

Transporto taršos sklaidos tyrimai AEROMOD modeliu Vilniuje

Sergejus Konkovas,

Gintautas Stankūnavičius

Vilniaus universitetas

*E. paštas: gintas.stankunavicius@gf.vu.lt,
kursieras@gmail.com*

Konkovas S., Stankūnavičius G. Transporto taršos sklaidos tyrimai AEROMOD modeliu Vilniuje. *Geografija*. 2007. T. 43. Nr. 2. ISSN 1392-1096.

Teršalų sklaidos tyrimas pasitelkus dispersijos modelį nebe pirmas Lietuvoje. Šiame straipsnyje akcentuojami linijiniai teršalų šaltiniai – gatvės bei teršalų sklidimo nuo intensyvaus transporto arterijų į periferiją ypatumai atsižvelgiant į transporto srautus ir transporto priemonių tipus. Gauti rezultatai iš dalies dera su oro kokybės tyrimo stočių duomenimis – foninėmis koncentracijomis. Apskaičiuotos maksimalios koncentracijų reikšmės tenka didžiausiems transporto mazgams Vilniaus centrinėje dalyje.

Raktažodžiai: teršalų sklaidos modeliavimas, transporto intensyvumas

ĮVADAS

Vilniaus miesto oro užterštumas kelia daug problemų, susijusių su kenksmingų medžiagų poveikiu žmogaus sveikatai, aplinkai. Aplinkos apsaugos agentūros duomenimis, Vilniuje didžiausius rūpesčius kelia transporto tarša, kuri per pastaruosius septynerius metus labai išaugo.

Transportas – būtina šiuolaikinės visuomenės dalis, turinti įtakos ekonominei plėtrai, tačiau augantis transporto skaičius turi didelį šalutinį poveikį. Poveikio aplinkai vertinimas – viena pagrindinių teisinio administracinio aplinkos apsaugos reguliavimo prevencinių priemonių. Svarbu ne tik patvirtinti atmosferos oro kokybės standartus, bet ir nuolat stebėti atmosferos užterštumo lygį bei užtikrinti standartus atitinkančią oro kokybę. Vertinant taršą kartu su stebėjimų sistema gali būti taikoma ir atmosferos užterštumo procesų modeliavimo sistema.

Teršalų sklaidos modelis užima svarbią vietą oro kokybės valdyje: suteikia galimybę įvertinti įvairių taršos šaltinių indėlius ir nustatyti ribinių verčių viršijimą, pavaizduoti žemėlapyje erdvinį teršalų koncentracijų pasiskirstymą, padeda atsakyti į klausimus, kaip oro užterštumas veikia aplinką, kokius nuostolius dėl to patiria žemės ūkis, miškai, parkai, įvairūs statiniai. Modeliavimo rezultatus taip pat galima taikyti sudarant oro taršos prognozę, ieškant optimaliausių būdų galimų ekologinių avarijų ir katastrofų padariniams likviduoti. Šios užduotys gali būti sprendžiamos naudojant vieną pažangiausių modelių oro taršai iš pramoninių taršos šaltinių modeliuoti – „ISC – AERMOD View“.

Šiame darbe analizuojama Vilniaus miesto teritorijos dalies, kurioje yra intensyvaus eismo gatvės, teršalų sklaida. Tiriamoje

teritorijoje yra Žirmūnų oro kokybės tyrimo (OKT) stotis, kurios matavimo duomenys lyginami su modeliuotais oro kokybės duomenimis.

Darbo tikslas – nustatyti transporto teršalų sklaidos ypatumus naudojant AERMOD modelį.

Darbo uždaviniai: 1) remiantis automobilių transporto statistikos duomenimis, įvertinti teršalų emisiją; 2) įvertinti oro teršalų sklaidą AERMOD modeliu; 3) įvertinti gautų rezultatų neapibrėžtumą.

1. ORO KOKYBĖS VERTINIMAS VILNIAUS MIESTE

Aplinkos oro kokybei stebėti ir vertinti skirtas valstybinis aplinkos oro monitoringas Lietuvoje vykdomas nuo 1967 metų. Didžiausiuose miestuose ir pramonės centruose matuotos pagrindinių ir kai kurių specifinių teršalų, būdingų tai vietai, koncentracijos: dulkės, sieros dioksidas, anglies monoksidas, sulfatai, formaldehidai, fenolas, sieros vandenilis, fluoro vandenilis, azoto oksidai, metalai ir benzapirenas.

1999–2004 m. miestų aplinkos oro kokybės monitoringo tinklas buvo modernizuotas. 2004 m. jį sudarė 13 automatizuotų oro kokybės tyrimo stočių, nuolat matuojančių azoto oksidų, sieros dioksido, anglies monoksido, kietųjų dalelių, ozono, benzeno, tolueno koncentraciją, meteorologinius parametrus. Pusiaus automatiniu būdu matuojamos dulkių, policiklinių aromatinių angliavandenių, metalų koncentracijos pažemio oro sluoksnyje.

Šiuo metu Vilniaus miesto oro kokybę vertina Aplinkos apsaugos agentūros Oro kokybės vertinimo departamentas.

Keturiuose automatinėse oro kokybės tyrimo stotyse matuojama teršalų koncentracija. Departamentas rengia atskaitas ir teikia duomenis ES institucijoms bei jų administruojamoms duomenų bazėms. Teritorijose, kuriose neatliekami nuolatiniai matavimai, oro kokybė tiriama pasyviais sorbentais, siekiant įvertinti integruotą teršalų koncentracijos lygį per ilgesnį laiko periodą ten, kur užterštumo lygis viršijo nustatytus kriterijus. Tyrimų rezultatai pateikti „Aplinkos oro kokybės tyrimų pasyviaisiais sorbentais programos Vilniaus mieste už 2004–2005 m.“ ataskaitoje (Vilniaus regiono aplinkos..., 2006). Joje įvertintos aplinkos oro teršalų – sieros dioksido (SO₂), azoto dioksido (NO₂) ir lakiųjų organinių junginių (LOJ) – vidutinės koncentracijos aplinkos ore. Gautos oro kokybės reikšmės palygintos su AIRVIRO modeliavimo sistema gautais rezultatais.

Išsamesniam aplinkos oro užterštumo vertinimui Vilniaus mieste Aplinkos apsaugos agentūra naudoja universalią modeliavimo sistemą AIRVIRO, sukurtą Švedijoje. Ši sistema apima meteorologinių parametru, stacionarių ir mobilių taršos šaltinių sklaidos bei teršalų koncentracijų matavimų duomenų bazes (Aplinkos apsaugos agentūra, 2006b; Remeikis, 2004).

2. PRADINIAI DUOMENYS IR DARBO METODIKA

Šiame darbe oro kokybės vertinimui pasirinkta Vilniaus miesto teritorija, apimanti Ozo, Geležinio Vilko, Ukmergės, Kalvarijų, Kareivių gatves, pasižyminčias dideliais transporto srautais. Ši teritorija pasirinkta todėl, kad joje yra Žirmūnų oro kokybės tyrimų stotis, kurioje nuolat matuojamos CO, NO₂ ir SO₂, NO₂ teršalų koncentracijos. Gauti stebėjimų duomenys palyginti su modeliavimu gautais rezultatais.

Teršalų sklaida vertinta AERMOD modeliu. Skaičiuodamas teršalų koncentracijas jis įvertina daug įvesties duomenų, kuriuose atspindi teršalų sklaidą ir supanti aplinka, meteorologiniai veiksniai (U. S. Environmental..., 1998).

Vienas svarbiausių oro teršalų sklaidą lemiančių parametru yra emisijos intensyvumas, t. y. teršalų kiekis, išmetamas iš taršos šaltinio per tam tikrą laiką. Priklausomai nuo šaltinio tipo emisijos intensyvumas gali būti skaičiuojamas pagal išmatuotas koncentracijas kamine, intensyvų transporto srautą kelio atkarpoje ir pan. Analizuojamoje teritorijoje nėra pramonės gamyklų ir kitų didelių taršos šaltinių. Modeliuota tik transporto tarša. Transporto išmetamųjų teršalų vertinimui buvo naudota (1) formulė, kurią galima taikyti visais lygiais: nuo atskiro variklio iki viso parko, nuo atskiro kelio iki viso žemyno (Mitrovich, 2003):

$$E_{tkd} = e_{tkd} \times m; \quad (1)$$

čia E – išmetamųjų teršalų kiekis, e – išmetamųjų teršalų koeficientas (norma) vienam veiklos vienetui, m – transporto veiklos mastas.

Įvairių transporto priemonių emisijų kiekiai yra skirtingi. Dėl šios priežasties, vertinant mišraus eismo išmetamuosius teršalus, kiekvienam teršalui atskirai apibendrintos emisijos iš kiekvienos homogeniškos transporto priemonių klasės bendrame eismo sraute.

Emisijos intensyvumas – vienas svarbiausių parametru visų kategorijų šaltiniams. Apskaičiuotos teršalų koncentracijos yra proporcingos šiam parametru, todėl svarbu naudoti kuo tikslesnį emisijų intensyvumą, nes klaidos tiesiogiai atsiliepią apskaičiuotiems koncentracijų dydžiams.

Skaičiuojant teršalų emisijas kelių ruožuose, pasinaudota Didžiosios Britanijos transporto tyrimo laboratorijos (Transport Research Laboratory – TRL) DMRB projekto (Design Manual for Roads and Bridges) ataskaitose pateikta funkcija. Skaičiuojant teršalų emisijas vienam veiklos vienetui, naudota vidutinio transporto priemonės greičio ir teršalų emisijos funkcija:

$$e_t = k + av + bv^2 + cv^3 + d/v + e/v^2 + f/v^3; \quad (2)$$

čia e_t – emisijos koeficientas vienam veiklos vienetui – t teršalui (g/km),

k, a, b, c, d, e, f – koeficientai,

v – vidutinis greitis (km/val.).

Ši formulė skirta apskaičiuoti transporto teršalų emisijos koeficientą (g/km) pučiant tam tikro vidutinio greičio vėjui v (km/val.). Koeficientai (k, a, b, c, d, e, f) priklauso nuo skaičiuojamo teršalo ir nuo transporto priemonės tipo (kategorijos), pagaminimo metų, kuro ir variklio darbinio tūrio (EMEP, 1998).

Taikant šią lygtį naudoti 2005 m. „UAB Regitra“ duomenys apie transporto priemonių pasiskirstymą Lietuvoje pagal pagaminimo metus, kurą, variklio darbinį tūrį, taip pat transporto priemonių skaičių Vilniaus mieste (Statistikos departamentas, 2006).

Įvertinus automobilių parko sudėtį pagal (2) formulę, kiekvienam teršalui (KD₁₀, CO, NO_x, CH) sudarytos emisijų funkcijos. Suskaičiuoti emisijų koeficientai vėliau naudoti linijinių taršos šaltinių modeliavimui.

(1) formulei duomenys apie transporto veiklos mastą, eismo intensyvumą gatvėse 2006 m. gauti iš Vilniaus miesto savivaldybės, duomenis apie automobilių intensyvumo kaitą per parą pateikė Žirmūnų OKT stotis.

Meteorologiniai veiksniai – vėjo greitis, kryptis, atmosferos turbulencijos intensyvumas – lemia teršalų išsisklaidymą atmosferoje. Vertinant teršalų sklaidą buvo įtraukti šie 2005 m. Vokės MS meteorologiniai duomenys: oro temperatūra ir drėgnumas, vėjo greitis ir kryptis, kritulių kiekis, slėgis, debesuotumas, sąmaišos aukštis.

3. „ISC – AERMOD VIEW“ MODELIŲ SISTEMA

„ISC – AERMOD view“ – programinė įranga, siejanti ISCST3 (industrial source complex), AERMOD (Agency Regulatory Model Improvement Committee) ir ISC-PRIME (Industrial Source Complex – Plume Rise Model Enhancement) modelius.

Šioje programinėje įrangoje esančius modelius pagal sudėtingumą galima suskirstyti į du lygius. Pirminio vertinimo lygio modeliai (ISCST3, ISC-PRIME) naudojami preliminariam šaltinių keliamos taršos lygio įvertinimui. Jie dar vadinami atrankos tipo modeliais. Vertinimo tikslas – nustatyti, ar reikalingas detalesnis modeliavimas, apskaičiuojami vidutiniai valandos, paros koncentracijų lygiai.

Pirminės atrankos modeliais nustatius, kad šaltiniai daro didelę įtaką oro kokybei, pereinama prie antro lygio vertinimo sudėtingesniu modeliu (AERMOD). Pastarasis naudoja tikslus meteorologinius ir emisijų duomenis, gali apskaičiuoti reljefo poveikį teršalų dispersijai, atsižvelgia į atmosferoje vykstančius fizinius ir cheminius procesus, leidžiančius tiksliau įvertinti koncentracijas (U. S. Environmental, 1998). Siekiant didesnio tikslumo, teritorija modeliuota būtent šiuo modeliu.

AERMOD – mikromasto oro kokybės modelis, taikomas oro kokybei kontroliuoti ir skirtas taškiniams, ploto ir tūrio šaltiniams modeliuoti. Sukurtas JAV meteorologijos tarnybos bei Aplinkos apsaugos agentūros. Šis Gauso tipo modelis remiasi ribinio sluoksnio panašumo teorija, kuri padeda apibrėžti tolydžius turbulencijos ir dispersijos koeficientus, o tai leidžia geriau įvertinti dispersiją skirtinguose išmetimo aukščiuose.

Skaičiuojant teršalų dispersiją reikia daug duomenų apie teršalų išmetimus ir vietovės meteorologines sąlygas, taip pat kompiuterinių resursų. AERMOD algoritmai yra skirti pažemio sluoksniui, vėjo, turbulencijos ir temperatūros vertikaliniams profiliams, taip pat valandos vidurkių koncentracijoms (nuo 1 iki 24 val., mėnesio, metų) apskaičiuoti, vietovės tipams įvertinti. Naudojami skaitmeniniai vietovės aukščio, pastato nuplovimo duomenys. Modelis turi daug įvesties duomenų galimybių.

3.1. Modelio įvesties parametrai

Dispersijos modeliai reikalauja tam tikros formos įvesties duomenų, kuriuose atspindėtų teršalų sklaidą ir juos supanti aplinka. Pagrindiniai dispersijos modelių įvesties parametrai:

Emisijos intensyvumas – tai teršalų kiekis, išmetamas iš taršos šaltinio per tam tikrą laiką. Priklausomai nuo šaltinio tipo emisijos intensyvumas gali būti skaičiuojamas pagal išmatuotas koncentracijas kamine, intensyvų transporto srautą kelio atkarpoje ir pan.

Teršalų išmetimo sąlygos – tai fizinės taršos šaltinio charakteristikos, kurios lemia teršalų pasiskirstymą atmosferoje (pvz., kamino aukštis, išmetamų dujų temperatūra ir kita).

Meteorologiniai veiksniai – vėjo greitis, kryptis, atmosferos turbulencijos intensyvumas, turintis įtakos teršalų išsisklaidymui atmosferoje.

Vietinės aplinkos veiksniai – vietovės reljefas ir šalia esantys pastatai.

Taip pat svarbu nustatyti *receptorių* vietą, kur bus modeliuojamos teršalų koncentracijos.

Teršalų emisija. Vertinant oro kokybę svarbiausi yra emisijų inventoriniai duomenys – nuo jų tiesiogiai priklauso, ar modeliavimo rezultatai atitiks tikrovę. Tai – tikslus medžiagų kiekis, jų išmetimo sąlygos. Emisijų inventorizaciją sudaro šaltinių ir jų išmetamų kenksmingų medžiagų identifikavimas bei emisijas nusakančių kiekybinių parametrų aprašymas. Šiame darbe modeliuojama Vilniaus miesto teritorijos dalis, kurioje didžiausias teršėjas yra transportas. Tai – linijinis šaltinio tipas.

AERMOD modelio linijinio teršalų šaltinio įvesties duomenys:

- šaltinio koordinatės,
- gatvės aukštis virš žemės (m) (taikoma tiltams, viadukams ir pan.),
- gatvės plotis (m),
- emisijos intensyvumas: teršalų šaltinio į atmosferą išmetamų kenksmingų medžiagų kiekis per laiko vienetą (g/s).

Meteorologiniai duomenys. Meteorologinės sąlygos turi didelę įtaką oro kokybei miestuose ir pramonės centruose. Silpnas vėjas, rūkas, dulksna, temperatūros inversija (kuri dažniausiai susidaro tamsiuoju paros metu esant ramiems, giedriems orams) sudaro palankias sąlygas teršalams kauptis pažemio oro sluoksnyje. Esant žemam atmosferos slėgiui (ciklonams), susidaro palankios sąlygos teršalų išsisklaidymui. Stipresnis vėjas, gausesnis sniegas arba lietus greitai išsklaido arba išplauna, nusodina kenksmingas priemaišas.

Kiekvienos dienos meteorologiniai duomenys, prieš juos naudojant modelyje, turi būti atitinkamai apdoroti modelio pagalbine programa „AERMET VIEW“, kuri skaičiuoja atmosferos stabilumo parametrus naudodama kasvalandinius meteorologinius duomenis (priežemio ir gautus iš atmosferos radiozondavimo). Taip pat ši programa interpoluoja sąmaišos sluoksnio storio (aukščio) duomenis, skaičiuoja kitus atmosferos meteorologinius parametrus, nuo kurių priklauso teršalų koncentracija ore ir nuosėdose (visose, sausose ar drėgnose). Programa duomenis apdoroja trimis etapais. Pirmajame etape įvertinama antžeminės stoties ir zondavimo duomenų kokybė. Antrajame etape visi turimi duomenys sujungiami į 24 valandų periodus ir įtraukiami į tarpinius aplankus. Trečiajame etape duomenys vėl perskaitomi, nustatomi reikiami dispersijos skaičiavimo parametrai AERMOD modeliui.

Kiti įvesties parametrai. Vietovės aukštis, reljefo pobūdis gali lemti modeliuojamą rezultatą. Modelio algoritmų skaičiuojama vietovė skirstoma į du tipus: sudėtingą vietovę, kai tiriamoje aplinkoje 50 km spinduliu aplink šaltinį yra aukštesnių vietovių už aukščiausią tiriamo taršos šaltinio tašką, paprastą vietovę – aplinką, kurioje nėra aukštesnių taškų už tiriamą taršos šaltinį ar šalia esantį pastatą. Pastarasis reljefo tipas gali būti padalintas į dvi kategorijas.

Kraštovaizdžio tipas yra svarbus modeliuojant teršalų dispersiją dėl papildomos meteorologinės informacijos. Šie duomenys nusako fizines tiriamosios teritorijos savybes. Modeliui būtina nurodyti tiriamos vietovės tipą. Galimi vietovės tipai: vandens paviršius, tankus ar retas miškas, pelkė, dirbamoji žemė, pieva, miestas, dykuma. Skirtingų tipų teritorijose atsižvelgiama į paviršiaus šiurkštumą ir albedą.

Vietovėje esančių pastatų įtaka. Kai oro srautas „prateka“ pastatą (ar kitą konstrukciją), susiformuoja turbulentinės bangos zona, kurioje yra uždaro cirkuliacijos zona. Kai kuriose šios bangos vietose gali susidaryti didesnės ar mažesnės teršalų koncentracijos aplink pastatą. Vietovėje esantys pastatai taip pat gali turėti įtakos linijinių ar ploto teršalų šaltinių sudarymui („Gatvės kanjono“ efektas). Modelis vienu metu gali įvertinti daugelio pastatų įtaką teršalų sklaidai. Tam reikia duomenų apie pastato aukštį, plotį, ilgį.

Tinklelio, arba receptorių, pasiskirstymas turi įtakos skaičiuojamoms teršalų koncentracijoms. Modelis koncentracijas skaičiuoja vartotojo pasirinktuose receptorių tinklelio taškuose. Parenkant receptorių tinklą, svarbiausia yra ne bendras receptorių skaičius, bet tinkamas šių taškų išsidėstymas bei tinkamai parinkta erdvinė skiriamoji geba. Vertinant oro kokybę pastebėta, kad didesnės koncentracijų vertės gaunamos skaičiuojant aukšta skiriamąją gebą. Vietovės topografija, meteorologija, matavimo stočių vieta ir pirminis oro kokybės vertinimas lemia šių taškų tinklo pasirinkimą AERMOD modelyje.

3.2. Rezultatų neapibrėžtumas

Rezultatų neapibrėžtumo įvertinimas yra tam tikrai vietai su modeliuotų rezultatų palyginimas su joje atliktų tiesioginių matavimų duomenimis. Nors atmosferos modeliai yra vienas pagrindinių įrankių vertinant oro kokybę, tačiau į jų trūkumus turi būti atsižvelgta. Pagrindinis modeliavimo rezultatų neapibrėžtumo vertinimo tikslas – patikrinti, ar teršalų išmetimo duomenys ir kiti įvesties parametrai tiksliai apibūdina mode-

liuojamą teritoriją. Didelį rezultatų neapibrėžtumą gali lemti modelio netobulumas arba įvesties parametru trūkumas. Oro kokybės vertinimo vadove (Vilniaus regiono aplinkos..., 2006) teigiama, kad skirtumai tarp sumodeliuotų ir išmatuotų koncentracijų gali atsirasti dėl įvairių priežasčių. Bene svarbiausia jų yra ta, jog matavimai yra taškai erdvėje, tuo tarpu modelis pateikia tūrio vidurkius. Taigi rezultatų kokybę lemia netikslūs stebėjimų duomenys ar matavimų klaidos; netikslus transporto išmetamų teršalų kiekio įvertinimas; netinkamų meteorologinių duomenų, kurie nereprezentuoja atmosferoje vykstančių procesų, pasirinkimas; modelio įvesties parametru, tokių kaip reljefo šiurkštumas, minimalus Monino-Obuchovo atstumas, netikslus pasirinkimas.

Europos Sąjungos direktyvose, vertinant metinius vidurkius, reikalaujamas 30% tikslumas, o trumpalaikiams vidurkiams – nuo 50 iki 60% tikslumas (Aplinkos apsaugos agentūra, 2006a).

4. REZULTATAI

4.1. Statistiniai automobilių parko rodikliai

Įvairių tipų transporto priemonių išmetamų teršalų kiekis yra labai skirtingas. Transporto priemonės klasifikuojamos į klases, kurios pakankamai homogeniškos ir priskiriamos tai pačiai grupei. Taigi išmetamųjų teršalų koeficientai siejami su duomenimis apie eismą.

Vidutinis eksploatuojamų automobilių amžius 2005 m. Lietuvoje buvo 13–14 metų. Lengvųjų keleivinių ir lengvųjų krovininių automobilių klasėse 50% visų automobilių yra senesni nei 13 metų. Šių automobilių teršalų kontrolės lygis yra itin žemas.

Lengvųjų automobilių degalų tipo ir variklio darbo tūrio pasiskirstymo duomenys rodo, kad 75,6% transporto sudaro benzininiai, iš jų 67% variklio darbo tūris – nuo 1,4 iki 2,0 litro. 24,4% – dyzeliniai automobiliai, tarp jų apie 70% variklio darbo tūris mažesnis už 2,0 litrus (1 pav, 1 lentelė).

Sunkiojo transporto klasei priskiriami mikroautobusai (iki 5 tonų) ir autobusai, krovininiai automobiliai (per 3,5 tonos).

Šios klasės automobiliai naudoja dyzelinį kurą, o emisija daugiausiai priklauso nuo keliamosios galios, krovinio masės. Seni autobusai, vyresni kaip 17 metų, sudaro 32% bendro autobusų parko. Ne senesni kaip 10 metų autobusai, kurių aukštas teršalų kontrolės lygis, – tik 34%.

4.2. Teršalų emisijos veiksniai

Įvairios transporto priemonių klasės yra skirtingos ir kiekvieno atskiro teršalo atveju, skiriasi ryšiai tarp emisijos ir darbinų savybių. Dėl šios priežasties, vertinant mišraus eismo išmetamuosius teršalus, reikia apibendrinti emisijas iš kiekvienos homogeniškos transporto priemonių klasės bendrame eismo srute. Naudojant TRL laboratorijos duomenis apie transporto emisijas (KD_{10} , CO, NO_x , CH), pagal Lietuvoje eksploatuojamų transporto priemonių išteklius gautos šių teršalų vidutinės emisijos.

Greičio ir emisijų kreivėms būdingos formos yra žinomos. Nors jos skiriasi priklausomai nuo transporto priemonės tipo ir teršalo, paprastai išmetamųjų teršalų kiekiai būna dideli esant mažam vidutiniam greičiui, kai transporto priemonė dažnai stabteli, pajuda iš vietos ar delsia važiuoti. Dideli išmetamųjų teršalų kiekiai, esant dideliame greičiui, atsiranda todėl, kad iš variklio reikalaujama didelės galios (Klibavičius, 1998). Taigi mažiausi išmetamųjų teršalų kiekiai būna važiuojant vidutiniu greičiu.

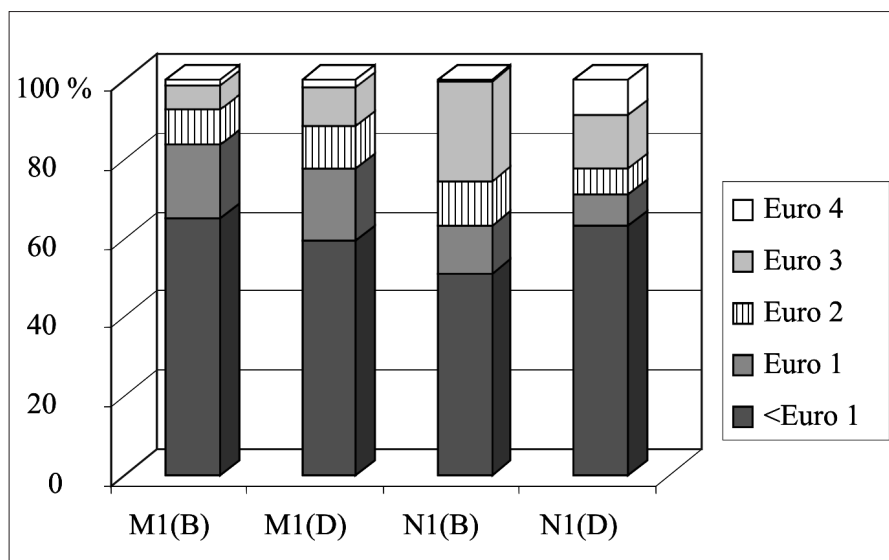
Didžiausias kietųjų dalelių emisijas išskiria sunkusis keleivinis ir krovininis transportas esant mažiausiam greičiui – 1,5 g/km, lengvųjų automobilių klasės – dyzeliniai automobiliai.

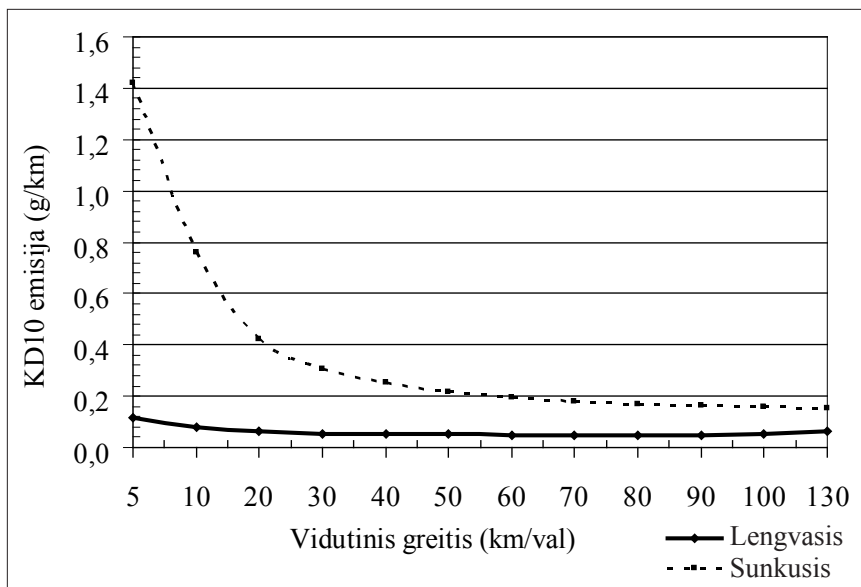
1 lentelė. Lengvųjų automobilių santykis (%) pagal kurą ir variklio tūrį (l) Lietuvoje

Table 1. Car park composition by the used fuel type and engine capacity in Lithuania

Kuras Fuel	Benzinas Petrol		Dyzelinas Diesel		
Darbo tūris Engine capacity	<1,4	1,4–2,0	>2,0	<2,0	>2,0
%	13,8	67,3	18,9	69,4	30,6
		75,6		24,4	

1 pav. Lengvųjų – keleivinių (M1) ir krovininių (N1) – automobilių sudėtis (%) Lietuvoje
Fig. 1. Traffic composition (%) in Lithuania: cars (M1) and trucks (N1)





2 pav. Apskaičiuotoji vidutinė lengvojo ir sunkiojo transporto kietųjų dalelių teršalų emisija įvairiam transporto važiavimo greičiui (km/val)
Fig. 2. Simulated mean particular matter emission (g/km) for cars (bold line) and trucks (dashed line) and for different driving speed (km/hour)

Didžiausias anglies monoksido emisijas išskiria benzinu varomi lengvieji keleiviniai ir krovininiai automobiliai – teršalų koncentracija važiuojant mažu greičiu siekia 34 g/km. Dyzelinis lengvasis transportas šių teršalų išskiria mažiausiai, emisija nesiekia 3 g/km važiuojant 5 km/val. greičiu (2pav.).

Didžiausias azoto oksido koncentracijas išskiria sunkiojo krovininio ir keleivinio transporto priemonės – iki 22,6 g/km. Tarp lengvųjų automobilių didžiausios emisijos būdingos benzinu varomiems automobiliams – 2,8 g/km važiuojant 130 km/val. greičiu.

Didžiausias anglivandenilio emisijas išskiria sunkusis keleivinis ir krovininis transportas esant mažiausiam greičiui – 6,33 g/km. Didžiausią emisiją tarp lengvųjų automobilių išskiria dyzeliniai automobilių varikliai.

4.3. Teršalų šaltinio įvesties duomenys

Gauti vidutiniai statistiniai emisijų koeficientai, atspindintys eksploatuojamą automobilių parką. Bendra emisija keliuose suskaičiuota pagal metodikoje pateiktą (3) formulę:

$$E_{\text{kel}} = (e_l \cdot n_l + e_s \cdot n_s) \cdot L;$$

čia E_{kel} – emisija kelio ruože per laiko vienetą (g/24val),

e_l – teršalo emisijos koeficientas lengvojo transporto (l) tipui (g/km),

n_l – transporto priemonių (l) skaičius per parą,

e_s – teršalo emisijos koeficientas sunkiojo transporto (s) tipui (g/km),

n_s – transporto priemonių (s) skaičius per parą,

L – kelio ruožo ilgis (km).

Vidutiniai transporto priemonių skaičiai per parą 2005 m. modeliujamose gatvėse gauti iš Vilniaus miesto savivaldybės. Jie rodo, kad didžiausias transporto srautas yra Ozo, Geležinio Vilko, Kalvarijų gatvėse (iki 30000 automobilių per parą). Ukmergės gatvės atkarpoje tarp Konstitucijos prospekto ir Geležinio Vilko g. transporto srautas siekia 100000 automobilių per parą (2 lentelė).

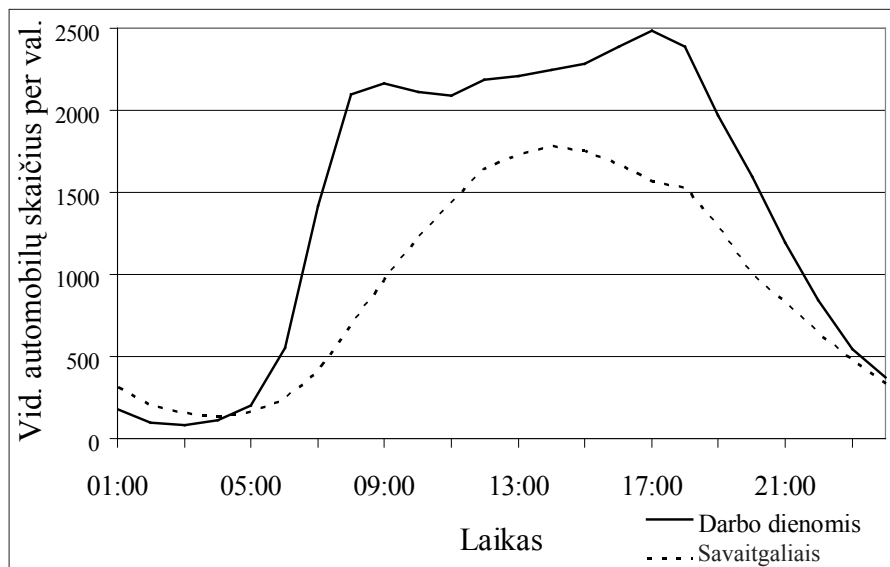
2 lentelė. Tiriamų gatvių atkarpų įvesties duomenys

Table 2. Input data for street sections studied

Gatvės atkarpa Street section	Srautas vnt./ parą Daily traffic intensity	Atkarpos ilgis (km) Section length (km)	Plotis (m) Width (m)	Sunkusis transp. (%) Trucks (%)
Didlaukio–Ozo	36316	0,900	12	7,2
Žalgirio–Ozo	44479	0,977	12	8,1
Ukmergės–Žalgirio	53700	0,324	12	5,0
Ukmergės–Konstitucijos pr.	100600	0,082	12	5,0
Žvalgų–Kareivių	34300	0,665	12	3,2
Kareivių–Apkasų	34100	0,695	12	5,0
Apkasų–Žalgirio	33000	0,553	12	7,3
Žalgirio–Šeimyniškių	28000	0,312	12	6,2
Kalvarijų–Verkių	36080	0,566	12	4,5
Verkių–Žirmūnų	25000	0,670	12	4,5
Ukmergės–Gelvonų	43300	0,500	14	3,0
Gelvonų–Geležinio Vilko	45600	0,879	14	3,0
Geležinio Vilko–Kalvarijų	31850	1,090	12	5,0
Žirmūnų–Kareivių	15700	0,421	10	5,0
Kareivių–Lukšio	12000	0,543	10	4,0
Lukšio–Apkasų	19500	1,020	10	3,0
Geležinio Vilko–Linkmenų	37100	2,355	12	4,0
Linkmenų–Kalvarijų	31600	0,833	12	4,0
Kalvarijų–Rinktinės	23900	0,643	12	3,5
Kalvarijų–Lakūnų	29925	0,826	12	6,6
Lakūnų–Lukšio	26200	0,282	12	8,0
Lukšio–Minties	31500	0,603	12	8,0
Minties–Žirmūnų tiltas	28697	0,521	12	7,5
Ukmergės	43300	1,43	12	5,8
Apkasų	26200	0,78	9	5,8
Gelvonų	29000	1,10	9	5,8
Minties	15000	1,43	9	3,0
Lakūnų	15000	1,20	9	3,0

3 pav. Vidutinis automobilių srautas per parą Kareivių gatvėje 2006 m.

Fig. 3. Mean daily traffic intensity in Kareivių street in 2006



Dažnai šaltinių emisijų intensyvumas per metus ar parą kinta. Modeliuojant situaciją būna laiko periodų, kai šaltinių emisijų intensyvumas skiriasi nuo maksimalaus arba emisijų išmetimas vyksta tik tam tikru paros metu. Apskaičiuoti paros ir metiniai koncentracijų vidurkiai, naudojant tik maksimalias emisijas, neatitiks realių vidurkių. Remiantis 2006 m. automatinio transporto srauto matavimo duomenimis iš Žirmūnų OKT stotelės, sudarytas vidutinis automobilių srautas per parą. Automobilių eismo intensyvumas darbo dienomis turi du paros maksimumus: 8–9 valandą ryto ir 16 valandą vakare. Savaitgaliais eismo intensyvumas mažesnis, didžiausias – 14 valandą (3 pav.).

5. MODELIAVIMO REZULTATAI

Modeliavimo būdu gautos oro priemaišos vertinamos lyginant gautus analizės rezultatus su normomis, nustatytomis pagal ES direktyvų reikalavimus. Modeliavimo metodas leidžia vertinti įvairių periodų vidutines koncentracijas. Kietųjų dalelių tyrimų rezultatai lyginami su 2005 m. galiojančiomis metinėmis bei paros ribinėmis vertėmis ir leistinu nukrypimo dydžiu, anglies monoksido – su 8 valandų vidurkio ribinėmis vertėmis, azoto oksido – su metine augmenijos apsaugai nustatyta ribine verte.

Žirmūnų OKTS matavimo rezultatai palyginti su rezultatais, gautais AERMOD sistemos modeliavimo būdu.

Kietosios dalelės. Apskaičiuotos vidutinės lengvojo ir sunkiojo transporto kietųjų dalelių teršalų emisijos rodo, kad didesnes šio teršalo koncentracijas išskiria sunkusis transportas. Tai atsispindi ir oro kokybės vertinimo rezultatuose. Geležinio Vilko, Kalvarijų (Apkasų–Žalgirio atkarpoje), Žirmūnų gatvėse sunkiojo transporto dalis eismo sraute viršija 7%. Šiose gatvėse KD teršalų koncentracija yra didesnė nei kitose panašų eismo intensyvumą turinčiose gatvėse.

Įvertinus oro kokybę ARMOD modeliu, didžiausios 2005 m. paros kietųjų dalelių koncentracijos (KD_{10}), nustatytos prie intensyviausio eismo gatvių, jų sankryžose viršija ribinę vertę ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$): Ukmergės ir Žalgirio gatvių sankryžoje – $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Kareivių, Ozo, Kalvarijų gatvių sankryžose maksimali šių teršalų

koncentracija – $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Toliau nuo gatvių esančiose teritorijose šių teršalų koncentracija sumažėja iki $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Žirmūnų OKT stotyje didžiausia išmatuota KD vidutinė paros koncentracija – $196 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Matavimo rezultatai rodo, kad intensyvaus eismo gatvėse kietųjų dalelių koncentracija viršija normą dažniau nei leidžiama – 46 dienas.

Lyginant maksimalias 24 valandų koncentracijų reikšmes, modelio apskaičiuotos yra apie 70% mažesnės už Žirmūnų OKTS reikšmes. Šie skirtumai galėjo atsirasti dėl transporto duomenų neapibrėžtumo. Modeliuojami teršalų emisijos duomenys yra vidutiniai daugiamečiai, silpnai atspindintys tikrąsias teršalų emisijas realiu laiku. Be to, didžiąją išmatuotą šio teršalo koncentracijos vertės dalį – apie 32% (Ataskaita apie aplinkos..., 2006) – sudaro žiemą dėl eismo saugumo barstomi druskų ir smėlio mišiniai, pavasarį – vėjo pustomas smėlis ar kitų taršos šaltinių atnešami teršalai. Tuo tarpu modelio rezultatai atspindi tik kelių transporto taršą.

Vidutinė metinė kietųjų dalelių koncentracija, modeliavimo duomenimis, neviršijo nustatytos oro užterštumo normos ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Didžiausia metinė vertė yra Geležinio Vilko ir Žalgirio gatvių sankryžose – $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Žirmūnų oro kokybės stoties teritorijoje koncentracija siekia $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Atokiau nuo gatvių esančiose teritorijose šių teršalų koncentracija tesiekia $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (4 pav.).

Matavimo rezultatai rodo, kad vidutinė metinė kietųjų dalelių koncentracija 2005 m. Žirmūnų OKT stotyje buvo $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vidutinė metinė modelio apskaičiuota KD koncentracijų reikšmė yra apie 48% mažesnė nei išmatuota Žirmūnų OKT stotyje.

2005 m. numatyta ribinė anglies monoksido vertė – $10 \text{mg}/\text{m}^3$. Maksimali 8 val. CO koncentracija, modeliavimo duomenimis, gali siekti $4 \text{mg}/\text{m}^3$. Prie intensyvaus eismo gatvių, jų sankryžų koncentracijos yra didžiausios. Atokesnėse teritorijose maksimali 8 val. koncentracija neviršija $0,5 \text{mg}/\text{m}^3$. Geležinio Vilko, Kalvarijų, Minties gatvių teritorijoje teršalų koncentracijų gradientas siekia $0,1 \text{mg}/\text{m}^3$ viename metre. Mažiausios šio teršalo 8 val. koncentracijos nustatytos Žirmūnų, Lakūnų, Ukmergės gatvių teritorijose.

Žirmūnų OKT stotyje užfiksuota didžiausia šių teršalų 8 val. koncentracija – $5 \text{mg}/\text{m}^3$. Šalia OKT stoties modelio

apskaičiuotoji koncentracija siekia apie 2 mg/m^3 (t. y. 60% mažiau už stebėjimo rezultatus). Skirtumas galėjo atsirasti dėl to, kad Europos miestuose beveik visą CO kiekį (~90%) išmeta kelios transporto priemonės (Mitrovich, 2003), o kitą dalį – gyvenamųjų namų ar komercinių pastatų katilinės. Skaičiuojant šių teršalų koncentracijas, iš šiuos taršos šaltinius nebuvo atsižvelgta.

Vidutinei metinei CO koncentracijai ribinė vertė nusta-tyta. Modelio rezultatai rodo, kad didžiausia vidutinė metinė 8 val. vidurkio teršalų koncentracija prie intensyviausio eismo sankryžos, Geležinio Vilko ir Ukmergės gatvių, viršija 2 mg/m^3 . Geležinio Vilko, Kalvarijų, Minties gatvių teritorijoje teršalų koncentracijų gradientas siekia $0,1 \text{ mg/m}^3$ viename metre (5 pav.).

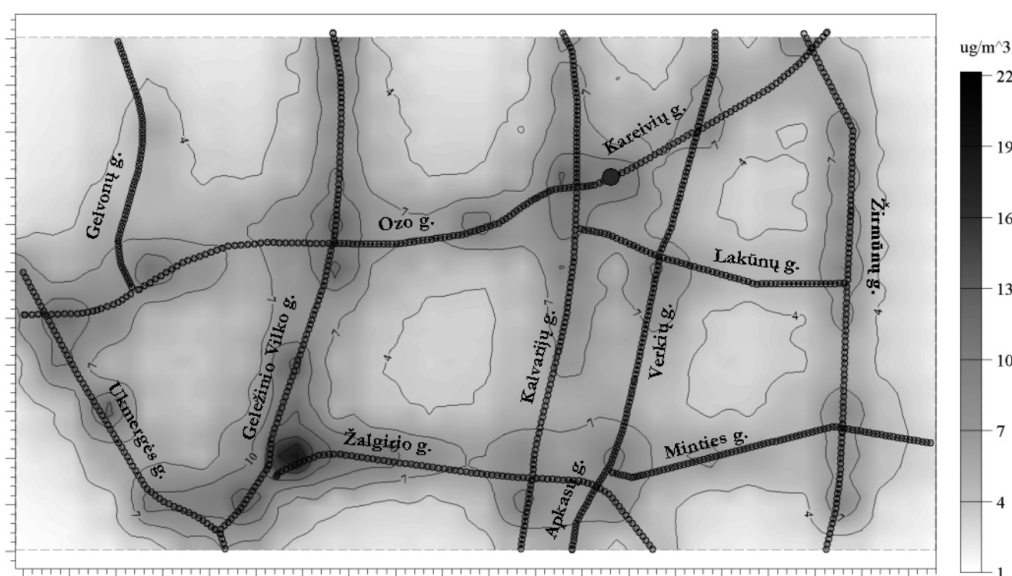
Gelvonų, Kalvarijų, Ozo, Geležinio Vilko gatvėse teršalų koncentracija siekia 1 mg/m^3 . Mažiausios šio teršalo vidutinės meti-

nės koncentracijos nustatytos Žirmūnų, Lakūnų, Minties gatvių teritorijose – $0,5 \text{ mg/m}^3$. Atokiau nuo gatvių nutolusiose teritorijose vidutinė metinė koncentracija neviršija $0,5 \text{ mg/m}^3$.

Žirmūnų OKT stoties matavimo duomenys ir sklaidos modeliavimo duomenys sutampa, vidutinė metinė šių teršalų koncentracija – 1 mg/m^3 .

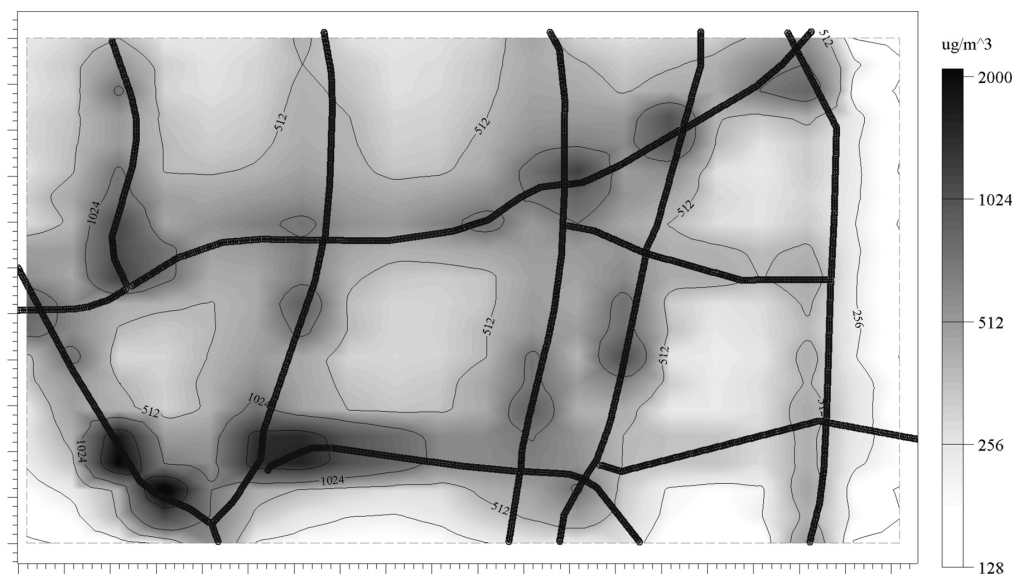
Angliavandeniliai. Lakiesiems organiniams junginiams ribinė vertė nusta-tyta. Žirmūnų OKTS nematuojama bendra lakiųjų organinių junginių koncentracija, matuojama tik benzeno (C_6H_6) koncentracija. Tad modeliavimo būdu gautas teršalų koncentracijas nebuvo su kuo palyginti.

Atlikus oro kokybes modeliavimą, didžiausios 2005 m. paros angliavandenilių koncentracijos gautos prie intensyviausio eismo gatvių, jų sankryžose: Ukmergės ir Žalgirio gatvių sankryžoje – $135 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, Žirmūnų OKT stoties teritorijoje maksimali



4 pav. Vidutinė metinė kietųjų dalelių koncentracija. Apskritimu pažymėta Žirmūnų OKTS

Fig. 4. Mean annual particulate matter concentration. Circle indicates permanent pollution observation point in Žirmūnai



5 pav. Vidutinė metinė anglies monoksido koncentracija

Fig. 5. Mean annual carbon monoxide concentration

šių teršalų koncentracija – $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vidutinio intensyvumo eismo gatvių teritorijose – $30\text{--}40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Žirmūnų, Ozo, Gelvonų). Toliau nuo gatvių esančiose teritorijose šių teršalų koncentracija sumažėja iki $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Didžiausios vidutinės metinės angliavandenilių koncentracijos užfiksuotos Ukmergės ir Žalgirio gatvių sankryžoje – $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Žirmūnų OKT stoties teritorijoje maksimali šių teršalų koncentracija – $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vidutinio intensyvumo eismo gatvių teritorijose – $6\text{--}11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Žirmūnų, Ozo, Gelvonų). Toliau nuo gatvių esančiose teritorijose šių teršalų koncentracija sumažėja iki $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (6 pav.).

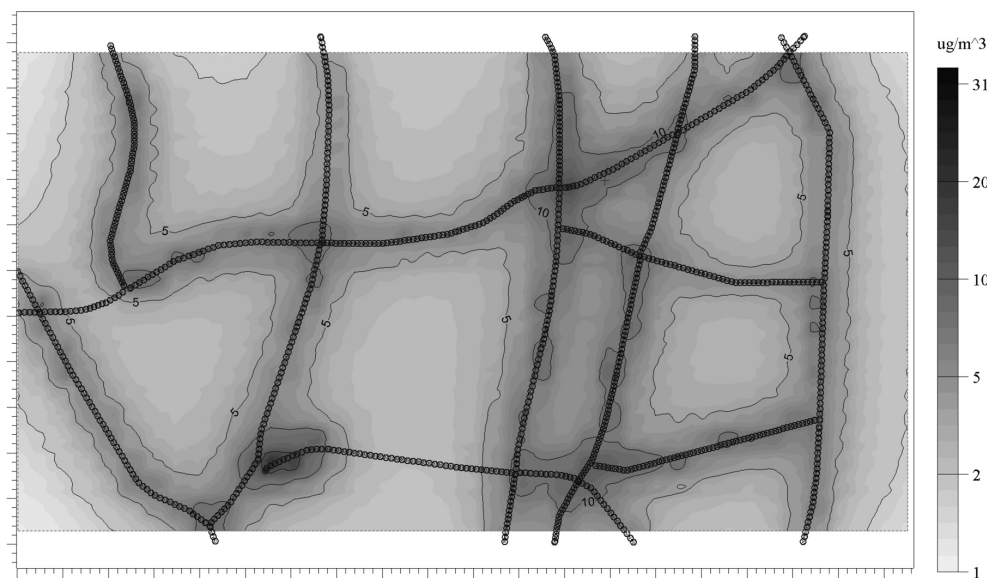
Azoto oksidai formuojasi aukštoje temperatūroje vykstant degimui ir azotui oksiduojantis ore arba kure. Pagrindinis NO_x šaltinis yra kelių transportas, iš kurio išmetama apie pusę jų kiekio Europoje (Mitrovich, 2003).

Apskaičiuotos vidutinės lengvojo ir sunkiojo transporto azoto oksidų teršalų emisijos rodo, kad didesnes šio teršalo koncentracijas (kaip ir KD_{10}) išskiria sunkusis transportas, tai atsispindi ir oro kokybės vertinimo rezultatuose. Geležinio Vilko, Kalvarijų

(Apkasų–Žalgirio atkarpoje), Žirmūnų gatvėse sunkiojo transporto dalis eismo sraute viršija 7%. Šiose gatvėse NO_x teršalų koncentracija didesnė nei panašaus intensyvumo eismo gatvėse. Taigi NO_x taršą galima sumažinti apribojant sunkiojo transporto srautus.

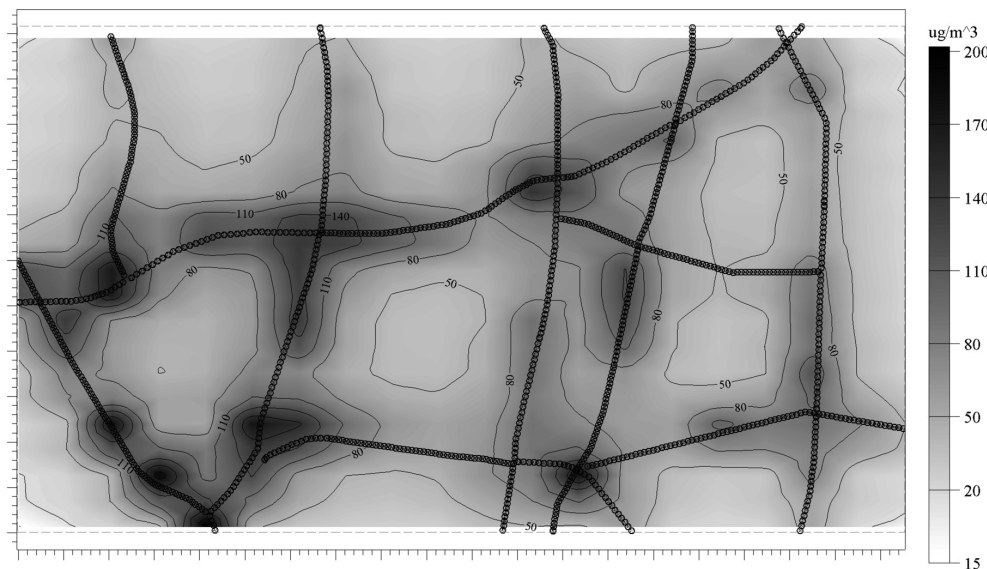
Oro kokybės tyrimų duomenimis, didžiausios azoto oksido koncentracijos yra prie intensyvaus eismo gatvių, o gyvenamuosiuose mikrorajonuose padėtis geresnė. Ukmergės ir Žalgirio gatvių sankryžoje – $550 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Kareivių, Ozo, Kalvarijų gatvių sankryžose maksimali 24 val. šių teršalų koncentracija – $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Toliau nuo gatvių esančiose teritorijose šių teršalų koncentracija sumažėja iki $200\text{--}250 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Modeliavimo duomenys rodo, kad prie didžiausių gatvių tinklo ir intensyvaus eismo gatvių atkarpų vidutinė metinė teršalų koncentracija gali siekti $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ukmergės, Ozo gatvės). Žirmūnų OKT stoties teritorijoje didžiausia šių teršalų vidutinė metinė koncentracija siekia $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Toliau nuo gatvių esančiose teritorijose šių teršalų koncentracija sumažėja, iki $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (7 pav.).



6 pav. Vidutinė metinė angliavandenilių koncentracija

Fig. 6. Mean annual concentration of hydrocarbons



7 pav. Vidutinė metinė azoto oksidų koncentracija

Fig. 7. Mean annual concentration of nitrogen oxides

2005 m. augmenijos apsaugai numatyta ribinė – $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – NO_x vertė. Modeliavimo duomenimis, ši ribinė vertė viršijama visoje vertinamoje teritorijoje, prie intensyvaus eismo gatvių – net 6 kartus.

IŠVADOS

1. Didžiausios teršalų koncentracijos modeliuojant teršalų sklaidą gautos Ukmergės ir Geležinio Vilko g. sankryžoje. Gyvenamųjų mikrorajonų aplinkos ore apskaičiuotos vidutinės vertės buvo perpus mažesnės nei šalia transporto arterijų.

2. Didžiausia 24 val. kietųjų dalelių koncentracija aplinkos ore siekia $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ir yra didesnė už 2005 m. galiojančią ribinę vertę ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Vidutinė metinė $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ koncentracija neviršijo nustatytos ribinės vertės ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

3. Didžiausia modelio apskaičiuota anglies monoksido 8 val. koncentracija tesiekia $4 \text{ mg}/\text{m}^3$ ir yra mažesnė už leistiną ribą ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), vidutinė metinė koncentracija – $2 \text{ mg}/\text{m}^3$.

4. Maksimali 24 val. angliavandenilių koncentracija – $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vidutinė metinė koncentracija – $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5. Didžiausia gauta 24 val. azoto oksidų koncentracija – $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vidutinė metinė koncentracija – $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vertė 5 kartus viršija ribinę vertę, nustatytą augmenijos apsaugai.

6. Analizuojant CO ir KD teršalų koncentracijas trumpais laikotarpiais modelio ir Žirmūnų oro kokybės stoties rezultatų neapibrėžtumas siekia 60–70%. Tiksliausiai modeliuota CO koncentracija ilgiems laikotarpiams; modeliavimo ir nuolatinių matavimų duomenys sutapo (pastarosios priemonės vidutinė koncentracija aplinkos ore yra labai didelė (mg/m^3), todėl skirtumas tarp išmatuotos ir modeliuotos mažas). KD modeliuotų koncentracijų neapibrėžtumas – 48%.

Gauta 2007 11 04
Parengta 2007 11 21

Literatūra

1. *Aplinkos oro kokybės vertinimo vadovas*. (2006). Nacionalinių taršos mažinimo bei oro kokybės vertinimo programų paruošimas. Vilnius, Aplinkos apsaugos agentūra.
2. *Ataskaita apie aplinkos oro kokybę įvertinta vadovaujantis tarybų direktyvų 96/62/EB ir 199/30/EB, bei Europos Parlamento ir tarybos direktyvų 2000/69/EB ir 2002/3/EB reikalavimais*. (2006). Vilnius, Aplinkos apsaugos agentūra.
3. *EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook*. (1998). Draft second edition. EMEP Task Force on Emission Inventories. (<http://www.aeat.co.uk/netcen/airqual/>)
4. Klibavičius A. (1998). *Autotransporto išmetamųjų dujų neigiamo poveikio aplinkai vertinimas*. V.: Technika, 1998.
5. Mitrovich S. (2003). *Aplinka, energija ir transportas*. PORTAL transporto mokomoji medžiaga. (www.eu-portal.net)
6. Registruotų transporto priemonių skaičius 2005 m. (2006). Vilnius, Statistikos departamentas. (<http://vilniustsv.stat.gov.lt/>)
7. Remeikis V., Ulevičius V., Mikelinienė A. (2004). *Oro taršos modeliavimo metodų taikymas Lietuvoje*. Fizikos instituto ataskaita. Vilnius. (<http://aaa.am.lt/>)
8. *User's Guide For The AERMOD* (1998). U. S. Environmental Protection Agency. (www.epa.gov/scram001/7thcon/aermod/)
9. *2005 m. oro kokybės tyrimų Vilniaus aglomeracijoje apžvalga*. (2006). Vilnius, Vilniaus regiono aplinkos apsaugos departamentas. (<http://vrd.am.lt/VI/>)

Sergejus Konkovas, Gintautas Stankūnavičius

TRANSPORT POLLUTION DISPERSION STUDIES IN VILNIUS EMPLOYING THE AEROMOD MODEL

Summary

The contribution of transport to Vilnius air pollution seems to be great. The AEROMOD pollution dispersion model was used in the current study to define the transport pollution impact on both short and long range time scales. The simulated highest transport-induced pollution in Vilnius in 2005, as a rule, falls to the areas with the most intensive traffic. The verification of simulated pollution includes the method of the emission and average velocity dependence. Referring to the variety of recently used Lithuanian transport vehicle types and using pollutant expansion functions (for particulate matter PM, carbon monoxide CO, nitrogen oxides NO_x and carbon hydrate CH); pollution material average emission coefficients were defined for the main passenger and commercial vehicles of different categories. Experimental data were compared with observation data of the air quality station in Žirmūnai. Pollution dispersion maps were compiled for every pollutant. The highest concentration was defined in the Ukmergė–Geležinis Vilkas crossroad. Two times lower concentrations were defined on the living areas of this region. The highest daily concentration of particulate matter in the surrounding air was $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$, i. e. greater than the allowable limit value ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). With the margin of tolerance valid in 2005, the average concentration per year ($23 \mu\text{g}/\text{m}^3$) did not exceed the established value ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). The highest simulated carbon monoxide concentration reached $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, which is lower than the allowable limit value ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). The average value per year is $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The maximum daily concentration is $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, the average concentration per year being $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The highest daily concentration of nitrogen oxides is $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$, the annual average value is $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, which 5 times exceeds the limit value of the ecological threshold. The uncertainty of modelling results for the short-term CO and PM concentrations and the Žirmūnai station observations is 60–70%. The least uncertainty was obtained for CO (0%). The PM uncertainty value is 48%. The modelled emission values (traffic data) are long-term values which can hardly reflect the real emissions. Pollution dispersion and meteorological conditions for a long-term mean concentrations are examined best of all.