

Meteorologija *Meteorology*

Meteorologinių veiksnių poveikis KD2.5 aerozolio koncentracijos kaitai Preiloje

Egidijus Rimkus,

Gintautas Stankūnavičius,

Arūnas Bukantis

Vilniaus universitetas

*El. paštas: egidijus.rimkus@gf.vu.lt;
gintas.stankunavicius@gf.vu.lt;
arunas.bukantis@gf.vu.lt*

IVADAS

KD2.5 (arba kietosios dalelės) – tai ore kybančios sveikatai žalingos kietosios dalelės ar skysčio lašeliai, kurių dydis neviršija 2,5 mikrometrų. Jos gali būti tiek natūralios kilmės (vėjo pakeliamos dulkės, jūros druskos ir kt.), tiek ir patekti į orą žmogaus ūkinės veiklos metu (iš automobilių, elektrinių ar pramonės įmonių, deginant medieną), taip pat gali susiformuoti atmosferoje, kai dujiniai teršalai (SO_2 , NO_x ar lakieji organiniai komponentai) transformuojasi cheminių reakcijų metu. KD2.5 – ypač kenksmingos žmonių organizmui, kadangi gali giliai prasiskverbti į plaučius ir būti daugelio kvėpavimo ligų priežastimi (Schwartz, Dockery, Neas, 1996; Pagano ir kt., 1998; Samet ir kt., 2000). Jei stambesnės kietosios dalelės paprastai per kelias valandas nuo patekimo į orą nusėda arba yra kritulių „išplaunamos“ netoli nuo emisijos vietos, tai KD2.5 išlieka ore daug ilgesnį laiką ir kartu su oro mase gali nukeliauti labai didelius atstumus. Šiuo metu Europos Sąjungoje daug diskutuojama apie aplinkos ir sveikatos gerinimo tikslus, tarp jų ir apie KD2.5 matavimo tinklo plėtrą bei šių teršalų koncentracijos mažinimo galimybes. Iki šiol neapsispręsta šio teršalo ribinių verčių klausimu, kadan-

gi manoma, jog kokybės gerinimo tikslus dera svarstyti kartu su koncentracijos mažinimo priemonėmis, jų kaštais bei efektyvumu ir tik tada galutinai apibrėžti tikslus (ES aplinkos taryba, 2005). Todėl anksčiau deklaruotas tikslas, jog 2010 m. vidutinė metinė KD2.5 koncentracija neviršytų $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o vidutinė paros ne daugiau kaip 14 kartų per metus viršytų $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, gali dar būti koreguojamas. Lietuvoje foninę KD2.5 koncentraciją nuo 2003 m. matuoja Fizikos institutui priklausanti Preilos Aplinkos tyrimų stotis Kuršių nerijoje. Nuo 2006 m. Aplinkos ministerija planuoja pradėti šio teršalo koncentracijos matavimus Vilniaus, Kauno ir Klaipėdos miestuose.

Kietųjų dalelių koncentracija ore priklauso nuo emisijos iš stacionarių ir mobiliųjų taršos šaltinių intensyvumo, teršalų sklaidos sąlygų, jų pernašos iš kitų regionų didelio masto barinėmis sistemomis. Pastarasis klausimas buvo išsamiai išanalizuotas Fizikos instituto specialistų atliktame tyrime (Ovadnevaitė, Kvietkus, Šakalys, 2006). Šiame straipsnyje siekiama įvertinti meteorologinių rodiklių sąsajas su fonine kietųjų dalelių koncentracija Preiloje bei atlikti sinoptinę aukštų KD2.5 koncentracijų susidarymo analizę. Tyrimus rėmė Lietuvos valstybinis mokslo ir studijų fondas.

DUOMENYS IR DARBO METODIKA

Darbe analizuotas 34 971 KD2.5 matavimas Preilos aplinkos tyrimų stotyje nuo 2003 m. birželio 1 iki 2005 m. gegužės 31 dienos. Duomenys gauti iš Fizikos instituto Atmosferos užterštumo tyrimų laboratorijos. Matavimai buvo atliekami kas 30 minučių. Kietųjų dalelių koncentracijų verčių pasiskirstymas yra artimas lognormaliajam skirstiniui (Ovadnevaitė, Kvietkus, Šakalys, 2006). Per tiriamą dvejų metų laikotarpį buvo užfiksuotos ir išties ekstremalios KD2.5 koncentracijos, keliasdešimt kartų viršijančios vidutines reikšmes (lentelė). Ti-

lapkričio–balandžio mėnesiais (šaltasis laikotarpis) bei mažesnių verčių laikotarpis gegužės–spalio mėnesiais (šiltasis laikotarpis). Nors Preilos ATS yra atokiau nuo stambių taršos šaltinių, tačiau išaugusias teršalų koncentracijas lapkričio–balandžio mėnesiais daugiausia galima aiškinti padidėjusiais kietųjų dalelių išmetimais šildymo sezono metu ne tik pačioje gyvenvietėje, bet ir rytinėje Kuršių marių pakrantėje. Antra priežastis – blogesnės vertikaliųjų sąmaišos sąlygos dėl didesnio stratifikacijos pastovumo žiemos mėnesiais. Šiomis priežastimis būtų galima aiškinti ir kietųjų dalelių eigos ypatumus per pa-

Lentelė. KD2.5 koncentracijos duomenų Preiloje 2003–2005 m. statistikos rodikliai ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (skliausteliuose pateikti dydžiai yra apskaičiuoti be ekstremalių KD2.5 verčių)

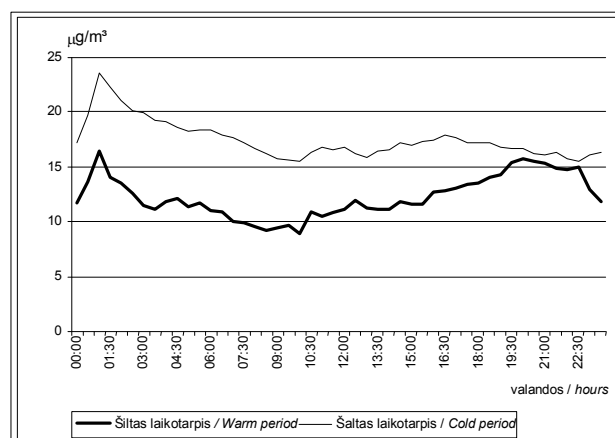
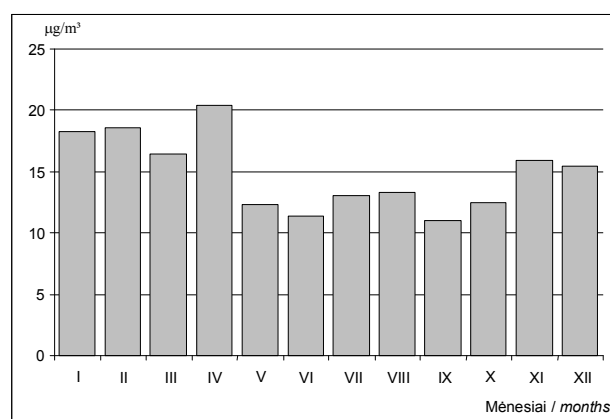
Table. Some PM 2.5 data characteristics ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) from Preila station during 2003–2005 period. Numbers in brackets indicate values without extreme PM2.5 episodes.

Statistikos rodikliai <i>Statistics</i>	Metinis <i>Annual</i>	Gegužė–spalis <i>May–October</i>	Lapkritis–balandis <i>November–April</i>
Vidurkis / <i>Average</i>	16 (15)	14 (12)	18 (17)
Moda / <i>Mode</i>	0	0	6
1 kvartilis / <i>1 Quartile</i>	5	4	6
Mediana / <i>Median</i>	11	9	13
3 kvartilis / <i>3 Quartile</i>	20	16	25
Maksimumas / <i>Maximum</i>	849	849	433
Vidutinis kvadratinis nuokrypis / <i>Standard deviation</i>	24 (15)	29 (14)	17 (16)
Variacijos koeficientas / <i>Variance</i>	574 (234)	855 (190)	281 (264)

kėtina, jog tokie dydžiai galėjo būti fiksuojami ir dėl atskirų matavimų netikslumo ar trumpalaikio didelio kiekio vietinės kilmės kietųjų dalelių patekimo į orą šalia aplinkos tyrimų stoties. Tokie pavieniai atvejai gali iškreipti realias ryšių tarp meteorologinių rodiklių bei KD2.5 tendencijas. Todėl siekiant išvengti analizės netikslumų duomenų kokybės kontrolei buvo pasirinkta ribinė 0,998 procentilio reikšmė ($184 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ši dydį viršijančios teršalų vertės (70 matavimų rezultatai) nebuvo įtrauktos į ryšių analizę.

Vidutinė metinė KD2.5 koncentracija Preiloje 2003–2005 m. buvo $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tai tik šiek tiek mažiau nei numatoma ribinė teršalo vertė 2010 m. ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Šaltuoju metų laiku vidutinė kietųjų dalelių koncentracija 20–30% didesnė nei šiltuoju. Nepaisant to, šiltuoju periodu nustatyta daug didesnė parametro sklaida, kuri labiausiai nulėmta dviejų didelio užterštumo epizodų 2004 m. gegužės ir spalio mėnesiais. Vidutinės paros koncentracijos numatomą ribinę vertę viršijo vidutiniškai 11 kartų per metus. Nė karto šis viršijimas nebuvo užfiksuotas birželio–rugsėjo mėnesiais, kai Kuršių nerijoje išsisi didžiausias poilsiautojų skaičius.

Vidutinę metinę rodiklio eigą (1 pav., a) galima suskaidyti į dvi dalis: didesnių KD2.5 verčių laikotarpis



1 pav. KD2.5 koncentracijos kaita per metus (a) bei per parą (b)

Fig. 1. PM2.5 concentrations in Preila monitoring station in 2003–2005: seasonal (a); diurnal (b)

ra – ypač ryškų šaltojo periodo maksimumą pirmoje nakties pusėje (1 pav., b).

Meteorologinė informacija apie orų sąlygas tiriamuoju laikotarpiu buvo gauta iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos fondų. Buvo surinkta informacija apie santykinį oro drėgnumą (%), kritulių kiekį (mm), vėjo kryptį ir greitį ($^{\circ}$ ir m/s) kiekvieno matavimo (kas 3 valandos) metu artimiausioje Nidos meteorologijos stotyje. 2003–2005 m. orų sąlygos buvo artimos vidutinėms daugiametėms (lyginant su 1971–2000 m. vidurkiais). Išsiskyrė tik ypač sausi, ramūs ir šilti orai, vyravę 2004 ir 2005 m. balandį, bei 1–2 $^{\circ}$ C šiltesnė ir lietingesnė antroji metų pusė. Kadangi meteorologiniai dydžiai matuojami kas trys valandos, buvo apskaičiuota vidurkinė KD2.5 koncentracija iš šešių (per praėjusias tris valandas) matavimų rezultatų.

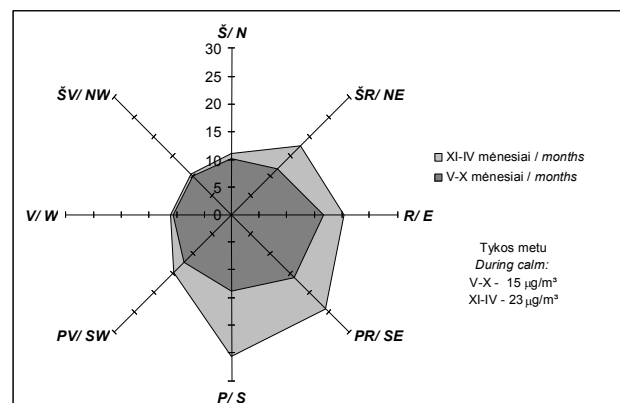
Antroje darbo dalyje buvo atliekama sinoptinė ekstremalių KD2.5 koncentracijų analizė. Ekstremalia darbo autoriai laikė tokią kietųjų dalelių koncentraciją, kuri variacinėje dydžio eilutėje viršijo 0,98 procentilio (59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) reikšmę. Buvo išskirti 53 įvairios trukmės (nuo kelių valandų iki kelių parų) didesnio užterštumo epizodai. Siekiant išvengti netikslumų dėl staigių trumpalaikių kietųjų dalelių koncentracijos šuolių, nesusijusių su atmosferos cirkuliacijos sąlygomis, tyrime neanalizuoti pavieniai KD2.5 koncentracijos padidėjimai, t. y. buvo nagrinėjami tik tie atvejai, kai per tris valandas didesnės nei 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ koncentracijos buvo užfiksuotos du kartus.

Atmosferos cirkuliacijos ypatumai kietųjų dalelių koncentracijos padidėjimo laikotarpiais buvo nustatomi remiantis globalinės duomenų bazės NCEP-DOE (Reanalysis-2) slėgio jūros lygyje, geopotencialaus aukščio 500 hPa standartiniame izobariniame paviršiuje ir vėjo parametrų 850 hPa standartiniame izobariniame paviršiuje duomenimis (Kalnay ir kt., 1996). Duomenų skiriamoji riba – $2,5 \times 2,5^{\circ}$. Šios duomenų bazės koordinatinių tinklelio atitikmuo Preilos stociai yra 55° š. pl. ir 20° r. ilg. Analizuojama teritorija – Europos-Atlanto regionas – ribojama 35° – 75° š. pl. ir 35° v. ilg. ir 50° r. ilg. Papildomai iš šių duomenų buvo skaičiuojama horizontalių tėkmių divergencija, kurios dydis ir ženklas turi įtakos teršalų sklaidai. Kadangi šie duomenys negali gerai reprezentuoti vertikalios atmosferos struktūros bent jau paribio sluoksnyje (per maža skiriamoji riba), todėl šiam tikslui buvo panaudoti atmosferos zonavimo duomenys iš kelių artimiausių aerologinių stotčių: Lebos, Baltijos jūros pakrantėje (Lenkija), ir Visbio, Gotlando saloje (Švedija). Iš pastarųjų duomenų buvo nustatomos priežeminės ir pakiliosios inversijos apatinėje troposferoje.

METEOROLOGINIŲ VEIKSNIŲ POVEIKIS KD2.5 TERŠALŲ KONCENTRACIJAI

Straipsnyje analizuojamas meteorologinių veiksnių (vėjo krypties ir greičio, santykinio oro drėgnumo bei kritulių kiekio) poveikis KD2.5 koncentracijos kaitai Preiloje – teršalų kaupimuisi, pernašai bei sklaidai. Analizei panaudoti Nidos MS matavimų duomenys.

Nustatyta, jog teršalų koncentracija analizuojamoje teritorijoje glaudžiai siejasi su vėjo kryptimi. Pučiant rytinių rumbų (nagrinėjami atveju – ŠR, R, PR, ir P) vėjams vidutinės KD2.5 vertės nuo 20 % (V–X mėnesiais) iki 80% (XI–IV mėnesiais) buvo didesnės nei vėjui pučiant iš vakarų (PV, V, ŠV ir Š rumbai). Šį padidėjimą galima sieti tiek su vietiniais Preilos apylinkėse bei rytinėje Kuršių marių pakrantėje esančiais KD2.5 emisijų šaltiniais, tiek su tolimosiomis teršalų pernašomis (Ovadnevaitė, Kvietkus, Šakalys, 2006). Be to, Nida ir Preila vyravusių vakarų vėjų atžvilgiu yra Kuršių nerijos kopagūbrio užuovėjoje, todėl iš vakarų nešamos kietosios dalelės gali nepatekti į gyvenvietės teritoriją. Vis dėlto labai tikėtina, jog vietiniai taršos šaltiniai turi lemiamą poveikį KD2.5 koncentracijos fluktuacijoms. Kaip matyti 2 paveiksle, pučiant vakarų rumbų vėjams, sezoniniai skirtumai beveik išnyksta, todėl nėra pagrindo teršalų koncentracijos padidėjimą sieti vien tik su sąmaišos sluoksnio storio mažėjimu bei dažnesniu inversijų formavimuisi. Šildymo sezono metu daugiau sunaudojama įvairaus kuro, o patekusios į aplinką kietosios dalelės rytų vėjų atnešamos į Kuršių neriją. Be to, du ryškiausi ekstremalių koncentracijų laikotarpiai 2004 m. gegužės pradžioje bei spalio pabaigoje gali būti sietini su vegetacijos periodo pradžia ir pabaiga, t. y. su dideliais augmenija nepadengto atviro paklotinio paviršiaus plotais, nuo kurių pakeliami dideli kietųjų dalelių kiekiai. Kita vertus, daugelis tyrinėtojų pabrėžia, jog ryškūs atmosferos teršalų koncentracijos padidėjimai yra dažniausiai sietini su meteorologiniais veiksniais (Latini ir kt., 2002). Taigi ir tolimoji pernaša, ir vietinės sąmaišos sąlygos vaidina labai svarbų vaidmenį.



2 pav. Vidutinė KD2.5 koncentracija ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pučiant įvairios krypties vėjui šiltuoju ir šaltuoju metų laikotarpiu

Fig. 2. Distribution of PM2.5 concentrations in Preila monitoring station for different wind directions in cold and warm seasons

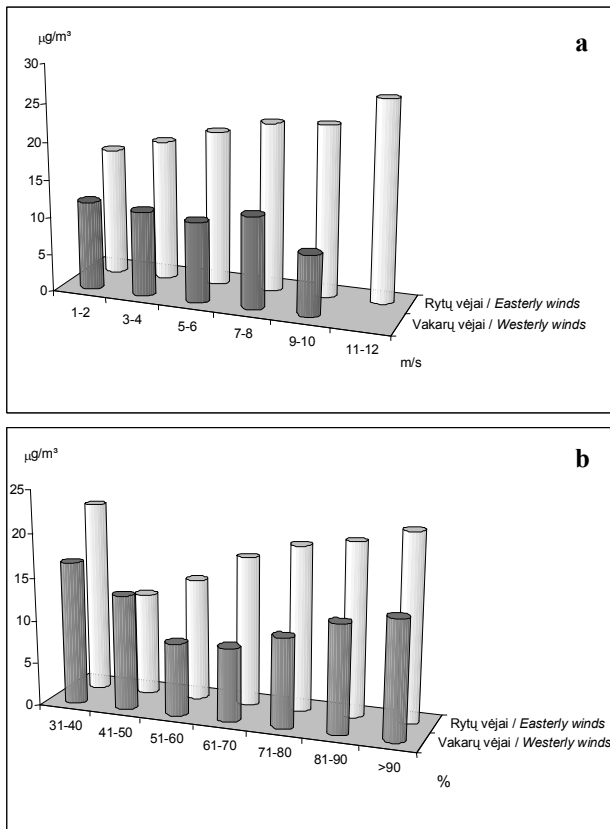
Vasarą Baltijos pajūryje formuojasi brizinė cirkuliacija, todėl vakare bei naktį sustiprėja rytų ir ypač pietryčių krypties vėjų tikimybė. Taigi ir koncentracijų padidėjimas tamsiuoju šiltojo periodo metu (1 pav., b) daugiausia sietinas su vietinių sąlygų nulemtais vėjo krypties pokyčiais per parą.

Vėjo greitis taip pat turi didelę reikšmę KD2.5 koncentracijoms. Jei tykos metu kietųjų dalelių kiekis yra

didesnis nei vidutinis (2 pav.), tai papūtus labai silpnam 1–2 m/s vėjui vidutinė teršalų koncentracija mažėja 25–35%. Tykos metu teršalai neišsimaišo, išauga rūko formavimosi tikimybė, todėl KD2.5 koncentracija gali padidėti ir dėl negausios vietinių šaltinių emisijos.

Stiprėjant vėjui kietųjų dalelių skaičius ore auga (3 pav., a). Tai lemia dvi pagrindinės priežastys. Visų pirma pučiant stipriam vėjui didesnis kiekis smulkių dalelių yra pakeliamas į orą. Antra, stiprus vėjas atneša į Preilą (čia yra tik ribotas skaičius vietinių taršos šaltinių) daleles iš kitų vietovių: rytinės Kuršių marių pakrantės ar iš daug atokesnių regionų tolimosios pernašos metu. Miestų teritorijose, kur gausu vietinių taršos šaltinių, dažniausiai nustatoma priešinga priklausomybė: didėjant vėjo greičiui teršalų koncentracija mažėja, kadangi stiprus vėjas didina sąmaišą, o į atmosferą patekusios dalelės išsisklaido didesnėje teritorijoje. Tačiau mūsų nagrinėjamu atveju didžioji dalis teršalų yra atnešama į Aplinkos tyrimų stoties apylinkes iš kitur.

Nustatyta, jog minima priklausomybė yra ryški tik pučiant rytinių rumbų vėjams, tuo tarpu vyraujant vakarų vėjams KD2.5 koncentracijos ryšys su vėjo greičiu nepastebėtas (3 pav., a). Vėlgai tai patvirtina jau anks-

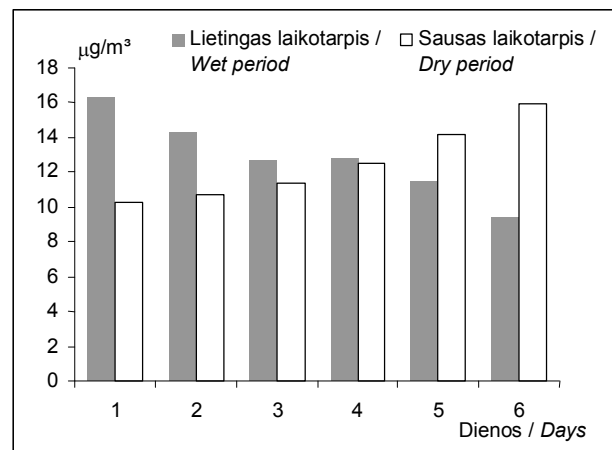


3 pav. Vidutinė KD2.5 koncentracijos kaita pučiant priešingų rumbų rytų (ŠR, R, PR, P) ir vakarų (PV, V, ŠV, Š) įvairaus stiprumo vėjui (a) bei esant įvairiam santykiniam oro drėgnumui (b)
Fig. 3. Distribution of PM2.5 concentrations in Preila monitoring station for episodes with prevailing opposite wind directions: easterly (NE, E, SE and S) and westerly (SW, W, NW and N) (a), and under different surface air relative humidity conditions (b)

tesnį teiginį, jog pagrindinis į Preilą patenkančių kietųjų dalelių šaltinis yra sausumos plotai rytuose bei tolimosios pernašos metu iš rytų ateinančios oro masės. Tuo tarpu Baltijos jūrą kertančios oro masės kietosiomis dalelėmis beveik nepasipildo, ir KD2.5 koncentracija jose mažėja dėl sedimentacijos ir išplovimo.

Santykinė drėgmė kietųjų dalelių koncentraciją veikia dvejopai. Sausi, maža santykinė drėgmė pasižymintys orai spartina paklotinio paviršiaus džiūvimą, todėl pučiant vėjui į orą gali būti pakeliamas didesnis kietųjų dalelių kiekis (3 pav., b). Kita vertus, didelis oro prisotinimas drėgme skatina kondensacijos produktų atsiradimą. Ore susiformavę labai smulkūs vandens lašeliai absorbuoja kietąsias daleles arba pačios kietosios dalelės gali tapti kondensacijos branduoliais. Be to, KD2.5 gali susidaryti ir cheminių reakcijų metu. Todėl kietųjų dalelių koncentracija Preiloje turi du maksimumus: kai santykinis drėgnumas 31–40 ir 91–100%. Mažiausios KD2.5 vertės fiksuojamos, kai santykinis drėgnumas artimas vidutiniam (41–70%). Ši priklausomybė išlieka pučiant ir rytų, ir vakarų rumbų vėjams.

Darbe analizuotas kritulių poveikis KD2.5 koncentracijoms Preiloje. Nustatyta, jog nusistovėjus lietingiems orams teršalų koncentracija palaipsniui mažėja, tuo tarpu ilgesnių laikotarpių be kritulių metu ji išauga. Ketvirtame paveiksle galima matyti, jog vidutiniškai šeštą lietingo laikotarpio dieną (tokių laikotarpių 2003–2005 m. buvo 15) kietųjų dalelių koncentracija sumažėja beveik perpus. Tai aiškinama teršalų „išplovimu“. Šiuo atveju vyksta kitoks procesas, negu esant didelei santykinėi drėgmei ir formuojantis rūkui. Kritulių metu į vandens lašelį absorbuoti teršalai yra pašalinami iš atmosferos. Antra vertus, statistiškai reikšmingos koreliacijos tarp iškritusio kritulių kiekio ir absoliutaus ar santykinio kietųjų dalelių koncentracijos sumažėjimo nenustatyta, nors šaltuoju metu gausių kritulių (> 8mm per parą) dienomis KD2.5 koncentracija būdavo vidutiniškai 80% mažesnė.



4 pav. Vidutinė KD2.5 koncentracijos kaita lietingu bei sausu laikotarpiu. Abscisių ašyje pateiktos iš eilės einančios lietingo ar sauso periodo dienos
Fig. 4. Mean daily PM2.5 concentrations during dry spells and wet days in Preila monitoring station. Numbers on the X axis indicate consecutive days of dry and wet periods

Apskaičiuota, kad sausuoju laikotarpiu per pirmąsias šešias (tokių analizuota 16) dienas teršalų koncentracija vidutiniškai išaugdavo 10%. Tai susiję ne tik su palapšniu kietųjų dalelių koncentracijos augimu (nesant „išplovimo“), bet ir su paklotinio paviršiaus džiūvimu.

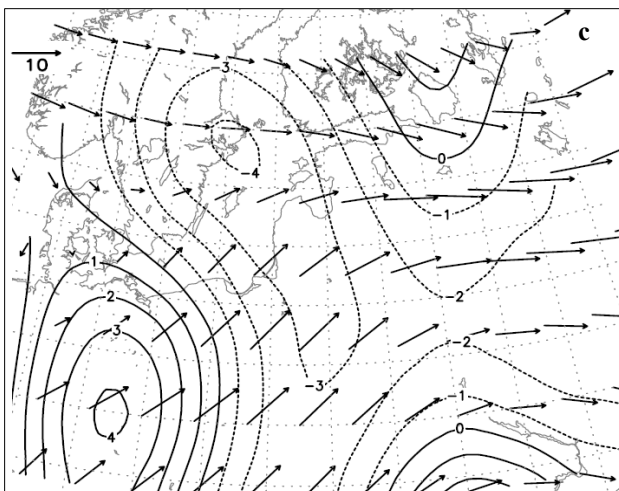
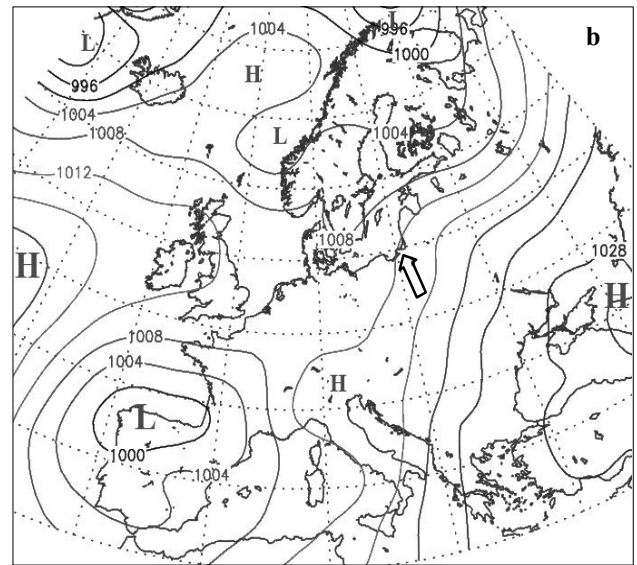
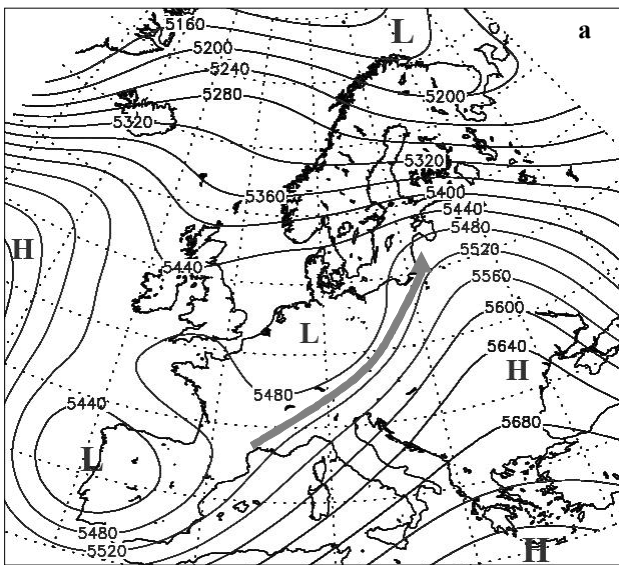
Kaip jau minėta, smulkios kietosios dalelės ore tampa ir kondensacijos branduoliais, todėl jos ne tik išplaušamos kritulių, bet ir yra krituliodarą skatinantis veiksnys. Deja, atliekant tyrimus nepavyko susieti kietųjų dalelių koncentracijos padidėjimo su vėliau buvusiais krituliais. Iš 24 didesnio užterštumo dienų 2003 ir 2004 metų vasaromis (šiuo metų laiku vietinė debesodara pati intensyviausia) tik 5 kartus užfiksuoti krituliai (vieną kartą gausūs). Tuo tarpu vidutinės KD2.5 vertės prieš dieną (> 10 bei > 20 mm per parą) bei gausių kritulių dieną neviršijo vidutinių viso tiriamo laikotarpio dydžių.

ATMOSFEROS CIRKULIACIJA KD2.5 KONCENTRACIJOS PADIDĖJIMŲ METU

Beveik 90 % visų analizuojamų KD2.5 koncentracijos padidėjimo atvejų susiję su aukštesnio slėgio priežeminiais laukais ($p > 1013$ hPa), tačiau vidurinėje troposferoje aukštesnio slėgio laukas fiksuotas ne daugiau kaip

25% atvejų. Šaltuoju metų laiku didelio masto pernaša vidurinėje troposferoje į pietryčių Baltiją dažniausiai nukreipta iš pietvakarių ir pietų, tačiau stiprios pernašos (> 12 m/s) nėra vyraujančios – beveik du trečdaliai epizodų susiję su mažų gradientų žemesnio slėgio lauku aukštesniuose lygiuose. Kaip pavyzdį, toliau panagrinėsime 2004 m. gruodžio 1–3 dienų atvejį. Virš Europos lėtai vystėsi didelio masto troposferos banga su slėniu virš Vakarų Europos ir gūbriu – virš Rytų Europos. Troposferoje vyravo pernaša nuo vakarinės Viduržemio dalies link Rytų Baltijos. Šiuo metų laiku virš Viduržemio jūros atmosferoje esanti teršalų koncentracija paprastai būdavo nuo kelių iki keliolikos kartų didesnė nei Baltijos regione (Lelieveld ir kt., 2002; Kumala ir kt., 2000). Priežeminiame sluoksnyje virš pietryčių Baltijos nusitęsė šiaurės vakarų anticiklono (centras virš Juodosios jūros) periferija, lėmusi silpnus ir vidutinio stiprumo pietų–pietryčių vėjus (5 pav.). Paribio sluoksniu viršuje pietiniai vėjai konvergavo virš Baltijos sudarydami palankias sąlygas oro slūgimui – ypač ten, kur išauga divergencijos gradientai (Pietų ir pietryčių Baltija).

Šiltuoju metų sezonu beveik visi analizuoti epizodai yra susiję su vakarinio srauto blokavimu arba kvazistacionariais sūkuriais ir meridianinės cirkuliacijos išsi-



5 pav. 2004 12 01 00 GL – 12 02 12 GL 500 hPa izobariinio lygio aukštis (gpm) (a); slėgis jūros lygyje (hPa) (b); vėjo vektoriai 850 hPa izobariiniame lygyje ir divergencija ($\times 10^{-6} \text{s}^{-1}$) (c). Izohipsės išbrėžtos kas 40 gpm, izobaros – kas 4 hPa, divergencija – kas $1 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$. Vėjo vektoriaus dydis nurodytas kairiajame viršutiniame kampe. Raidės L ir H atitinkamai žymi žemo ir aukšto slėgio centrus, o rodyklės – vyraujančios pernašos kryptis

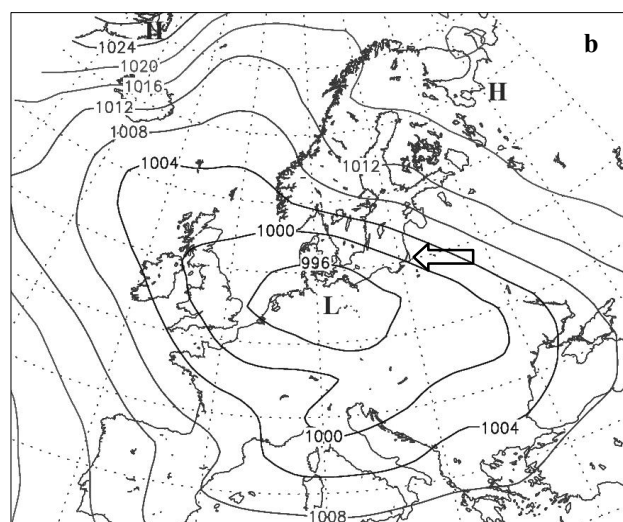
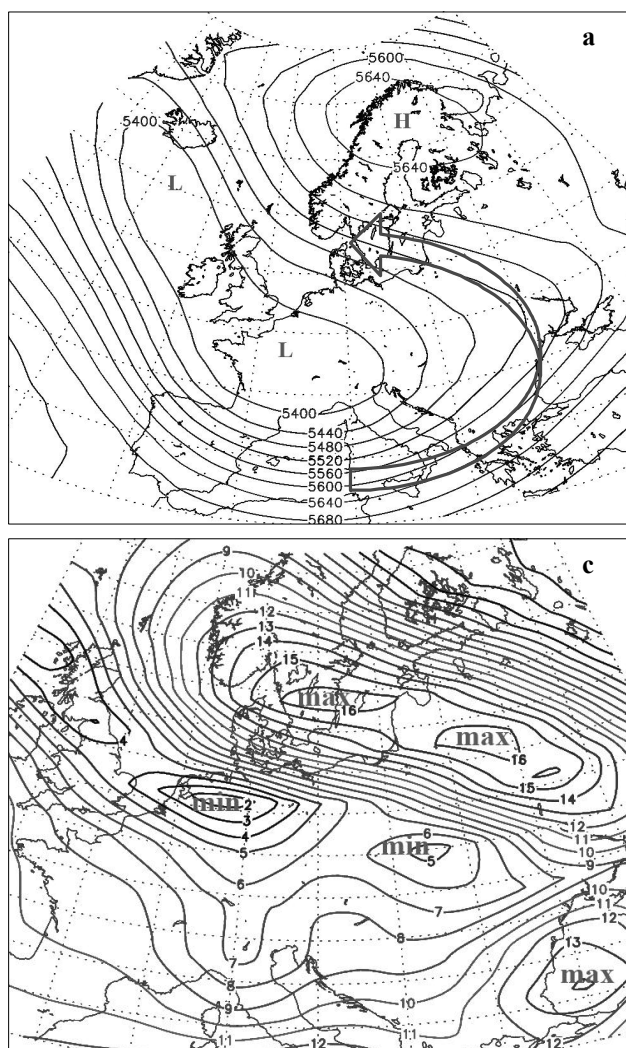
Fig. 5. Geopotential height (gpm) at 500 hPa level – (a), sea level pressure (hPa) – (b) and wind vectors and horizontal divergence ($\times 10^{-6} \text{s}^{-1}$) at 850 hPa level – (c) averaged for 00 UTC 01.12.04 – 12 UTC 02.12.04. Contours are drawn every 40 gpm, 4 hPa and $1 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ respectively. Vector magnitude is indicated in the left upper corner. Letters L and H indicate pressure centers and thick arrows show dominant flow at particular level.

vyravimu vidurinėje troposferoje. Išskirti du pagrindiniai cirkuliacijos tipai. Pirmasis tipas sudaro sąlygas stipriai rytinių rumbų oro pernašai visoje žemutinėje troposferoje. Tokie srautai tiriamąsias kietąsias daleles geba surinkti iš gana didelės teritorijos virš Rusijos ir Ukrainos juodžemio rajonų, matyt, daugiausia iš intensyvios žemdirbystės rajonų. Tai vadinamasis tolimosios pernašos tipas. Geriausiai šį tipą reprezentuojantis atvejis užfiksuotas 2004 m. gegužės 4–8 dienomis. Didelio masto troposferos bangos amplitudė padidėjo ir gūbrys virš Rytų Europos tapo blokuojantis, tuo pat metu pagilėjo ir į vakarus nuo jo esantis slėnis, kurio pietinė periferija ištyso iki Šiaurės Afrikos. Pagrindinis srautas iš Šiaurės Atlanto nukrypo į Viduržemio jūrą, o vėliau atsišakojo sudarydamas pastovią meridianinės pernašos atšaką nuo Pietų Ukrainos link Skandinavijos. Jūros lygyje šią cirkuliaciją atitiko mažai judrus ir gilus ciklonas virš Šiaurės Vokietijos, kurio šiaurės rytinėje periferijoje susiformavo dideli gradientai tarp šio ciklono ir besiplečiančio anticiklono. Priežeminiame sluoksnyje susidarė gana stiprūs ir pastovūs rytų-pietryčių vėjai. Paribio sluoksnio viršutinėje riboje stipriausių vėjų zona nusidriekė nuo Baltarusijos į Pietų Skandinaviją (6 pav.).

Kitas atmosferos cirkuliacijos tipas lemia gana silpnus pietinių, rytinių ar šiaurinių rumbų vėjus, kurie virš Kuršių nerijos nakties brizo metu nukrypsta iš rytų ir atneša vietinės kilmės daleles. Tai vadinamasis vietinių sąlygų tipas.

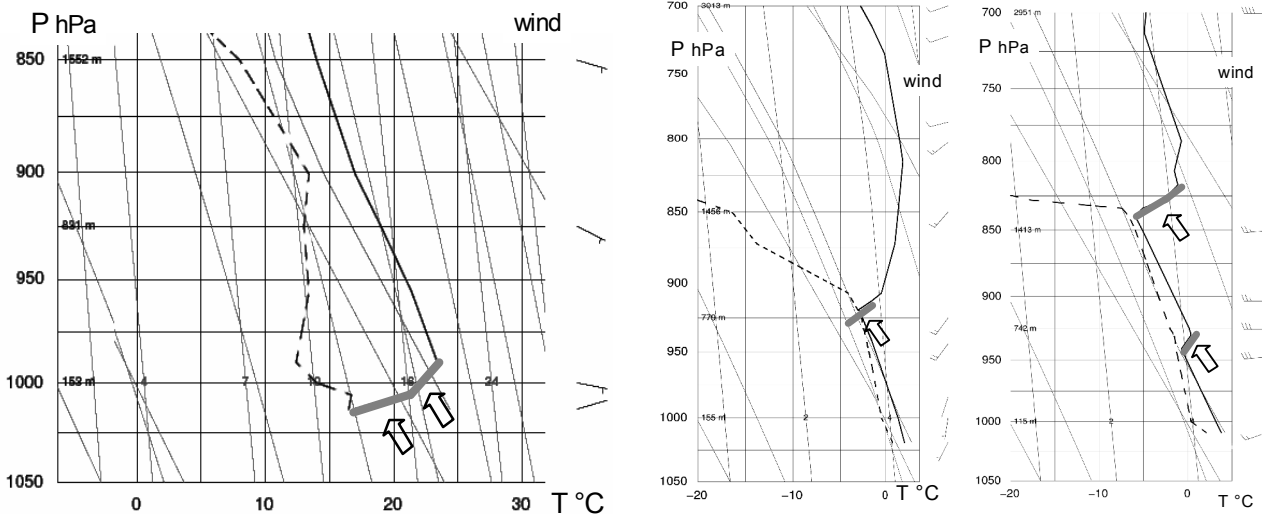
Patys trumpiausi didelių KD2.5 koncentracijų epizodai, ypač pavasario sezonais, daugiausia susiję su sustiprėjusiomis temperatūros inversijomis oro masei užslinkus nuo žemyno ant palyginti vėsių marių ir Baltijos jūros. Koncentracijų padidėjimą šiais atvejais beveik visada lemia vietiniai taršos šaltiniai – privačių namų šildymas kūrenant malkas ir anglį; tai patvirtina ir ilgalaikiai stebėjimai Šveicarijoje (Gehrig, Buchmann, 2003).

Didžiausias priežeminių inversijų poveikis KD2.5 koncentracijai nustatytas pavasario–vasaros sezonais, ypač jis akivaizdus esant rytų pernašai. Šios inversijos daug dažnesnės naktį, kai visi žemutiniame atmosferos sluoksnyje esantys teršalai „užrakinami“ kelių šimtų metrų storio sluoksnyje, tuo tarpu dieną išaugus turbulentiškumui jų tikimybė sumažėja (Korkutis, Kavaliauskas, 1995). Pakiliosios inversijos didesnę poveikį dalelių koncentracijai tiriamajame rajone turi šaltuoju metų laiku. Šilto oro advekcija virš paribio sluoksnio aukštesnio slėgio lauke formuoja įvairaus intensyvumo pakiliausias inversi-



6 pav. 2004 05 04 18 GL – 05 08 12 GL 500 hPa izobarinio lygio aukštis (gpm) (a); slėgis jūros lygyje (hPa) (b); vėjo greitis (m/s) 850 hPa izobariniame lygyje (c). Izohipsės išbrėžtos kas 40 gpm, izobaros – kas 4 hPa, vėjo greitis – kas 1 m/s. Kiti specialūs ženklai kaip ir 5 pav.

Fig. 6. Geopotential height (gpm) at 500 hPa level – (a), sea level pressure (hPa) – (b) and wind speed (m/s) at 850 hPa level – (c), averaged for 18 UTC 04.05.04 – 12 UTC 08.05.04. Other special signs are drawn as in Fig. 5.



7 pav. 2004 08 04 00 GL aerologinė diagrama, sudaryta pagal Visbio (Švedija) radiozondavimo duomenis (a); 2004 12 02 00 GL aerologinės diagramos, sudarytos remiantis Lebos (Lenkija) ir Visbio (Švedija) stočių radiozondavimo duomenimis (b). Ištininės linijos žymi temperatūros, o punktyrinė – rasos taško temperatūros kreives. Pastorintos linijos ir rodyklės nurodo temperatūros inversijas

Fig. 7. 00 UTC 04.08.04 radiosounding data from Visby (Sweden) (a); 00 UTC 02.12.04 radiosounding data from Leba (Poland) and Visby (Sweden) respectively (b). Solid lines represent temperature and dashed lines dew point curves. Sharpened segments and arrows indicate temperature inversions

jas, kurios padeda kaupti apatiniame sluoksnyje tolimųjų pernašų daleles (7 pav.). Be to, susijungus pakiliosioms ir priežeminėms inversijoms, kurios dažniausiai formuojasi tamsiuoju paros metu (Lee, 1990), „advekcines koncentracijas“ dar papildo vietinės kilmės teršalai.

PADĖKOS

Autoriai nuoširdžiai dėkoja Fizikos instituto Atmosferos užterštumo tyrimų laboratorijai bei Lietuvos hidrometeorologijos tarnybai prie Aplinkos ministerijos už galimybę pasinaudoti jų oro kokybės bei meteorologinių matavimų duomenimis. Taip pat autoriai dėkoja Lietuvos Mokslo ir studijų fondui už paramą vykdant šiuos tyrimus.

IŠVADOS

1. Šaltuoju metų laiku Preiloje užfiksuota KD2.5 koncentracija buvo vidutiniškai 30–40% didesnė nei šiltuoju. Tai lemia padidėjęs kuro sunaudojimas analizuojamame regione bei blogesnės vertikalios sąmaišos sąlygos dėl išsiviraujančios stratifikacijos žiemos mėnesiais.

2. Pučiant rytinių rumbų (nuo žemyno) vėjams vidutinės KD2.5 vertės nuo 20% (V–X mėnesiais) iki 80% (XI–IV mėnesiais) buvo didesnės nei vėjui pučiant iš vakarų (nuo jūros). Mažiausios kietųjų dalelių koncentracijos fiksuojamos pučiant labai silpnam 1–2 m/s vėjui. Stiprėjant vėjui kietųjų dalelių kiekis ore auga pakėlus jas nuo paviršiaus, taip pat dėl teršalų pernašos iš žemyno.

3. Kietųjų dalelių koncentracija Preiloje turi du maksimumus: kai santykinė drėgmė sudaro 31–40 bei 91–

100%. Tuo tarpu mažiausios KD2.5 vertės fiksuojamos, kai santykinė drėgmė artima vidutinei (41–70%). Pirmasis maksimumas sietinas su paklotinio paviršiaus džiūvimu, antrasis – su kondensacijos produktų, galinčių absorbuoti ir išlaikyti ore kietąsias daleles, kiekio didėjimu.

4. Tyrimu nustatyta, jog sausuoju laikotarpiu teršalų koncentracija vidutiniškai išaugdavo 10% per pirmąsias šešias dienas. Tuo tarpu šeštą lietingo laikotarpio dieną kietųjų dalelių koncentracija ore vidutiniškai būdavo perpus mažesnė nei lietingo laikotarpio pradžioje.

5. Nustatyta, jog 90% visų analizuojamų KD2.5 koncentracijos padidėjimo atvejų susiję su aukštesnio slėgio laukais prie žemės paviršiaus, tačiau vidurinėje troposferoje aukštesnio slėgio laukas fiksuotas ne daugiau kaip 25% atvejų. Šaltuoju metų laiku paribio sluoksnio viršuje pietiniai vėjai konverguoja virš Baltijos, sudarydami palankias sąlygas oro slūgimui žemyn – ypač ten, kur išauga divergencijos gradientai. Šiltuoju metų sezonu beveik visi analizuoti epizodai susiję su vakarinio srauto blokavimu arba kvazistacionariais sūkuriais ir meridianinės cirkuliacijos išsiviravimu vidurinėje troposferoje.

6. Aukštas KD2.5 koncentracijas lemia du cirkuliacijos tipai. Pirmasis tipas sudaro sąlygas stipriai rytinių rumbų oro pernašai visoje apatinėje troposferoje. Tokie srautai tiriamąsias daleles geba surinkti iš gana didelės teritorijos virš Rusijos ir Ukrainos. Kitas atmosferos cirkuliacijos tipas lemia gana silpnus pietinių, rytinių ar šiaurinių rumbų vėjus, kurie nakties brizo metu atneša vietinės kilmės daleles.

Literatūra

1. ES Aplinkos Taryba (2005). 2005 m. gruodžio 2 d. ES Aplinkos Tarybos posėdžio ataskaita. http://www.am.lt/VI/article.php3?article_id=4835
2. Gehrig R., Buchmann B. (2003). Characterizing seasonal variations and spatial distribution of ambient PM10 and PM2.5 concentrations based on long-term Swiss monitoring data. *Atmospheric Environment*. 37: 2571–2580.
3. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woolen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K. C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D. (1996) The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of American Meteorological Society*. 77: 437–471.
4. Korkutis P., Kavaliauskas B. (1995). Atmosferos savaiminio apšilimo potencialas Lietuvoje. *Klimatologija*. 101–116.
5. Kulmala M., Rannik U., Pirjola L., Dal-Maso M., Karimäki J., Asmi A., Jappinen A., Karhu V., Korhonen H., Malvikko S., Puustinen A., Raittila J., Romakkaniemi S., Suni T., Ylikoivisto S., Paatero J., Hari P., Vesala T. (2000). Characterization of atmospheric trace gas and aerosol concentrations at forest sites in southern and northern Finland using backtrajectories. *Boreal Environment Research*. 5: 315–336.
6. Latini G., Cocci Grifoni R., Passerini G. (2002). Influence of meteorological parameters on urban and suburban air pollution. *Air Pollution*. X: 753–762.
7. Lee D. O. (1990). The influence of wind direction, circulation type and air pollution emissions on summer visibility trends in southern England. *Atmospheric Environment*. 24A: 195–201.
8. Lelieveld J., Berresheim H., Borrmann S., Crutzen P. J., Dentener F. J., Fischer, H., Feichter J., Flatau P. J., Heland J., Holzinger R., Kormann R., Lawrence M. G., Levin Z., Markowicz K. M., Mihalopoulos N., Minikin A., Ramanathan V., de Reus M., Roelofs G. J., Scheeren H. A., Sciare J., Schlager H., Schultz M., Siegmund P., Steil B., Stephanou E. G., Stier P., Traub M., Warneke C., Williams J., Ziereis H. (2002). Global air pollution crossroads over the Mediterranean. *Science*. 298: 794–799.
9. Ovadnevaitė J., Kviatkus K., Šakalys J. (2006). Long-range Transport and Temporal Variations PM2.5 Concentrations at the Eastern Coast of the Baltic Sea. *Journal of Environment Assessment* (spaudoje).
10. Pagano P., de Zaiacomo T., Scarcella E., Bruni S., Calamosca M. (1998). Mutagenic activity of total and particle-sized fraction of urban particulate matter. *Environmental Science and Technology*. 30: 3512–3516.
11. Samet J. M., Zeger S. L., Dominici F., Currier F., Coursac I., Dockery D. W., Schwartz J., Zanobetti A. (2000). The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study. Part II Morbidity and mortality from air pollution in the United States. *Research Report of the Health Effect Institute*. 94(2): 5–79.
12. Schwartz J., Dockery D. W., Neas L. M. (1996). Is daily mortality associated specifically with fine particles? *Journal of Air & Waste Management Association*. 46: 927–939.

**Egidijus Rimkus, Gintautas Stankūnavičius,
Arūnas Bukantis**

EFFECTS OF METEOROLOGICAL FACTORS ON PM2.5 CONCENTRATIONS AT PREILA MONITORING STATION

Summary

The concentrations of particles not exceeding 2.5 micrometers in diameter (further PM2.5) are highly dependent on emission intensity from stationary and mobile sources, dispersion conditions, long range transport via large scale pressure systems, etc. The paper deals with the relationship among various meteorological indices and elements and PM2.5 concentrations measured at the Preila monitoring station (Curonian Lagoon, Lithuania). Also, a synoptic analysis of all long-lasting increased PM 2.5 concentrations in that station was made.

The analysis included a 3-year period starting from 2003. The mean annual PM2.5 concentration was 16 µg/m³. The concentrations recorded in a cold season were on average 30–40% higher than in a warm season. The main reason for such seasonal distribution is the increased use of house heating and the decreased depth of the mixing layer together with an increased stability of the lower tropospheric layers.

The analysis has shown that the concentrations are closely related to wind velocity and direction. Easterly winds (from the continent) force to increase the PM2.5 concentrations from 20% (May–October) to 80% (November–April) versus the similar conditions with westerly winds (from the sea). Wind velocity has a nonlinear relation with the concentration which decreases by about 25–35% from the calm conditions to the weak wind (2 m/s) if the initial concentration was higher than the average; however, an increased wind velocity increases the concentration due to particle transportation from the continent. Surface humidity has double effect on particle concentration. Dry weather is favorable for lifting the particle matter; on the other hand, higher relative humidity (e.g., fog) affects the concentration of condensation nuclei such as PM2.5.

The concentration of PM2.5 increased on average by 10% during the first six “dry” days of long-lasting dry spells; however, it decreased by 50% during the first six “wet” days versus the beginning of the rainy period.

The weather patterns and the synoptic conditions of the episodes of an increased PM 2.5 concentration were determined using Reanalysis-2 database from the NCEP DOE website <http://www.cdc.noaa.gov/>. The main parameters were 500 hPa geopotential height, sea level pressure and horizontal wind components at 850 hPa level. Additionally, the horizontal divergence was calculated because of its close relation to particle dispersion. Surface and lifted temperature inversions were determined using sounding data from the nearest stations (Leba and Visby).

In 90% of all episodes, the higher surface pressure field prevailed over the Southeastern Baltic, versus only 25% in the middle troposphere. The large-scale flow during such episodes lies in the southwestern-northeastern direction over Central Europe, although more than 50% of cases show a weak gradient on the background of the large-scale upper trough. Another characteristic feature is the convergence of wind over the Baltic Sea in the upper part of the boundary layer during southerly and easterly flow conditions. Such areas seem to be very favourable for air sinking in the lower layers, particularly under areas with increased divergence gradients.

Warm season episodes are almost purely represented by blocking patterns or steady eddies over Europe, which tend to increase the meridional circulation in the middle troposphere. Two main circulation types were extracted from six hourly weather maps. The first one represents a significant large-sca-

le easterly flow in the whole lower troposphere over the Eastern Baltic, and such pattern is very favourable for collecting particles from large areas in Russian and Ukrainian steppes. It is the so-called long-range transport type. The other type represents local pollution dispersion patterns with the weak easterly and southerly winds over the Southeastern Baltic under a higher surface pressure field conditions. Such weak winds are accelerated during nighttime breeze and could transport particles from coastal areas. The shortest episodes are very frequent in spring – early summer seasons. Almost all such events are forced by the strengthening of temperature inversions which are dominating phenomena in the presence of continental air masses over the Baltic Sea. Increased concentrations there are mostly predetermined by local sources such as biomass and coal burning in private houses.