

Didelio oro užterštumo epizodų meteorologinės sąlygos Vilniuje

Dainius Frišmantas,

Gintautas Stankūnavičius

*Vilniaus universitetas,
Geomokslų institutas,
Chemijos ir geomokslų fakultetas,
M. K. Čiurlionio g. 21/27,
03101 Vilnius, Lietuva
El. paštas: dainius.frismantas@chgf.stud.vu.lt;
gintas.stankunavicius@chgf.vu.lt*

Frišmantas D., Stankūnavičius G. Didelio oro užterštumo epizodų meteorologinės sąlygos Vilniuje. *Geologija. Geografija*. 2018. T. 5(1). ISSN 2351-7549.

Straipsnyje analizuojamos didelio oro užterštumo epizodų 2005–2016 m. meteorologinės sąlygos Vilniuje. Kietųjų dalelių (KD_{10}) koncentracijos duomenys buvo gauti iš Aplinkos apsaugos agentūros. Šiame tyrime didžiausias dėmesys skirtas meteorologėms sąlygoms, lemiančioms didesnes teršalų koncentracijas, įvertinti: vyraujančios oro pernašos atgalinės dalelės trajektorijos metodams ir atmosferos stabilumo kriterijų kaitos charakteristikai tiriamų epizodų metu. Iš viso buvo išanalizuota 10 epizodų. Jie atrinkti pagal didžiausias kietųjų dalelių koncentracijas. Trimatis oro dalelės judėjimas žemiausiame atmosferos sluoksnyje (1 000 ir 925 hPa izobariniuose lygiuose) pagal atstumą buvo suskirstytas į tris kategorijas: lokalią, regioninę ir tolimąją. Atmosferos stabilumas vertintas turbulencijos, paribio sluoksnio storio, Paskvilio stabilumo klasių ir oro temperatūros gradiento inversijos sluoksnyje rodikliais. Naudoti reanalizės duomenys: ERA–Interim, NCEP/NCAR ir NCEP/DOE.

Keturiais iš 10 atvejų nustatytas vienalytis oro srautas, penkiais atvejais nustatyti atgalinės trajektorijos krypčių nesutapimai (12,5 %) tarp ERA–Interim ir NCEP/NCAR bei NCEP/DOE reanalizių. Didelio oro užterštumo epizodais dažniausios pasikartojusios vėjo kryptys buvo iš šiaurės, pietų ir pietvakarių. Šios situacijos susijusios su mažų gradientų lauko (5 epizodai), anticiklono (4) ir ciklono šilto sektoriaus poveikiu (1). 2005 m., vyraujant pietų krypties vėjui, užfiksuota didžiausia kietųjų dalelių ribinė koncentracija – 172 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per 24 val.

Raktažodžiai: kietosios dalelės, atgalinė dalelės trajektorija, oro užterštumo epizodai, temperatūros inversija, atmosferos stabilumas

ĮVADAS

Orai – tai meteorologinių parametrų kompleksas, mažai kintantis sąlyginai trumpais laikotarpiais: nuo kelių valandų iki kelių parų. Vidutiniškai per metus Lietuvoje 221 diena būna su cikloninio ir 144 dienos su anticikloninio tipo cirkuliaciniais procesais (Galvonaitė ir kt., 2013). Pastoviausi orai vyrauja anticiklonuose ar jų įtakos zonose.

Šis atmosferos darinys daro didelę įtaką spinduliuotės balansui, oro taršai ir hidrologiniam ciklui, kuris veikia Žemės klimatą (Ioannidou, Yau, 2007). Tiriamųjų darbų apie anticiklonus ir jų poveikį teršalų sklaidai Lietuvoje yra labai mažai.

Dažnai pasitaikantis anticikloninės cirkuliacijos požymis – temperatūros inversija (toliau – TI). TI – atmosferos sluoksnis, kuriame oro temperatūra didėja kylant aukštyn (Ahrens,

2008). Apatiniame troposferos sluoksnyje yra didžiausias meteorologinių parametų kintamumas horizontalioje ir vertikalioje plotmėse. Šiame sluoksnyje susidaro priežeminės TI, kurių struktūra dar mažai ištirta, ypač urbanizuotose teritorijose ir poliariniuose rajonuose (Schnelle, Brown, 2002). Vilniuje tokių tyrimų nėra atlikta arba jie nėra publikuoti. TI lemia oro priemaišų (dujiniai teršalai, smulkios kietosios dalelės ir jų mišinys – aerolis) kaupimąsi poinversiniame sluoksnyje. Taip pat TI yra susijusi su horizontalaus matomumo sumažėjimu ir neigiamu poveikiu žmonių sveikatai, todėl TI ir jų lemiamų orų bei oro kokybės tyrimai yra aktualūs iki šiol. S. E. Manahanas (2000) teigia, kad nuo XX a. 3-iojo dešimtmečio mokslinėje literatūroje atsiranda informacijos apie TI kaip nepalankių teršalų sklaidos vieną pagrindinių sąlygų, kai susilpnėjusi turbulencija ir pramonės išmetamosios dujos bei aeroliai kaupiasi atmosferos priežemio sluoksnyje. Informacija apie inversijų susidarymo sąlygas (sinoptinę situaciją, jų aukštį, storį ir intensyvumą) gali labai pagerinti teršalų sklaidos prognozių kokybę ir tikslingą visuomenės informavimą apie pavojingas žmogaus sveikatai teršalų koncentracijas. J. Li su bendraautorais (2014) nustatė koreliacinį ryšį tarp TI ir santykinai didesnės aerolio koncentracijos prie žemės paviršiaus. Naktį, kai buvo susiformavusi spindulinė atvėsimo inversija, užfiksuota atitinkamai 49 ir 54 % didesnė NO_2 ir $\text{KD}_{2,5}$ koncentracija. Nustatyta, kad anticiklonų centruose ir gūbriuose kaupiasi didžiausios teršalų koncentracijos, o ciklonų centruose ir slėniuose – mažiausios. Atitinkamai 23,7 ir 29,8 % padidėja teršalų koncentracija, kai anticiklonų centruose ir gūbriuose vyrauja inversija. Pačios stipriausios TI – tiek pakiliosios, tiek priežemio – formuojasi vykstant anticikloninei cirkuliacijai. Daug teršalų sklaidos matematinių modelių naudoja inversijų charakteristikas kaip vieną pagrindinių veiksnių, lemiančių staigius priemaišų koncentracijų pokyčius.

Į Lietuvos teritoriją oro teršalai patenka iš vietinių arba tolimųjų pernašos šaltinių. Kietųjų dalelių (toliau – KD_{10}) koncentracijos padidėjimas ir jų ribinės vertės viršijimai yra susiję su tolimosiomis pernašomis. KD_{10} – tai kietųjų dalelių frakcija, kurių aerodinaminis skersmuo ne didesnis kaip 10 mikrometrų. Ribinė aplinkos oro užterštumo vertė – mokslinėmis žiniomis pagrįsta

aplinkos oro užterštumo lygio vertė, kuri nustatyta siekiant išvengti kenksmingo poveikio žmonių sveikatai ir (arba) aplinkai (Lietuvos Respublikos..., 2017). Oro tarša labai padidėja vyraujant intensyviems anticiklonams žiemą, kai teršalai iš namų ūkių, transporto, energetikos įmonių kaupiasi poinversiniame sluoksnyje.

2016 m. A. Fortelis ir kt. tyrė 2009–2013 m. (lapkritčio–vasario mėn.) meteorologinių sąlygų ir oro užterštumo epizodų (KD_{10}) ryšį. Oro užterštumo epizodai susiformuodavo, kai vėjo greitis buvo 1–2 m/s, TI gradientas siekė $-3\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$, o kritulių nebuvo 7 paras. Aukšto slėgio sritis dažniausiai lemia silpnai vėjuotą, be kritulių orą. Nustatytas glaudus ryšys tarp anticikloninės cirkuliacijos ir oro užterštumo epizodų Neapolyje, taip pat buvo apskaičiuotas glaudus atvirkščiai proporcingas ryšys tarp vėjo greičio ir KD_{10} koncentracijos ($r = -0,7$). Vyraujant stipresniam nei 4 m/s vėjo greičiui oro užterštumas dažniausiai neviršijo leistinos 24 val. KD_{10} ribinės vertės ($50\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Atgalinės dalelės trajektorija (toliau – ADT) – plačiai taikoma tyrimo analizė. Trajektorijų analizė – pagrindinis būdas išsiaiškinti atmosferos darinių pernašą. Trajektorijos raiška ir tikslumas priklauso nuo vėjo lauko dedamųjų raiškos, skaičiavimo metodų ir meteorologinių charakteristikų (Hondula ir kt., 2009). L. Veriankaitės (2010) disertaciniame darbe buvo naudota atgalinės dalelės trajektorija remiantis HYSPLIT (NOAA) ir SILAM (Suomijos meteorologijos institutas) modeliais. ADT metodas buvo naudojamas tiriant 2004–2009 m. žiedadulkių koncentracijos ore cirkuliacinius procesus. ADT metodus taikė V. N. Matthaios ir kt. (2016), norėdami išsiaiškinti ekstremalių kietųjų dalelių ($>50\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$) koncentracijų ryšį su tolimąja pernaša Graikijoje. KD_{10} buvo tirtas penkiuose skirtinguose Graikijos regionuose nuo 2009 m. sausio iki 2011 m. gruodžio mėn. ADT trajektorija buvo matuojama trijuose skirtinguose lygiuose kas 3 val.: 500, 1 500 ir 3 000 m virš žemės paviršiaus. Nustatyta, kad didžiausia KD_{10} koncentracija vyravo lapkritčio–gruodžio mėnesiais.

Oro kokybė urbanizuotose teritorijose priklauso nuo stacionarių ir mobilių taršos šaltinių emisijos bei nuo teršalų sklaidą lemiančių veiksnių: turbulencijos, temperatūros inversijos, vėjo parametru, kritulių. Miestuose, kur daug įvairių

taršos šaltinių, palankias teršalų kaupimuisi sąlygas lemia anticiklonas, gūbrys ir mažų gradientų barinis laukas. Mažesniuose miestuose oro kokybė priklauso nuo vieno stambaus teršėjo. Oro užterštumas gali padidėti esant palankios krypties vėjui, kuris teršalus perneša nuo gamyklos teršėjos link miesto (Bukantis ir kt., 2003).

Klasikiniame paribio sluoksnio meteorologijos vadovėlyje teigiama, kad paribio sluoksnis (toliau – PS) – tai vieta, kurioje dar jaučiama paklotinio paviršiaus sukelta trintis per turbulencinę sąmaišą (Stull, 2017). Šio sluoksnio storis naudojamas kaip pagrindinis parametras oro priemaišų modeliavimui. PS viršutinėje dalyje yra pereinamasis sluoksnis tarp jo ir laisvosios atmosferos, kuris dažniausiai atitinka pakiliają inversiją (Nemuc ir kt., 2012). Pakilioji inversija dėl žemyneičių oro srautų yra slegiama ir stumiama arčiau paklotinio paviršiaus, ir PS plonėja. Priežeminis PS apima 20–200 m storio atmosferos sluoksnį. Nepastoviai stratifikuotoje atmosferoje turbulencija ir konvekcija gali išmaišyti apatinį 0,2–4,0 km sluoksnį, o pastoviai stratifikuotoje atmosferoje turbulencinis sluoksnis niekada neviršija 500 m storio, todėl didelis oro užterštumas yra susijęs su aukštu slėgiu, mažų gradientų laukų ir anticiklono gūbriais (Sillman, Samson, 1995; Stull, 2017).

B. Czernickis ir kt. (2016) tyrė atmosferos sąlygų poveikį vidutinėms ir ekstremalioms KD_{10} koncentracijoms Poznanėje (Lenkija, 2006–2013 m.). Didesnes KD_{10} koncentracijas lemia staigus oro temperatūros nukritimas 3 °C, mažėjantis PS storis, vidutinis vėjo greitis (~1 m/s) ir pasikeitusi vėjo kryptis iš vakarų į rytus. Ši situacija yra susijusi su stiprėjančiu anticiklonu virš Rytų Europos ir silpnėjančiu Islandijos minimumu. Oro užterštumo epizodai užfiksuoti žiemą vyraujant blokuojantiems anticiklonams. E. Rimkus ir kt. (2006) tyrė meteorologinių veiksnių poveikį $KD_{2,5}$ kaitai Preiloje. Nustatyta, kad šaltuoju metų laiku vidutinė $KD_{2,5}$ koncentracija 20–30 % didesnė nei šiltuoju. Beveik 90 % visų analizuojamų $KD_{2,5}$ koncentracijos padidėjimų susiję su aukštesnio slėgio priežeminiais laukais (>1 013 hPa).

Tyrimo tikslas – meteorologinių sąlygų įvertinimas didelio oro užterštumo epizodų metu (toliau – DUE) Vilniuje. Uždaviniai: 1) meteorologinių veiksnių poveikio teršalų koncentracijai įvertinimas; 2) teršalų pernašos dalelės trajektorijos metodų analizė – oro dalelės trajektorijos

žemiausiame atmosferos sluoksnyje (1 000 ir 925 hPa) nustatymas naudojant mažos raiškos pakartotinės analizės duomenis bei advekcinių meteorologinių kintamųjų kaitos tyrimas.

DUOMENYS IR METODIKA

Tyrimo objektas – trimatis oro dalelės judėjimas žemiausiame atmosferos sluoksnyje (1 000 ir 925 hPa standartiniuose izobariniuose lygiuose). Oro dalelė – įsivaizduojamas oro kūnas, kuriam gali būti priskirtos visos pagrindinės dinaminės ir termodinaminės atmosferos savybės (Chandra-sekar, 2010). Oro dalelės trajektorijos nustatomos dažniausiai siekiant įvertinti oro masės (masių) raidą. Tokios trajektorijos leidžia diagnozuoti procesus, kurie tam tikromis sąlygomis gali veikti tame rajone esančias oro mases. Tikslus dalelės trajektorijos nustatymas susijęs su išsamia oro masių raidos ir veiklos analize. ADT geriausiai parodo advekcinius meteorologinių kintamųjų pokyčius laisvoje atmosferoje, kur trintis labai maža ir nėra didelių horizontalaus vėjo vertikalų poslinkių (Šaulienė, Veriankaitė, 2006; Godłowska ir kt., 2015).

Darbe naudotos ADT buvo gautos taikant trimatį (3D) modelį (traj3d), kurio pagrindas yra dvimatis (2D) R. M. Lawo (1993) modelis, pirmą kartą aprašytas G. Perrino ir I. Simmondso darbe (1995). Detalų 3D trajektorijų skaičiavimo algoritmo aprašymą galima rasti V. Barroso ir I. Simmondso tyrime (2009). Dalelės trajektorijos programinė įranga (*Parcel Trajectory Software*) traj3d yra laisvai prieinama Melburno universiteto tinklalapyje (<http://www.cycstats.org/trajectories/trajhome.htm>). Taip pat yra galimybė naudoti šią programą tiesiogiai iš NOAA Žemės sistemos tyrimų laboratorijos trajektorijų imitacijų tinklalapio (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/trajtool/traj.pl>).

Vertikalus oro dalelės judėjimas nebuvo analizuotas tais atvejais, kai oro dalelės kilimo ar leidimosi amplitudė neviršijo 20 hPa per 30 valandų. Tokio intensyvumo vertikalūs judesiai paprastai neviršija modelio vertikalų judesių vidutinės paklaidos. Analizuoti slūgimo (judėjimo) tempai, kurie yra susiję su priežeminių TI susidarymu arba raida. Netikslinga ADT metodą taikyti skaitmeninio modelio vertikalioje lygiuose, artimuose modelio paklotiniam

paviršiumi, nes jie dažniausiai pasižymi dideliu šiurkštumu dėl augmenijos, neatitikimu tarp modelio ir realios topografijos bei kraštovaizdžio elementų. 1 000 hPa izobarinis lygis nenagrinėjamas, kai oro dalelė yra arti žemės paviršiaus. 925 hPa izobarinio lygio aukštis skiriasi dėl oro masės savybių, tačiau dažniausiai svyruoja 600–800 m virš jūros lygio. Tai žemiausi galimi izobariniai lygiai naudojamuose modeliuose. Jie papildo vienas kitą – abu yra trinties sluoksnyje, tačiau vienas jo apačioje, kitas – viršuje. Šiame sluoksnyje horizontalus vėjas didėjant aukščiui sukasi į dešinę ir stiprėja iki trinties sluoksniu viršutinės ribos, kol netampa artimas geostrofiniui. Taigi dalelės pernaša šiuose sluoksniuose skiriasi. Vienintelis 1 000 hPa lygio trūkumas, kad jis atskirais atvejais (kai paviršiaus slėgis <1 000 hPa) gali būti labai arti paklotinio paviršiaus arba net žemiau jo.

NOAA ESRL trajektorijų imitacijų tinklapyje įdiegta programinė įranga naudoja kelių reanalizių duomenis trajektorijų ir jų charakteristikų skaičiavimams. Visos jos yra palyginti mažos erdvinės raiškos duomenų bazės: NCEP/NCAR (toliau – NN1) (Kalnay ir kt., 1996), NCEP/DOE (toliau – NN2) (Kanamitsu ir kt., 2002) ir ERA-Interim (toliau – ERA) reanalizės. Visos jos reprezentuoja globalaus masto duomenis, tačiau su skirtinga erdvine / laikine raiška, apdorotos skirtingais modeliais ir naudoja skirtingus tipus ir pradinių įvesties duomenų kiekį. Jų charakteristikos pateiktos 1 lentelėje. NN1 ir NN2 priklauso vienai JAV mokslo organizacijai – NOAA NCEP. Nei vienas iš šių reanalizės duomenų bazių 100 % neatitinka realios atmosferos cirkuliacijos, todėl

naudojant skirtingas duomenų bazes galima geriau išsiaiškinti modeliuojamo oro srauto neapibrėžtumus. ERA priklauso Europos vidutinės trukmės prognozių centrui (ECMWF) ir duomenų bazės teikiami duomenys NOAA ESRL trajektorijų imitacijų tinklalapyje pasiekiami šiuo metu iki 2014 m. pabaigos (Dee ir kt., 2011). Naudojant skirtingas reanalizes oro dalelės trajektorijų imitacijai buvo siekiama nustatyti trajektorijų parametrų skirtumus tarp modelių duomenų analizuojamais laikotarpiais.

Tyrimo laikotarpis apima 2005–2016 metus. Sumodeliuota 10 ADT epizodų, kurie pasirinkti pagal didžiausias (KD_{10}) reikšmes Vilniuje (2 lentelė). KD_{10} viršytos leistinos normos ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) buvo gautos iš Aplinkos apsaugos agentūros darbuotojų ir interneto tinklalapio <<http://oras.gamta.lt/cms/index>>. Oro užterštumo monitoringo duomenys yra renkami šiose Vilniaus oro kokybės tyrimų stotyse: Senamiesčio ($54,68^\circ \text{N}$, $25,29^\circ \text{E}$), Lazdynų ($54,69^\circ \text{N}$, $25,21^\circ \text{E}$), Žirmūnų ($54,72^\circ \text{N}$, $25,23^\circ \text{E}$) ir Savanorių pr. ($54,67^\circ \text{N}$, $25,25^\circ \text{E}$). Galutinis ADT taškas buvo virš Vilniaus miesto (erdvinio taško koordinatės $54,63^\circ \text{N}$, $25,28^\circ \text{E}$). Šios koordinatės geriausiai atitinka Vilniaus miesto padėtį ir skirtingų modelių koordinacių tinklelio taškus.

Išvesties duomenys buvo apdorojami naudojantis ESRI ArcGIS programos ArcMap 10.4 versija, kuria buvo nubraižyti kiekvienos konkrečios ADT nueitas kelias iki Vilniaus per 30 valandų. Nustatytos dominuojančios kryptys, ilgiausios trajektorijos ir ADT zoniškumas Vilniuje. Žemėlapiuose sutartiniais ženklais pavaizduoti priežeminių barinių darinių centrai. 10 ADT situacijų

1 lentelė. Pakartotinių reanalizių, naudojamų NOAA ESRL trajektorijų imitacijoms, charakteristikos

Table 1. Characteristics of reanalyses in NOAA ESRL trajectory simulations

Pavadinimas Name	Organizacinė priklausomybė Organisational dependence	Duomenų erdvės ir laiko padengimas Spatial and temporal resolution		Duomenų bazės erdvinė raiška (laipsniais platumos ir ilgumos) Spatial resolution (degree of longitude and latitude)	
		Laiko intervalai Temporal coverage	Erdvinė aprėptis Spatial coverage		
NCEP/NCAR(I)(R1)	NN1	NCEP/NCAR	1948 – dabar / now	Globali / Global	2,5 × 2,5 ir 2,0 × 2,0
NCEP/DOE AMIP-II(R2)	NN2	NCEP/DOE	1979 – dabar / now	Globali / Global	2,5 × 2,5
ECMWF Interim	ERA	ECMWF	1979–2014	Globali / Global	0,75 × 0,75 ir mažesnė / and lower

2 lentelė. Datos ir KD_{10} koncentracijos reikšmės, kai Vilniaus oro kokybės tyrimų stotyse buvo užfiksuoti 24 val. ribinės vertės viršijimai. KD_{10} 24 val. ribinė vertė – $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. * – 2005 m. stotis buvo Žvėryno rajone (ne Savanorių pr.)

Table 2. Dates of peak pollution episodes (PPE), when the fine particulate matter (PM_{10}) daily concentration exceeded limit values in Vilnius air quality stations. Daily concentration limit value is $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, * – in 2005 the Savanorių pr. station was located at the Žvėrynas municipal district

Nr. / No.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Data / Date	2005.02.08	2007.03.31	2008.04.02	2009.01.15	2010.01.25	2011.02.25	2011.03.14	2012.02.14	2014.10.30	2016.01.06
Senamiestis	110,2	112,7	96,2	87,4	140,5	137,4	98,4	114,1	114,3	158,5
Lazdynai	70,4	80,1	80,1	87,8	101,8	68,0	67,8	106,2	88,6	107,7
Žirmūnai	156,8	122	154,3	104,7	115,8	113,6	128,0	110,0	132	141,6
Savanorių pr.*	172,4*	109,4	95,9	98,1	152,4	91,1	100,7	103,2	102,1	124,0

buvo suskirstyta į kategorijas pagal ilgį, o trajektorijų ilgiai – pagal tris buferinės zonos kategorijas: S < 300 km (lokali), M 300 < 500 km (regioninė), L > 500 km (tolimoji pernaša). Trajektorijos ilgiai buvo priskirti atitinkamai kategorijai, jei bent du iš trijų modelių nurodė tą patį teritorijos plotą (3 lentelė).

Atmosferos stabilumui įvertinti buvo naudojami: vertikalios sąmaišos (turbulencijos), PS storio, Paskvilio stabilumo klasės ir oro temperatūros gradientas oro temperatūros inversijose (toliau – Γ). Paskvilio stabilumo klasių interpretacija pagal NOAA prieinama internete <<https://ready.arl.noaa.gov/READYpgclass.php/>>. Buvo naudojama globali trimatė atmosferos kintamųjų duomenų bazė – sistema GDAS (angl. *Global Data Assimilation System*), jos skaitmeninės atmosferos vertikalios struktūros duomenys, kurie laisvai pasiekiami iš NOAA Atmosferos tyrimų laboratorijos tinklalapio (<https://ready.arl.noaa.gov/READYamet.php>).

GDAS duomenų erdvinė raiška yra: horizontali – $0,5 \times 0,5^\circ$ platumos ir ilgumos; vertikali – 55

hibridiniai sigma (σ) – slėgio (P) lygiai. Iš šio archyvo naudoti vėjo greičio (m/s), oro temperatūros (T °C), vertikalios sąmaišos / turbulencijos koeficiento (m^2s^{-2}), paribio sluoksnio storio (m) ir Paskvilio stabilumo klasių išvesties duomenys. Artimiausias erdvinis taškas Vilniaus miesto koordinatėms yra $54,63^\circ \text{N } 25,28^\circ \text{E}$; šio taško aukštis GDAS sistemoje – 156 m virš jūros lygio. Pagal vertikalų oro temperatūros profilį buvo skaičiuojami oro temperatūros vertikalūs gradientai (Γ) inversiniuose sluoksniuose. Remiantis 2 lentelėje pateiktomis didžiausiomis KD_{10} reikšmėmis, Vilniuje buvo nubrėžti kaitos grafikai, vaizduojantys per 24 val. kintantį vertikalios sąmaišos intensyvumą, paribio sluoksnio storį, Paskvilio stabilumo klasę, oro temperatūrą ir vėjo greitį.

Kiekvienos paros buvo nustatyti vyraujantys bariniai dariniai slėgio jūros lygyje (4 lentelė): H – anticiklonai (H, ang. k. *High*), ngH – mažų gradientų laukas (*nongradiental High pressure*), C – ciklonai (*Cyclone*) vidurinėje troposferoje 500 hPa (aukštuminiai anticiklonai (uH nuo termino *upper High*) / gūbriai (uR nuo *upper Ridge*), aukštuminiai

3 lentelė. Didelio užterštumo epizodų ADT priskyrimas atitinkamai (S, M, L) trajektorijos ilgio kategorijai

Table 3. Categories of the length of backward air trajectories (S, M and L) in different air pollution episodes: I-X

Reanalizė / Reanalysis	Nr. / No.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
ERA	Kategorija	S	M	L	M	L	S	M	M	L	-
NN1		S	L	L	M	L	M	S	M	M	M
NN2	Category	S	M	L	M	L	M	S	S	M	M

4 lentelė. Meteorologinių parametrų duomenys: didelio oro užterštumo epizodų (I–X) paribio sluoksnio storis (PS), didžiausia TI, Paskvilio stabilumo klasė ir vėjo greitis (W), priežeminio lauko sinoptinė situacija (SLP), geopotencialaus aukščio 500 hPa lygyje lauko struktūra (H500), hidroterminio lauko sąlygos – santykinė drėgmė 700 hPa lygyje (RH700) ir oro temperatūra 850 hPa lygyje (T850)

Table 4. Meteorological data during air pollution peak episodes (particular time tick). The serial number of the peak pollution episodes (I–X): boundary layer height (PS), peak temperature inversion, Pasquill stability classes (A–G), wind speed (W), weather patterns according to sea level pressure (SLP) field and geopotential height at 500 hPa (H500) field, hydrothermal conditions in lower troposphere: relative humidity range at 700 hPa (RH700) level and air temperature at 850 hPa level (T850)

Nr. No.	Laikas / Time (UTC)	PS, m	TI, °C	Paskvilio klasės Pasquill classes	W, m/s	SLP	H500	T850, °C	RH700, %
I	6	111	-1,3	E	3,7	H	uH	-4; -6	30–60
II	0	60	-2,3	G	1,3	ngH	uH	0; -2	70–85
III	18	112	-0,4	D	3,4	ngH	uH	-1; 1	iki 90
IV	0	135	-0,5	E	4,4	H	uT	-15; -18	iki 80
V	0	135	-1,5	E	1,8	H	uC	-12; -15	iki 95
VI	6	95	-0,5	E	4,4	H	uT	-12; -10	70–90
VII	21	52	-1,5	G	2,6	C	uR	0; 5	iki 90
VIII	6	126	-0,5	D	3,5	ngH	uT	apie -12	60–90
IX	3	130	-0,9	D	6,1	ngH	uT	2; 8	25–50
X	6	51	-0,4	E	2,6	ngH	uT	-14; -10	30–60

ciklonai (C nuo *upper Cyclone*) / aukštuminiai slėniai (uT nuo *upper Trough*) ir apatinės troposferos hidroterminio lauko struktūra (oro temperatūros kaita 850 hPa lygyje ir santykinė drėgmė 700 hPa lygyje) galingiausių inversijų metu. Atmosferos frontų, barinių darinių ar jų dalių įtakai nustatyti buvo naudojami trys skirtingi šaltiniai: KNMI – Karališkojo Nyderlandų meteorologijos instituto orų žemėlapių schemos, DWD – Vokietijos orų tarnybos sinoptiniai žemėlapiai ir UKMO – Jungtinės Karalystės orų tarnybos sinoptinės schemos.

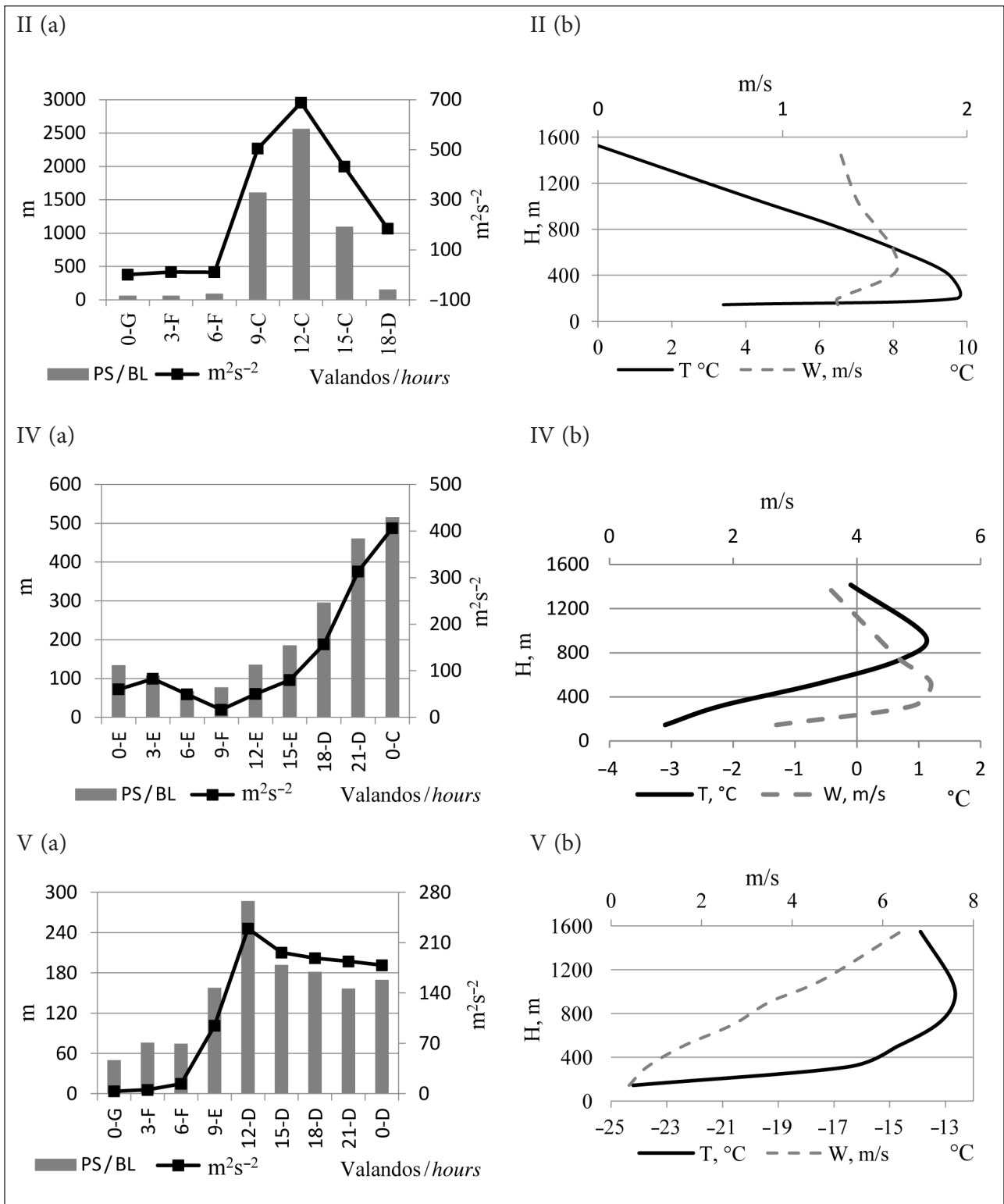
REZULTATAI

Temperatūros inversijos ir paribio sluoksnis

Nustatyta, kad septyniuose iš 10 stipriausių KD_{10} koncentracijos epizodų temperatūros inversijos formavosi naktimis arba rytais (tarp vidurnakčio ir 6 val. ryto) (4 lentelė). Ploniausias paribio sluoksnio storis (<100 m) buvo užfiksuotas keturiuose (II, VI, VII, X) iš 10 epizodų, o trijuose iš šių keturių (II, VI, X) epizodų virš Lietuvos teritorijos vyravo mažų gradientų laukas, VII epizodo metu – ciklono šiltasis sektorius. Taip pat dviejuose iš keturių (II, VII) epizodų vyravo labai stabilios atmosferos sąlygos pagal Paskvilio stabili-

mo klasifikaciją. Tais pačiais metais (II ir VII situacijos) buvo susidarę pačios stipriausios priežeminio temperatūros inversijos, kai TI gradientas buvo atitinkamai $\Gamma = -2,3$ ir $-1,5$ °C/100 m (1 pav. II). Kitų dviejų epizodų metu (VI ir X) vyravo vidutiniškai stabilios sąlygos, nes nenustatyta stiprių TI (gradientai atitinkamai VI ir X situacijoje buvo $\Gamma = -0,5$ ir $-0,4$ °C/100 m). Likusiais atvejais (6), kai vyravo stipri TI, PS neviršijo 150 m.

2009 ir 2010 m. IV ir V epizodų laikotarpiais, atitinkamai, naktimis susidarius TI ir esant vienodam PS (135 m), išmatuotas oro užterštumas skirtinguose miesto rajonuose buvo nevienodas. Ypač didelis skirtumas ($54 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nustatytas Savanorių prospekte, nors Paskvilio stabilumo klasė abiejuose epizoduose rodė vidutiniškai stabilias atmosferos sąlygas (E). Šį skirtumą lėmė TI, kuri buvo intensyvesnė V epizode ($\Gamma = -1,5$ °C/100 m), o IV epizode TI buvo silpnesnė $\Gamma = -0,5$ °C/100 m (1 pav. IV ir V (a)). Be to, turbulencijos sąmaišos koeficientas V epizode buvo 17 kartų mažesnis, palyginti su IV. Šiame epizode vidutinis vėjo greitis TI sluoksnyje buvo 4,4 m/s, o V epizode – 1,8 m/s (1 pav. IV ir V (b)). IV epizode vyravo mažų gradientų laukas, pereinantis į anticikloną, o V epizode – anticiklonas.



1 pav. Meteorologiniai parametrai padidintos taršos epizodų metu: a) paribio sluoksnio (PS) storis (stulpeliai) ir vertikali oro sąmaišos koeficientas (juoda stora linija), raidės prie valandų nurodo Paskvilio stabilumo klasę; b) oro temperatūros (juoda stora linija) ir vėjo greičio (pilka punktyrinė linija) vertikalus pasiskirstymas II, IV ir V epizodais

Fig. 1. Meteorological parameters at peak pollution episodes: a) boundary layer (BL) depth (m, columns) and vertical mixing coefficient (black solid line) in B, D and E peak pollution episodes. Letters near UTC hours on x axis show Pasquill stability class; b) air temperature (black solid line) and wind speed (grey dashed line) in II, IV and V peak pollution episodes

2008 ir 2012 m. III ir VIII didelio oro užterštumo epizodų laikotarpiais atmosferos stabilumo parametrai buvo panašūs, tačiau KD_{10} koncentracija skirtinga, ypač Žirmūnų stotyje. Skirtumas buvo didesnis negu $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Abiejuose DUE vyravo neutralios atmosferos sąlygos (*D*) ir mažų gradientų laukas. TI gradientas atitinkamai III ir VIII atvejais buvo $\Gamma = -0,4$ ir $-0,5 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ (vidutinis vėjo greitis 3,4 ir 3,5 m/s), o PS storis – atitinkamai 111,9 ir 126,2 m. KD_{10} koncentracijos skirtumas, spėjama, galėjo susidaryti dėl vietinės taršos veiksnių Žirmūnų mikrorajone, kurie šiame tyrime neanalizuojami.

Penkiuose iš 10 DUE vyravo vidutiniškai stabilios atmosferos sąlygos (*E*) pagal Paskvilio stabilumo kategorijas. Keturiuose iš penkių DUE vidutiniškai stabilias sąlygas lėmė anticiklonas arba jo gūbrys. Neutralias atmosferos sąlygas (3 iš 10) (*D*) dažniausiai lėmė mažų gradientų laukas. Stabiliausios atmosferos sąlygos (II ir VII) susidarė atitinkamai mažų gradientų slėgio lauke ir ciklono šiltajame sektoriuje.

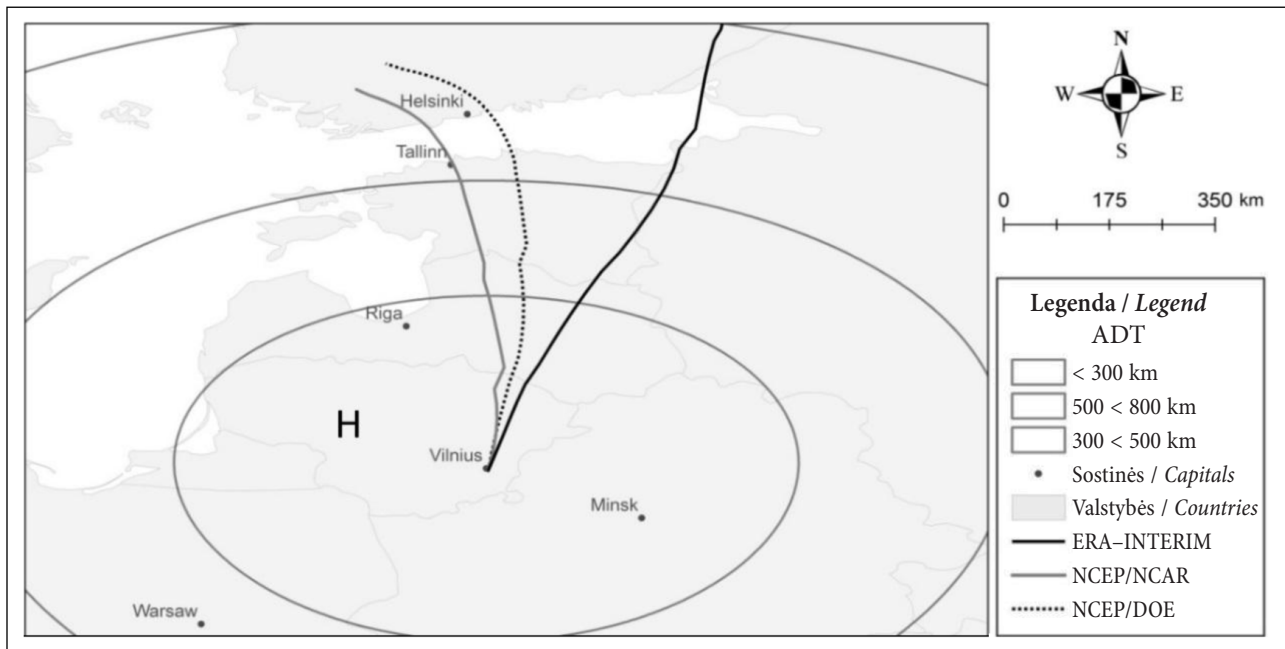
HORIZONTALI PERNAŠA

Dažniausiai pasikartojusios atgalinės dalelės trajektorijų kryptys buvo šiaurės (2) (2 pav.), pietų

(2) ir pietvakarių (2). Likusių DUE laikotarpiais (4) nustatyta skirtingos vyraujančios kryptys: rytų, pietryčių, vakarų ir šiaurės vakarų. Nei karto nenustatyta dalelės pernašos kryptis iš šiaurės rytų. Penkiuose iš 10 atvejų (II, III, VIII, IX, X) ADT kryptį lėmė mažų gradientų laukas aukštesnio slėgio centre. Keturi iš 10 atvejų (I, IV, V, VI) šią kryptį lėmė aukšto slėgio sritis arba anticiklono gūbrys, o likusį atvejį – ciklono šiltasis sektorius (VII).

500 hPa aukščio laukas penkiuose iš 10 (IV, VI, VIII, IX, X) epizodų atitinka aukštuminio slėnio pietinę periferiją virš Pietryčių Lietuvos teritorijos. Keturiuose iš penkių šių epizodų oro temperatūra 850 hPa lygyje yra žemesnė už $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ (IV, VI, VIII, X). Kitų epizodų metu vyravo aukštuminiai anticiklonai (vakarinė periferija) arba jo gūbrys (šiaurinė periferija) (I, II, III, VII) bei drėgnos oro masės ($\text{RH} > 70 \%$) (II, III, VII), išskyrus E epizodą, kai virš Lietuvos nustatyta aukštuminio ciklono rytinė periferija. V epizode virš Lietuvos buvo aukštuminis ciklonas.

Atgalinės dalelės trajektorijai modeliuoti taikytos trys skirtingos reanalizės. Jos parodė skirtingus išvesties duomenis 925 hPa lygyje. Keturiuose (III, V, VIII, X) iš 10 epizodų visų trijų



2 pav. 30 val. trukmės trajektorija (ADT) 925 hPa lygyje iki Vilniaus V situacijoje naudojant skirtingų pakartotinės analizės (ERA–Interim, NCEP/NCAR ir NCEP/DOE) duomenis. H – anticiklono centras

Fig. 2. 30 hours length backward particle trajectory to Vilnius using different reanalysis data (ERA–Interim, NCEP/NCAR and NCEP/DOE) during V episode. H – center of anticyclone

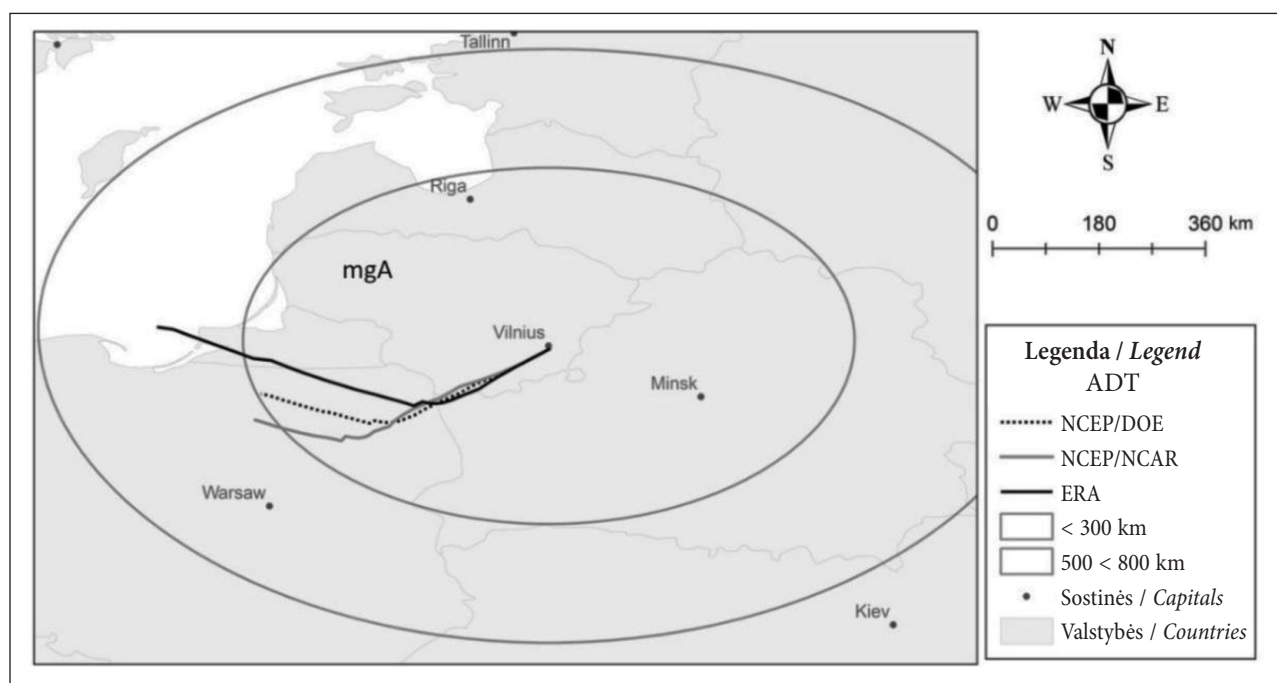
reanalizių ADT kryptys sutapo ir vizualiai mažai skyrėsi (3 pav.). Nustatytos ADT kryptys telpa 90–225° rumbuose. Tokiais atvejais laikoma, kad vyraujantys srautai pasižymėjo vienalytiškumu ir santykinai dideliu greičiu. Likusiuose 60 % epizodų bent viena iš trijų ADT naudojamų reanalizių lėmė skirtingą trajektorijos kryptį. Šiose situacijose išryškėja silpnas ryšys tarp ERA ir NN1, ir NN2 reanalizių. Penkiuose iš šešių epizodų ERA atgalinės dalelės kryptis nesutapo tarp NN1 ir NN2 12,5 %. Tik B epizode nustatyti skirtumai tarp NN1 ir ERA bei NN2 trajektorijų: vyraujanti NN1 kryptis buvo šiaurės, o NN2 ir ERA – kintančios krypties, šiaurės vakarų ir šiaurės.

Didžiausi KD_{10} ribinių koncentracijų viršijimo epizodai buvo du: I ir X. Abiejuose epizoduose vyravo vidutiniškai stabilios atmosferos sąlygos, tačiau nustatytas skirtingas TI gradientas – stipresnė inversija susidarė I laikotarpiu, $\Gamma = -0,9$ °C/100 m. I epizode buvo stiprus anticiklonas, kurio centras virš Baltarusijos ir Lietuvos (4 pav.), o X epizode vyravo mažų gradientų slėgio laukas.

Dauguma iš analizuotų ADT trajektorijų, kurių galinis taškas sutampa su 1 000 hPa lygiu, savo kelyje kirto paklotinį paviršių arba buvo per daug arti jo, todėl trajektorijos kryptis ir ilgis,

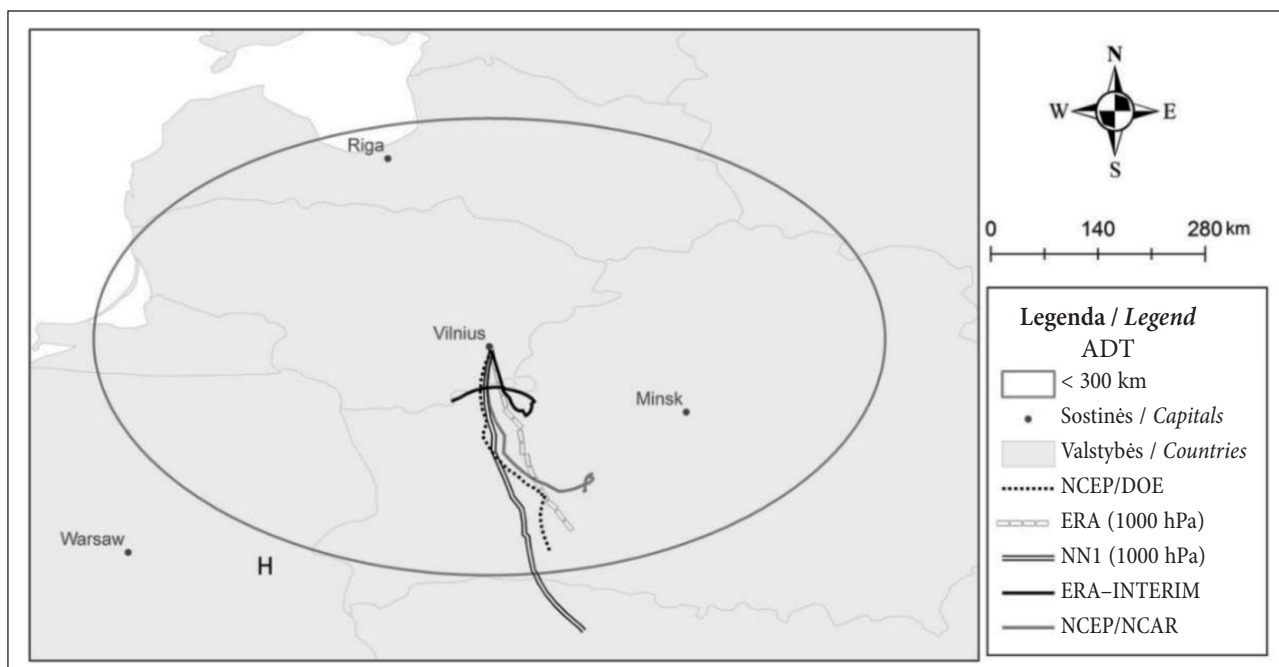
manoma, dėl trinties į paviršių nustatyti netiksaliai. Šiame standartiniame lygyje buvo analizuoti tik keturi ADT. Trijuose iš keturių epizodų (II, VIII, X) ADT kryptis nesutapo su 925 hPa lygio trajektorijomis. ADT krypčių skirtumai – 12,5 %. Vieninteliame I epizode (4 pav.) ERA ADT kryptis 1 000 hPa lygyje sutapo su NN1, 925 hPa lygyje su NN2 ir 1 000 hPa lygyje su NN1 trajektorijų kryptimis. Nesutapimas buvo nustatytas tarp ERA ADT krypčių 1 000 hPa ir 925 hPa lygiuose. Šiuose epizoduose NN1 ir NN2 trajektorijos buvo pietų krypties, o ERA 925 hPa trajektorija vaizdavo besikeičiančią, vietinės kilmės mažai judrią oro pernašą.

Trumpiausios atgalinės dalelės trajektorijos (<300 km, S kategorija) nustatytos I ir VII epizoduose. I laikotarpiu buvo užfiksuota pati didžiausia KD_{10} koncentracija – 172,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Šiems dviems epizodams būdinga vietinės kilmės tarša. Tarpinio ilgio ADT (300–500 km, M kategorija) priklauso šeši epizodai: II (5 pav.), IV, VI, VIII (4 pav.), IX ir X. Šiems epizodams būdinga regioninio masto tarša, atkeliavusi iš kaimyninių valstybių, taip pat nustatyta silpnos TI ($\Gamma = -0,4 - -0,9$), išskyrus II epizodą, kai $\Gamma = -2,3$ °C/100 m. Šiems epizodams būdingos mažesnės KD_{10} , kurios tris kartus



3 pav. 30 val. trukmės trajektorija (ADT) 925 hPa lygyje iki Vilniaus VIII situacijoje naudojant skirtingų pakartotinės analizės (ERA–Interim, NCEP/NCAR ir NCEP/DOE) duomenis. mgA – mažų gradientų slėgio laukas

Fig. 3. 30 hours length backward particle trajectory to Vilnius using different reanalysis data (ERA–Interim, NCEP/NCAR and NCEP/DOE) during PPE episode VIII. mgA – shallow high-pressure gradient field

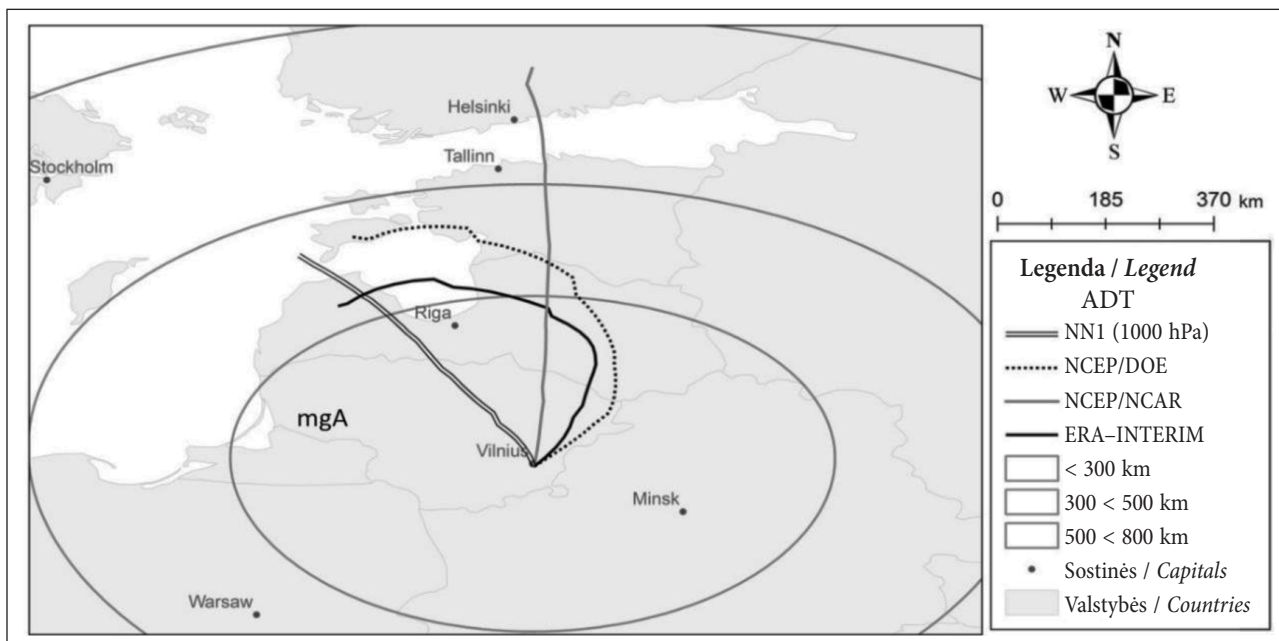


4 pav. 30 val. trukmės trajektorija (ADT) 925 hPa lygyje iki Vilniaus I situacijoje naudojant skirtingų pakartotinės analizės (ERA-Interim, NCEP/NCAR ir NCEP/DOE) duomenis. H – anticiklono centras

Fig. 4. 30 hours length backward particle trajectory to Vilnius using different reanalysis data (ERA-Interim, NCEP/NCAR and NCEP/DOE) during PPE episode I. H – centre of anticyclone

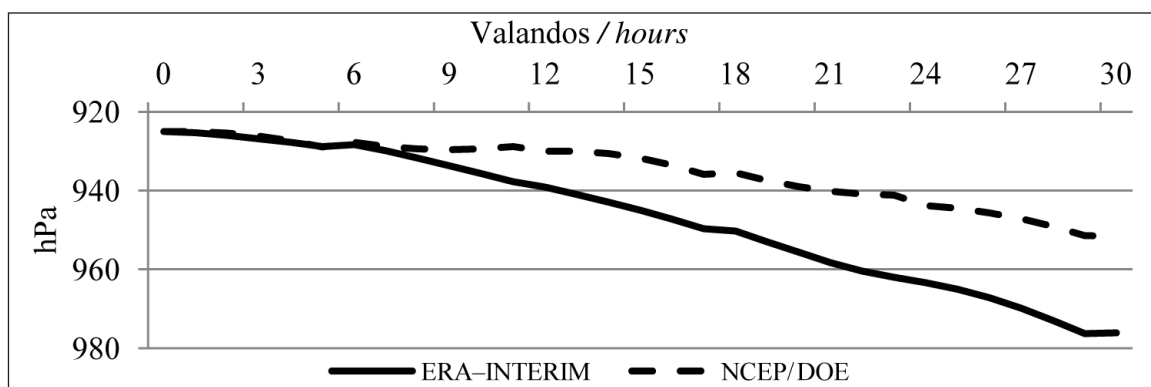
neviršija leistinos normos, išskyrus X epizodą. Ilgiausios ADT viršija 500 km (L kategorija) ir jai priskirti III ir V epizodai. Abejais atvejais kai kuriose

oro kokybės tyrimų stotyse buvo užfiksuotos maksimalios KD_{10} koncentracijos, kurios viršijo leistiną normą tris kartus.



5 pav. 30 val. trukmės trajektorija (ADT) 925 hPa lygyje iki Vilniaus II situacijoje naudojant skirtingų pakartotinės analizės (ERA-Interim, NCEP/NCAR ir NCEP/DOE) duomenis. mgA – mažų gradientų slėgio laukas

Fig. 5. 30 hours length backward particle trajectory to Vilnius using different reanalysis data (ERA-Interim, NCEP/NCAR and NCEP/DOE) during PPE episode II. mgA – shallow high-pressure gradient field



6 pav. 30 val. trukmės vertikali atgalinė dalelės trajektorija (ADT) 925 hPa lygyje iki Vilniaus VIII epizode naudojant skirtingų pakartotinės analizės (ERA-Interim ir NCEP/DOE) duomenis

Fig. 6. 30 hours length vertical particle disposition on backward trajectory to Vilnius using different reanalysis data (ERA-Interim and NCEP/DOE) during VIII PPE episode

VERTIKALI PERNAŠA

Oro dalelė išilgai savo kelio dažnai keičia padėtį ne tik horizontaliai, bet ir vertikalčiai ir dėl to gali adiabatiškai vėsti arba šilti. 925 hPa lygio atgalinė dalelės trajektorija keturiuose (III, IV, VII, VIII) iš 10 epizodų vertikalčiai leidosi ir adiabatiškai šilo. Šiose situacijose tai paskatino pakiliųjų arba priežeminių TI susidarymą. III ir VIII epizoduose orams įtaką darė mažų gradientų slėgio laukas, o IV ir VII epizoduose – anticiklonas bei ciklono šiltasis sektorius. Visose šiose situacijose susidarė priežeminės oro temperatūros inversijos. Galingiausia TI buvo susidariusi VII epizode, $\Gamma = -1,5 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$.

Didžiausi vertikalūs oro dalelės pokyčiai nustatyti VIII epizode ERA trajektorijoje – 51 hPa/30 val. ERA, NN1 ir NN2 vertikalės judėjimo kryptis sutapo ir atitiko žemyneigius oro srautus. Skyrėsi tik vertikalus oro judėjimo greitis per 30 valandų. Didžiausias vertikalios oro dalelės gradientas nustatytas ERA trajektorijoje, kai NN1 – 14 hPa/30 val. ir NN2 – 26 hPa/30 val. (neparodyta) (6 pav.).

II ir IX epizoduose vertikali dalelės trajektorija nesutapo naudojant skirtingas pakartotinės analizės duomenis. Abiejuose epizoduose NN1 trajektorijos kilo, o NN2 – leidosi. ERA trajektorijų vertikalūs pokyčiai neviršijo 20 hPa/30 val. amplitudės, kurie atitinka galimą trajektorijos tikslumo paklaidą. 1 000 hPa lygyje trijuose epizoduose (I, II, VII) vertikalios skirtingų reanalizių trajektorijos tarpusavyje prastai derėjo, todėl

galima teigti, kad šiame lygyje skirtingose reanalizėse buvo labai įvairios trinties, paribio sluoksnio ir kitų judėjimą veikiančių veiksnių charakteristikos.

IŠVADOS

1. Mažiau nei pusėje analizuotų didelio oro užterštumo epizodų skirtingų pakartotinės analizės atgalinės dalelės trajektorijų kryptys sutapo. Tai rodo vyravus labai vienalytį oro srautą. 60 % epizodų nustatytas silpnas ryšys tarp skirtingų pakartotinių analizių – dalelės trajektorijos kryptis nesutapo 12,5 %.

2. Mažiau nei pusėje analizuotų didelio oro užterštumo epizodų 925 hPa lygyje pagal atgalinę dalelės trajektoriją oro dalelė adiabatiškai leidosi, ir vyravo žemyneigiai oro srautai, kurie paskatino temperatūros inversijų susiformavimą. Didžiausias 925 hPa lygyje oro dalelės vertikalus greitis iš ERA-Interim duomenų nustatytas VIII epizode – 51 hPa/30 val.

3. Visais didelio oro užterštumo epizodais Vilniuje rytinėmis valandomis (00–06 val.) nustatytos priežeminės temperatūros inversijos ($\Gamma > -0,4 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$).

4. Stipriausios priežeminės inversijos didelio oro užterštumo epizodais atitiko (pagal Paskvilio stabilumo klases): labai stabilias (2 epizodai), silpnai stabilias (5 epizodai) ir neutralios atmosferos sąlygas (3 epizodai).

5. Devyniuose iš 10 tirtų epizodų virš Pietryčių Lietuvos nustatytas anticikloninis laukas, kuris

dar suskirstytas į mažų gradientų slėgio lauką (5 epizodai) ir aukšto slėgio sritis (centrinė dalis, 4 epizodai; vienas epizodas susietas su ciklo- no šiltuoju sektoriumi (VII)). Pusė analizuojamų epizodų susidarė dėl aukštuminio slėnio įtakos. Trijuose iš 10 epizodų vyravo aukštuminis anti- ciklonas.

6. Kietųjų dalelių (KD_{10}) paros koncentracija daugiau negu tris kartus viršijo leistiną ribinę vertę dviejuose epizoduose (I ir X). Ir vienu, ir kitu vyravo vidutiniškai stabilios atmosferos sąlygos santykinai sausoje oro masėje (30–60 %).

Gauta 2018 11 29
Priimta 2019 01 22

LITERATŪRA

- Ahrens D. 2008. *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*. Belmont: Brooks/Cole.
- Aplinkos apsaugos agentūra. *Oro kokybės statistika ir duomenys*. <http://oras.gamta.lt/cms/index?rubricId=3c923924-6bb5-42dc-89ba-55a91f603103> (žiūrėta 2018 11 10).
- Barras V., Simmonds I. 2009. Observation and modelling of stable water isotopes as diagnostics of rainfall dynamics over south-eastern Australia. *Journal of Geophysical Research*. 114.
- Bukantis A., Rimkus E., Stankūnavičius G. 2003. Atmosferos taršos kaitos urbanizuotose teritorijose prognozė. *Geografijos metraštis*. 36(2): 7–19.
- Czernecki B., Pórolniczak M., Kolendowicz L., Marosz M., Kendzierski S., Pilguy N. 2016. Influence of the atmospheric conditions on PM_{10} concentrations in Poznań, Poland. *Journal of Atmospheric Chemistry*. 74: 115–139.
- Chandrasekar A. 2010. *Basics of Atmosphere Science*. PHI Learning Private Limited.
- Dee D. P., Uppala S. M., Simmons A. J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M. A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A. C. M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A. J., Haimberger L., Healy S. B., Hersbach H., Hólm E. V., Isaksen I., Kållberg P., Köhler M., Matricardi M., McNally A. P., Monge-Sanz B. M., Morcrette J.-J., Park B.-K., Peubey C., de Rosnay P., Tavolato C., Thépaut J.-N., Vitart F. 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 137: 553–597.
- Fortelli A., Scafetta N., Mazzarella A. 2016. Influence of synoptic and local atmospheric patterns on PM_{10} air pollution levels: a model application to Naples (Italy). *Atmospheric Environment*. 143: 218–228.
- Galvonaitė A., Valiukas D., Kilpys J., Kitrienė Z., Misiūnienė M. 2013. *Lietuvos klimato atlasas*. Vilnius: Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos.
- Godłowska J., Hajto M. J., Tomaszewska A. M. 2015. Spatial analysis of air masses backward trajectories in order to identify distant sources of fine particulate matter emission. *Archives of Environmental Protection*.
- Hondula D. M., Sitka L., Davis R. E., Knight D. B., Gawtry S. D., Deaton M. L., Lee T. R., Normile C. P., Stengera P. J. 2009. A back-trajectory and air mass climatology for the Northern Shenandoah Valley, USA. *International Journal of Climatology*.
- Ioannidou L., Yau M. K. 2008. *Climatology of the Northern Hemisphere winter anticyclones*. *Journal of Geophysical Research*. 113.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds B., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K. C., Ropelewski C., Wang J., Jenne Roy, Joseph Dennis. 1996. The NCEP / NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 77(3): 437–472.
- Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J., Yang S.-K., Hnilo J. J., Fiorino M., Potter G. L. 2002. NCEP–DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bulletin of the American Meteorological Society*. 83: 1631–1643.
- Law R. M. 1993. *Modelling the Global Transport of Atmospheric Constituents*. PhD thesis, School of Earth Sciences, The University of Melbourne.
- Lietuvos Respublikos aplinkos oro apsaugos įstatymas Nr. 98–2813. Pirmasis skirsnis. Bendrosios nuostatos.
- Li J., Chen H., Zhanqing L., Wang P., Maureen C., Fan X. 2014. Low-level temperature inversions and their effect on aerosol condensation nuclei concentrations under different large-scale synoptic circulations. *Advances in Atmospheric Sciences*. 32: 898–908.
- Manahan S. E. 2000. *Environmental Science, Technology, and Chemistry*. Environmental Chemistry. Boca Raton: CRC Press LLC.
- Nemuc A., Taliunu C., Belegante L., Ngo R., Derognat C. 2012. The Boundary layer height and entrainment zone assessment from lidar, meteorological land forecast model. *Proceedings of the 9th International Symposium on Tropospheric Profiling*.
- Matthaios V. N., Athanasios G., Triantafyllou, Petros Koutrakis. 2016. PM_{10} episodes in Greece: Local sources versus long-range transport—observations and model simulations. *Journal of the Air & Waste Management Association*.
- Oro dalelės trajektorija*. <http://www.cycstats.org/trajectories/trajhome.htm> (žiūrėta 2018 11 20).
- Paskvilio stabilumo klasės*. <https://ready.arl.noaa.gov/READYpgclass.php/> (žiūrėta 2018 11 20).

23. Pei H., Shiliang W. 2016. Long term changes in extreme air pollution meteorology and the implications for air quality. *Scientific Reports*.
24. Perrin G., Simmonds I. 1995. The origins and characteristics of cold air outbreaks over Melbourne. *Australian Meteorological Magazine*. 44: 41–59.
25. Rimkus E., Bukantis A., Stankūnavičius G. 2006. Meteorologinių veiksnių poveikis KD2.5 aerozolio koncentracijos kaitai Preiloje. *Geografija*. 42(2): 56–64.
26. Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI). *Archyvinės sinoptinės schemas*. <http://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/> (žiūrėta 2018 11 20).
27. Schnelle B. K., Brown A. C. 2002. *Air Pollution Control Technology Handbook. The Mechanical Engineering Handbook Series*. CRC Press LLC, 2000 N.W.
28. Sillman S., Samson P. J. 1995. Impact of temperature on oxidant photochemistry in urban, polluted rural, and remote environments, *Journal of Geophysical Research*. 100: 11497–11508.
29. *Skaitmeninės vertikalios atmosferos duomenys*. <https://ready.arl.noaa.gov/READYamet.php> (žiūrėta 2018 11 20).
30. Stull R. 2017. *Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science*. Version 1.02b. University of British Columbia. 940 p.
31. Šaulienė I., Veriankaitė L. 2006. Application of backward air mass trajectory analysis in evaluating airborne pollen dispersion. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. XIV(3): 113–120.
32. *Trajektorijų imitacijų tinklalapis*. <https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/trajtool/traj.pl> (žiūrėta 2018 11 10).
33. Veriankaitė L. 2010. *Žiedadulkių koncentracija ore: cirkuliaciniai ir fenologiniai aspektai: daktaro disertacija*. Vilnius.

Dainius Frišmantas, Gintautas Stankūnavičius

STUDY OF WEATHER CONDITIONS DURING STRONG AIR POLLUTION EPISODES IN VILNIUS

Summary

The study deals with ten strongest air pollution episodes in Vilnius and their relationship with meteorological conditions. The main task of the study was an assessment of air flow impact on daily concentration of particulate matter (PM₁₀). PM₁₀ data are available at the Lithuanian Environment Protection Agency. Airflow was assessed using 30-hour backward trajectory of air particle (horizontal and vertical) to Vilnius based on data of three different re-analysis: ERA-Interim, NCEP/NCAR, and NCEP/DOE. The impact of meteorological conditions on pollution was assessed analysing the changes in the atmospheric stability criteria: boundary layer depth, the strength of surface temperature inversions, and the intensity of vertical mixing. These characteristics are available at NOAA Air Resources Laboratory Archived Meteorology website.

These 10 selected episodes were detected in the period from 2005 to 2016. The selected height of the endpoint of the backward trajectory was within the boundary layer – 1000 and 925 hPa. All trajectories were classified into three appropriate ranges of distances: local (<300 km), regional (300–500 km), and remote (>500 km).

In 4 of the 10 episodes the backward trajectories based on all three reanalyzes, ERA-INTERIM, NCEP/NCAR, NCEP/DOE, showed a homogeneous airflow. Five out of 6 remaining cases revealed a weak connection between ERA-INTERIM and NCEP/NCAR and NCEP/DOE trajectories (differences reached 12.5%), and one case had the longest backward trajectory extending more than 800 km per 30 h.

The most typical directory of the backward trajectory was from north, south and southwest. The shallow high-pressure gradient field was the typical influencing surface pressure pattern for 5 episodes, high-pressure area (centre) for 4 episodes, and the warm sector of cyclone for one episode.

Keywords: PM₁₀, air pollution episodes in Vilnius, backward air particle trajectory, atmospheric stability, temperature inversion