2009.)



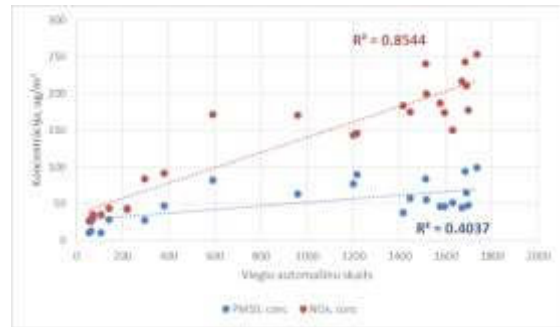
25. attēls. Vieglo automašīnu skaita mainība Kr. Valdemāra ielas – Jēkaba ielas – Kronvalda bulvāra krustojumā un NOx, PM₁₀ koncentrāciju izmaiņas monitoringa stacijā Kr. Valdemāra ielā 18 (21.04.2010.)



26. attēls. Vieglo automašīnu skaita mainība Kr. Valdemāra ielas – Z. Annas Meierovica bulvārī un NOx, PM₁₀ koncentrāciju izmaiņas monitoringa stacijā Kr. Valdemāra ielā 18 (21.04.2010.)



Automašīnu plūsma: Kr. Valdemāra – Lāčplēša ielas krustojums
Datums: 25.10.2009.



Automašīnu plūsma: Kr. Valdemāra – Z. Annas Meierovica bulvāra krustojums
Datums: 21.04.2010.

27. attēls. Vieglu automašīnu skaita saistības ciešums ar piesārņojošo vielu (NO_x, PM₁₀) koncentrācijām.

3. Modelēšanas scenāriju raksturojums

Pētījuma izstrādes ietvaros modelēšana veikta vairākiem scenārijiem, kuru nosacījumi saskaņoti ar Rīgas Domes Vides departamenta speciālistu Jāni Kleperi. Izstrādāti šādi scenāriji:

- 1) maksimālās noslodzes stundās (7:00-19:00) Kr. Valdemāra ielā drīkst braukt tikai sabiedriskais transports un apkalpojošais transports;
- 2) tiek noteikti ierobežojumi transporta vecumam: atļauts braukt tikai EURO V klases transportam un jaunākam (2009.g. un jaunāki); paliek arī sabiedriskais un apkalpojošais transports;
- 3) vieglais transports pa Kr. Valdemāra ielu drīkst braukt tikai brīvdienās;
- 4) samazināts joslu skaits vieglajam transportam - tikai pa vienai joslai katrā virzienā;
- 5) vieglais transports pa Kr. Valdemāra ielu rudens, ziemas, pavasara sezonā var braukt tikai brīvdienās, bet vasarā - jebkurā laikā.

3.1. Transporta klašu apraksts

Saskaņā ar pašreizējo reģistrēto transporta līdzekļu vecuma struktūru prevalē automašīnas, kuras ir vecākas par 11 gadiem. Apskatot visas automašīnu klases pēc to vecuma un saistot ar EURO klasēm, līdz ar to arī emisiju apjomiem, sākotnēji sagatavots esošās situācijas scenārijs. Šāda scenārija izstrāde saistīta ar modelēšanas rezultātu validāciju, - līdz ko modelēšanas rezultāti sakrīt ar mērījumu rezultātiem, iespējams izstrādāt alternatīvos scenārijus. Atkarībā no transporta līdzekļa veida (vieglais, smagais) un ražošanas gada, iespējams transporta līdzekli iedalīt konkrētā klasē, klasifikatoru raksturojums dots 3.-4. tabulā, savukārt iedalījums atbilstoši vecuma struktūrai (2013.gadā) – 5. tabulā.

3. tabula

Emisiju standarti vieglajām automašīnām (mg/km)

Euro standarts	NO _x		THC ¹		THC ¹ +NO _x		PM		PN ²	
	Dīzeldegviela	Benzīns	Dīzeldegviela	Benzīns	Dīzeldegviela	Benzīns	Dīzeldegviela	Benzīns	Dīzeldegviela	Benzīns
Euro I (1992)	-	-	-	-	970	970	140	-	-	-
Euro II (1996)	-	-	-	-	700/900 ³	500	80-100	-	-	-
Euro III (2000)	500	150	-	200	560	-	50	-	-	-
Euro IV (2005)	250	80	-	100	300	-	25	-	-	-
Euro Va (2009)	180	60	-	100	230	-	5	5	-	-
Euro 5b (2011)	180	60	-	100	230	-	5	5	6×10 ¹¹	-
Euro 6 (2014)	80	60	-	100	170	-	5	5	6×10 ¹¹	-

¹ Kopējais ogļūdeņražu daudzums (*total hydrocarbons*).

² Maksimālais pieļaujamais cieto daļiņu daudzums izplūdes gāzu vienībā uz 1 km.

³ Netiešās iesmidzināšanas (*indirect injection*) un tiešās iesmidzināšanas (*direct injection*) dzinējiem.

4. tabula

Emisiju standarti kravas automašīnām

Standarts	NO _x (g/kWh)		THC ^{a)} (g/kWh)	NMHC ^{b)} (g/kWh)	PM (mg/kWh)		PN (#/kWh)	
	Dīzeļdegviela	Gāze/Benzīns	Dīzeļdegviela	Gāze/Benzīns	Dīzeļdegviela	Gāze/Benzīns	Dīzeļdegviela	Gāze/Benzīns
Euro I (1992)	8	-	1,23	-	360/612	-	-	-
Euro IIa (1996)	7	-	1,1	-	250	-	-	-
Euro IIb (1998)	7	-	1,1	-	150	-	-	-
Euro III (2000)	5 ^{c)}	5,0	0,66 ^{d)}	0,78	100/160 ^{e)}	-	-	-
Euro IV (2005)	3,5 ^{c)}	3,5	0,46 ^{d)}	0,55	20/30 ^{e)}	-	-	-
Euro V (2008)	2,0 ^{c)}	2	0,46 ^{d)}	0,55	20/30 ^{e)}	30	-	-
Euro VI (2013)	0,4/0,46 ⁶	0,46	0,13/0,16	0,16	10/10 ^{f)}	10	6×10 ¹¹ / 8×10 ^{11 f)}	-

^{a)} Kopējais ogļūdeņražu daudzums (*total hydrocarbons*).

^{b)} Ogļūdeņražu daudzums bez metāna emisijām.

^{c)} Attiecināms gan uz Eiropas stacionāro ciklu (*European Stationary Cycle*), gan Eiropas pārejas ciklu (*European Transient Cycle*) testa cikliem.

^{d)} Attiecināms tikai uz ESC testa ciklu.

^{e)} Attiecināms uz ESC un ETC testa cikliem.

^{f)} Attiecināms uz Pasaules harmonizēto pārejas ciklu (*World Harmonized Transient Cycle*) un Pasaules harmonizēto stacionāro (*World Harmonized Stationary Cycle*) testa ciklu.

5. tabula

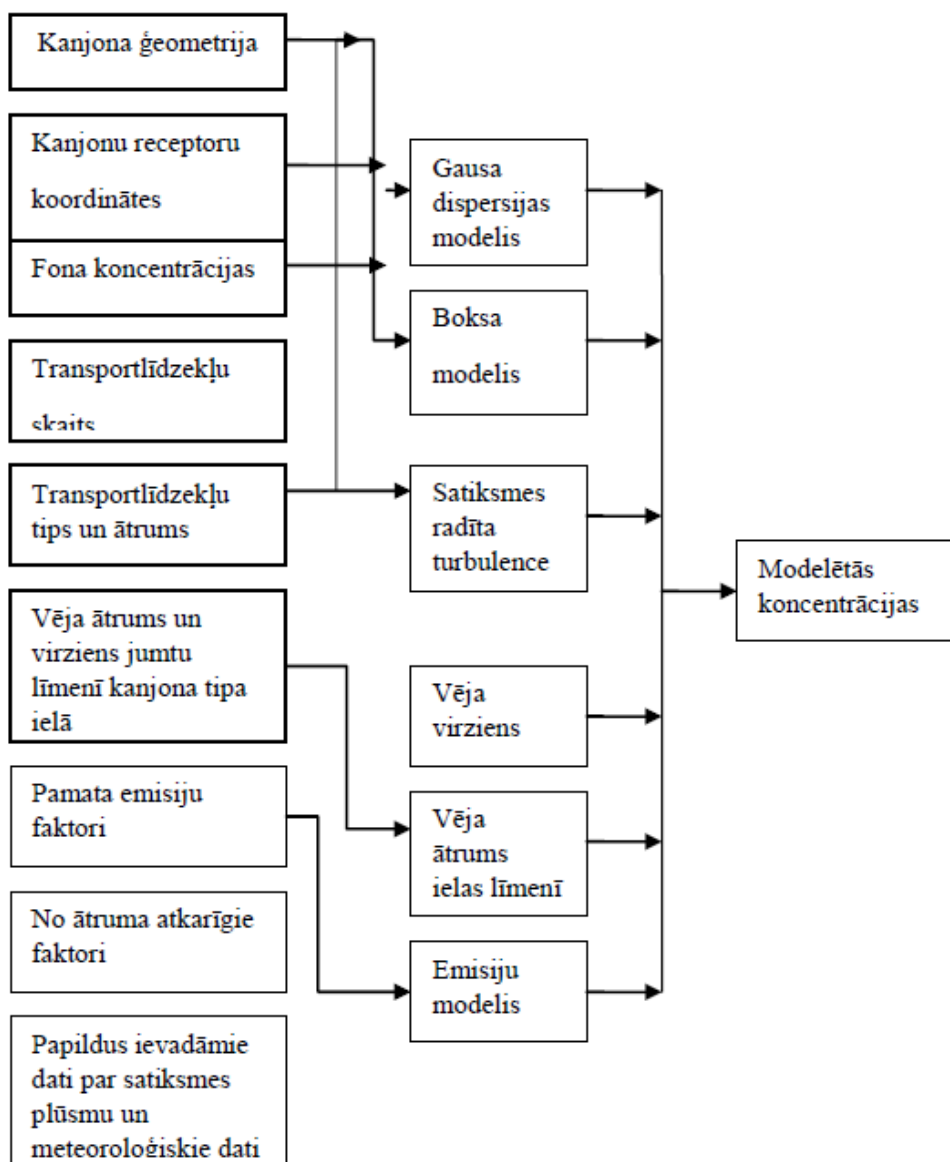
Transporta vecuma struktūras iedalījums atbilstoši EURO klasēm (2013. gada dati).

Īpatsvars	Vecuma klase	Ražošanas gads	EURO standarts	
			Vieglais transports	Smagais transports
3 %	< 2 gadiem	2011 -	EURO Vb	EURO VI
4 %	3 – 5 gadi	2008 – 2010	EURO Va	EURO V
22 %	6 – 10 gadi	2003 – 2007	EURO IV	EURO IV
72 %	> 11 gadiem	 – 2003	EURO III	EURO III

3.2. Modeļa raksturojums

Modelēšana tika veikta specializētajā programmā OSPM, kas paredzēta ielu kanjonu struktūru raksturošanai un transporta radīto emisiju novērtēšanai. Modelēšanas programma piemērota

ielu raksturošanai ar blīvu apbūvi un intensīvu satiksmes kustību. OSPM modeļa shēma redzama 28. attēlā.



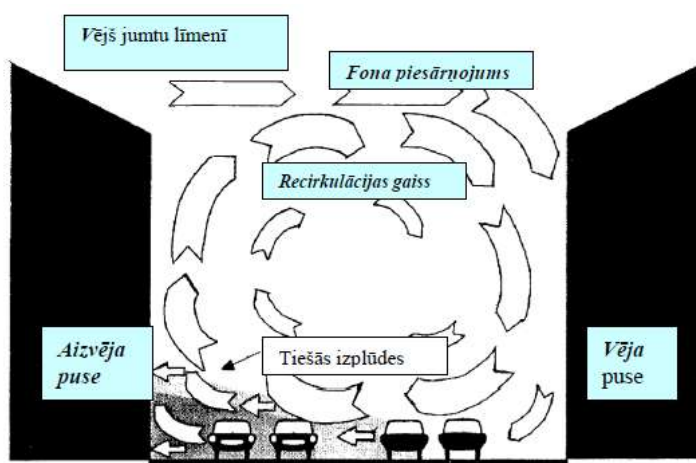
28. attēls. OSPM modeļa shēma.

OSPM programmā Gausa dispersijas (*Gaussian Plume model*) modelis tiek izmantots, lai veiktu aprēķinus par tiešo emisiju ieguldījumu (par ieguldījumu no piesārņotāju plūsmas), kas rodas no transportlīdzekļiem. Emisijas veidojas no līnijveida piesārņojuma avotiem, kas novietojas perpendikulāri vēja virzienam ielas līmenī. Pēc tam piesārņojums tiek aizvests aizvēja pusē ar vēja virpuli, kas vēja darbības rezultātā izveidojies jumtu līmenī, un notiek pārvietošanās pāri visam kanjona posmam.

Viena no galvenajām ārējām ietekmēm piesārņojuma novērtēšanai ir fona koncentrācijas. Modelēšanas programmā OSPM tie ir vieni no nepieciešamajiem ievaddatiem, lai varētu veikt modelēšanu. Fona koncentrācijas kanjona ielās veidojas no visiem apkārtējiem avotiem, izņemot mehāniskos transportlīdzekļus. Pēc izkliežu aprēķinu veikšanas programmas izdrukā

tiek aprēķinātas gan fona koncentrācijas, gan piesārņojošo vielu koncentrācijas, kuru avots ir transports. Piesārņojuma kopējais līmenis tiek summēts no fona koncentrācijām un modelētajām ielas piesārņojošo vielu koncentrācijām.

29. attēlā redzams, ka kanjona tipa ielā recirkulācijas gaisa ietekmē radītais virpulis juntu līmenī pūš uz aizvēja pusi, kur piesārņojums akumulējas. Aizvēja pusē būs raksturīgas lielākas piesārņojošo vielu koncentrācijas nekā otrā ielas pusē.

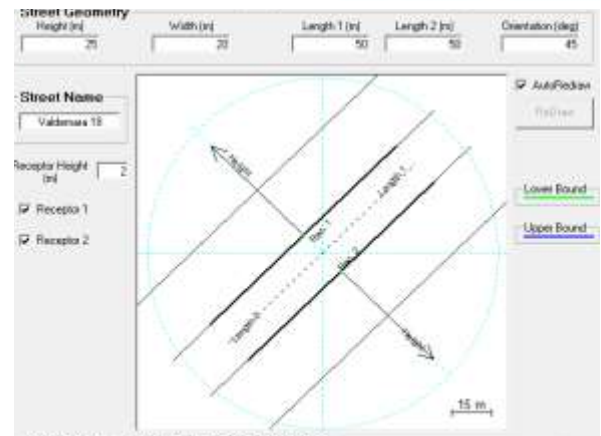


29. attēls. Gaisa plūsma un izkliede ielu kanjonā.

Vāju vēju gadījumā virpulis kanjona tipa ielā samazinās, un satiksmes radītā turbulence kļūst nozīmīga, - satiksmes ierosinātai turbulences intensitātei raksturīga kvadrātiska sakarība attiecībā pret plūsmas intensitāti.

Datu ievade un sagatavošana OSMP tiek veikta vairākos posmos, un pirms tiek uzsākta modelēšana, nepieciešama šāda informācija:

- meteoroloģiskie dati – ikstundu novērojumi (vēja ātrums, vēja virziens, sajaukšanās augstums, globālā radiācija, gaisa temperatūra, relatīvais mitrums);
- ielas posma raksturojums (būvju novietojums attiecībā pret ielu, ēku augstums abās ielas pusēs, ielas platums, ielas posma garums), ielas posma aprakstīšanai nepieciešama informācija par joslu skaitu, kā arī gājēju ietves platumu;
- pilsētas fona līmeņa mērījumi;
- informācija par maksimālo transportlīdzekļu skaitu stundā un diennaktī (dnn), kā transporta intensitāte maksimuma stundās (periodos, kad tiek sasniegta transporta plūsmas diennakts maksimālā vērtība);
- transporta līdzekļu sadalījums pēc to veidiem (vieglās automašīnas, autobusi), transportlīdzekļu plūsmas sadalījums pa klasēm, ņemot vērā emisiju ieguldījuma apjomus, klasifikāciju saskaņā ar EURO klasifikatoru, klasifikāciju pēc degvielas veida un emisiju faktoriem.



30. attēls. Valdemāra ielas kanjona profils un raksturojums OSPM.

4. Modelēšanas rezultāti

Modelēšanas scenāriju izstrādei izmantotais transporta plūsmu specializētais modelis OSPM (izstrādāts Dānijā) ir plaši pazīstams un populārs Eiropā un pasaulē, par ko liecina zinātnisko publikāciju datu bāzē iekļautās publikācijas, piemēram, datu bāzē ScienceDirect atrastas 263 publikācijas, kurās tiek aprakstīta transporta plūsmu modelēšana un ietekmes uz gaisa kvalitāti novērtējums. Kā populārākās pieminamas šīs publikācijas:

1. Berkowicz, R. (1998) Street Scale Models, In J. Fenger, O. Hertel, and F. Palmgren (eds.), Urban Air Pollution - European Aspects, Kluwer Academic Publishers, pp. 223-251.
2. Berkowicz, R. (2000) OSPM - A parameterised street pollution model, Environmental Monitoring and Assessment, Volume 65, Issue 1/2, pp. 323-331.
3. Berkowicz, R., Hertel, O., Larsen, S.E., Sørensen, N.N. and Nielsen, M. (1997) Modelling traffic pollution in streets (report in PDF format, 850 kB).
4. Berkowicz, R., Hertel, O., Sørensen, N.N. and Michelsen, J.A. (1997) Modelling air pollution from traffic in urban areas, In R.J. Perkins and S.E. Belcher (eds), Flow and Dispersion Through Groups of Obstacles, pp 121-141, Clarendon Press, Oxford, pp 121-141.
5. Berkowicz, R., Ketzel, M., Vachon, G., Louka, P., Rosant, J.-M., Mestayer, P.G. and Sini J.-F. (2002) Examination of Traffic Pollution Distribution in a Street Canyon Using the Nantes'99 Experimental Data and Comparison with Model Results, Water, Air and Soil Pollution: Focus 2(5), 311-324.
6. Di Sabatino, S., Kastner-Klein, P., Berkowicz, R., Britter, R. and Fedorovich, E. (2003) The modelling of turbulence from traffic in urban dispersion models – Part I: Theoretical considerations, Environmental Fluid Mechanics 3, 129–143.
7. Hertel, O. and Berkowicz, R. (1989a) Modelling pollution from traffic in a street canyon. Evaluation of data and model development, DMU Luft A-129, 77p.
8. Hertel, O. and Berkowicz, R. (1989b) Modelling NO₂ concentrations in a street canyon, DMU Luft A-131, 31p.
9. Hertel, O. and Berkowicz, R. (1989c) Operational Street Pollution Model (OSPM). Evaluation of the model on data from St. Olavs street in Oslo, DMU Luft A-135.
10. Kastner-Klein, P., Fedorovich, E., Ketzel, M., Berkowicz, R. and Britter, R. (2003) The modelling of turbulence from traffic in urban dispersion models – Part II: Evaluation Against Laboratory and Full-Scale Concentration Measurements in Street Canyons, Environmental Fluid Mechanics 3, 145–172.
11. Ketzel, M., Berkowicz, R. and Lohmeyer, A. (2000) Comparison of Numerical Street Dispersion Models with Results from Wind Tunnel and Field Measurements, Environmental Monitoring and Assessment, Volume 65, Issue 1/2, pp. 363-370
12. Ketzel, M., Berkowicz, R., Lohmeyer, A., Kastner-Klein, P. and Flassak T. (2001) Adaptation of results from CFD-models and wind-tunnels for practical traffic pollution modelling. Presentation at 7th Int. Conf. on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling, Belgirate, Italy, 28-31 May 2001.
13. Ketzel, M., Berkowicz, R., Müller, W.J. and Lohmeyer, A. (2002) Dependence of street canyon concentrations on above roof wind speed - implications for numerical modelling. International Journal of Environment and Pollution 17, pp. 356-366
14. Ketzel M, Berkowicz R, Hvidberg M, Jensen SS and Raaschou-Nielsen O. (2011): Evaluation of AirGIS - a GIS-based air pollution and human exposure modelling system. International Journal of Environment and Pollution. Vol. 47, Nos. 1/2/3/4, pp. 226–238.
15. Ketzel M, Jensen SS, Brandt J, Ellermann T, Olesen HR, Berkowicz R and Hertel O (2012): Evaluation of the Street Pollution Model OSPM for Measurements at 12 Streets Stations Using a Newly Developed and Freely Available Evaluation Tool. J Civil Environ Eng, S1:004.

16. Kakosimos K.E., Hertel O., Ketzel M. and Berkowicz R. (2011): "Operational Street Pollution Model (OSPM) - a review of performed validation studies, and future prospects", *Environmental Chemistry*, 7, 485-503.
17. Kukkonen, J., Valkonen, E., Walden, J., Koskentalo, T., Aarnio, P., Karppinen, A., Berkowicz, R. and Kartastenpää, R. (2000) A measurement campaign in a street canyon in Helsinki and comparison of results with predictions of the OSPM model, *Atmospheric Environment* 35, 231-243.
18. Kukkonen, J., Partanen, L., Karppinen, A., Walden, J., Kartastenpää, R., Aarnio, P., Koskentalo, T. and Berkowicz, R. (2003) Evaluation of the OSPM model combined with an urban background model against the data measured in 1997 in Runeberg Street, Helsinki, *Atmospheric Environment* 37, 1101-1112.
19. Ottosen, T-B, Ketzel, M, Skov, H, Hertel, O, Brandt, J & Kakosimos, KE, 2016, A parameter estimation and identifiability analysis methodology applied to a street canyon air pollution model, *Environmental Modelling and Software*, vol 84, pp. 165-176.
20. Ottosen, T-B, Kakosimos, KE, Johansson, C, Hertel, O, Brandt, J, Skov, H, Berkowicz, R, Ellermann, T, Jensen, SS & Ketzel, M 2015, 'Analysis of the impact of inhomogeneous emissions in the Operational Street Pollution Model (OSPM)' *Geoscientific Model Development*, vol 8, no. 10, pp. 3231-3245.
21. Palmgren, F. Hansen, A.B. Berkowicz, R. and Skov, H. (2001) Benzene emission from the actual car fleet in relation to petrol composition in Denmark. *Atmospheric Environment* 35, S35-S42.
22. Silver, J. D., Ketzel, M., & Brandt, J. (2013). Dynamic parameter estimation for a street canyon air quality model. *Environmental Modelling & Software*, 47, 235-252.
23. Vardoulakis, S., Valiantis, M., Milner, M., ApSimon, H. (2007) Operational air pollution modelling in the UK—Street canyon applications and challenges, *Atmospheric Environment* (41), pp. 4622-4627.
24. Ziv, A., Berkowicz, R., Genikhovich, E., Palmgren, F. and Yakovleva, E. (2002) Analysis of the St. Petersburg Traffic Data using the OSPM Model, *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 2(5), pp. 297-310.

Pirms scenāriju modelēšanas sagatavots 2013.gada t.s. reālās situācijas modelis, kurā ievadīti transporta uzskaites dati, fona līmeņa mērījumi, sagatavota meteoroloģisko datu kopa.

Modelēšanas programmā sagatavoti un ievadīti 8 dažādi transporta kustības scenāriji:

1. klase - 1.diena-4.diena, janvāris-jūnijs, augusts-decembris;
2. klase - 5.diena, janvāris-jūnijs, augusts-decembris;
3. klase - 6.diena, janvāris-jūnijs, augusts-decembris;
4. klase - 7.diena, janvāris-jūnijs, augusts-decembris;
5. klase - 1.diena-4.diena, jūlijs;
6. klase - 5.diena, jūlijs;
7. klase - 6.diena, jūlijs;
8. klase - 7.diena, jūlijs.

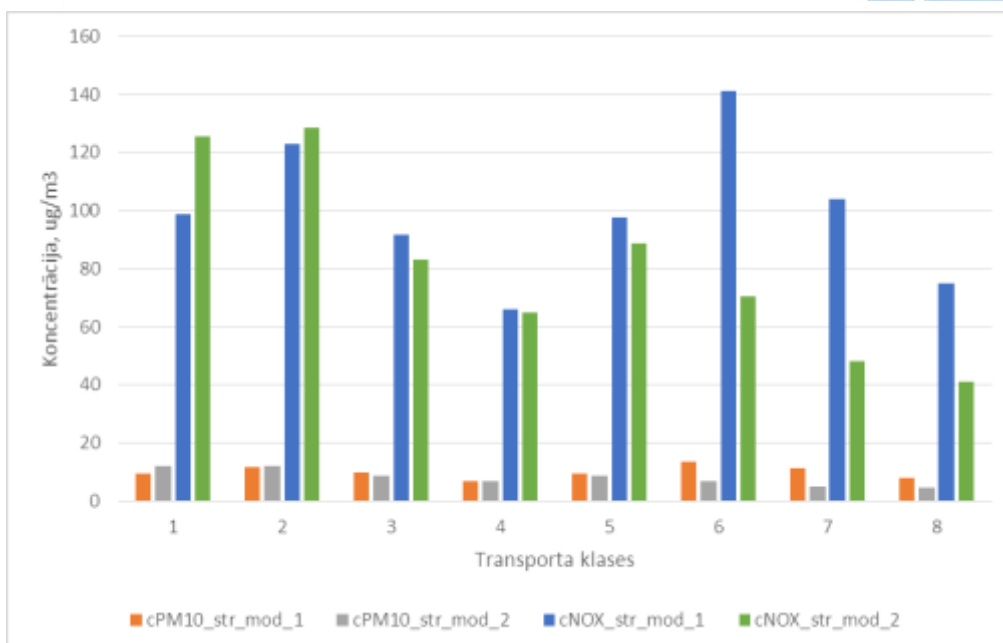
Klašu kvantitatīvie rādītāji (kopējās plūsmu intensitāte) doti 31. attēlā zemāk:

1.klase			2.klase			3.klase			4.klase		
(1.diena-4.diena; Janvāris-Jūnijs, Augusts-Decembris)			(5.diena; Janvāris-Jūnijs, Augusts-Decembris)			(6.diena; Janvāris-Jūnijs, Augusts-Decembris)			(7.diena; Janvāris-Jūnijs, Augusts-Decembris)		
	NOx	Plūsma		NOx	Plūsma		NOx	Plūsma		NOx	Plūsma
0	76.73	1145	0	87.28	1335	0	117.51	1877	0	118.18	1889
1	51.67	696	1	58.76	823	1	90.33	1389	1	93.68	1450
2	40.59	497	2	46.74	607	2	75.40	1122	2	74.13	1099
3	35.68	409	3	38.66	463	3	63.80	913	3	65.64	947
4	34.31	385	4	40.07	488	4	54.23	742	4	59.57	838
5	35.32	403	5	38.63	462	5	48.66	642	5	53.88	736
6	58.43	817	6	57.68	804	6	51.68	696	6	52.86	717
7	151.89	2494	7	136.70	2221	7	85.64	1305	7	62.32	887
8	261.98	4468	8	235.45	3992	8	121.00	1940	8	79.42	1194
9	258.87	4413	9	239.63	4067	9	170.33	2824	9	90.03	1384
10	249.97	4253	10	235.40	3991	10	172.68	2867	10	102.45	1607
11	246.18	4185	11	233.10	3950	11	167.83	2780	11	122.94	1974
12	236.87	4018	12	231.35	3919	12	182.10	3036	12	125.15	2014
13	234.35	3973	13	226.93	3840	13	179.16	2983	13	128.38	2072
14	232.33	3937	14	216.38	3650	14	177.31	2949	14	121.45	1948
15	234.36	3973	15	205.83	3461	15	171.71	2849	15	127.98	2065
16	239.25	4061	16	219.91	3714	16	161.83	2672	16	128.17	2068
17	242.69	4122	17	217.43	3669	17	174.45	2898	17	142.06	2317
18	252.03	4290	18	224.92	3803	18	175.36	2915	18	146.47	2396
19	227.33	3847	19	214.27	3613	19	167.43	2772	19	149.19	2445
20	203.80	3425	20	201.80	3389	20	158.10	2605	20	163.99	2675
21	178.89	2978	21	180.56	3008	21	165.77	2742	21	154.83	2546
22	159.14	2624	22	187.82	3138	22	161.65	2669	22	137.66	2238
23	121.40	1947	23	153.04	2514	23	141.92	2315	23	110.30	1748

5.klase			6.klase			7.klase			8.klase		
(1.diena-4.diena; Jūlijs)			(5.diena; Jūlijs)			(6.diena; Jūlijs)			(7.diena; Jūlijs)		
	NOx	Plūsma		NOx	Plūsma		NOx	Plūsma		NOx	Plūsma
0	44.25	563	0	50.34	672	0	127.65	2059	0	97.53	1519
1	16.04	57	1	18.24	96	1	64.08	919	1	108.99	1724
2	24.42	207	2	28.12	273	2	44.46	567	2	140.05	2281
3	17.36	81	3	18.81	107	3	35.68	409	3	108.45	1714
4	16.68	68	4	19.48	119	4	41.72	518	4	93.96	1455
5	30.80	322	5	33.68	373	5	36.38	422	5	88.24	1352
6	36.18	418	6	35.72	410	6	37.25	437	6	71.97	1060
7	75.28	1119	7	67.75	984	7	85.26	1298	7	122.70	1970
8	127.75	2061	8	114.81	1829	8	136.70	2221	8	122.80	1972
9	127.15	2050	9	117.70	1880	9	193.00	3231	9	135.50	2200
10	89.90	1382	10	84.66	1288	10	126.05	2030	10	134.30	2178
11	70.60	1036	11	66.85	968	11	114.46	1822	11	116.85	1865
12	87.88	1345	12	85.83	1309	12	78.65	1180	12	86.10	1314
13	58.66	821	13	56.80	788	13	75.48	1123	13	63.98	917
14	71.03	1043	14	66.15	956	14	59.56	837	14	51.85	699
15	68.80	1003	15	60.43	853	15	80.65	1216	15	62.39	888
16	117.79	1882	16	108.27	1711	16	101.63	1592	16	80.14	1207
17	130.83	2116	17	117.21	1872	17	47.93	629	17	95.54	1483
18	84.47	1284	18	75.38	1121	18	75.19	1118	18	123.50	1984
19	66.66	965	19	62.83	896	19	57.52	801	19	92.89	1435
20	66.19	956	20	65.54	945	20	69.10	1009	20	91.81	1416
21	64.60	928	21	65.20	939	21	60.51	855	21	84.85	1291
22	69.66	1019	22	82.21	1244	22	94.21	1459	22	131.15	2122
23	61.96	881	23	78.11	1170	23	107.50	1697	23	102.36	1605

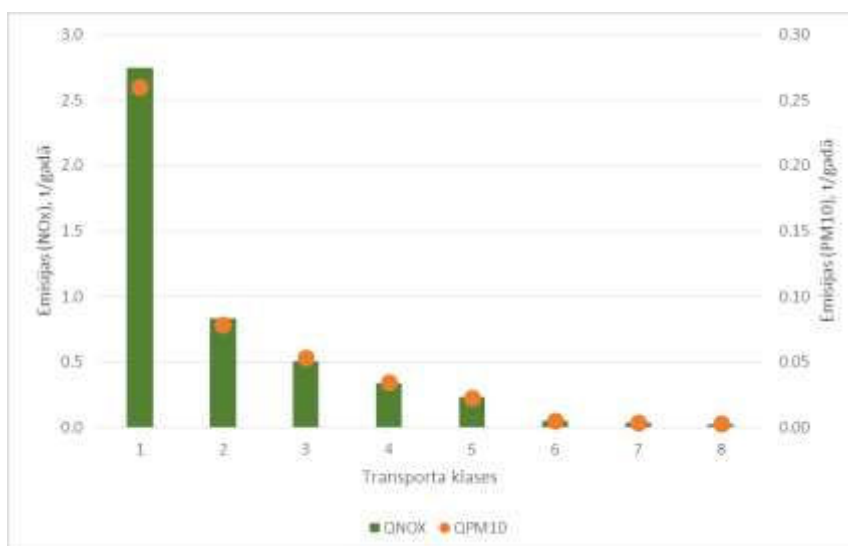
31. attēls. Klašu kvantitatīvie rādītāji (kopējās plūsmu intensitāte).

OSPM modeļa priekšrocība ir spēja novērtēt (modelēt) piesārņojošo vielu koncentrācijas abās ielas pusēs. Tās var būtiski mainīties atkarībā no vēja virziena un ātruma, apbūves īpatnībām. Cieto daļiņu PM₁₀ un slāpekļa oksīdu koncentrācijas abās ielas pusēs dotas 32. attēlā.



32. attēls. Piesārņojošo vielu koncentrācijas abās ielas pusēs (....._str_mod_1 un_str_mod_2).

Kā jau sagaidāms, lielākās transporta emisijas novērojamas aktīvākajā darba sezonā, kamēr vasarā (atvaļinājumu laikā) radītais piesārņojuma daudzums ir pat 10-kārt mazāks (skat. 33. attēlu), kas gan nav novērojams koncentrāciju jomā, kas saistīts ar specifisko monolīto apbūvi un meteoroloģiskiem apstākļiem.



33. attēls. Piesārņojošo vielu emisijas 2013 (modelī aprēķinātie emisiju daudzumi izmantojot transporta struktūru un plūsmas intensitāti).

4.1. scenārijs “Maksimālās slodzes stundās tikai sabiedriskais transports”

Scenārija raksturojums: maksimālās noslodzes stundās (7:00-19:00) darba dienās Kr. Valdemāra ielā drīkst braukt tikai sabiedriskais transports un apkalpojošais transports, plūsmas raksturojums dots 34. attēlā.

	1.klase	2.klase	3.klase	4.klase	5.klase	6.klase	7.klase	8.klase
0	1145	1335	1877	1889	563	672	2059	1519
1	696	823	1389	1450	57	96	919	1724
2	497	607	1122	1099	207	273	567	2281
3	409	463	913	947	81	107	409	1714
4	385	488	742	838	68	119	518	1455
5	403	462	642	736	322	373	422	1352
6	817	804	696	717	418	410	437	1060
7	100	89	1305	887	1119	984	1298	1970
8	179	160	1940	1194	2061	1829	2221	1972
9	177	163	2824	1384	2050	1880	3231	2200
10	170	160	2867	1607	1382	1288	2030	2178
11	167	158	2780	1974	1036	968	1822	1865
12	161	157	3036	2014	1345	1309	1180	1314
13	159	154	2983	2072	821	788	1123	917
14	157	146	2949	1948	1043	956	837	699
15	159	138	2849	2065	1003	853	1216	888
16	162	149	2672	2068	1882	1711	1592	1207
17	165	147	2898	2317	2116	1872	629	1483
18	172	152	2915	2396	1284	1121	1118	1984
19	154	145	2772	2445	965	896	801	1435
20	3425	3389	2605	2675	956	945	1009	1416
21	2978	3008	2742	2546	928	939	855	1291
22	2624	3138	2669	2238	1019	1244	1459	2122
23	1947	2514	2315	1748	881	1170	1697	1605

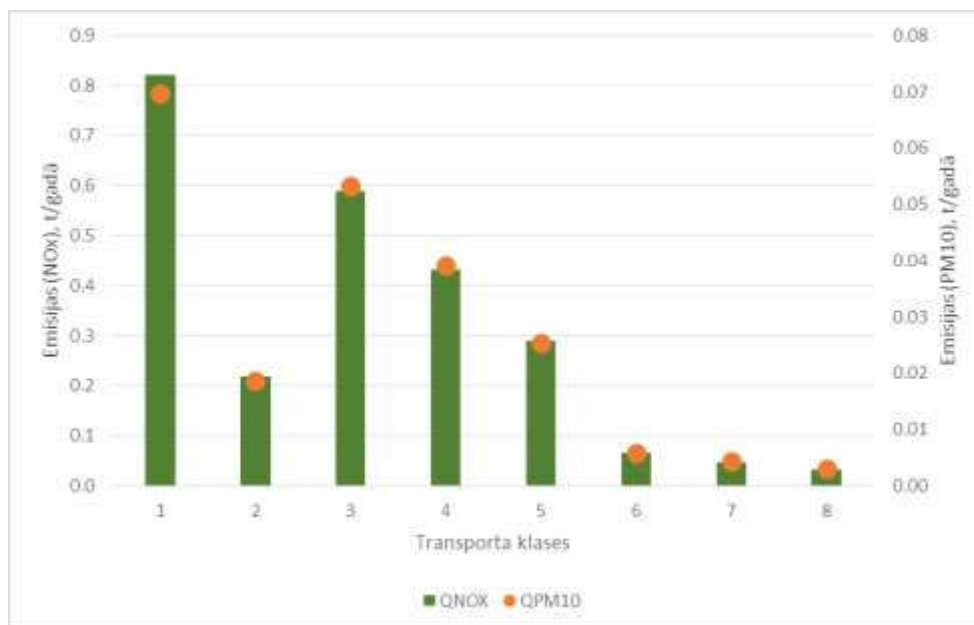
34. attēls. Transporta plūsmu kvantitatīvie rādītāji scenārijam “Maksimālās slodzes stundās tikai sabiedriskais transports”.

Būtiski (par 96%) samazinot privāto transporta līdzekļu plūsmu darba dienās, izņemot jūlija mēnesi, laika posmā no 7:00 līdz 19:00, redzams, ka piesārņojošo vielu koncentrācijas būtiski samazinās, - NO_x gadījumā novērojams trīskāršs samazinājums, savukārt PM₁₀ gadījumā – samazinājums ir divkāršs.



35. attēls. Piesārņojošo vielu koncentrācijas abās ielas pusēs (....._str_mod_1 un_str_mod_2).

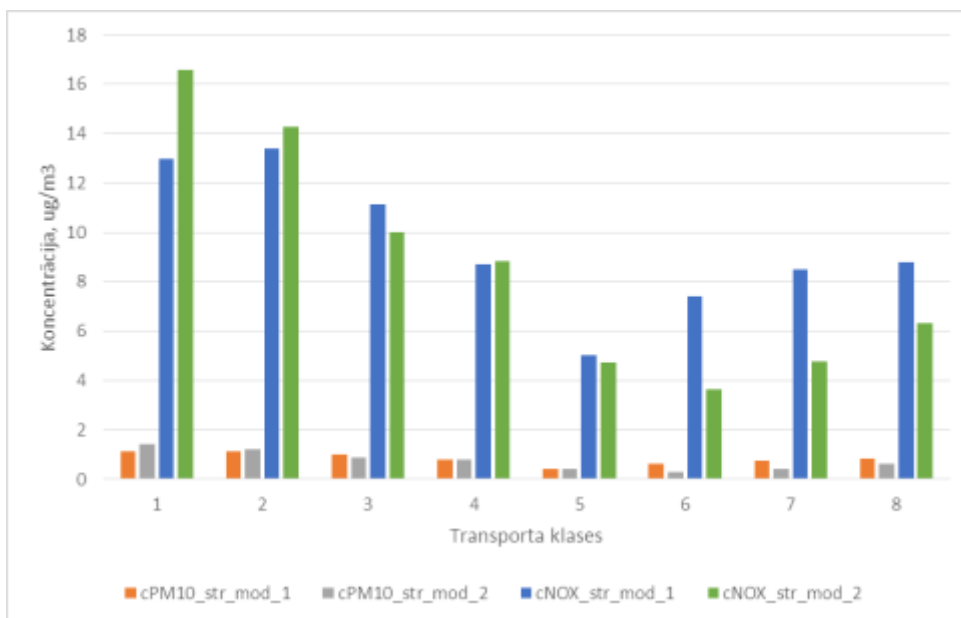
Būtisks vides kvalitātes uzlabojums sagaidāms arī kopējo emitēto vielu daudzuma ziņā, skat. 36. attēlu.



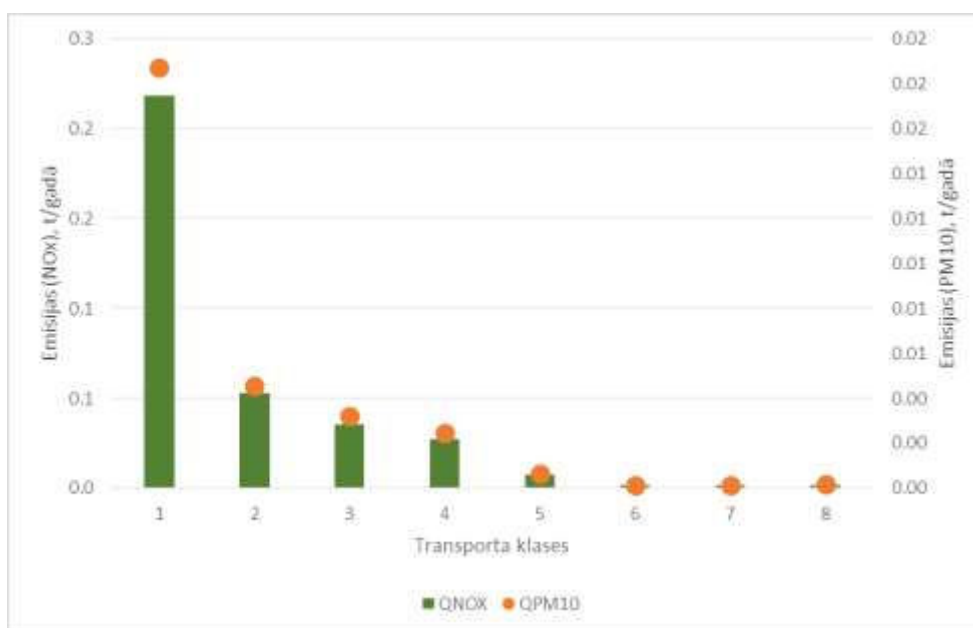
36. attēls. Piesārņojošo vielu emisijas scenārija modelī “*Maksimālās slodzes stundās tikai sabiedriskais transports*” (modelī aprēķinātie emisiju daudzumi izmantojot transporta struktūru un plūsmas intensitāti).

4.2. scenārijs “Jauno transporta līdzekļu scenārijs”

Scenārija raksturojums - tiek noteikti ierobežojumi transporta vecumam, kustība atļauta tikai EURO5 klases transportam un jaunākam (2009.g. un jaunāki); paliek arī sabiedriskais un apkalpojošais transports.



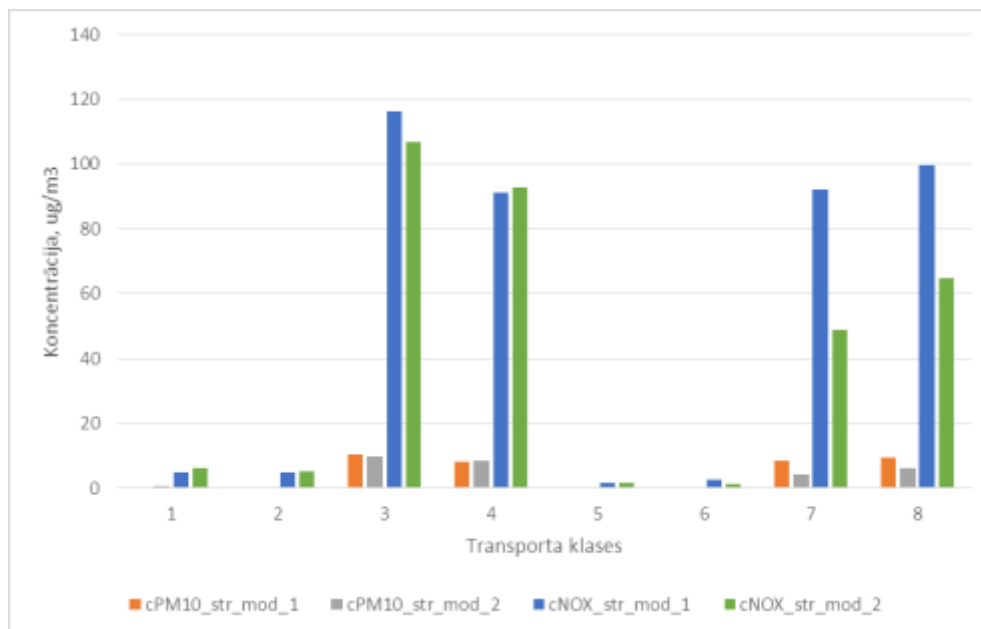
37. attēls. Piesārņojošo vielu koncentrācijas abās ielas pusēs, scenārijmodelis “*Jauno transporta līdzekļu scenārijs*” (....._str_mod_1 un_str_mod_2).



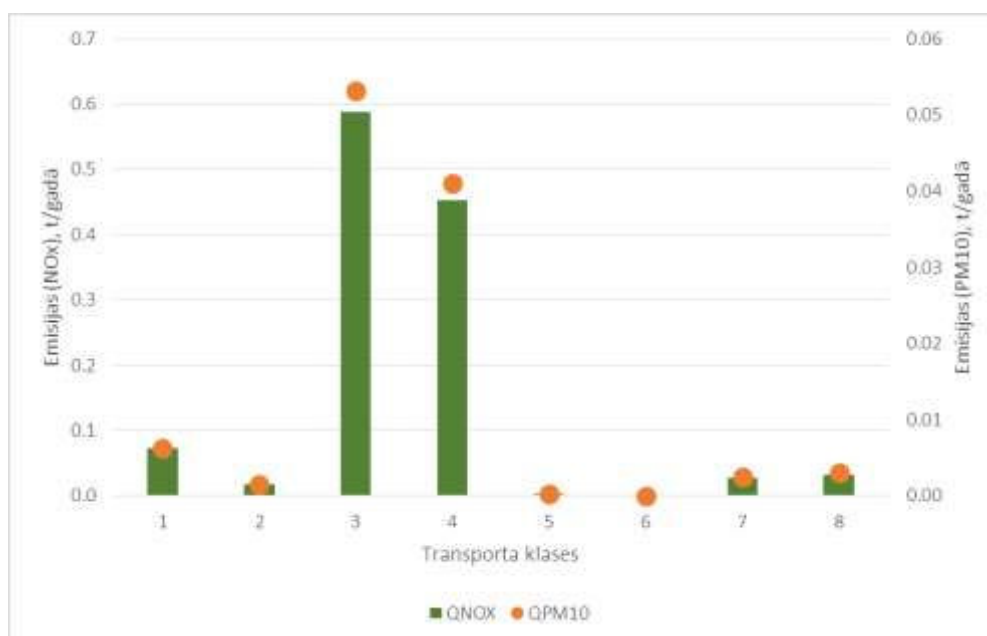
38. attēls. Piesārņojošo vielu emisijas scenārija modelī “*Jauno transporta līdzekļu scenārijs*” (modelī aprēķinātie emisiju daudzumi izmantojot transporta struktūru un plūsmas intensitāti).

4.3. scenārijs “Vieglais transports tikai brīvdienās”

Scenārija raksturojums: vieglais transports pa Kr. Valdemāra ielu drīkst braukt tikai brīvdienās.



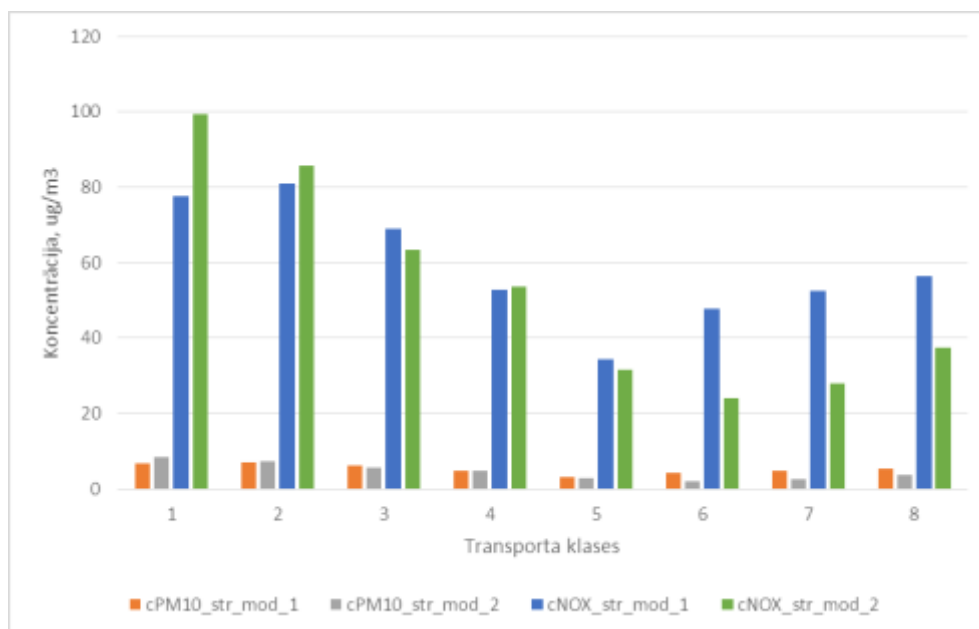
39. attēls. Piesārņojošo vielu koncentrācijas abās ielas pusēs, scenārijmodelis “Vieglais transports tikai brīvdienās” (....._str_mod_1 un_str_mod_2).



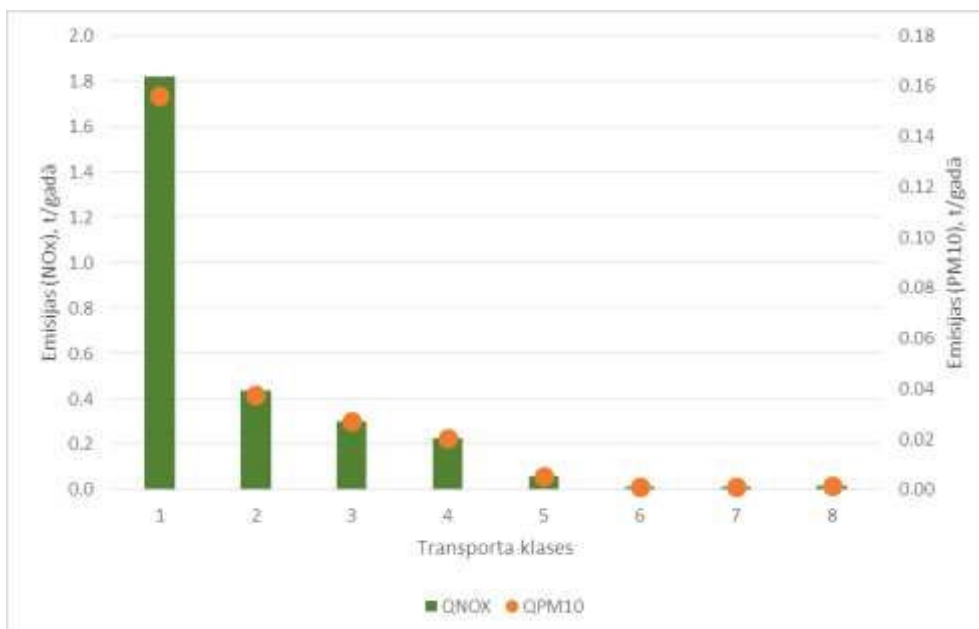
40. attēls. Piesārņojošo vielu emisijas scenārija modelī “Vieglais transports tikai brīvdienās” (modelī aprēķinātie emisiju daudzumi izmantojot transporta struktūru un plūsmas intensitāti).

4.4. scenārijs “Ierobežota vieglā transporta satiksme”

Scenārija raksturojums: samazināts joslu skaits vieglajam transportam - tikai pa vienai joslai katrā virzienā, kas faktiski atbilst vieglā transporta samazinājumam par 50 %.



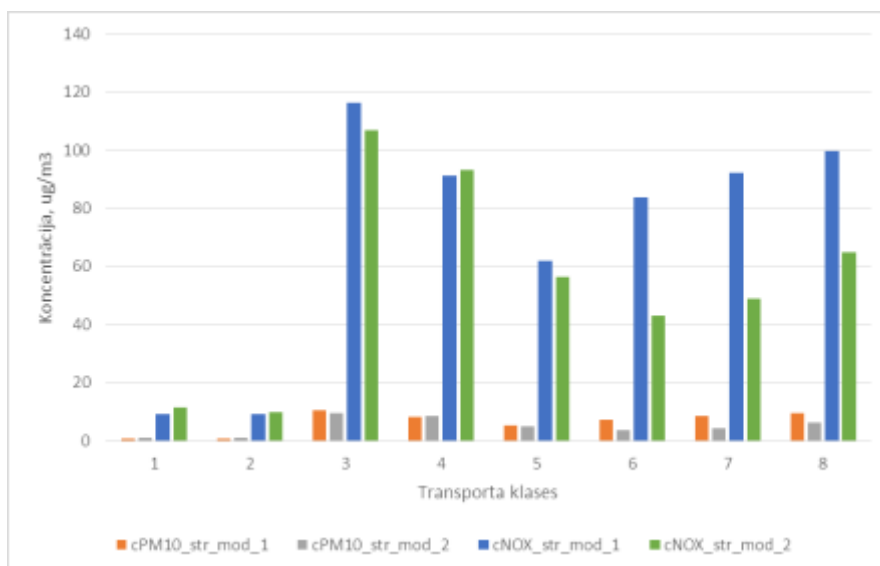
41. attēls. Piesārņojošo vielu koncentrācijas abās ielas pusēs, scenārijmodelis “Ierobežota vieglā transporta satiksme” (....._str_mod_1 un_str_mod_2).



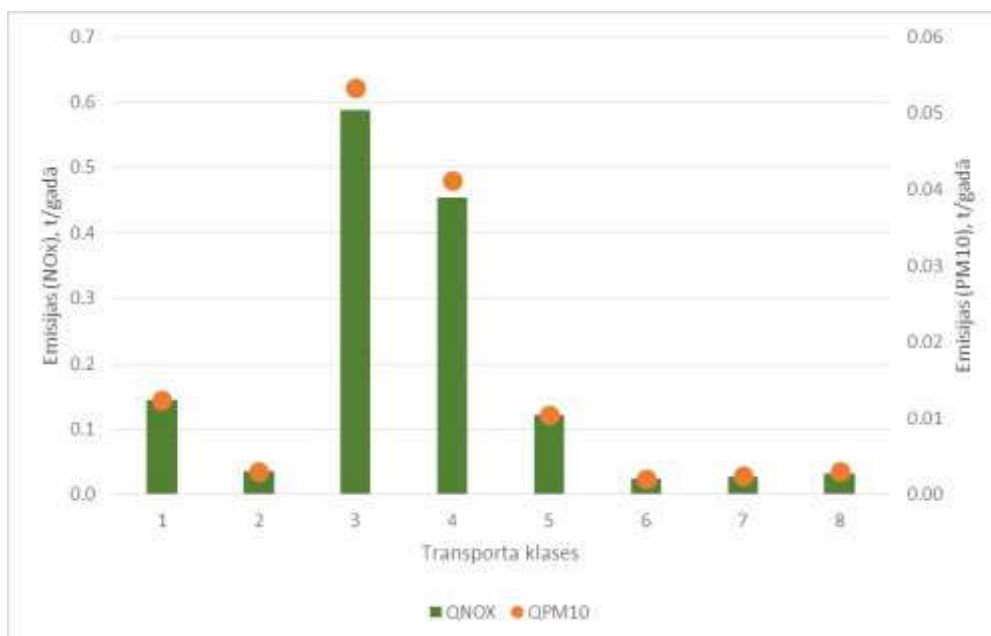
42. attēls. Piesārņojošo vielu emisijas scenārija modelī “Ierobežota vieglā transporta satiksme” (modelī aprēķinātie emisiju daudzumi izmantojot transporta struktūru un plūsmas intensitāti).

4.5. scenārijs “Sezonālie ierobežojumi”

Scenārija raksturojums: vieglais transports pa Kr. Valdemāra ielu rudens, ziemas, pavasara sezonā var braukt tikai brīvdienās, bet vasarā - jebkurā laikā.



43. attēls. Piesārņojošo vielu koncentrācijas abās ielas pusēs, scenārijmodelis “Sezonālie ierobežojumi” (....._str_mod_1 un_str_mod_2).



44. attēls. Piesārņojošo vielu emisijas scenārija modelī “Sezonālie ierobežojumi” (modelī aprēķinātie emisiju daudzumu izmantojot transporta struktūru un plūsmas intensitāti).

5. Tirgus izpētes rezultāti - tehnoloģiskie risinājumi un metodes transporta uzskaitēi kanjona tipa ielās, iegādes / izveides iespēju izvērtējums.

Mūsdienās autotransporta skaits ir liels un tas tiecas pieaugt, kas rada sarežģījumus gan satiksmes plūsmā, gan gaisa piesārņojuma ziņā. Laba satiksmes plānošana ir svarīga ne tikai pārdomātai satiksmes mezglu savienošanai un ērtas pārvietošanās nodrošināšanai, bet arī lai mazinātu satiksmes sastrēgumu biežumu un lielumu, kā arī lai gudri samazinātu gaisa piesārņojumu. Minētie faktori ir īpaši svarīgi pilsētās ar satiksmes sastrēgumiem un pasliktinātu gaisa kvalitāti, pie kādām pieder arī Rīga.

Ir plašs metožu spektrs, kas paredzēti transporta līdzekļu uzskaites veikšanai gan pilsētās, gan ārpus tām, bet galvenie faktori, kas jāņem vērā izvēloties konkrētam risinājuma paredzēto metodi ir metodes uzstādīšanas un ekspluatācijas izmaksas, tās skaitīšanas un klasifikācijas precizitāte.

1. Manuāla skaitīšana. Manuāla skaitīšana iespējama divos veidos:

Reālajā laikā - operatoram skaitot un klasēs iedalot transportlīdzekļus, atrodoties uz ielas, ceļu krustojumā, vai tml. Eksistē gan mehāniskas, gan elektroniskas iekārtas, kas operatoram palīdz ērtāk piefiksēt transportlīdzekļu skaitu un tipu. Šī metode ir ļoti precīza, lai gan tā ir atkarīga no operatora subjektīvajiem apstākļiem. Ļoti intensīvas satiksmes apstākļos pastāv risks operatoram netikt galā ar transporta uzskaiti un klasifikāciju, kas var radīt kļūdas. Lai gan ļoti precīza – šī metode ir ļoti dārga, jo jāalgo darbinieks, kurš novērojumus veic tikai tajā laikā, par ko saņem atalgojumu. Līdz ar to mazāk intensīvas satiksmes apstākļos operatora darbs kļūst maz efektīvs, bet izmaksas tāpat paliek augstas.

Videoieraksta veidā – transporta uzskaiti un klasifikāciju veic operators, skatoties videoierakstu, kurā uzņemts pētāmais satiksmes posms. Šī metode atvieglo darbu operatoram, jo tam nav jāatrodas uz vietas, tādējādi video analīzi var veikt ērtā (darba) laikā, bet pašu videoierakstu veikt jebkurā laikā. Videoierakstu iespējams veikt gan ar visparastākajām videokamerām, gan ar kamerām, kuras paredzētas konkrētajam mērķim – tās satur akumulatorus un var uzstādīt vietās bez elektrības nodrošinājuma un nereti kameras aprīkotas ar teleskopisku statīvu, kameras novietošanai augstākā punktā, kas palielina novērojamā posma redzamību. Šī metode ir efektīvāka par skaitīšanu reālajā laikā, jo videoieraksta skatīšanās ātrumu ir iespējams paātrināt atbilstoši operatora spējai reģistrēt transportlīdzekļus. Reģistrēšana notiek ar līdzīgām iekārtām, kā skaitot reālajā laikā, bet, tā kā darbs noris telpās, ir iespējami ērtāki/efektīvāki risinājumi (piemēram, speciāla reģistrēšanas klaviatūra). Lai gan efektīvāka, tomēr arī šī metode ir salīdzinoši dārga, jo jāalgo darbinieks gan operēšanai ar videokameru un videoierakstu, gan operators videoieraksta analizēšanai.

2. Pneimatiskās caurules. Šo metodi pielieto kā lētāku alternatīvu manuālajai skaitīšanai, ja nepieciešams epizodiski noskaidrot transportlīdzekļu aptuveno skaitu, neiedalot vai aptuveni

iedalot tos noteiktās klasēs. Metodes princips balstās uz neliela diametra, elastīgas caurules novietošanu perpendikulāri pāri novērojamam ceļa posmam, kas transporta līdzeklim pārbraucot pār cauruli, to saspiež, tādējādi radot spiediena izmaiņas, ko caurules vienā galā var reģistrēt mehāniska vai elektroniska iekārta. Šādas iekārtas parasti ir portatīvas un pielieto vietās, kur nepieciešams iegūt datus par satiksmi neilgā laika posmā. Visbiežāk šo metodi pielieto 24 stundu uzskaitēi.

Ja spiediena izmaiņas reģistrē elektroniska iekārta, pie kuras pieslēgts spiediena sensors, tad ir iespējams pāri braucošos transportlīdzekļus iedalīt atkarībā no to radītā spiediena izmaiņu amplitūdas - piemēram, vieglā automobiļa radītais spiediens ir atšķirams gan no kravas auto, gan no velosipēda radītā spiediena. Precīzākai datu analīzei ir nepieciešams spiediena datus kalibrēt jeb uzkrāt tiešos novērojumus par dažādu transportlīdzekļu veidu radīto spiedienu uz caurulēm, ko izmantot spiediena datu dešifrēšanā.

Pneimatiskajām caurulēm ir vairāki būtiski ierobežojumi. Caurules nav pielietojamas ilglaicīgai datu ievākšanai, jo tām ir tiešs kontakts ar transportlīdzekļiem, kas ierobežo to izmantošanas ciklu līdz dažām nedēļām. Iekārta ir portatīva, kas nozīmē, ka publiskā, viegli pieejamā vietā uzstādīta tā ir jāuzrauga operatoram, kas sadārdzina pielietošanu pilsētas vidē. Metodes izmantošanu pilsētā ierobežo fakts, ka nav pieļaujama transportlīdzekļu apstāšanās uz caurules. Šo metodi arī nav iespējams pielietot uz daudzu joslu brauktuvēn, jo blakus joslās braucošas automašīnas var radīt kļūdainus nolasījumus, kā arī lielā ātrumā pāri braucoši transportlīdzekļi rada kļūdainus rezultātus. Tā kā daudziem transportlīdzekļiem ir vairāk nekā viena ass, tad šādu transportlīdzekļu uzskaitē ir kļūdaina un transportlīdzekļu skaits tiek pārvērtēts, piemēram, kravas auto ar četrām asīm pēc šīs metodes var tikt klasificēta kā divas vieglās automašīnas, lai gan šo kļūdu ir iespējams samazināt klasificējot pāri braucošos transportlīdzekļus pēc spiediena datiem.

Pneimatisko cauruļu skaitīšanas iekārtas izmaksas ir nelielas (daži simti EUR), to sniegtais rezultāts ir optimāls transportlīdzekļu saskaitīšanai pie metodei labvēlīgiem apstākļiem. Optimāls pielietojums šai metodei ir, kad viens operators vienlaicīgi pārvalda vairākas iekārtas dažādos ceļa posmos, tādējādi optimizējot darba efektivitāti un iegūstot vairāk datus par vienu un to pašu laika posmu.

3. Indukcijas cilpas ir izplatīta metode autotransporta automātiskai uzskaitēi. Tās sastāv no ceļa segumā integrēta vada – cilpas, kas pieslēgta pie oscilatora. Transporta līdzeklim šķērsojot cilpu, izmainās elektromagnētiskais lauks, ko, savukārt, reģistrē oscilators. Var izmantot vienas cilpas sistēmu, bet tad nav iespējams spriest par autotransporta pārvietošanās ātrumu un garumu, tāpēc biežāk izmanto cilpu pāru sistēmu, kas sniedz datus arī par transporta ātrumu un garumu. Indukcijas cilpu metode ar noteiktu precizitāti var sniegt datus arī par autotransporta augstumu un asu skaitu. Indukcijas cilpu sistēma sniedz informāciju arī par autotransporta garumu – to sistēma izrēķina izmantojot informāciju par laiku, ko transporta ass pavada uz konkrētās cilpas un laiku starp pārbraukšanu pār vienu un otru cilpu. Iegūtais autotransporta garums gan parasti ir mazāks, nekā patiesais transporta garums, ko nosaka gan cilpas detektora sliekšņa līmenis, gan ceļa seguma materiāls, gan autotransporta

augstums, kā arī jaunākajos transportlīdzekļos izmantotie sintētiskie materiāli, kuri nerada pietiekoši lielu signālu uz indukcijas cilpām.

Indukcijas cilpu metodes galvenie mīnusi – ar to palīdzību nav iespējams pareizi uzskaitīt autotransportu, ja tā kustības ātrums ir neliels (zem 5 km/h), kā arī tad, ja attālums starp autotransporta vienībām ir neliels. Šie faktori limitē indukcijas cilpu pielietojamību ceļa posmos, kurus skar satiksmes sastrēgumi. Metode nespēj korekti uzskaitīt netipiskus transportlīdzekļus un arī transportlīdzekļus, kuros ir relatīvi maz metāla, piemēram, motociklus un modernas kompozītmateriālu automašīnas. Indukcijas cilpas nav arī lētas – to uzstādīšanas un uzturēšanas izmaksas ir salīdzinoši augstas, kā arī to uzstādīšanas procesā tiek ietekmēta satiksmes kustība, kas ir svarīgs faktors uzstādīšanai uz ātrgaitas šosejām.

4. Sensori svara noteikšanai kustībā. Šī tipa sensori spēj nosvērt autotransporta katras ass svaru, pārbraucot to pie normāliem autotransporta ātruma apstākļiem. Ar šī tipa sensoriem var precīzāk klasificēt autotransportu, iegūstot datus par katras ass svaru un pārvietošanās ātrumu. Sensori svara noteikšanai kustībā tiek aprīkoti arī ar induktīvo cilpu sensoriem, kuras dod signālu svara sensoram saņemt datus, tādējādi krietni uzlabojot autotransporta skaitīšanas efektivitāti un tā klasifikāciju. Parasti šie sensori tiek iebūvēti ceļa segumā ilglaicīgai lietošanai, lai gan ir iespējams pielietot arī portatīvus risinājumus. Ir dažāda veida sensori svara noteikšanai kustībā:

- a. Saliekto plašu sensors;
- b. Kapacitīvās sloksnes;
- c. Kapacitīvais paklājs;
- d. Pjezoelektriskie sensori.

Sensori svara noteikšanai kustībā salīdzinoši precīzi klasificē satiksmes dalībniekus, tomēr tai ir arī ierobežojumi – tās uzstādīšana ir dārga, uzstādīšana prasa iejaukšanos satiksmē, kā arī sistēmas uzturēšana prasa salīdzinoši lielas izmaksas.

5. Infrasarkanie lāzeru sensori/detektoru. Izšķir pasīvos (tikai uztver signālu) un aktīvos (gan raida, gan uztver signālu) infrasarkanos detektorus autotransporta uzskaitēi. Pasīvie infrasarkanie sensori nepārtraukti mēra noteikta ceļa seguma laukuma temperatūru un reģistrē tā pēkšņas izmaiņas kā autotransporta šķērsojumu pār to. Lēnas ceļa seguma temperatūras izmaiņas, tam uzsilstot vai atdziestot, neietekmē auto skaitīšanas efektivitāti. To pielietojamība satiksmes intensitātes uzskaitēi ir stipri ierobežota, jo tiem piemīt zema precizitāte galvenokārt to lēnuma dēļ. Aktīvie infrasarkanie sensori var noteikt arī transportlīdzekļa pārvietošanās ātrumus, kā arī tie spēj darboties arī diennakts tumšajā laikā.

Infrasarkano sensoru kļūdas var rasties pie mainīgiem laikapstākļiem, kā arī to kļūdas var radīt mākslīgais apgaismojums. Šos trūkumus gan var novērst gudrs signālu apstrādes algoritms.

6. Radaru sensori. Mikroviļņu radaru sensori ir paredzēti transportlīdzekļu dimensiju noteikšanai – tie var noteikt auto garumu, augstumu un tā profilu, kas, ļauj klasificēt transportlīdzekļus salīdzinoši lielās, aptuveni piecās vienībās, piemēram, izšķirot mazu vidēju vai lielu transportlīdzekli, kā arī tie spēj izšķirt vai transportlīdzeklis aprīkots ar riteņiem vai kāpurķēdēm. Vairākos pētījumos iegūtie rezultāti liecina, ka šīs metodes klasificēšanas precizitāte ir aptuveni 80 līdz 90% (Urazghildiiev et al., 2007).

Šī tipa sensori piemēroti ātrgaitas šosejām, jo metode ir neitruzīva. Arī pats mērīšanas process ir relatīvi stabils, jo radaru darbība tiek minimāli ietekmēta gan mainīgu laikapstākļu, gaismas spožuma un vibrāciju apstākļos.

7. Ultraskaņas sensori. Šie sensori raida ultraskaņas signālu un reģistrē atstarotā signāla stiprumu un laika intervālu. Metode spējīga iegūt kvalitatīvus datus par transportlīdzekļu skaitu un to pārvietošanās ātrumu pie mainīgiem laikapstākļiem, lai gan stipra vēja gadījuma sensora darbība var tikt traucēta. Lielākais mīnuss šai metodei ir šo sensoru nepieciešamība tos uzstādīt tieši perpendikulāri transportlīdzeklī – visbiežāk tieši virs brauktuves. Metodes trūkumi saistās ar sarežģījumiem izšķirt ļoti lēni braucošus, stāvošus un tuvu viens otram braucošus transportlīdzekļus.

8. Doplera/mikroviļņu radari. Šīs radaru sistēmas balstās uz mikroviļņiem, kurus iekārta izstaro un pēc tam uztver atstaroto signālu. Izmantojot Doplera efektu, ir iespējams precīzi nomērīt transportlīdzekļu pārvietošanās ātrumu, to klātbūtni un tā lielumu. Metodes precizitāte un datu kvalitāte ir atkarīga no pareizas iekārtas novietošanas attiecībā pret brauktuvi, kā arī no iekārtā izmantotā signālu apstrādes algoritma un mikroviļņu antenas veida.

9. Attēlu apstrādes sistēmas. Attēlu apstrādes sistēmas balstās uz video vai secīgu attēlu uzņemšanu un to matemātisko apstrādi, kas rezultātā dod informāciju par transportlīdzekļu skaitu noteiktā laika intervālā un to parametriem, tai skaitā, iedalījumu noteiktās klasēs. Šīs sistēmas var iedalīt divās klasēs: reālā laika sistēmas, kuras nepārtraukti veic satiksmes filmēšanu un pēcapstrādes sistēmas, kuras vispirms veic satiksmes plūsmas videoierakstu, bet attēlu apstrādes procesu pielieto pēc tam. Pēcapstrādes sistēma var būt noderīga vietās, kur ir nepieciešama īslaicīga informācija par satiksmes intensitāti un transportlīdzekļu veidiem, vai arī iegūtos datus nepieciešams validēt operatoram (augstākas precizitātes iegūšanai), toties reālā laika jeb patstāvīgā sistēma piemērotāka ilgtermiņa datu iegūšanai par stacionāru novērojamo satiksmes posmu.

Pēcapstrādes sistēma - var izmantot jebkādu videokameru, kas veic novērojamā ceļa posma videoierakstu, bet šādiem mērķiem piemērotākas ir specializētas dažādu laikapstākļu izturīgas kameras ar iebūvētiem akumulatoriem, kas tās padara portatīvas un ērti uzstādāmas dažādās vietās bez nepieciešamības pieslēgties elektrības tīklam. Šādas videokameras tiek piedāvātas arī ar teleskopiskām kājām labākai redzes lauka iegūšanai videoierakstā. Videokameras novietojumam un objektīva leņķim ir liela nozīme, lai iegūtais videomateriāls būtu efektīvi

izmantojams satiksmes datu iegūšanai. Pēc laukā veiktā videoieraksta veikšanas, tas tiek importēts speciālā programmā, kura, pareizi uzstādīta, spēj analizēt videoierakstus. Liela loma ir programmatūrai – tai ir jāspēj pēc iespējas precīzāk atšifrēt transportlīdzekļus un iedalīt tos noteiktās klasēs.

Eksistē vairākas programmas, kas uzstādāmas pēcapstrādei paredzētajā datorā, kuras var izmaksāt no dažiem simts eiro (piem., Picomixer – 480,00 EUR) līdz tūkstoš eiro un vairāk (piem., Farley Systems Corporation – 1000,00 EUR). Šādām programmatūrām gan ir mīnusi – tās ir jākonfigurē pašam lietotājam, ir viegli pieļaut kļūdas, un grūti novērtēt rezultātu ticamību, kā arī šādas programmas parasti neveic mašīnmācīšanos.

Jaunākās tehnoloģijas ļauj iegūt datus par satiksmes intensitāti (skaits, autotransporta ātrums) un sadalījumu klasēs, izmantojot arī bezpilota lidaparātus, to uzfilmēto materiālu apstrādājot ar attēlu atpazīšanas programmu. Šādu risinājumu piedāvā Čehijas kompānija RCE systems s.r.o. ar produktu DataFromSky, kurš spēj vienā filmēšanas reizē veikt 4 stundu garu lidojumu ar video ierakstu. Šāds risinājums var būt optimāls plašiem satiksmes mezgliem, kuros nav iespējams uzstādīt videonovērošanas kameru pietiekoši augstu mastā, lai varētu pārredzēt krustojumu. Drons var veikt videoierakstu no jebkāda augstuma, kas paver plašu redzesloku. Tā kā drona lidošanas ilgumam jābūt ilgam, lai iegūtu satiksmes intensitātes datus, tad attiecīgi arī drons pats ir liels, dārgs un smags, tāpēc uz šādu dronu attiecas lidošanas ierobežojumi un nepieciešamība veikt lidojuma saskaņošanu, kas sarežģī šīs metodes pielietojumu. Jāņem vērā, ka pilsētas vidē šāda jaudīga drona vadīšana var būt sarežģīta un tā nokrišana avārijas gadījumā var ļoti bīstama. Pēc drona atgriešanās un video datu iegūšanas, tos nepieciešams analizēt ar kādu no attēlu atpazīšanas programmām, vai arī tas jānodod specializētiem servisiem datu iegūšanai.

Labs rezultāts ir sasniedzams, izmantojot Miovision servisu, kas piedāvā pašu ierakstīto videomateriālu augšupielādēt uz uzņēmuma servera, tālāk veicot video atpazīšanu profesionāļu spēkiem. Ir iespēja norādīt nepieciešamo datu kvalitāti un sastāvu, no kā atkarīgas izmaksas. Šāds risinājums izslēdz nekvalificēta operatora kļūdas, kā arī uzņēmums veic 12% videoieraksta verifikāciju ar kvalificēta operatora palīdzību, tādējādi sasniedzot datu ticamību 95% (Miovision, 2017). Šāds risinājums sniegs ievērojami ticamākus rezultātus, bet izmaksas izmaksas ir tieši atkarīgas no apstrādājamā datu apjoma. Šāds risinājums ir optimāls, ja nepieciešams iegūt ticamus transportlīdzekļu uzskaites datus par kādu konkrētu satiksmes posmu noteiktā, ne pārāk ilgā laika periodā. Ja nepieciešams veikt ilglaicīgu transportlīdzekļu uzskaiti, tad noderīgākas būs reālā laika video apstrādes sistēmas.

Reālā laika jeb patstāvīgā sistēma ir efektīvs risinājums ilglaicīgai kvalitatīvai satiksmes datu iegūšanai par kādu pastāvīgu ceļa posmu. Reālā laika sistēma nepārtraukti veic satiksmes video datu iegūšanu un vienlaicīgu šo datu analīzi, kas izslēdz nepieciešamību pielietot laikietilpīgu pēcapstrādi un video datu uzturēšanu. Šāda tipa iekārtas paliek arvien populārākas pateicoties veikspējīgiem vienplates datoriem, no kuriem populārākais ir Raspberry Pi – tas ir izmēros mazs, energoefektīvāks un daudz elastīgāks no uzstādīšanas viedokļa, nekā parastie datori. Vienplates datoram tiek pieslēgta videokamera, kas

nepārtraukti, vai pēc ierosinājuma impulsa saņemšanas (piemēram, impulsu dod pasīvais infrasarkanais sensors) veic novērojamā ceļa posma filmēšanu. Reālā laika sistēmas datorā ir jābūt uzstādītai specializētai programmatūrai (kas izmanto, piemēram, OpenCV bibliotēku), kas spēj attēla ierakstus apstrādāt reālajā laikā un no apstrādes iegūt informāciju par nepieciešamajiem parametriem, kas apraksta satiksmi un iedala transportlīdzekļus pa veidiem. Rezultāts un tehniskie izaicinājumi šādai iekārtai ir līdzīgi kā pēcāpstrādes sistēmai. Izaicinājums ir pielāgot un uzprogrammēt algoritmu tā, lai tas spētu pēc iespējas precīzāk saskaitīt transportlīdzekļus un pareizi iedalīt tos noteiktās klasēs. Labākai transportlīdzekļu iedalīšanai klasēs ir nepieciešams algoritmus “trenēt” uz references situācijām un definētiem transportlīdzekļiem, tāpēc veiksmīgai sistēmas ieviešanai ir vēlama sadarbība ar iekārtas ražotāja pārstāvi par šāda “treniņa” veikšanu konkrētajiem satiksmes apstākļiem. Gudri uzprogrammēts un labi uztrenēts algoritms spēj sniegt vislabāko rezultātu, iedalot transportlīdzekļus detalizētākās klasēs ar augstāku ticamību. Pareizi iestatīta iekārta iegūtos datus var tiešsaistē nodot serverim to glabāšanai datubāzē, attēlošanai mājaslapā vai paredzēt programmu noteiktu situāciju gadījumos (piemēram, smags sastrēgums), dot signālu nepieciešamajiem operatīvajiem dienestiem, lai veiktu kādu darbību (piemēram, izsūtīt ceļu policistu satiksmes regulēšanai, vai parādīt brīdinājumu zīmi satiksmes dalībniekiem pirms konkrēta ceļa posma). Šādas sistēmas priekšrocība slēpjas tās elastīgumā, jo to var ieprogrammēt darboties jebkādā veidā, kā arī to var uzlabot, atjaunot.

Attēlu apstrādes sistēmu trūkumi saistās ar algoritmu nespēju pareizi interpretēt iegūtos attēlus specifiskos apstākļos, kas visbiežāk saistīti ar apgrūtinātu redzamību laikapstākļu dēļ (migla, lietus), vairāku automašīnu pārklāšanos redzes laukā, kā arī problēmas attēlu apstrādes algoritmiem sagādā satiksmes sastrēgumi, kuros transportlīdzekļi pārvietojas tuvu viens otram ar lēnu braukšanas ātrumu. Daļu no problēmām risina arvien gudrāki algoritmi, kuri spēj atpazīt arī tuvu un lēni braucošus auto. Arī diennakts tumšajā laikā šādai sistēmai ir sarežģīti pareizi interpretēt satiksmi, ja nav pielietota nakts redzamības kamera.

Šī tipa iekārtas pēdējos gados strauji attīstās, jo datoru, tai skaitā vienplates datoru veikspēja ir ievērojami augusi, ļaujot veikt attēlu apstrādi reālajā laikā, tai pašā laikā šādu datoru izmaksas ir salīdzinoši nelielas. Vienplates datori ir nelieli, tos iespējams uzstādīt pie ceļu stabiem, kā arī tiem ir nodrošināma datu pārraide caur dažādiem tīkliem, sniedzot iespēju satiksmes intensitāti attēlot reālajā laikā. Lai gan tehnika pati par sevi nav dārga (daži simti eiro uz vienu staciju), tomēr lielākās izmaksas saistītas tieši ar programmatūru un algoritmiem, kuru izstrādne ir zināšanietilpīga.

Tirgū ir sastopami gan risinājumi, kuri pielāgoti konvencionālajiem personālajiem datoriem, gan modernāki risinājumi, kuri ietver vienu sistēmu ar iebūvētu videonovērošanas kameru un attēlu apstrādes algoritmu iebūvētā vienplates datorā.

10. Bezvadu magnētiskie sensori. Šī tipa sensoru darbības princips balstās uz zemes magnētiskā lauka izmaiņu reģistrēšanu, kura izmaiņas ierosina pār to braucošie transportlīdzekļi. Sensors tiek iebūvēts ceļa segumā, izurbjot attiecīga diametra caurumu (8 - 10 cm diametrā), pēc tam caurumu aizpildot ar pildvielu (piemēram, epoksīdu). Sensora

sistēma sastāv no paša ceļa segumā iebūvētā detektora, kas aprīkots ar magnētiskā lauka sensoru, datu raidītāju, antenu, mikroprocesoru, atmiņas glabātuvi un lielas ietilpības bateriju, kas spēj sistēmu uzturēt vairākus gadus. Šādas iekārtas ierīkošana ceļa segumā prasa aptuveni 10 minūtes, kas salīdzinoši īsu periodu traucē satiksmes kustību. Detektors reģistrēto informāciju nosūta dažu simtu metru attālumā uzstādītajai bāzes stacijai, izmantojot radioviļņus, kas, savukārt, datus nosūta tālāk serverim.

Magnētisko sensoru sistēmas salīdzinoši viegli spēj identificēt autotransporta skaitu pie dinamiskas, netraucētas satiksmes plūsmas, bet lielākais izaicinājums ir pareizi interpretēt magnētiskā lauka izmaiņu signālu un pārvērst to derīgā informācijā pie palēlinātas satiksmes kustības sastrēgumu laikā, jo šādos apstākļos magnētiskā lauka izmaiņu signālu ietekmē vienlaicīgi vairāk kā viens transportlīdzeklis. Ir izstrādāti vairāki algoritmi, kas ir spējīgi šo informāciju izfiltrēt un sniegt informāciju par transportlīdzekļu skaitu, no kuriem šobrīd veiksmīgākais algoritms ir spējīgs satiksmes sastrēguma apstākļos saskaitīt transportlīdzekļus ar kļūdu, kas nepārsniedz 3% (Bao u.c. 2016). Ja vienā ceļa posmā uz vienas brauktuves joslas tiek ierīkoti divi bezvadu magnētiskie sensori ar zināmu attālumu starp tiem, tad ir iespējams izmērīt arī transportlīdzekļu pārvietošanās ātrumu un garumu, līdz ar to aizvietojo uzstādīšanā un uzturēšanā dārgākās indukcijas cilpas (Haoui u.c., 2008). Tādējādi ir iespējams veikt arī transportlīdzekļu klasifikāciju, iedalot tos 5 klasēs ar 88 % precizitāti (Velisavljevic u.c., 2016).

Tirgū pieejama ir Sensys Networks izstrādātā iekārta VSN240, kurai ir divi modeļi – modelis sekai ierīkošanai ceļa segumā, kas ļauj iegūt precīzākus datus un modelis dziļai ierīkošanai ceļa segumā (līdz 10 cm dziļumā), kas ļauj veikt ceļa seguma remonta darbus, neietekmējot iekārtu. Ražotāja mājaslapa: <http://sensysnetworks.com/products/flexmag>

11. GPS datu apstrādes sistēma. Šī sistēma izmanto mobilo telefonu raidītos, transportlīdzekļos iebūvēto un saistīto iekārtu GPS datus, lai tos apstrādājot iegūtu informāciju par satiksmes kustību pētāmajā reģionā. Ja iegūtie dati ir atbilstoši un satur identifikāciju katram GPS raidītājam, tad datu apstrāde un analīze dod vēlamu rezultātu ar vidēji lielu ieguldāmo darbu, bet vislielākie ierobežojumi saistās ar datu iegūšanu, jo identificējami GPS dati skar fizisko personas datu aizsardzības likumu, līdz ar to ierobežotas piekļuves. GPS datus ir iespējams matemātiski apstrādāt, tādējādi iegūstot iespēju klasificēt transportlīdzekļus divās kategorijās – vieglie un smagie transporta līdzekļi, kas balstās uz šo divu tipu transportlīdzekļu atšķirīgo braukšanas uzsākšanu un bremzēšanas “rokrakstu” (Sun and Ban, 2013)

12. Automašīnās iebūvēto raidītāju detektēšanas un apstrādes sistēma. Šī ir pavisam jauna tehnoloģija urbanizētai videi, kas balstās uz pilsētā izvietotām utvērēju stacijām, kuras uztver automašīnu raidītos Bluetooth signālus, tos identificē un uzkrāj un apstrādā datus (Fernández-Ares *et al.*, 2017). Ja konkrētais transportlīdzeklis nobrauc gar vairākām pareizi izvietotām utvērēju stacijām, tad tiek iegūta informācija par automašīnas pārvietošanās laiku starp tām. Tā kā mūsdienās automašīnu skaits, kas aprīkots ar bluetooth savienojumiem ir liels un arvien palielinās, tad šāda sistēma var veiksmīgi iegūt liela apjoma precīzus datus par satiksmes intensitāti dažādos pilsētas posmos jebkurā laika griezumā, un to pielietojamība

nākotnē tikai palielināsies. Šī sistēma gan nespēj klasificēt transportlīdzekļus, bet tā kā šī tehnoloģija ir tikai izstrādes attīstības sākumā, tad, iespējams, nākotnē tiks izstrādāts veids, kā atrisināt šo problēmu.

6. Gaisa kvalitātes indeksa interneta aplikācijas izstrāde.

Pamatojoties uz pārskatu par jau esošām metodikām, darba semināriem, konsultācijām, Eiropas Savienības (ES) gaisa kvalitātes indeksa (GKI) prototipam ir izvēlētas šādas piesārņotājielas: ozons (O₃), slāpekļa dioksīds (NO₂), daļiņas PM₁₀, daļiņas PM_{2.5}, sēra dioksīds (SO₂). Tomēr jāņem vērā, ka projekta izstrādes brīdī Rīgas Dome vēl neveic PM_{2.5} mērījumus, tādēļ PM_{2.5} vietā projekta gaitā tika analizēti dati par benzola koncentrāciju. MK noteikumos par gaisa kvalitāti benzolam noteikts tikai gada robežlielums (5 µg/m³), tādēļ stundas raksturošanai kā kritiskā vērtība (lielākā vidējas gaisa kvalitātes koncentrācija) patvaļīgi pieņemta vērtība 10 µg/m³. Vielu koncentrācijas robežvērtības, vidējošanas periods un krāsas attēlotas 6. tabulā zemāk.

Zonu apraksts un krāsa	PM ₁₀ (24h, µg/m ³)	NO ₂ (1h, µg/m ³)	SO ₂ (1h, µg/m ³)	O ₃ (1h, µg/m ³)	C ₆ H ₆ (1h, µg/m ³)
Ļoti labs	0-20	0-40	0-100	0-80	0-3
Labs	21-35	41-100	101-200	81-120	4-5
Viduvējs	36-50	101-200	201-350	121-180	6-10
Slikts	51-100	201-400	351-500	181-240	11-20
Ļoti slikts	>100	>400	>500	>240	>20

6. tabula. Gaisa piesārņotāju koncentrāciju diapazoni Mīlgrāvis gaisa monitoringa stacijas GKI.

Gaisa kvalitātes indeksa kritiskās komponentes ir piesārņotājielas: O₃, NO₂, PM₁₀, benzols C₆H₆, SO₂. Projekta uzdevums bija analizēt no monitoringa stacijas „Mīlgrāvis” (Mīlgrāvis ielā 10, Rīgā) saņemtos datus, nākotnē paredzot iespēju, ka GKI attēlojumā var tikt pievienota vēl kāda monitoringa stacija.

Kopējā GKI vērtība tiek atjaunota un attēlota interneta vietnē pieejamajā kartē (attiecinīgās krāsas balona veidā) un grafikā katru stundu. Aktuālais GKI tiek aprēķināts, salīdzinot konkrētās stundas indeksu vērtības (un to atbilstību konkrētajai krāsu kategorijai) visām individuālajām komponentēm un izvēloties sliktāko (t.i., augstāko) indeksa vērtību (kā redzams 6. tabulā, izņēmums ir PM₁₀, kuram katras tekošās stundas vērtība tiek aprēķināta kā iepriekšējo 24 stundu vidējā vērtība $V_i (PM_{10})$):

$$V_i (PM_{10}) = \left(\sum_{i=1}^{i=24} V_i \right) / 24,$$

kur $i=1$ ir pēdējā nolasītā stunda un $i=24$ ir no tās atpakaļ atskatītā 24. stunda.

Gaisa kvalitātes indeksa aprēķiniem izmanto normēto GKI. Normēšanai par maksimālo vērtību izvēloties lielāko vidējas stundas koncentrāciju:

$$GKI_i = \left(\frac{V_i}{k_{N_i}} \right) * 100,$$

kur GKI_i ir i -tās piesārņotājvielas pēdējās stundas (PM10 – pēdējo 24 stundu vidējā) piesārņotājvielas gaisa kvalitātes indeksa vērtība, V_i – i -tās piesārņotājvielas pēdējās stundas (PM10 – pēdējo 24 stundu vidējā) koncentrācija, k_{Ni} – normēšanas koeficients.

Normēšanas koeficienti vielām ir šādi:

$$k_{Ni} = O_3 - 180; NO_2 - 200; PM_{10} - 50; C_6H_6 - 10; SO_2 - 350.$$

Izstrādātajā interneta vietnē redzams grafiks ar aktuālās diennakts 24 stundu GKI vērtībām, kur, uzejot uz konkrētās stundas grafiskā stabiņa, redzama „sliktākā” piesārņotājviela un tās attiecīgās stundas vērtība. Attēlojot kartē, katras stundas izvēlēta indeksa vērtība būs nevis šī normētā vērtība, bet „sliktākās” piesārņotājvielas konkrētās stundas (vai tekošo 24 stundu) koncentrācija. Tādējādi būs redzama attiecīgās stundas „galvenā piesārņotājviela”.

Vielu normētās indeksa vērtības, kuras tiek izmantotas, lai attēlotu GKI stundu vērtības, dotas 7. tabulā. Vielas tablā sarindotas pēc to ietekmes uz veselību.

Zonu apraksts un krāsa gaisa kvalitātei	PM ₁₀ (24h, μg/m ³)	NO ₂ (1h, μg/m ³)	SO ₂ (1h, μg/m ³)	O ₃ (1h, μg/m ³)	C ₆ H ₆ (1h, μg/m ³)
Ļoti labs	0-20	0-10	0-20	0-33	0-15
Labs	21-35	11-25	21-40	34-50	16-25
Viduvējs	36-50	26-50	41-70	51-75	26-50
Slikts	51-100	51-100	71-100	75-100	51-100
Ļoti slikts	>100	>100	>100	>100	>100

7. tabula. Normēta GKI zonas piesārņotājvielām, kas tiek izmantotas aprēķinos.

Aktuālās stundas GKI attēlo kā iekrāsotu balonu monitoringa stacijas atrašanās vietā uz Rīgas kartes.

Ja no monitoringa stacijas tiek saņemti nederīgi dati, piemēram, skaitlis -999 ir paziņojums par kļūdu vai negatīvu koncentrāciju, tas ir uzskatāms par datu iztrūkumu. Šādā gadījumā konkrētās stundas indeksu nosaka no pārējām vielām, kurām mērījumi derīgi. Ja konkrētajā stundā vairākām vielām normētās indeksu vērtības ir vienas zonas ietvaros, tad, GKI kā „galvenā piesārņotājviela” tiek attēlota tā viela, kurai ir vislielākā ietekme uz veselību.

Vēl jāņem vērā, ka piesārņotājvielu koncentrāciju novērtējums tiek veikts, izmantojot operatīvos datus pirms datu kvalitātes kontroles.

Secinājumi

1. Transporta plūsmu uzskaites rezultāti liecina, ka pētījuma teritorijā (Rīgā, Kr.Valdemāra ielas sākuma posmā) lielākā daļa transporta līdzekļu kustību turpina taisni, līdz ar to reģistrēto transporta līdzekļu skaits uz Vanšu tilta reprezentē pamata transporta plūsmu Kr. Valdemāra ielas sākuma posmā.
2. Transporta struktūras analīzes rezultātā iegūts, ka 96-98% no plūsmas sastāda vieglie transporta līdzekļi.
3. Vecuma struktūras analīzes rezultātā iegūts, ka vieglo un smago transporta līdzekļu grupā dominē vismaz 11 gadus veci transporta līdzekļi, kas atbilst EURO3 klasei.
4. PM_{10} un NO_x koncentrāciju mainības analīze parādīja, ka novērojamas būtiskas atšķirības nedēļas griezumā - augstākās koncentrācijas (abu vielu gadījumā) novērojamas trešdienās un ceturtdienās, savukārt zemākās, kā jau tas bija sagaidāms, - brīvdienās. Lielākas atšķirības starp brīvdienām un darba dienām novērojamas NO_x gadījumā, kad, salīdzinot svētdienas un ceturtdienas, atšķirības var sasniegt pat 48 ug/m^3 ; PM_{10} gadījumā diapazons ir salīdzinoši neliels – 12 ug/m^3 .
5. Modelēšanā iegūtie rezultāti liecina, ka no visiem apskatītajiem scenārijiem visefektīvākais ir scenārijs, kurā noteikti kustības ierobežojumi vieglajam transportam, ja to klase neatbilst EURO5 vai augstākai klasei; sagaidāmais pozitīvais guvums jeb piesārņojuma līmeņa samazinājums PM_{10} piesārņojuma jomā – 9 ug/m^3 , savukārt NO_x jomā sagaidāms koncentrāciju samazinājums pat par 90 ug/m^3 . Kā mazāk efektīvākais no scenārijiem uzskatāms scenārijs, kurā notiek ierobežojumi vieglajam transportam darba dienās laika posmā no 7:00-19:00.
6. Plānojot transporta sistēmas attīstību, dažādu scenāriju izstrāde un seku modelēšana nenoliedzami palīdz izvēlēties maksimāli efektīvāko attīstības scenāriju, tomēr sagaidāmais vides guvums var nedaudz atšķirties, kas skaidrojams ar meteoroloģisko faktoru ietekmi, kā arī citām ne-izplūdes gāzu emisijām, tādēļ vienlaikus būtu jārisina arī resuspensijas procesa radīto emisiju mazināšanas iespējas.

Izmantotās literatūras saraksts

1. Bao, X., Li, H., Xu, D., Jia, L., Ran, B., & Rong, J. (2016). Traffic vehicle counting in jam flow conditions using low-cost and energy-efficient wireless magnetic sensors. *Sensors (Switzerland)*, 16(11). <http://doi.org/10.3390/s16111868>
2. Beelen, R., Stafoggia, M., Raaschou-Nielsen, O., Andersen, Z.J., Xun, W.W., Katsouyanni, K., ..., Hoek, G., 2014. Long-term exposure to air pollution and cardiovascular mortality: an analysis of 22 European Cohorts. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)* 25 (3), 368–378.
3. Block, M.L., Elder, A., Auten, R.L., Bilbo, S.D., Chen, H., Chen, J.C., Cory-Slechta, D.A., Costa, D., et al., 2012. The outdoor air pollution and brain health workshop. *Neurotoxicity* 33, 972-984.
4. Costa, L.G., Cole, T.B., Coburn, J., Chang, Y.C., Dao, K., Roque, P.J., 2017. Neurotoxicity of traffic-related air pollution. *Neurotoxicology* 59, 133-139.
5. Fernández-Ares, A. J., Mora, A. M., Odeh, S. M., García-Sánchez, P., & Arenas, M. G. (2016). Wireless monitoring and tracking system for vehicles: A study case in an urban scenario. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 73, 22–42. <http://doi.org/10.1016/j.simpat.2016.11.004>
6. Haoui, A., Kavalier, R., & Varaiya, P. (2008). Wireless magnetic sensors for traffic surveillance. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 16(3), 294–306. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2007.10.004>
7. Jerrett, M., Finkelstein, M., 2005. Geographies of risk in studies linking chronic air pollution exposure to health outcomes. *J. Toxicol. Environ. Health* 68 (13–14), 1207–1242.
8. Langrish, J.P., Li, X., Wang, S., Lee, M.M.Y., Barnes, G.D., Miller, M.R., Cassee, F.R., Boon, N.A., Donaldson, K., Li, J., Li, L., Mills, N.L., Newby, D.E., Jiang, L., 2012. Reducing personal exposure to particulate air pollution improves cardiovascular health in patients with coronary heart disease. *Environ. Health Perspect.* 120 (3), 367–372.
9. Lee, S.J., Hajat, S., Steer, P.J., Filippi, V., 2008. A time-series analysis of any short-term effects of meteorological and air pollution factors on preterm births in London, UK. *Environ. Res.* 106 (2), 185–194.
10. Oke, T. R., 1987. *Boundary layer climates*. Methuen, London.
11. Ritz, B., Yu, F., 1999. The effect of ambient carbon monoxide on low birth weight among children born in southern California between 1989 and 1993. *Environ. Health Perspect.* 107 (1), 17–25.
12. Quass, U., John, A.C., Beyer, M., Lindemann, I., Kuhlbasch, T.A.J., Hirner, A.v, Sulkowski, M., Hippler, I., 2008. Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den P10-Emissionen von Straßen. Bundesanstalt für Straßenwesen, p. 58. Bericht V165.
13. Spirić, V.T., Janković, S., Vraneš, A.J., Maksimović, J., Maksimovic, N., 2012. The impact of air pollution on chronic respiratory diseases. *Pol. J. Environ. Stud.* 21 (2), 481–490.

14. Sun, Z., & Ban, X. (Jeff). (2013). Vehicle classification using GPS data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 37, 102–117. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2013.09.015>
15. Transportlīdzekļu reģistrācijas noteikumi, MK noteikumi Nr.1610-22.12.2009.
16. Transporta Latvijā, 2016. Statistisko datu krājums. Centrālā statistikas pārvalde. ISBN 978-9984-06-494-9.
17. Urazghildiiev, I., Ragnarsson, R., Ridderström, P., Rydberg, A., Öjefors, E., Wallin, K., Löfqvist, G. (2007). Vehicle classification based on the radar measurement of height profiles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 8(2), 245–253.
18. Vardoulakisa, S., Fisherb, B.E.A., Pericleousa, K., Gonzalez-Flesca, N., 2003. Modelling air quality in street canyons: a review. *Atmospheric Environment* 37, 155–182.
19. Velisavljevic, V., Cano, E., Dyo, V., & Allen, B. (2016). Wireless Magnetic Sensor Network for Road Traffic Monitoring and Vehicle Classification. *Transport and Telecommunication Journal*, 17(4), 274–288. <http://doi.org/10.1515/ttj-2016-0024>
20. Vester, B.P., Ebert, M., Barnert, E.B., Schneider, J., Kandler, K., Schütz, L., Weinbruch, S., 2007. Composition and mixing state of the urban background aerosol in the Rhein-Main area (Germany). *Atmos. Environ.* 41, 6102–6115.
21. Weinbruch, S., Worringen, A., Ebert, M., Scheuven, D., Kandler, K., Pfeffer, U., Bruckmann, P., 2014. A quantitative estimation of the exhaust, abrasion and resuspension components of particulate traffic emissions using electron microscopy. *Atmospheric Environment* 99, 175–182.
22. Wilhelm, M., Ghosh, J.K., Su, J., Cockburn, M., Jerrett, M., Ritz, B., 2011. Traffic-related air toxics and preterm birth: a population-based case-control study in Los Angeles County, California. *Environ. Health* 10 (1), 1–12

Interneta resursi

23. Centrālās Statistikas Pārvaldes datu bāze, <http://data.csb.gov.lv>; skatīts 10.05.2017.
24. Miovision, 2017, interneta vietne: <https://miovision.com/>

Traffic induced air pollution modelling: scenario analysis for air quality management in street canyon

Iveta Steinberga¹, Janis BikseJr¹, Janis Kleperis²

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

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

ABSTRACT

Mathematical models are intensively used in environmental science for various reasons – *status quo* assessment, statistical modelling, forecasting, and planning, scenario analysis. In the present study, atmospheric model OSPM (Operational Street Pollution Model) is employed for the calculation of the NO_x and PM₁₀ concentration levels in the historical centre of the city of Riga (Latvia) in order to further assumptions had to be made (e.g., for the traffic load) for minimization of traffic induced air pollution in street canyons. Totally five different scenarios were analysed involving prioritization of public transport, restrictions for old private cars or flow limitations in traffic jam situations during working days.

KEYWORDS

OSPM, air quality modelling, air quality planning, traffic.

1 INTRODUCTION

A numerous studies have demonstrated various health effects associated with short-term and long-term exposure to atmospheric nitrogen oxides (NO_x) and particulate matter PM₁₀ (Latza et al., 2009; Ward-Caviness et al., 2015), but only there are only several types of models have been applied to assess and simulate concentrations of pollutants in urban areas: 1) land use regression models (Noth et al., 2011; Deville Cavellin et al., 2016); 2) Gaussian dispersion models (AERMOD, CALPUFF), ordinary used for areas without obstacles or with obstacles of simple geometry (Cimorelli et al., 2005; Scire et al., 2000); 3) Street-canyon models (OSPM, SIRANE), useful for cities with high buildings, simulating pollutant transfer along the street and intersections thus providing more accurate estimation of air pollution in dense urban areas compared to Gaussian dispersion models (Hertel and Berkowicz, 1989a; Soulhac et al., 2011); and 4) Computational Fluid Dynamics models providing detailed representations of the atmospheric flow; they are limited to local applications such as the impact of a single pollution source in complex street geometry and flow characteristics (Eichhorn and Kniffka, 2010).

Intensively trafficked streets are air pollution spots in the urban areas; an urban street canyon is characterised by the presence of buildings on both sides of the street. The pollutant levels in the urban streets are strongly affected by emissions taking place inside the street

itself and the concentration level and the distribution of air pollution inside the street are maintained by surrounding physical conditions. The physical conditions heavily affect the wind speed and especially the wind direction inside the street (Britter and Hanna, 2003; Oke, 1996). The classical example is the street vortex flow that governs the pollutant distribution inside the street canyon. When wind flows are close to perpendicular to the street canyon a spiral or helical type flow develops within the canyon. Within the vortex flow relatively clean air from rooftop height is drawn down at the windward face of the street, across the road at street level, in the reverse of the wind direction at rooftop, bringing pollutants in the road to leeward face of the canyon (Britter and Hanna, 2003). The concentration inside the urban street canyon can be considered as the result of two contributions, one from emissions from local traffic in the street itself and one from background pollution entering the street canyon from above roof level.

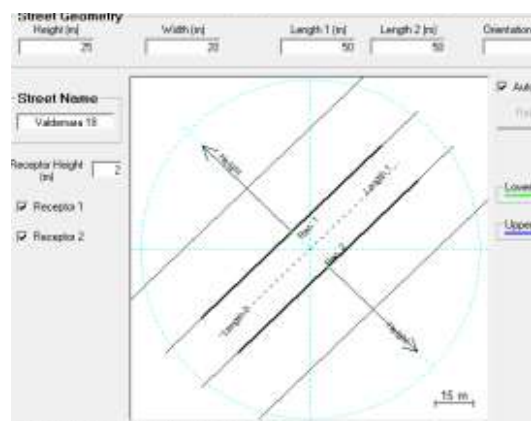
2 MATERIALS/METHODS

Study Site

OSPM model has been applied to estimate NO_x and PM₁₀ hourly concentrations in a street canyon of Kr. Valdemara Street (Riga, Latvia). This street canyon is busy and irregular (Figure 1). Kr. Valdemara Street has four lanes, is 20 m wide and is orientated south-west to north-east. Buildings on the both sides are 25 m height, traffic flow is approximately 52 000 vehicles per day with fraction of heavy vehicles about 2-5 %. Average traffic speed is about 30 – 40 km/h. Fig. 2 illustrates the diurnal variation of hourly average traffic flow for working days. Information on traffic flow, average road traffic speed and vehicle fleet composition has been obtained from local (Riga) municipality.



A



B

Figure 1. Representation of study site: A) Google Map photography; B) description in OSPM model

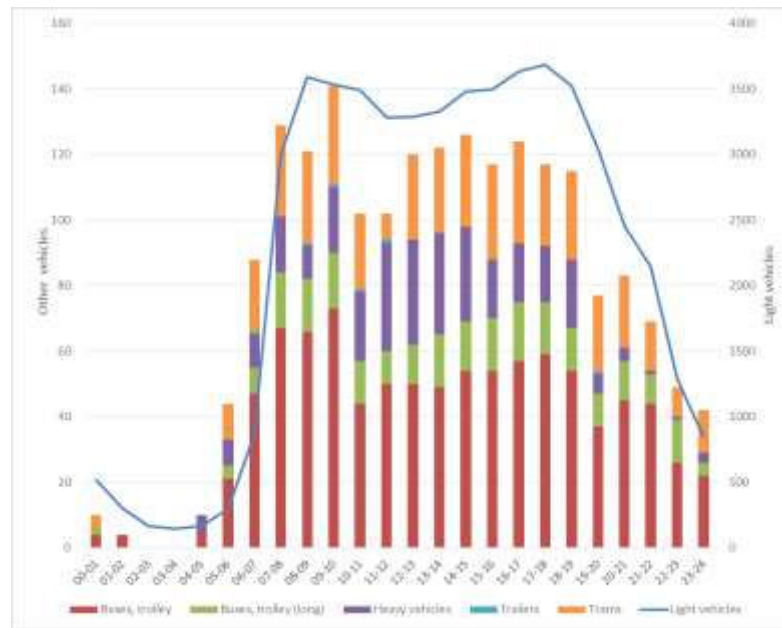


Figure 2. Diurnal traffic flow in Kr. Valdemara Street during working day (April 21, 2010)

Model description

Air quality models calculate pollutant concentrations and deposition fluxes at various locations and times using mathematical equations describing the atmospheric transport processes and chemical and physical transformation processes between the points of emissions and the receptor location(s) (Zannetti, 1990; Jacobson, 2005). For situations where the atmospheric dispersion of pollutants is constrained by obstacles such as buildings, noise-barriers or vegetation, parameterizations based on the assumption of a well-mixed zone within the canyon can be used what is included in OSPM model (Hertel and Berkowicz et al., 1989a, b, c).

OSPM is a model for vehicle induced urban street pollution. The model is designed to take differences in atmospheric conditions and types of street into account. The main characteristics of OSPM are (model parameters are summarized in Table 1):

- model consists of emissions calculated with COPERT IV (EMEP/EEA, 2009) and a dispersion model running in series. To limit the scope of the present study the focus is on the parameters related to the dispersion model.
- OSPM models the resulting hourly averaged pollution concentrations, of a specific species, at the side of the street. This is calculated as a sum of a direct contribution (C_{dir}) and a recirculating contribution (C_{rec}) plus a background concentration. The direct contribution is modelled using a simplified Gaussian plume model with a top hat distribution applied to the emission plume. The recirculating contribution is modelled using a trapezium shaped box model (Hertel and Berkowicz, 1989b; Berkowicz et al., 1997; Berkowicz, 2000).
- the wind direction, especially for low wind speeds, cannot be assumed constant over a full hour. To account for this, a numerical wind direction averaging procedure is implemented in the model (Hertel and Berkowicz, 1989c).

- d. the model also contains an algebraic expression for traffic produced turbulence. The expression depends on the number of cars in the street, their respective driving speeds, and the traffic composition (Hertel and Berkowicz, 1989c).
- e. most traffic pollutants are assumed to be inert on the time scale of the residence time in a street canyon.

Table 1

Table of model parameters in model OSPM.

Parameter	Description
α	Slope of emission dispersion plume. Proportion between roof level wind speed and roof level vertical turbulence. Element of denominator in the calculation of chemical residence time.
c	Length of recirculation zone divided by the upwind building height for wind speeds higher than g .
L_t	Upper length of the recirculation trapezium divided by the length of the baseline.
d	Angle of integration in radians for wind speeds higher than i .
f_{roof}	Scale factor to reduce the wind speed from a meteorological mast to roof level.
h_0	Initial dispersion height in the wake of a car.
z_0	Aerodynamic roughness height used to relate roof level wind to street level wind in a logarithmic profile.
g	Wind speed where the recirculation zone reaches its full extent.
i	Upper limit for increased wind direction averaging.
j	Upper limit of interval for which the general building height is taken as the average.
H_{min}	Minimum general building height.
S_p	Aerodynamic frontal area of light duty vehicles.
S_t	Aerodynamic frontal area of heavy duty vehicles.
g	Scale factor for traffic produced turbulence.
k	Scale factor to reduce the impact of traffic produced turbulence at the top of the street canyon. Element in the denominator in the calculation of chemical residence time.
γ	Scale factor for ground level wind speed reduction from parallel to perpendicular wind directions.

Model inputs

The concentration and meteorology input data come from the Latvian Environment, Geology and Meteorology Agency and Riga city council monitoring programme. In this programme hourly air quality measurements have been performed since 1993, complementary meteorological data were obtained for the same period.

Scenarios description

Based on real (year 2013) analysis several possible future traffic scenarios were elaborated. To examine these cases, it was assumed that the meteorological conditions and street's geometrical configuration, traffic load and vehicle technology were identical to the values of 2013. Following scenarios were estimated:

- 1) **SCEN1:** restrictions for light vehicle (private cars) flow during working days from 7am to 7 pm;
- 2) **SCEN2:** restrictions for old cars, movement is allowed for EURO5 or higher standard light cars;
- 3) **SCEN3:** light vehicle traffic is allowed only on holidays;
- 4) **SCEN4:** light vehicle traffic is reduced by 50 %, just two of four lines is scheduled for passenger vehicles;
- 5) **SCEN5:** light vehicle traffic is allowed only on holidays during winter, spring and autumn season, while during summer time no any restrictions are introduced.

3 RESULTS

Overall modelling results were obtained for different traffic flows in typical cases; according to OSPM model guidelines, totally 8 day-type cases were used where daily traffic flow hour-by-hour described during working days and holidays in January-June and August-December, additionally 4 different cases created for July as most popular summer holiday month.

As the most effective scenario for PM_{10} and NO_x concentration decrease was identified second scenario (SCEN_2: restrictions for old cars, movement is allowed for EURO5 or higher standard light cars), and according to results it could be expected that exhaust concentrations could decrease by $9 \mu g/m^3$ for PM_{10} and $90 \mu g/m^3$ for NO_x in average. Comparative representation of scenarios results are shown in figure 3 and figure 4.

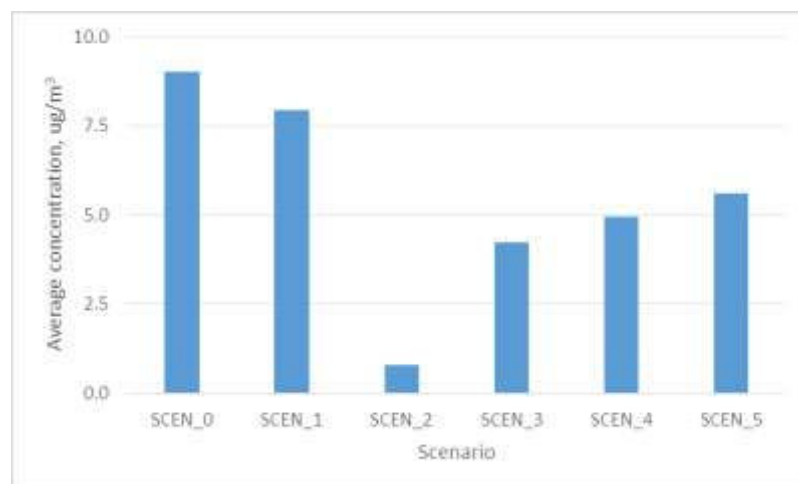


Figure 3. Average modelled PM_{10} concentration at receptor height (2 m) in street canyon

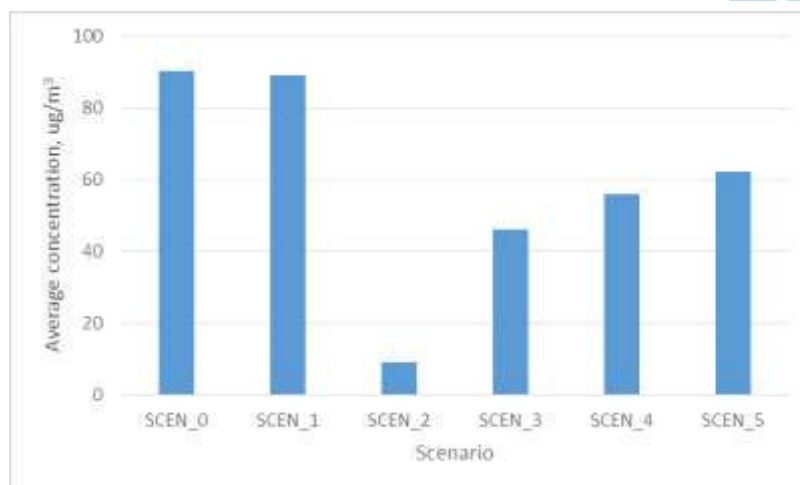


Figure 3. Average modelled NOx concentration at receptor height (2 m) in street canyon

4 CONCLUSIONS

In this work, the OSPM scenario analysis methodology was used for prediction of pollutant levels in Riga city, thus NOx and PM₁₀ concentration levels in the street canyon were calculated for zero scenario (real situation) and for five different possible development scenarios in order to introduce restrictions for traffic flow regimes. Main conclusions:

- traffic flow structural analysis shows prevalence of light vehicles reaching at least 96-98 % of total flow and 72 % of these vehicles are 11 years old corresponding to EURO3 class;
- analysis of PM₁₀ and NOx concentration variations shows substantial weekly differences; as most polluted days were identified Wednesdays and Thursdays, while during holidays pollution levels are much lower; in case of PM₁₀ concentration differences reaches 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, but in case of NOx even 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in average.
- Modelling results shows that one of the most effective scenarios could be scenario with restrictions for old cars when movement is allowed for EURO5 or higher standard light (passenger) cars; for this case effect for several cases could reach 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM₁₀ and 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for NOx on average. But as a less effective was identified scenario with restrictions for light vehicle (private cars) flow during working days from 7am to 7 pm.

5 ACKNOWLEDGEMENTS

This study has been supported by Riga City Council research project On the correlation between the air pollution and the number of vehicles and their movement patterns in the city centre street canyon (*Pētījums par gaisa piesārņojuma atkarību no transportlīdzekļu skaita un kustības rakstura pilsētas centra kanjona tipa ielā*). The authors wish to thank the Riga City Council and the Latvian Environment, Geology and Meteorology Agency for the data used in this study.

6 REFERENCES

Berkowicz, R., 2000. OSPM e a parameterised street pollution model. Environ. Monit. Assess. 65 (1e2), 323e331.

- Berkowicz, R., Hertel, O., Larsen, S., Sørensen, N.N., Nielsen, M., 1997. Modelling Traffic Pollution in Streets. Technical report. Ministry of Environment and Energy, National Environmental Research Institute.
- Britter, R.E., Hanna, S.R., 2003. Flow and dispersion in urban areas. *Annual Rev. Fluid Mech.* 35, 469-496.
- Cimorelli, A.J., Perry, S.G., Venkatram, A., Weil, J.C., Paine, R.J., Wilson, R.B., Lee, R.F., Peters, W.D., Brode, R.W., 2005. AERMOD: a dispersion model for industrial source applications. Part I: general model formulation and boundary layer characterization. *Appl. Meteorol.* 44, 682-693.
- Deville Cavellin, L., Weichenthal, S., Tack, R., Ragettli, M.S., Smargiassi, A., Hatzopoulou, M., 2016. Investigating the use of portable air pollution sensors to capture the spatial variability of traffic related air pollution, 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 10-14, 2016: Washington D.C.
- EMEP/EEA, 2009. EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook. Technical Report No 9/2009. European Environment Agency. www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009 (accessed 15.05.2017.).
- Eichhorn, J., Kniffka, A., 2010. The numerical flow model MISKAM: state of development and evaluation of the basic version. *Meteorol. Z.* 19 (1), 81-90.
- Hertel, O., Berkowicz, R., 1989a. Modelling NO₂ Concentrations in a Street Canyon. DMU Luft A-131, 31 pp.
- Hertel, O., Berkowicz, R., 1989b. Modelling Pollution from Traffic in a Street Canyon. Evaluation of Data and Model Development. DMU Luft A-129, 77 pp.
- Hertel, O., Berkowicz, R., 1989c. Operational Street Pollution Model (OSPM). Evaluation of the Model on Data from St. Olavs Street in Oslo. DMU Luft A-135.
- Jacobson, M.Z., 2005. Fundamentals of Atmospheric Modeling. Cambridge University Press, New York, NY, USA.
- Latza, U., Gerdes, S., Baur, X., 2009. Effects of nitrogen dioxide on human health: systematic review of experimental and epidemiological studies conducted between 2002 and 2006. *Int. J. Hyg. Environ. health* 212 (3), 271-287.
- Noth, E.M., Hammond, S.K., Biging, G.S., Tager, I.B., 2011. A spatial-temporal regression model to predict daily outdoor residential PAH concentrations in an epidemiologic study in Fresno, CA. *Atmos. Environ.* 45 (14), 2394-2403.
- Oke, T.R., 1996. Boundary Layer Climates, second ed. Routledge, London.
- Scire, J.S., Strimaitis, D.G., Yamartino, R.J., 2000. A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model. Earth Tech, Inc, pp. 1-521.
- Soulhac, L., Salizzoni, P., Cierco, F.-X., Perkins, R., 2011. The model SIRANE for atmospheric urban pollutant dispersion; part I, presentation of the model. *Atmos. Environ.* 45, 7379-7395.
- Ward-Caviness, C.K., Kraus, W.E., Blach, C., Haynes, C.S., Dowdy, E., Miranda, M.L., Devlin, R.B., Diaz-Sanchez, D., Cascio, W.E., Mukerjee, S., Stallings, C., Smith, L.A., Gregory, S.G., Shah, S.H., Hauser, E.R., Neas, L.M., 2015. Association of roadway proximity with fasting plasma glucose and metabolic risk factors for cardiovascular disease in a cross-sectional study of cardiac catheterization patients. *Environ. Health Perspect.* 123, 1007-1014.
- Zannetti, P., 1990. Air Pollution Modeling e Theories, Computational Methods and Available Software. Van Nostrand Reinhold, New York.



2. Pielikums. Konferences ziņojuma kopsavilkums.