

KLIMATOLOGIJA

ATMOSFEROS TARŠOS KAITOS URBANIZUOTOSE TERITORIJOSE PROGNOZĖ

Arūnas Bukantis, Egidijus Rimkus, Gintautas Stankūnavičius

Vilniaus universitetas, M. K. Čiurlionio g. 21/27, LT-03101, Vilnius

El. paštas: arunas.bukantis@gf.vu.lt

Išvadas

Viena svarbiausių miesto poveikio vietos klimatui sfera – oro kokybės pokyčiai. Šie pokyčiai vyksta dėl gausių priemaišų emisijų iš pramonės ir energetikos įmonių bei transporto (Colville et al., 2001). Iš įvairių taršos šaltinių į orą patenka cheminių medžiagų, kurios gali tiesiogiai ar netiesiogiai sukelti pavojų žmogaus sveikatai. Oro kokybė labai priklauso nuo meteorologinių sąlygų. Nepastovūs, besikeičiantys orai dažniausiai yra palankūs teršalų sklaidai. Ir atvirkščiai, pastovūs ir mažai judrūs bariniai dariniai (anticiklonai, mažų gradientų bariniai laukai, gūbriai) didžiuosiuose miestuose, kur yra daug taršos šaltinių, gali padidinti užterštumą (Sillman, Samson, 1995). Silpnas oro maišymasis, temperatūros inversija bei tokie meteorologiniai reiškiniai, kaip rūkas ir dulksna, sudaro palankias sąlygas teršalams kauptis apatiniuose atmosferos sluoksniuose (Korkutis, Kavaliauskas, 1995). Mažesniuose miestuose ir pramonės centruose, kur oro kokybę lemia vienas stambus teršimo šaltinis, nepalankios teršalams sklaidytis sąlygos susidaro pučiant miesto link vėjui, nešančiam teršalus.

Oro užterštumas (ypač dulkėmis ir aerozoliais), be žalingo poveikio gyventojų sveikatai, keičia ir kai kuriuos meteorologinius rodiklius. Pirmiausia, tai matomumo sumažėjimas dėl atmosferos drumstumo priežemio sluoksnyje. Jis taip pat sumažina Saulės spinduliuotę, tenkančią miestui, pakeičia žemės paviršių pasiekiančių spindulių spektro sudėtį – teršalai geriausiai sugeria trumpiausias bangas ir dėl to Saulės spindėjimo trukmė sumažėja. Teršalai miesto atmosferoje virsta kondensacijos branduoliais. Kai kurių autorių nuomone, kritulių kiekis mieste yra nuo 5% iki 30% didesnis lyginant su kaimo vietovėmis (Arya, 2001; Oke, 1987). Dėl tos pačios priežasties mieste susidaro didesnis debesuotumas ir daugiau rūkų. Iš kitos pusės, užterštas oro sluoksnis absorbuoja dalį ilgabangių Žemės spindulių ir padidina priešpriešinį spinduliavimą pats atvėsdamas. Tai gali būti viena iš pagrindinių priežasčių, dėl ko virš miesto dažniausiai būna skirtingai negu užmiestyje stratifikuoti apatiniai oro masės sluoksniai, kurie lemia vertikalųjį oro maišymąsi.

Didelis dėmesys išsivysčiusiose šalyse skiriamas teršalų sklaidai – analizei, prognozavimui, specifiniams ekstremalių atvejų tyrimams bei adaptacijos priemonių parinkimui. Tai žaliųjų plotų ir miegamųjų rajonų planavimas atsižvelgiant į miesto landšaftą ir klimatinės sąlygas bei pagrindinių transporto arterijų persikirstymas bendro užterštumo mažinimo linkme.

Šio straipsnio tikslas – apžvelgti atmosferos taršos Lietuvos urbanizuotose teritorijose prognozuojamas artimiausiems dešimtmečiams tendencijas.

Tyrimus rėmė Lietuvos valstybinis mokslo ir studijų fondas (programa „Urbanizuotos aplinkos kokybė ir jos kaita“).

1. Darbo metodika

Darbe remtasi Tarpvvyriausybines klimato svyravimų tyrimo grupės (*IPCC*) ataskaitomis, taip pat įvairių Lietuvos Respublikos valstybės institucijų bei mokslo organizacijų pateikta medžiaga apie šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos bei oro kokybės dabartinę būklę ir prognozę. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų bei kitų teršalų emisijos prognozė yra susijusi su energijos, kuri savo ruožtu priklauso nuo ekonomikos augimo tempų, suvartojimu, todėl atsižvelgiama ir į šių procesų tendencijas. Autotransporto taršos augimo tendencijos analizuojamos remiantis automobilių skaičiaus, kuro kokybės ir suvartojimo prognozėmis.

Analizuoti atmosferos teršalų koncentraciją miestuose lemiantys veiksniai: stacionarių ir mobilių teršalų emisijos, teršalų sklaidos sąlygos, su didelio masto barinėmis sistemomis susijusi teršalų pernaša iš kitų rajonų. Remiantis 1999 metų oro užterštumo Vilniaus mieste duomenimis bei *FNL* (*FNL – Final Run*) archyvų pateikta informacija apie atmosferos stratifikacijos ypatybes, įvertintos sinoptinės sąlygos, kuriomis teršalai gali kauptis priežemio oro sluoksnyje. *FNL* duomenų bankas sudarytas iš *NCEP* (*National Centers of Environmental Prediction*) *GDAS* (*Global Data Assimilation System*) sistemos. *GDAS* yra baigiamoji *NCEP* operacinių modelių pradinų duomenų seka, į kurią įtraukiami vėliausiai patenkantys automatinio stebėjimo stočių ir meteorologinių palydovų duomenys. Pradiniai duomenys (rezultatai) pateikiami 4 kartus per parą (00, 06, 12, 18 Grinvičo laiku), o vertikalių atmosferos profilių skiriamoji geba – 111 km. Duomenys yra nemokami nuo *FNL* modelio paleidimo operatyviniams tikslams – 1997-01-01 (NCDC, 1997).

2. Globalūs atmosferos priemaišų emisijų XXI amžiuje scenarijai

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos didėjimas atmosferoje daugiausia yra susijęs su kuro deginimu ir augančiais atmosferos teršimo tempais. Ypač sparčiai atmosferoje daugėja CO_2 , CH_4 , CO , N_2O , NO , NO_2 , NH_3 , SO_2 , CCl_4 , CFCl_3 , CFCl_2 , CH_3Cl ir kt. Šios termodinamiškai aktyvios dujinės priemaišos intensyviai sugeria Žemės spinduliuojamus infraraudonuosius spindulius (ypač 4–15 mm ilgio bangas), taip stiprindamos Žemėje šiltnamio efektą. Be to, kai kurie komponentai (freonai, azoto junginiai) dar chemiškai ardo ozono sluoksnį (Александров, 1992; Ramanathan, 1998).

Termodinamiškai aktyvių dujinių priemaišų koncentracijos prognozė remiasi įvairaus pobūdžio antropogeninės veiklos tendencijų analize. Pasaulinės meteorologijos organizacijos, *IPCC* ir kai kurių mokslininkų pateikiamuose šiltnamio efektą sukeliančių priemaišų emisijos scenarijuose numatoma, jog jų koncentracija atmosferoje didės, net jeigu bus imtasi visų įmanomų priemonių sumažinti šių teršalų išmetimą į atmosferą (Intergovernmental..., 2001; Jacobson, 1999, Ramanathan, 1998, ir kt.). Dėl pramonėje plačiai naudojamų technologinių procesų ir susiklosčiusio kuro balanso ypač smarkiai didės anglies dioksido (3–4% per metus), anglies monoksido (0,5%), metano (1–2%), azoto oksidų (0,3% per metus) išmetimas į atmosferą. Tai vadinamoji optimistinė termodinamiškai aktyvių priemaišų emisijos prognozė, nes joje numatoma, jog chlorfluorangliavandenilių junginių išmetimas į atmosferą artimiausiais metais sumažės kelis kartus (1 lentelėje A1T, B1 ir B2 scenarijai). Skirtingi emisijų ir klimato scenarijai kuriami remiantis įvairiomis demografinėmis, socialinėmis, ekonominėmis ir technologinėmis prognozėmis bei prielaidomis. Dar vienas neapibrėžtumo veiksnys – anglies dioksido absorbavimas Žemės biosferoje. Nuo to taip pat priklausys galutinė anglies dioksido koncentracija atmosferoje (Soon, 2001; Zhao, 2001).

1 lentelė. IPCC speciali ataskaita apie emisijų scenarijus SRES (Intergovernmental..., 2001).

Table 1. Special Report on Emissions Scenarios – SRES (Intergovernmental..., 2001).

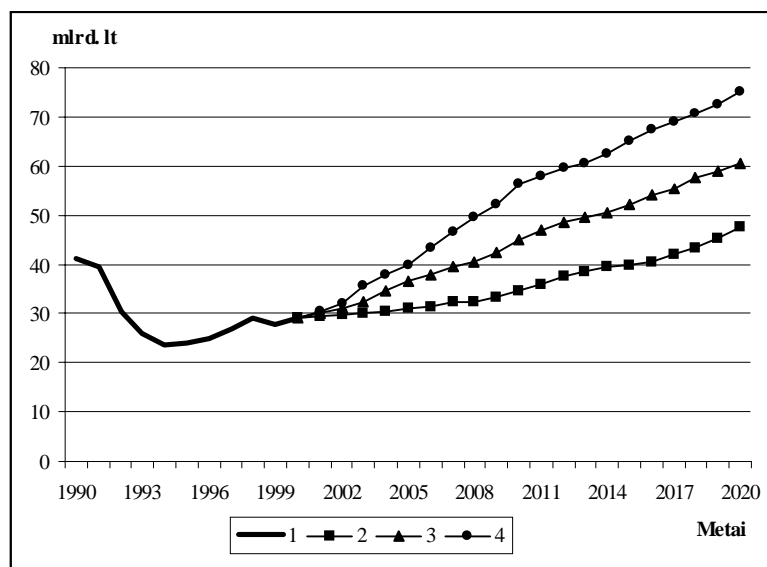
Rodiklis Index	2000 m.	Scenarijai / Scenarios					
		A1B	A1T	A1F1	A2	B1	B2
CO ₂ emisija (Gt/m.) 2050 m. 2100 m.	7,8	16,4 13,5	12,3 4,3	23,9 28,2	17,4 29,1	11,3 4,2	11,0 13,3
Globalios oro temperatūros padidėjimas (°C) didžiausio ir mažiau- sio jautrumo mode- liuose iki 2100 m.		2,3–4,2	2,0–3,8	3,5–6,1	2,0–5,2	1,6–3,0	2,0–3,9
Kritulių kiekio poky- čiai (%) iki 2100 m.					+1,3–6,8		+1,2–6,1
CO ₂ koncentracija (ppm) 2050 m. 2100 m.	367	490–600 615–920	465–560 505–735	520–640 825–1250	490–600 735–1080	455–545 485–680	445–530 545–770

IPCC ataskaitoje nurodoma, kad XXI a. tikėtini įvairūs klimato pokyčiai: padidės vidutinė oro temperatūra ir kritulių kiekis, taip pat oro temperatūros paros maksimumai, daugės karščio bangų (karštų ir sausų orų), pakils oro temperatūros paros minimumai, trumpės šaltieji periodai (<0°C), augs stiprių liūčių ir poplūdžių tikimybė, gali sustiprėti vasarų aridiškumas ir išaugti sausrų tikimybė, padidėti maksimalios štorminių ir uraganinių vėjo greičių reikšmės, numatomi *El Niño* ir *NAO* reiškinių pokyčiai. Kaip teigiama šioje ataskaitoje, labiausiai turėtų pakisti atmosferos cirkuliacija bei sistemos *atmosfera–vandenynas* komponentų tarpusavio sąveika (Intergovernmental..., 2001).

3. Pagrindinių teršalų emisijos į orą Lietuvos teritorijoje prognozė

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų bei kitų teršalų emisijos prognozė remiasi energijos suvartojimu, kuris savo ruožtu priklauso nuo ekonomikos augimo tempų. Lietuvoje ilgalaikio darnaus vystymo strategijose pateikiami trys galimi ekonominio vystymosi – spartaus, pagrindinio bei lėto scenarijai: Jo pagrindas – bendrojo vidaus produkto (BVP) augimo prognozė (1 pav.).

1 paveiksle matyti, jog pagal lėto ekonominio vystymosi scenarijų BVP 1990 metų lygį pasieks apie 2016 metus, o jei ekonomika vystysis ypač greitai – 2006 metais. Atitinkamai turėtų skirtis ir energijos suvartojimas, tačiau energijos vartojimo efektyvumas bei teršalų emisija gali labai skirtis. Tiksliausiai energijos vartojimo efektyvumą įvairiose šalyse apibūdina energijos sąnaudos BVP vienetai. Pagal energijos intensyvumo rodiklį 1999 m. Lietuvos ūkio šakose tai pačiai pridėtinei vertei sukurti (skaičiuojant 1995 m. lyginamosiomis kainomis JAV doleriais) energijos buvo suvartota 1,5 karto daugiau nei vidutiniškai Europos Sąjungos šalyse. Lietuvos energetikos instituto atliktų tyrimų duomenimis, energijos poreikiai 2020 m. neviršytų 1990 m. poreikių (Lietuvos..., 2003). Energijos suvartojimas 2020 m. bus 20–40% didesnis nei 2000 m., tačiau vis dar apie 20–40% mažesnis nei 1990 metais. Atitinkamai turėtų būti mažesnė ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija.



1 pav. BVP Lietuvoje augimo prognozės: 1) faktiniai duomenys; 2) lėto ekonominio vystymosi scenarijus; 3) pagrindinis scenarijus; 4) greito vystymosi scenarijus (Lietuvos..., 2003).

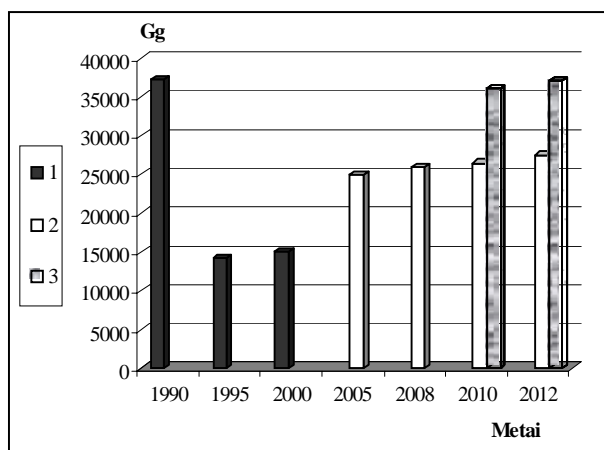
Fig 1. GDP forecast in Lithuania: 1) factual data; 2) slow development scenario; 3) main scenario; 4) rapid development scenario (Lietuvos..., 2003)

2 lentelė. Lietuvos energijos poreikiai (Lietuvos energetikos instituto duomenimis, 2003).

Table 2. Energy demand in Lithuania (according to Lithuanian Energy Institute, 2003).

Metai Year	Lėto vystymosi scenarijus Slow development scenario	Pagrindinis scenarijus Main scenario	Greito vystymosi scenarijus Rapid development scenario
<i>Indeksas (1990 = 100)</i>			
1990	100	100	100
1995	53,5	53,5	53,5
2000	43,4	43,4	43,4
2005	47,2	53,4	56,5
2010	51,8	60,2	67,7
2015	55,7	65,4	74,6
2020	59,7	71,0	81,8

Prognozuojama, kad 2015 m. naftos produktų sunaudojimas, lyginant su 2000 m., išaugs 25%. Gerokai padidės automobilių kuro sąnaudos, tuo tarpu sunkiųjų naftos produktų bus sunaudojama mažiau. Esminiai pokyčiai energijos gamyboje numatomi uždarius Ignalinos AE (apie 2010 m.). Energetikoje ypač išaugs gamtinių dujų dalis. 2002 metais Lietuva ratifikavo Kioto protokolą, kuris įpareigoja 8% sumažinti CO₂ ir kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą į atmosferą. Apskaičiuota, kad pradėjus energetikoje naudoti gamtines dujas, Kioto protokolo reikalavimai bus įgyvendinti pagal pagrindinį ar net greito ekonominio vystymosi scenarijų. Tačiau į bendrus skaičiavimus (remiantis IPCC rekomendacijomis) neįtraukta dujų emisija dėl biomasės deginimo. Tuo tarpu uždarius Ignalinos AE, vietinio kuro rūšių (tarp jų ir biomasės) deginimo dalis bendrame kuro balanse gali neproporcingai išaugti. Tokiu atveju anglies dioksido emisija pasieks 1990 metų lygį, o Kioto protokolo reikalavimai nebus išpildyti (2 pav.).



2 pav. Anglies dioksido emisijos energetikos sektoriuje prognozė uždarius Ignalinos AE: 1) faktiniai duomenys; 2) CO₂ emisija neįtraukus vietinio kuro deginimo produktų; 3) CO₂ emisija įtraukus vietinio kuro deginimo produktus (Lietuvos..., 2000).

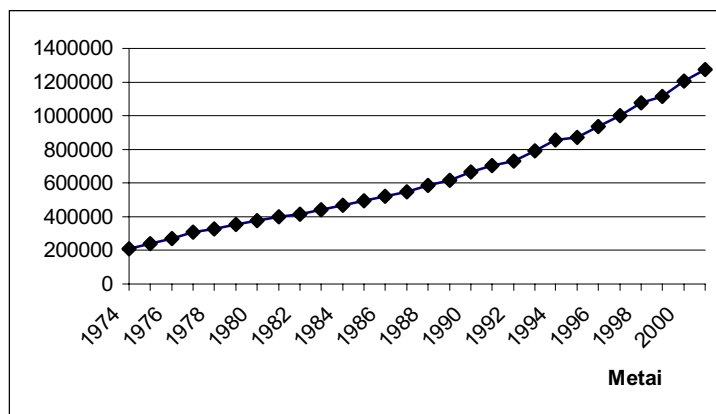
Fig. 2. Carbon dioxide emissions forecast in energetic sector after suspending Ignalina NS: 1) real data; 2) CO₂ emission without local fuel burning products; 3) CO₂ emission with local fuel burning products (Lietuvos..., 2000).

Atmosferos teršalų šaltinius galima skirstyti į du pagrindinius tipus: stacionarius bei mobilius. 2002 metais Lietuvoje stacionariuose taršos šaltiniuose susidarė 258 tūkst. tonų oro teršalų. Iš jų į atmosferą pateko kiek daugiau kaip trečdalis – 36% (94 tūkst. tonų). Iš stacionarių taršos šaltinių 2002 m. į atmosferą išmesta 21 tūkst. tonų teršalų mažiau nei 2001 metais. Teršalų emisija sumažėjo daugiausia dėl mažesnės taršos energetikos sektoriuje. Uždarius Ignalinos AE išaugs kitų elektrinių apkrova. Daugelis jų yra didžiųjų miestų teritorijoje. Šilumą tiekiant decentralizuotai ir pramonės įmonėse, ir gyvenamųjų namų aplinkoje kuriasi daug lokalių katilinių, kurios sukuria vis naujus oro taršos židinius. Todėl žiemos mėnesiais dideliuose miestuose oro tarša gali ypač išaugti (labiausiai sieros dioksidu).

Urbanizuotos aplinkos oro užteršimo pavojus yra tiesiogiai susijęs su automobilių skaičiaus didėjimu. Europos Sąjungos valstybėse transporto priemonių (neįskaitant motociklų) skaičius vienam gyventojui kinta nuo apie 0,3 mažiausiai išsivysčiusiose ES valstybėse (Graikijoje ir Portugalijoje) iki >0,5 (Italijoje, Vokietijoje ir kt.). Lietuvoje 2001 metais vienam gyventojui teko 0,346 registruoto automobilio. Tai daugiau nei kai kuriose ES valstybėse ir nedaug atsiliekama nuo vidurkio. Automobilių skaičius Lietuvoje ypač išaugo per pastarąjį dešimtmetį (3 pav.), kuomet mažo gyventojų skaičiaus kaitos fone automobilių padaugėjo net 609 tūkstančiais (1,9 karto). Tikėtina, jog per artimiausius 10–15 metų registruotų automobilių skaičius Lietuvoje bus artimas ES vidurkiui ir vienam gyventojui padidės iki 0,5.

Nors miestų užterštumą daugiausia įtakoja transportas, daugelio teršalų koncentracija miestuose per paskutinį XX a. dešimtmetį mažai pakito. Šiuo metu Lietuvoje vyrauja modernesni automobiliai, kurie, palyginus su anksčiau naudotaisiais, yra daug ekonomiškėsi, mažiau teršia aplinką. Pasikeitė ir transporto degalų sudėtis: daugiau suvartojama dyzelino, suskystintų naftos dujų.

Ateityje, daugėjant automobilių, padidės automobilių spūstys miestuose, todėl daugiausiai problemų kels taškiniai užterštumo židiniai ties ypač intensyvaus eismo kelių sankryžomis. Ten teršalų koncentracija gali daug kartų viršyti didžiausią leidžiamą. Vis dėlto, nors automobilių kelių tinklo plėtra kol kas atsilieka nuo transporto priemonių skaičiaus augimo, labai tikėtina,



3 pav. Automobilių skaičiaus dinamika Lietuvoje 1974–2001 metais.

Fig. 3. The dynamics of vehicles in Lithuania for 1974–2001 period.

kad per artimiausius keliolika metų bendra teršalų emisija iš mobilių taršos šaltinių neturėtų labai išaugti, todėl nelabai kis ir vidutiniai miesto oro taršos dydžiai. Galima daryti išvadą, jog artimiausiais dešimtmečiais mažai kintančio bendro miesto oro užterštumo fone turėtų ypač išaugti židininė oro tarša labai intensyvaus eismo sankryžose. Teisingas miesto transporto arterijų planavimas, transporto srauto ribojimas, griežtesni ekologiniai reikalavimai transporto priemonėms būtų svarbiausios priemonės siekiant sumažinti tokio pobūdžio teršalų emisijas.

4. Atmosferos teršalų sklaidos sąlygų prognozė

Miesto teršalų koncentraciją lemiantys veiksniai:

1) didelio masto atmosferos judesiai, kuriems priskiriama globalaus masto vakarų vėjų sistema su „audrų keliu“ vidutinėse platumose, cikloninė ir anticikloninė cirkuliacija sinoptinio masto atmosferos sūkuriuose, bariniuose slėniuose bei gūbriuose, taip pat mezomasto cirkuliaciniai mechanizmai atmosferos frontų zonose;

2) vietinės cirkuliacijos sąlygos (brizinė cirkuliacija pajūryje, slėniuose – šlaitų vėjai, paklotinio paviršiaus temperatūra, dirvožemio drėgmė, miesto „šilumos sala“ ir kt.);

3) urbanizuotos vietovės infrastruktūra (miesto kvartalų padėtis vyraujančių vėjų atžvilgiu, transporto arterijų padėtis pasaulio šalių atžvilgiu, vidutinis namų aukštis bei tarpų tarp namų plotis ir kt. (Jacobson, 2001).

Atmosferos teršalų sklaidos sąlygos šiuo metu nustatomos remiantis keliais rodikliais:

a) *sąmaišos aukštis atmosferoje*; kuo didesnis sąmaišos aukštis, tuo geresnės sklaidos sąlygos; šio rodiklio yra ryški metinė kaita ir Lietuvoje jis kinta nuo 1000–1500 m vasarą iki 300–400 m žiemą;

b) *kritinė temperatūros inversija*; šis rodiklis turi tenkinti tokias sąlygas: vertikali potencialios temperatūros kaita $d\theta/dz \geq 0,005^\circ\text{K}/\text{m}$; $\theta_v - \theta_a \geq 2^\circ\text{K}$, indeksai v ir a rodo inversijos viršutinę ir apatinę ribas; virš 500 hPa lygio susidaranti inversija teršalų sklaidos neveikia;

c) *Paskvilio atmosferos stabilumo klasės* – tai rodiklis, apibūdinantis apatinių atmosferos sluoksnių stabilumo sąlygas; išskiriamos 7 klasės: A – labai nestabilios sąlygos, B – vidutiniškai nestabilios, C – silpnai nestabilios, D – neutralios, E – silpnai stabilios, F – vidutiniškai stabilios ir G – labai stabilios sąlygos (3 lent.), be to, Paskvilio stabilumo klasės priklauso nuo horizontalaus vėjo vertikalios krypties pokyčio ir vertikalios temperatūros

gradiento (4 lent.).

Kaip atskiras rodiklis gali būti vėjo greitis 10 m aukštyje, tačiau dažniausiai šis parametras įtraukiamas į kitų aukščiau minėtų rodiklių skaičiavimą (Jacobson, 2002).

3 lentelė. Meteorologinės sąlygos, apibūdinančios Paskvilio stabilumo klases (Pasquill, 1974).

Table 3. Meteorological conditions describing Pasquill stability classes (Pasquill, 1974).

Priežemio vėjo greitis (m/s) <i>Near surface wind speed</i>	Insoliacija dieną <i>Daytime insolation</i>			Nakties sąlygos <i>Nighttime radiation conditions</i>	
	stipri <i>strong</i>	vidutinė <i>moderate</i>	silpna <i>weak</i>	apsiniaukę arba žemi debesys (>5 balų) <i>overcast or > 4/8 octas low clouds</i>	debesuotumas (□5 balų) <i>cloudiness □ 4/8 octas</i>
< 2	A	A – B	B		
2–3	A – B	B	C	E	F
3–5	B	B – C	C	D	E
5–6	C	C – D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

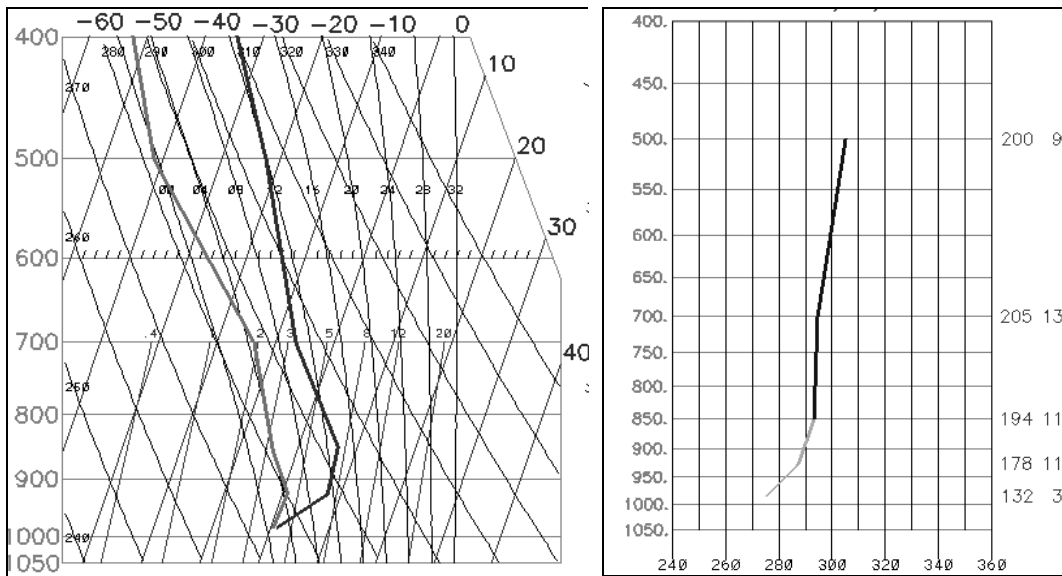
4 lentelė. Paskvilio klasės priklausomybė nuo horizontalaus vėjo vertikalios krypties pokyčio ir vertikalios temperatūros gradiento (Oke, 1987).

Table 4. Pasquill classes for fluctuations in wind direction and vertical temperature gradient (Oke, 1987).

Paskvilio klasė <i>Pasquill Class</i>	Vėjo krypties pokytis (laipsn/100 m) <i>Wind direction change (degrees / 100 m)</i>	□T/□Z (°C/100 m)
A	25	-1,9
B	20	-1,9 – -1,7
C	15	-1,7 – -1,5
D	10	-1,5 – -0,5
E	5	-0,5 – 1,5
F	2,5	1,5 – 4,0
G	1,7	>4,0

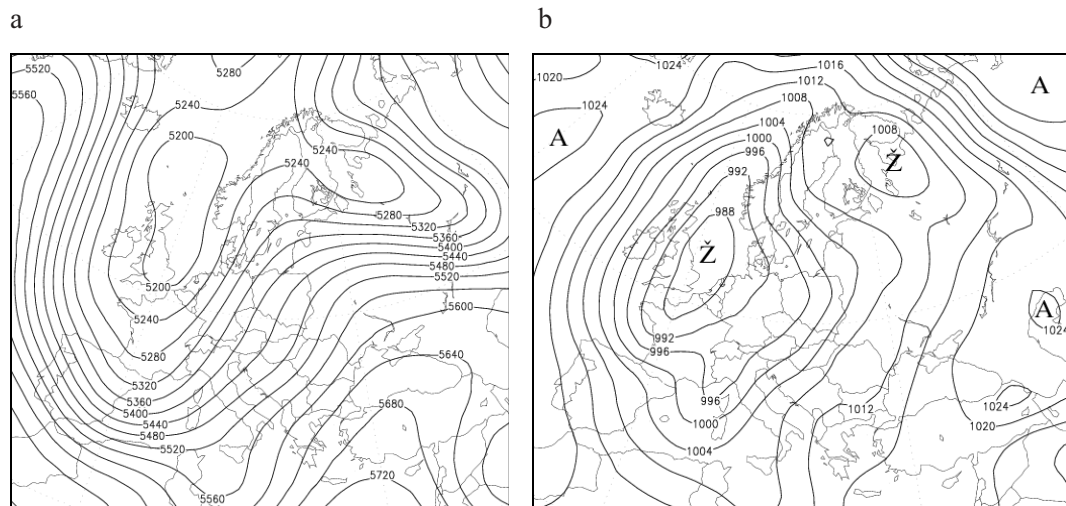
Atlikta analizė parodė, kad maksimalios teršalų koncentracijos Vilniuje formuojasi susidarius stabiliai priežeminei inversijai, kuri palaipsniui pereina į pakiliają laisvosios atmosferos inversiją. Tokiais atvejais didelė dalis emisinių teršalų kaupiasi paribio sluoksnyje, o inversijai sustiprėjus – apatinėje šio sluoksnio dalyje (4 pav.). Tokių inversijų formavimasis būdingas žiemą ir ankstyvą pavasarį mažų gradientų bariniame lauke, kai vidurinėje troposferoje vyksta intensyvi šilumos advekcija (5 pav.). Paveiksle matyti, kad Lietuvos teritorija patenka į didelio cikloninio sukūrio rytinę periferiją. Slėgio gradientai maži, be to, apatinėje troposferoje vyrauja šalti orai. Aukščiau paribio sluoksnio slėgio gradientai labai padidėja, dėl to stiprėja oro pietų pernaša ir vyksta šilumos advekcija, kuri palaipsniui stiprina inversiją apatinėje troposferoje ir mažina sąmaišos aukštį.

Šiltuoju metų laiku temperatūros inversijas naktį ir rytą dažniausiai formuoja mažų gradientų laukai arba anticiklono centrinės dalys, ypač kai tokie anticiklonai yra susidarę subtropinėje klimato juostoje. Formuojasi priežemio ir pakiliosios inversijos, siekiančios 900 hPa lygį (apie 700 m virš žemės paviršiaus), kurios išnyksta dienos metu. Todėl dažniausiai



4 pav. Vertikalus oro temperatūros ir rasos taško temperatūros profilis (kairėje) ir vertikalus potencinės temperatūros profilis iki 400 hPa lygio (dešinėje) 1999 m. kovo 5 d. 18 val. virš pietryčių Lietuvos staigaus oro užterštumo padidėjimo Vilniaus mieste metu. Šviesesnė profilio dalis rodo kritinės temperatūros inversijos sluoksnio storį. Skaičiai paveikslo dešinėje rodo vėjo kryptį (laipsniais) ir greitį (m/s) (duomenys iš FNL archyvo).

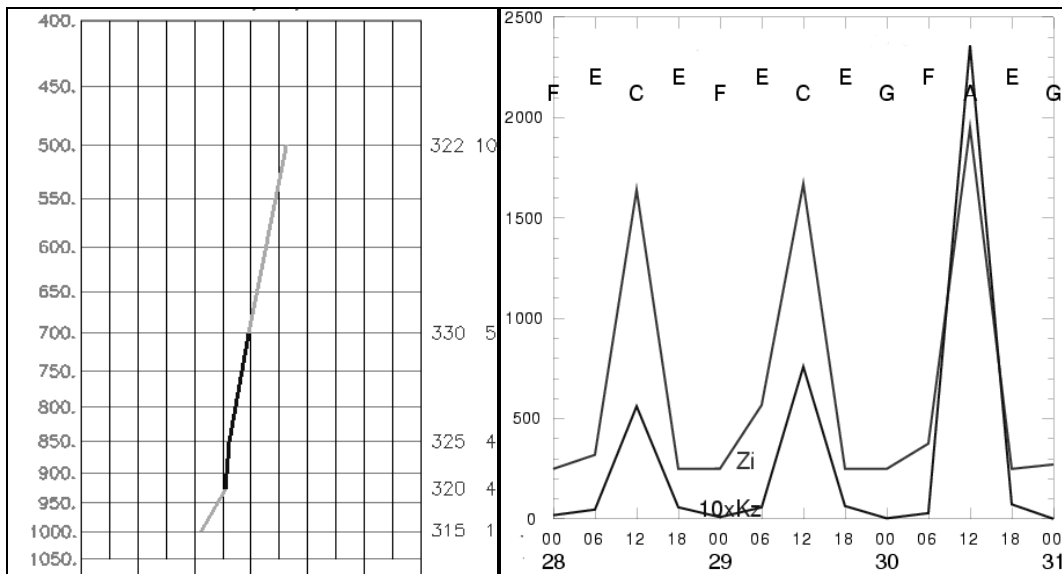
Fig. 4. Air and dew point temperature (left) and vertical distribution of potential temperature up to 400 hPa level (right) at 1800 UTC 5th of March 1999 over southeastern part of Lithuania when sudden increase of air pollution concentrations was observed in Vilnius. Grey part of line indicates the depth of critical inversion. Numbers on the right – wind direction (degrees) and wind speed (m/s).



5 pav. Tipinė sinoptinė situacija žiemą, lemianti didelį atmosferos užterštumą Vilniuje 1999-03-04 12UTC: a) H500 hPa laukas; b) slėgio jūros lygyje laukas.

Fig. 5. Typical circulation pattern in the cold season responsible for high levels of atmospheric pollution in Vilnius: 04 03 1999 12UTC; a) H500 hPa level field, b) sea level pressure.

padidėja tik momentinės teršalų koncentracijos, o dienos vidurkis būna nereikšmingas. Kitokių pasekmių sukelia vienu metu egzistuojančios dvi kritinės inversijos: viena – priežemio, kita – laisvojoje atmosferoje. Pastaroji atsiranda dėl žemyneigių oro masių judesių aukšto slėgio darinių centruose. Priežemio inversija suardoma dienos metu, tačiau teršalai toli nenunešami dėl silpno vėjo ir juos sulaikančio sluoksnio vidurinėje troposferoje. Nakties metu apatinio atmosferos sluoksnio stabilumas labai išauga, teršalų koncentracijos taip pat smarkiai didėja. Todėl tokiais laikotarpiais teršalų koncentracijos paros kaita būna labai ryški (6 pav.).

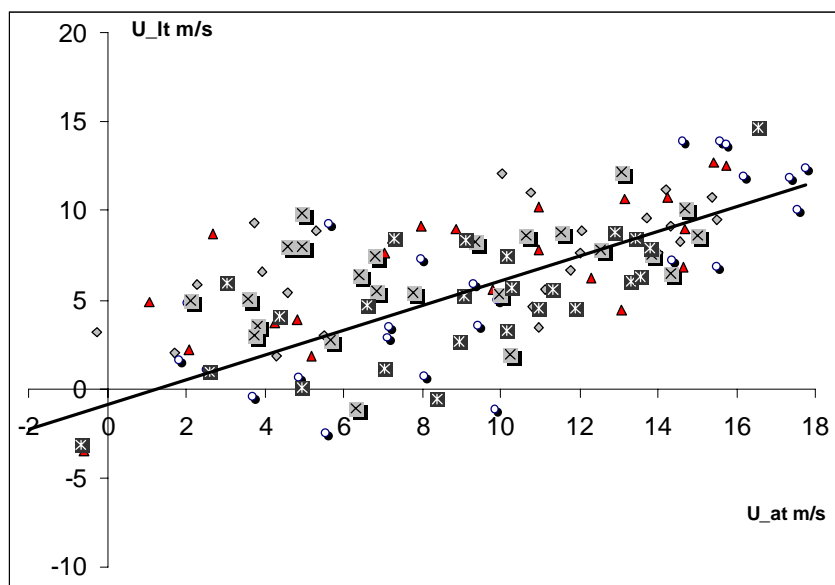


6 pav. Vertikalus potencialios temperatūros profilis (kairėje; paaiškinimus žr. 4 pav.), Paskvilio stabilumo klasių, paribio sluoksnio (identiškas sąmaišos sluoksniui) aukščio Z_i (m) ir vertikalaus sąmaišos koeficiento $10 \times K_z$ kaita (m^2/s) 1999-08-28–31 (dešinėje).

Fig. 6. Vertical distribution of potential temperature (left, explanation as in fig. 4); Pasquill stability, boundary layer depth Z_i (m) and vertical mixing coefficient $10 \times K_z$ (m^2/s) timeseries for August 28–31 days of 1999 (right).

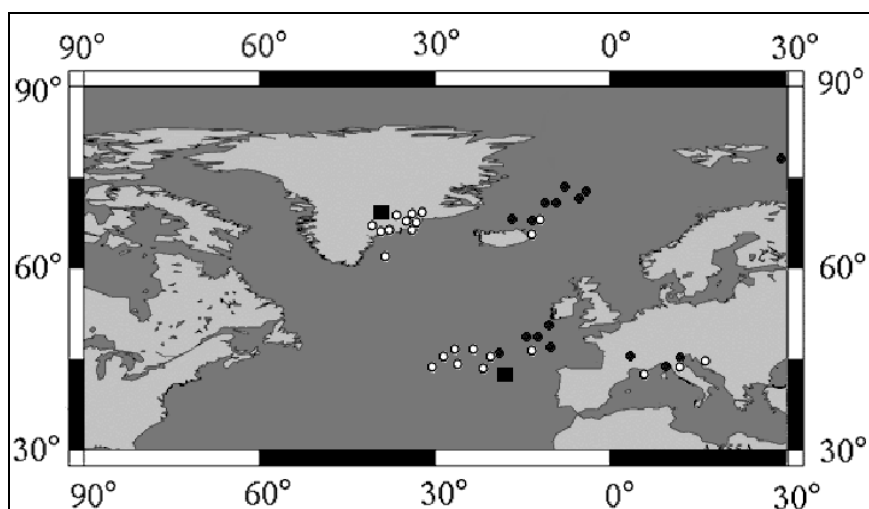
Neretai teršalų atneša oro srautai iš Centrinės Europos. Tai lemia dideli bariniai gradientai prie žemės paviršiaus bei vidurinėje troposferoje. Frontiniai paviršiai virsta inversiniais sluoksniais, neleidžiančiais teršalų „debesims“ išsisklaidyti stipriame oro sraute (Dobbins, 1979).

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijoms į atmosferą palaipsniui mažėjant, jų koncentracija dar kurį laiką didės, tačiau teršalų koncentracijos turėtų šiek tiek keistis. Daugelis klimato modelių, veikiančių didėjančios šiltnamio dujų koncentracijos fone, rezultatai rodo, kad didžiausi pokyčiai vidutinėse platumose laukiami šaltuoju metų laiku. Zoninė oro masių cirkuliacija Šiaurės Atlante stiprės, kartu ir zoninė cirkuliacija virš Pietų Baltijos (7 pav.). Intensyvės atmosferos frontų veikla, dėl to pagausės kritulių, tačiau vidurinėje troposferoje stiprės ir šilumos advekcija, papildomai teikianti energijos sinoptinio masto sukuriams, kurių zonos vyksta intensyvi vertikali oro masių sąmaiša. Taigi teršalų sklaidos sąlygos daugiausia priklausys nuo sukurių ženklo. Pavyzdžiui, stiprėjant teigiamam sukuriui vidurinėje troposferoje, gerėja priežemio ciklonų regeneracijos sąlygos, ir atvirkščiai. Po 2020 metų turėtų didėti teigiamo sukurių advekcija virš Lietuvos, todėl šaltuoju metų laiku laisvosios atmosferos temperatūros inversijų tikimybė mažės. Remiantis modelių rezultatais, vasarą sumažės kritulių,



7 pav. Zoninio vėjo greičio virš Šiaurės Atlanto U_{at} ir Pietų Baltijos U_{lt} ryšys lapkritį–kovą 1948–2002 metais: skrituliai – lapkričio mėn., trikampiai – gruodžio mėn., šviesūs kvadratai – sausio mėn., tamsūs kvadratai – vasario mėn., rombai – kovo mėn.

Fig. 7. The relation between zonal wind components over North Atlantic U_{at} and Southern Baltic U_{lt} during cold seasons (November–March) of 1948–2002 period: special marks: circles – November, triangles – December, light squares – January, black squares – February, rhombes – March.



8 pav. NAO centrų vidutinė padėtis žiemą pagal *ECHAM4 OPYC* modelio skaičiavimus. Kontrolinis laikotarpis – juodi kvadratai; didėjančio šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos fone vidutinė mėnesio centrų padėtis iki 2020 metų (balti skrituliai) ir po 2020 metų (juodi skrituliai) (Intergovernmental..., 2001).

Fig. 8. Locations of NAO centres of *ECHAM4/OPYC*. The average positions from the entire control run (using winter means) are marked by black squares; those of consecutive decades in the scenario run are marked by open circles before year 2020 and by black dots thereafter (Intergovernmental..., 2001).

didės anticikloninių laukų pasikartojimas (Intergovernmental..., 2001). Bet koks anticikloninių sąlygų vasaros mėnesiais padažnėjimas lems ir atmosferos užterštumo didėjimą miesto teritorijose (Hulme, Jenkins, 1998). Todėl nebus palankių sąlygų teršalams sklaidytis nakties metu (8 pav.).

Didžiausi užterštumo atvejai Centrinėje ir Rytų Europoje susiję su mažų gradientų bariniais laukais (silpno vėjo epizodai) ir dideliais priežemio oro sluoksnio vėsimo greičiais. Sustiprėjus vakarų oro masių pernašai tokių epizodų ateityje sumažės. Be to, pasikeitusi cirkuliacija šaltuoju metų laiku lems didesnes drėgmės atsargas atmosferoje (padidės absoliuti ir specifinė drėgmė), dėl to sumažės priežemio oro sluoksnio vėsimo greitis tamsiuoju paros metu.

Apibendrinimas

Miestuose atmosferos teršalų koncentraciją lemia trys veiksniai: stacionarių ir mobilių teršalų emisijos, teršalų sklaidos sąlygos, su didelio masto barinėmis sistemomis susijusi teršalų pernaša iš kitų rajonų.

Dėl ūkio ekonominio nuosmukio ir efektyvesnio energijos išteklių naudojimo teršalų išmetimas į orą per paskutinį XX a. dešimtmetį sumažėjo beveik 3 kartus. Tačiau išlieka daug priežasčių, kurios gali lemti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos bei oro užterštumo padidėjimą miestuose:

a) transporto priemonių skaičiaus didėjimas ir su tuo susijęs dažnas lokalizuotų didelio užterštumo zonų formavimasis;

b) Ignalinos AE uždarymas ir su tuo susijęs elektros energijos gamybos padidėjimas labiau aplinką teršiančiose įmonėse, dažnai išmetančiose teršalus į priežemio atmosferos sluoksnį.

c) šilumos tiekimo decentralizacija, dėl kurios kuriasi mažesnės katilinės, formuojančios naujus oro taršos židinius; dėl šios priežasties artimiausiais metais gali išaugti kai kurių teršalų (ypač sieros dioksido) koncentracija.

Didėjant šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijai, tačiau palaipsniui mažėjant jų emisijoms į atmosferą, foninės teršalų koncentracijos turėtų šiek tiek keistis. Daugelis klimato modelių, kurių veikimas pagrįstas didėjančia šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracija, rezultatai rodo, kad didžiausi pokyčiai vidutinėse platumose susidarys šaltuoju metų laiku. Zoninė oro masių cirkuliacija Šiaurės Atlante stiprės, kartu ir zoninė cirkuliacija virš Pietų Baltijos. Intensyvės atmosferos frontai, dėl to pagausės kritulių, tačiau vidurinėje troposferoje stiprės ir šilumos advekcija, kuri teiktų papildomos energijos sinoptinio masto sukūrimams. Tikėtina, kad po 2020 metų didės teigiamo sukūrio advekcija virš Lietuvos, todėl šaltuoju metų laiku laisvosios atmosferos temperatūros inversijų tikimybė mažės. Remiantis modeliavimo rezultatais, vasarą sumažės kritulių, dažniau formosis anticikloniniai laukai. Anticikloninių sąlygų vasaros mėnesiais padažnėjimas lems ir atmosferos užterštumo didėjimą mieste. Todėl teršalams sklaidytis ypač nepalankios sąlygos tikėtinos nakties metu.

Gauta: 2003-11-08

Literatūra

Arya S. P. (2001). Introduction to Micrometeorology, London: Academic Press.

Colvile R. N. et al. (2001). The Transport Sector as a Source of Air Pollution, *Atmospheric Environment* 35, p. 1537–1565.

- Dobbins R. A.** (1979). *Atmospheric Motion and Air Pollution: An Introduction for Students of Engineering and Science*, New York–Chichester: Wiley.
- Hulme M., Jenkins G. J.** (1998). *Climate Change Scenarios for the UK: scientific report, UKCIP Technical Report No 1*, University of East Anglia, Norwich.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC):** Third Assessment Report (2001). (www.ipcc.ch)
- Jacobson M. Z.** (1999). *Fundamentals of atmospheric modeling*, New York: Cambridge University Press.
- Jacobson M. Z.** (2001). GATOR-GCMM: A Global through Urban Scale Air Pollution and Weather Forecast Model. 1. Model Design and Treatment of Subgrid Soil, Vegetation, Roads, Rooftops, Water, Sea Ice, and Snow, *J. Geophys. Res.* **106**, p. 5385–5402.
- Jacobson M. Z.** (2002). *Atmospheric Pollution: history, science and regulation*, New York: Cambridge University Press.
- Korkutis P., Kavaliauskas B.** (1995). Atmosferos savaiminio apsilvymo potencialas Lietuvoje. *Geografijos instituto darbai. Klimatologija*, p. 101–118.
- Lietuvos Energetikos institutas** (2003). *Nacionalinė energetikos strategija*, Vilnius.
- Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerija** (2000). *Lithuania's second national communication under the Framework Convention on Climate Change*, Vilnius
- NCDC archives. (<http://www.arl.noaa.gov/>)
- Oke T. R.** (1987). *Boundary Layer Climates*. Routledge, London.
- Pasquill F.** (1974). *Atmospheric Diffusion: 2nd ed.*, New York: John Wiley and Sons.
- Ramanathan V.** (1998). Trace-Gas Greenhouse Effect and Global Warming. *Royal Swedish Academy of Sciences. Ambio*, Vol. **27**, No **3**, p. 187–197.
- Sillman S., Samson P. J.** (1995). Impact of Temperature on Oxidant Photochemistry in Urban, Polluted Rural, And Remote Environments, *J. Geoph. Res.* **100**, p. 11497–11508.
- Soon W. et. al.** (2001). Modeling Climatic Effects of Anthropogenic Carbon Dioxide Emission: Unknowns and Uncertainties, *Climate Research* **18**, p. 259–275.
- Zhao M., Pitman A. J., Chase T. N.** (2001). Climatic Effects of Land Cover Change at Different Carbon Dioxide Levels, *Climate Research* **17**, p. 1–18.
- Александров Е. Л.** и др. (1992). *Озоновый щит Земли и его изменения*, С.-Петербург.

Arūnas Bukantis, Egidijus Rimkus, Gintautas Stankūnavičius
Vilnius University

Forecast of the changes of atmospheric pollution in urbanized territories

Summary

Qualitative changes of the air represent one of the key spheres of urban influence on the local climate. The qualitative changes of the atmosphere are entailed by abundant emissions from the industrial energy and transport enterprises. The chemicals get into the atmosphere from different sources and may produce a direct or indirect adverse effect on humans. The air quality also depends on meteorological conditions. Unstable weather conditions facilitate the dispersion of pollutions. Stable and inert baric formations (anticyclones, low gradient baric fields, ridges), on the contrary, may increase the atmospheric pollution in large cities with multiple pollution sources. Weak air mass mixing, inversion of temperature and such meteorological phenomena as mist and drizzle are supportive of accumulation of pollutants in the lower layers of the atmosphere. Unfavourable conditions for dispersion of pollutants occur in smaller cities and industrial centres with one large point source of pollution when the wind is carrying the pollutants into the city.

The concentration of pollutants in the cities is predetermined by three main factors: emissions of stationery and mobile pollutants, conditions for dispersion of pollutants and transport of pollutants

from other territories by large-scale baric systems.

The emission of pollutants has reduced almost thrice in the last decade of the 20th century due to decline of economy in Lithuania and due to more effective utilization of energy resources. Yet there are still many problems which are responsible for emission of gases (green-house effect) and increase of the atmospheric pollution in urban areas:

a) increasing number of the means of transportation and related formation of local high pollution zones;

b) closure of Ignalina NPP and related transference of energy production to enterprises-intensive polluters which emit pollutants into the sub-aerial layer of the atmosphere;

c) decentralization of heat supply and establishment of small boiler-houses, which represent new sources of air pollutions and provide a good reason to expect an increase of the concentrations of some pollutants (sulphur dioxide in particular).

As a result of combined effect of increasing green-house gases' concentration and decreasing emissions into the atmosphere the background values of the concentrations of pollutants will, apparently, change negligibly. Many climate models based on the input data including the green-house gas concentrations show that the greatest changes tend to occur in the mid-latitudes in cold seasons. The zonal circulation in the North Atlantic will increase strengthening the zonal circulation above the South Baltic. The intensifying activity of atmospheric fronts will increase precipitation. However, the heat advection will strengthen in the middle troposphere and serve as an additional energy for synoptic vortices. It is likely that after 2020 the advection of the positive vortex will increase in Lithuania reducing the probability of free atmosphere inversions in cold season. According to model results the summer precipitation values will decrease but the anticyclonic fields will occur more frequently. The increasing frequency of summer anticyclonic conditions will favour the atmospheric pollution in urban territories. Especially unfavourable conditions for dispersion of pollutants will occur at nights.