



TVIRTINU

Fizinių ir technologijos mokslų centro Direktorius

Gintaras Valušis

2017 m. mėn. d.

UŽSAKOMOJO DARBO

TOLIMŲŲ ORO TERŠALŲ PERNAŠŲ IŠ KITŲ VALSTYBIŲ POVEIKIO BENDRAM LIETUVOS ORO BASEINO UŽTERŠTUMO LYGIUI LIETUVOJE ĮVERTINIMAS

2016 m. gruodžio mėn. 30 d. Sutartis Nr. 28TP-2016-99

ATASKAITA

Vilnius 2017

VYKDYTOJŲ SĄRAŠAS

m. d. Dalia Jasinevičienė, darbų vadovė

vyr. m. d. Raselė Girgždienė

vyriaus. m. d. Kęstutis Kvietkus

vyr. m. d. Jonas Šakalys

m. d. Darius Valiulis

m. d. Jelena Andriejauskienė

m.d. Nina Prokopčiuk

inž. Arūnas Andriejauskas

TURINYS

1. DUJINIŲ IR AEROZOLINIŲ PRIEMAIŠŲ ORE TYRIMAI PAGAL EMEP IR ICP IM PROGRAMAS.....	4
<i>SANTRAUKA</i>	4
<i>ĮVADAS</i>	5
<i>DARBO METODIKA</i>	6
<i>TYRIMŲ REZULTATAI</i>	7
<i>IŠVADOS</i>	26
<i>LITERATŪRA</i>	27
2. PAGRINDINIŲ CHEMINIŲ PRIEMAIŠŲ FONINIŲ KONCENTRACIJŲ BEI FIZINIŲ PARAMETRŲ ATMOSFEROS IŠKRITOSE IR POLAJINIUOSE KRITULIUOSE TYRIMAI PAGAL EMEP IR ICP IM PROGRAMAS.....	28
<i>SANTRAUKA</i>	28
<i>ĮVADAS</i>	29
<i>DARBO METODIKA</i>	30
2.1 PAGRINDINIŲ CHEMINIŲ PRIEMAIŠŲ FONINIŲ KONCENTRACIJŲ BEI FIZINIŲ PARAMETRŲ ATMOSFEROS IŠKRITOSE TYRIMAI	32
<i>TYRIMŲ REZULTATAI</i>	32
<i>IŠVADOS</i>	46
2.2 PAGRINDINIŲ CHEMINIŲ PRIEMAIŠŲ BEI FIZINIŲ PARAMETRŲ POLAJINIUOSE KRITULIUOSE TYRIMAI PAGAL ICP IM PROGRAMĄ.....	48
<i>TYRIMŲ REZULTATAI</i>	48
<i>IŠVADOS</i>	61
3. PAŽEMINIO OZONO TYRIMAI PAGAL EMEP PROGRAMĄ.....	62
<i>SANTRAUKA</i>	62
<i>ĮVADAS</i>	63
<i>METODIKA</i>	66
<i>REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS</i>	68
<i>IŠVADOS</i>	77
<i>LITERATŪRA</i>	78
4. SUNKIŲJŲ METALŲ IR POLICIKLINIŲ AROMATINIŲ ANGLIAVANDENILIŲ ATMOSFEROS IŠKRITOSE TYRIMAI	79
<i>SANTRAUKA</i>	79
<i>ĮVADAS</i>	80
<i>DARBO METODIKA</i>	81
<i>TYRIMŲ REZULTATAI</i>	84
<i>IŠVADOS</i>	92
<i>LITERATŪRA</i>	93

1. DUJINIŲ IR AEROZOLINIŲ PRIEMAIŠŲ ORE TYRIMAI PAGAL EMEP IR ICP IM PROGRAMAS

SANTRAUKA

Atmosferos užterštumo lygį sieros ir azoto junginiais virš Lietuvos lemia šių teršalų emisijos iš vietinių taršos šaltinių ir, dėl tolimų oro teršalų pernašų, iš taršos šaltinių Vakarų bei Pietų Europos valstybėse. Dujinių ir aerozolinių priemaišų koncentracijos atmosferoje kinta dėl atmosferos dinamiškumo ir nuolat vykstančių atmosferos valymosi nuo teršalų procesų. Be to, teršalų koncentracijos atmosferoje kinta laike ir erdvėje dėl dujinių ir aerozolinių teršalų nevienodos atmosferoje buvimo trukmės, kurią nulemia fizinės bei cheminės teršalų savybės. Rūgštėjimo ir eutrofikacijos procesai gamtinėse ekosistemose daugiausiai siejami su sieros ir azoto junginiais, todėl ir šių junginių koncentracijų tyrimai atmosferoje yra būtini vykdant kompleksinius ekosistemų tyrimus.

2016 metais Aukštaitijos IMS (LT01), Žemaitijos IMS (LT03) ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (LT15) buvo tęsiami sieros dioksido (SO_2 , dujos), azoto dioksido (NO_2 , dujos), sulfatų (SO_4^{2-} aerozolinės dalelės), sumos nitratų (HNO_3 , (dujinė azoto rūgštis ir NO_3^- , aerozolinės dalelės) ir sumos amonio (NH_3 , dujinis amoniakas ir NH_4^+ , aerozolinės dalelės) koncentracijų tyrimai. Tenkinant Europos monitoringo paruoštos strategijos 2010 – 2019 m. reikalavimus, Preilos atmosferos užterštumo tyrimų stotyje 2016 m. papildomai buvo atliekami NO_3^- (aerozolinės dalelės), NH_4^+ (aerozolinės dalelės), Na^+ , K^+ , Ca^{2+} koncentracijų tyrimai aerozolio dalelėse.

Dideli koncentracijų kaitos intervalai yra būdingi visiems tirtiems atmosferos ore sieros ir azoto junginiams. Koncentracijų kaitos sezoniškumas ypač ryškus azoto junginiams (NO_2 , sumNO_3^- ir sumNH_4^+), didesnės jų koncentracijos atmosferos ore matuotos per šaltąjį metų laikotarpį (sausio, vasario, kovo, lapkričio ir gruodžio mėn.), mažesnės – per šiltąjį (gegužės – rugsėjo mėn.). Vidutinės 2016 m. teršalų metinės koncentracijos Preiloje yra didesnės nei Aukštaitijos ir Žemaitijos IMS. Azoto dioksido vidutinė metinė koncentracija Preiloje yra beveik 2 kartus didesnė nei Aukštaitijos IMS ir pusantro karto didesnė nei Žemaitijos IMS. Didžiausios SO_2 koncentracijos visose tyrimo vietose nustatytos šaltuoju metų laiku. Nebūdingos gruodžio mėnesiui ypač mažos SO_2 koncentracijos buvo dėl aukštesnės nei daugiametė oro temperatūros ir dažnai nešamų oro masių iš šiaurinių-šiaurės vakarinių Europos regionų, kuriuose nėra didelių emisijos

šaltinių. Mažesnių koncentracijų pasikartojimo tendencija SO₂ mėnesio vidutinių koncentracijų kaitoje stebima vasaros mėnesiais. Mažiau ryški sezoninė koncentracijų kaita stebima sulfatams. Nors per šaltąjį metų laikotarpį vyravo didesnės koncentracijos, tačiau jų santykis su šiltojo metų laikotarpio koncentracijomis neviršijo 1.3. Vidutiniškai 24% sulfatų koncentraciją Preiloje lėmė jų įnašas iš Baltijos jūros. Įvertinus šį įnašą, aerSO₄ metinė koncentracija yra 0,39 µgS/m³. Tyrimų duomenys rodo, kad teršalų koncentracijoms atmosferos ore IM stotyse ir Preiloje didžiausią poveikį 2016 metais darė SO₂ ir NO₂ emisijos šaltiniai, kurie yra centrinėje, vakarinėje ir pietiniuose Europos regionuose. Visose tyrimų stotyse stebima sieros ir azoto junginių metinių koncentracijų mažėjimo tendencija per 1994 – 2016 metus.

IVADAS

Vystantis pramonei ir žemės ūkiui nuolat didėja energijos sąnaudos. Tam tikslui deginama daugiau kuro, o kartu didėja į atmosferą išlekiančių teršalų kiekis. SO₂ ir NO_x emisijų vertinimai rodo [1, 2], kad apie 1940 m. jų antropogeninės emisijos apie kelis kartus viršijo gamtines. Neigiamos pasekmės Europos gamtinėse sistemose pradėjo ypatingai ryškėti 1960 – 1970 metais. Masinius pažeidimus miškų bei ežerų ekosistemose didelėse Vakarų ir Šiaurinės Europos teritorijose, kurios buvo nutolusios per 1000 km ir daugiau nuo intensyvios taršos šaltinių [3], sukėlė “rūgštūs lietūs”, kurių pH vertė dėl didelių sieros ir azoto junginių kiekių juose tapo mažesnė nei 4.0. Vykdydamos 1979 m. Ženevoje pasirašytos konvencijos ”Dėl tolimų atmosferos teršalų pernašų” (“Convention on Long-range Transboundary Air Pollution” – CLRTAP) reikalavimus, valstybės pastebimai mažina sieros ir azoto junginių antropogeninę emisiją į atmosferą. Europoje vis dar didžiausi SO₂ ir NO_x emisijos šaltiniai yra Lenkijoje, Ispanijoje, Bulgarijoje, Vokietijoje, D. Britanijoje, Graikijoje, Italijoje, Turkijoje ir Ukrainoje [4].

Labiausiai teršalų koncentracijų kaitą atmosferoje veikia teršalų emisijos dydis, meteorologiniai bei klimatiniai faktoriai ir teršalų cheminės-fizinės savybės. Sieros ir azoto junginiais atmosferos užterštumo lygį virš Lietuvos lemia šių teršalų emisijos iš lokalių taršos šaltinių ir daugiausia iš Vakarų bei Pietų Europos valstybių. Esant dujinių ir aerosolinių teršalų buvimo atmosferoje nevienodai trukmei, kurią nulemia fizinės bei cheminės teršalų savybės ir dėl atmosferos dinamiškumo, nuolat vykstančių atmosferos valymosi nuo teršalų procesų (šlapiojo – su atmosferos krituliais ir sausojo – nesant kritulių), teršalų koncentracijos atmosferoje kinta ir laike, ir erdvėje.

Teršalų atmosferoje tyrimams skiriamas ypatingas dėmesys, nes jų koncentracijos atspindi ne tik oro užterštumą regione, bet naudojamos įvertinimui teršalų sausųjų iškritų iš atmosferos į žemės ekosistemas. Sieros ir azoto junginių koncentracijų tyrimai atmosferoje yra būtini vykdant sąlygiškai natūralių ekosistemų kompleksinius tyrimus, nes rūgštėjimo ir eutrofikacijos procesai žemės ekosistemose daugiausiai siejami su šiais junginiais.

Teršalų koncentracijų tyrimai ore Aukštaitijos IMS (LT01), Žemaitijos IMS (LT03) ir atmosferos užterštumų tyrimo stotyje Preiloje (kodas Europos monitoringo tinkle – LT15) buvo tęsiami 2016 m.

DARBO METODIKA

Remiantis darbo užduotimi, sieros dioksido (SO_2 , dujos), azoto dioksido (NO_2 , dujos), sulfatų (aerSO_4^{2-} , t.y. aerozolinėse dalelėse), suma nitratų (SumNO_3 , t.y. dujinė azoto rūgštis ir nitratai aerozolinėse dalelėse) ir suma amonio (SumNH_4 , t.y. dujinis amoniakas ir amonis aerozolinėse dalelėse), rinkti kiekvienos savaitės mėginiai IM stotyse (LT01 ir LT03), o Preiloje (LT15) – kiekvienos paros mėginiai. AerSO_4 , SO_2 , SumNO_3 , SumNH_4 mėginių paėmimui naudojamas EK mėginių paėmimo įrenginys (Sequential Air Sampler, type EK NILU, Norway), NO_2 mėginių paėmimui naudojama dujinių priemaišų mėginių paėmimo įranga SS2000 (Sequential Air Sampler, Type SS2000 NILU, Norway). Teršalų koncentravimui iš atmosferos oro naudoti tefloniniai, celiulioziniai filtrai “Whatman 40” ir rinktuvai su specialiai gaminamais stiklo filtrais. Vadovaujantis EMEP paruoštomis rekomendacijomis [5], ruošiami ekspozicijai filtrai ir atliekama ant filtrų surinktų teršalų cheminė analizė. Naudojant trijų pakopų NILU sistemos filtrų laikiklius, sulfatai (aerSO_4) koncentruojami ant pirmoje pakopoje esančio tefloninio filtro, kuris yra atviras atmosferai, sieros dioksido ir sumos nitratų (sumNO_3) koncentravimui naudojamas antroje filtro laikiklio pakopoje šarmu impregnuotas “Whatman 40” filtras. Sumos amonio (sumNH_4) junginių koncentravimui iš atmosferos naudojamas trečioje filtro laikiklio pakopoje rūgštimi impregnuotas “Whatman 40” filtras. Azoto dioksido koncentravimui stiklo filtrai paruošiami laboratorijoje juos impregnuojant šarminiu natrio jodido tirpalu. Visi filtrų impregnavimo darbai atliekami cheminėje laboratorijoje specialioje išvalyto atmosferos oro kameroje.

Dujinių ir aerosolinių teršalų mėginiai iš Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stočių gražinami į Aplinkos apsaugos agentūros aplinkos tyrimų departamentą ir, atlikus cheminę oro bandinių analizę, tyrimų rezultatai kas mėnesį persiunčiami į Fizinių ir technologijos mokslų centro Fizikos institutą. Oro mėginiai iš Preilos analizuojami Fizinių ir technologijos mokslų centro Fizikos institute, ekstrahuojant 24 valandas 20 – 30 ml dejonizuotu vandeniu, kurio varža $>15 \text{ M}\Omega/\text{cm}$. Jonų mainų chromatografas “DIONEX 2011i” (kolonėlės AG4A-SC ir AS4A-SC) naudojamas sulfatų ir nitratų jonų koncentracijų tyrimams vandeniniuose tirpaluose iš tokių atmosferos oro bandinių: SO_2 , aerSO_4^{2-} , aerNO_3^- ir sumNO_3^- . Spektrofotometras “SPECORD 210 PLUS” naudojamas spektrofotometriniam amonio jonų koncentracijų tyrimui indofenoliniu metodu ir azoto dioksido koncentracijų trietanolamino vandeniniame tirpale tyrimui. Siekiant įvertinti naudojamų teršalų koncentravimui iš atmosferos filtrų ir impregnavimo bei analizei naudojamų reagentų užterštumą tiriamaisiais komponentais, kiekvieną mėnesį visoms stotims ruošiami ir analizuojami “tušti”, t.y. eksponavimui paruošti bet neeksponuoti filtrai. Atmosferoje teršalų radimo ribos yra tokios: SO_2 – $0,02 \mu\text{gS}/\text{m}^3$, NO_2 – $0,08 \mu\text{gN}/\text{m}^3$, SO_4^{2-} – $0,02 \mu\text{gS}/\text{m}^3$, NO_3^- ir sumNO_3^- – $0,014 \mu\text{gN}/\text{m}^3$, NH_4^+ ir sumNH_4^+ – $0,027 \mu\text{gN}/\text{m}^3$. Tiriamųjų dujinių ir aerosolinių teršalų cheminės analizės paklaidos yra mažesnės nei 10%.

TYRIMŲ REZULTATAI

1 lentelėje pateikti tyrimų duomenys rodo visų tirtų teršalų koncentracijų didelius kaitos intervalus IM stotyse ir Preiloje: SO_2 nuo 0,09 iki $0,97 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ (Aukštaitijos IMS), nuo 0,02 iki $0,90 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ (Žemaitijos IMS) ir Preiloje nuo 0,05 iki $1,03 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ (savaitės vidutinės), nuo 0,02 iki $2,19 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ (paros); NO_2 nuo 0,004 iki $1,80 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (Aukštaitijos IMS), nuo 0,28 iki $2,10 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (Žemaitijos IMS) ir Preiloje nuo 0,43 iki $2,24 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (savaitės vidutinės), nuo 0,08 iki $6,19 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (paros); sulfatai nuo 0,09 iki $0,97 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ (Aukštaitijos IMS), nuo 0,10 iki $1,30 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ (Žemaitijos IMS) ir Preiloje nuo 0,20 iki $1,55 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ (savaitės vidutinės), nuo 0,12 iki $2,70 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ (paros); sumNO_3 nuo 0,07 iki $0,75 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (Aukštaitijos IMS), nuo 0,08 iki $0,90 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (Žemaitijos IMS) ir Preiloje nuo 0,10 iki $1,99 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (savaitės vidutinės), nuo 0,03 iki $4,65 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (paros); sumNH_4 nuo 0,24 iki $1,40 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (Aukštaitijos IMS), nuo 0,23 iki $2,90 \mu\text{gN}/\text{m}^3$

(Žemaitijos IMS) ir Preiloje nuo 0,09 iki 3,19 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (savaitės vidutinės), nuo 0,02 iki 7,50 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (paros).

1 lentelė. Dujinių ir aerosolinių teršalų koncentracijų 2016 m. ore statistinės vertės Aukštaitijos IMS ir Žemaitijos IMS, atmosferos tyrimų stotyje Preila; **a** - *skliaustuose aerSO₄²⁻ be jūros įtakos*

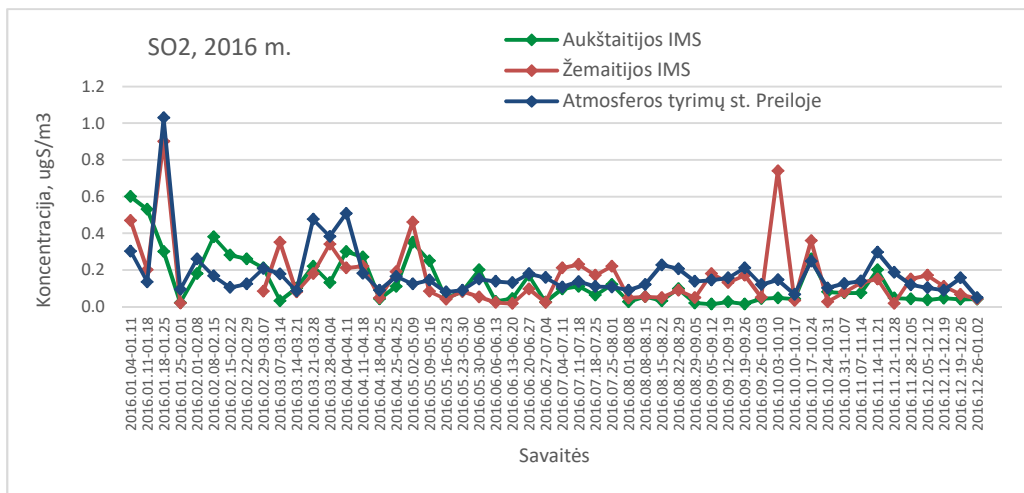
Komponentė, matavimo vienetas	Vertė	Vieta			
		Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS	Preila	
		savaitės		savaitės	paros
1	2	3	4	5	6
SO₂ $\mu\text{gS}/\text{m}^3$	min	0,01	0,02	0,05	0,02
	max	0,60	0,90	1,03	2,19
	vidutinė	0,13	0,16	0,18	0,18
	standart. nuokrypis	0,13	0,18	0,15	0,22
NO₂ $\mu\text{gN}/\text{m}^3$	min	0,004	0,28	0,43	0,08
	max	1,80	2,10	2,24	6,19
	vidutinė	0,41	0,61	0,92	0,94
	standart. nuokrypis	0,35	0,39	0,45	0,73
aerSO₄²⁻ $\mu\text{gS}/\text{m}^3$	min	0,09	0,10	0,20 (0,10) ^a	0,12 (0,01)
	max	0,97	1,30	1,55 (1,51)	2,70 (2,63)
	vidutinė	0,34	0,35	0,52 (0,39)	0,51 (0,39)
	standart. nuokrypis	0,18	0,23	0,21 (0,22)	0,32 (0,34)
sumNO₃⁻ $\mu\text{gN}/\text{m}^3$	min	0,07	0,08	0,10	0,03
	max	0,75	0,90	1,99	4,65
	vidutinė	0,25	0,33	0,62	0,61
	standart. nuokrypis	0,15	0,23	0,42	0,56
sumNH₄⁺ $\mu\text{gN}/\text{m}^3$	min	0,24	0,23	0,09	0,02
	max	1,40	2,90	3,19	7,50
	vidutinė	0,64	0,79	0,83	0,82
	standart. nuokrypis	0,26	0,49	0,57	0,85
aerNO₃⁻ $\mu\text{gN}/\text{m}^3$	min	–	–	–	0,02
	max	–	–	–	4,65
	vidutinė	–	–	–	0,57
	standart. nuokrypis	–	–	–	0,56

aerNH₄⁺ μgN/m ³	min				0,02
	max	–	–	–	7,49
	vidutinė				0,69
	standart. nuokrypis				0,82
Na⁺ μg/m ³	min				0,02
	max	–	–	–	7,59
	vidutinė				1,53
	standart. nuokrypis				1,50
1	2	3	4	5	6
K⁺ μg/m ³	min				0,02
	max	–	–	–	4,89
	vidutinė				0,18
	standart. nuokrypis				0,31
Ca²⁺ μg/m ³	min				0,01
	max	–	–	–	1,34
	vidutinė				0,24
	standart. nuokrypis				0,19

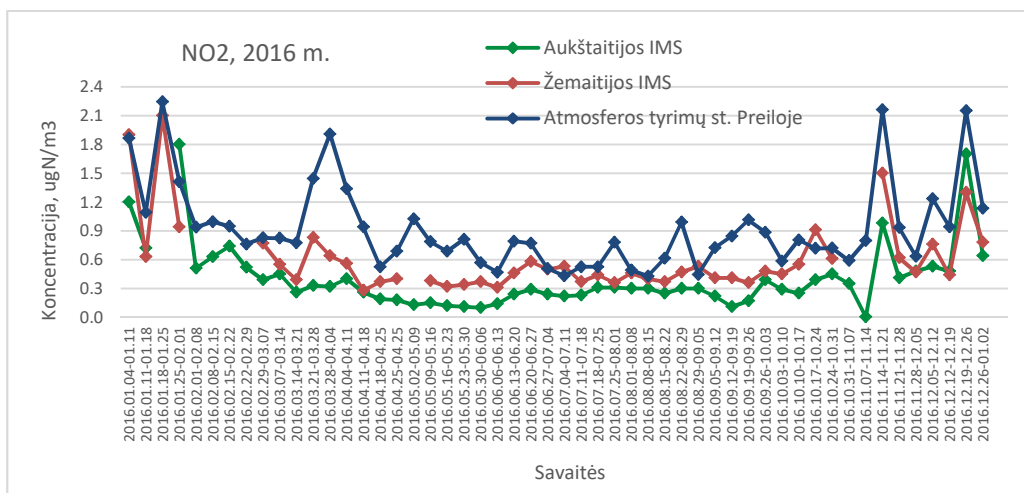
Sieros ir azoto dioksidų koncentracijų kaitoje IM stotyse ir Preiloje (1–6 pav.) matomas ryškus sezoniškumas. SO₂ koncentracijos didesnės nei vidutinės 2016 metų IM stotyse matuotos per sausio – gegužės mėnesius, Preiloje – per sausio – balandžio mėnesius. Didesnę nei vidutinę 2016 metų SO₂ koncentracija Žemaitijos IM stotyje spalio pirmą savaitę lėmė vietiniai taršos šaltiniai. Dažniausiai mažesnės už metų vidutinę sieros dioksido koncentraciją matuota nuo gegužės antros savaitės iki lapkričio mėnesio. Mažesnes šio laikotarpio SO₂ koncentracijos galima aiškinti emisijos sezoniškumu, bei didesne oksidacijos į sulfatus (SO₄²⁻) sparta. Nebūdingos gruodžio mėnesiui ypač mažos SO₂ koncentracijos buvo dėl aukštesnės nei daugiametė oro temperatūros ir dažnai nešamų oro masių iš šiaurinių-šiaurės vakarinių Europos regionų kuriuose nėra didelių emisijos šaltinių. Azoto dioksido koncentracijos didesnės nei vidutinės 2016 metų matuotos taip pat per šaltąjį laikotarpį, t.y. sausio – vasario, spalio – gruodžio mėnesius. Dažniausiai mažesnės nei vidutinė 2016 metų šio teršalo koncentracijos nustatytos gegužės – rugsejo mėnesiais. Tokius SO₂ ir NO₂ koncentracijų pokyčius labiausiai lėmė šių teršalų emisijos dydžiai regionuose, iš kurių atkeliavo oro masės į Lietuvą.

Duomenys, kurie pateikti 4 – 6 pav., rodo, kad nei aerolinių sulfatų, nei sumos nitratų, nei sumos amonio koncentracijų metinei dinamikai nebūdingas aiškus sezoniškumas. Nors per vasaros mėnesius yra tendencija mažesnių už metų vidutines arba artimų joms koncentracijoms. Daugumoje atvejų nitratų ir sulfatų koncentracijų kaita

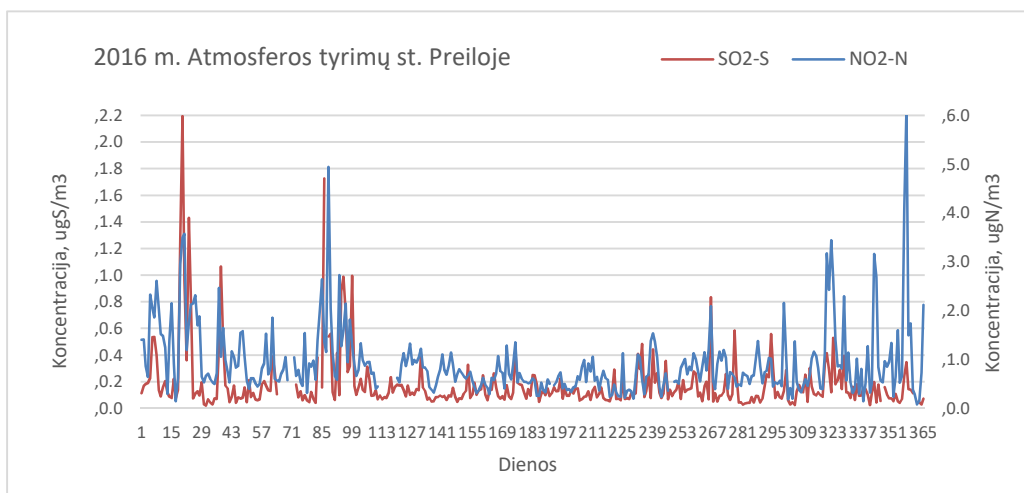
kartoja amonio koncentracijų kaitą. Tai patvirtina amonio sulfato ir amonio nitrato buvimą atmosferos aerozolyje.



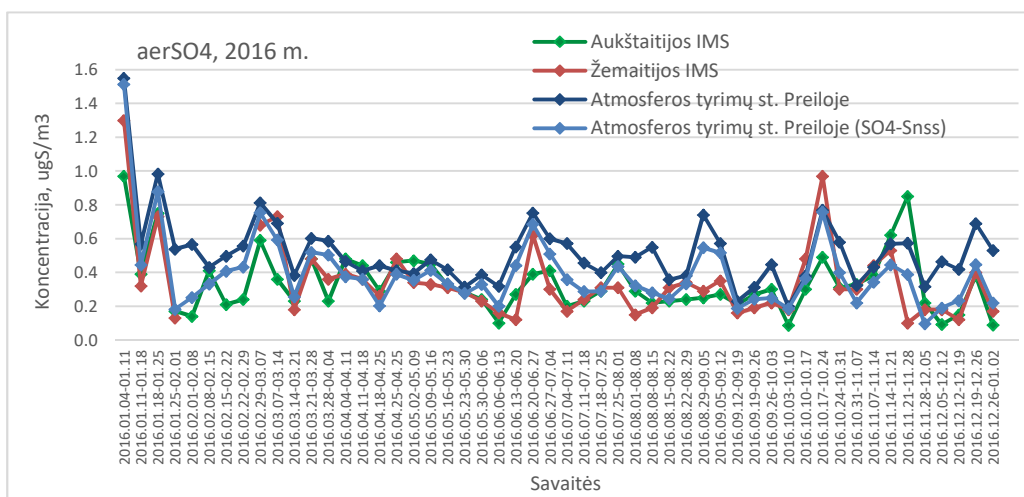
1 pav. Sieros dioksido savaitės vidutinių koncentracijų dinamika Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.



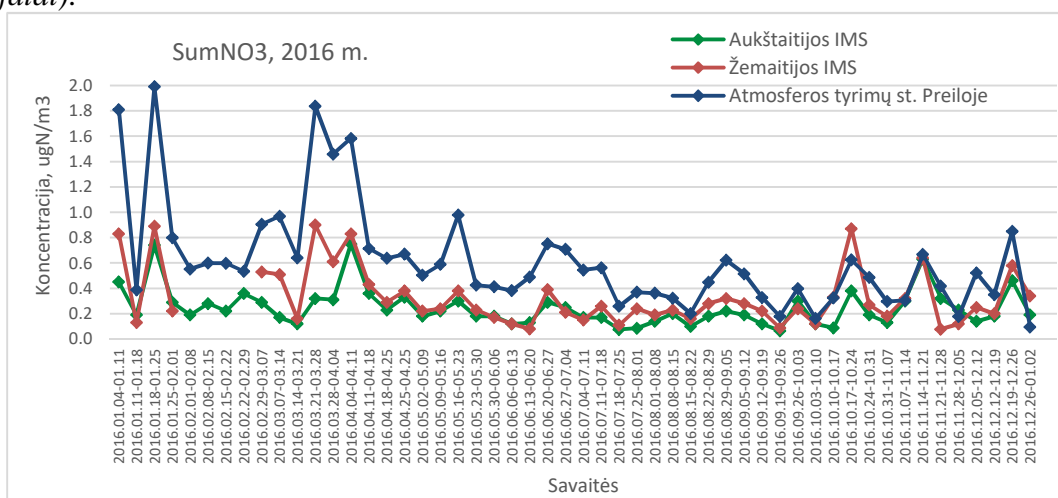
2 pav. Azoto dioksido savaitės vidutinių koncentracijų dinamika Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.



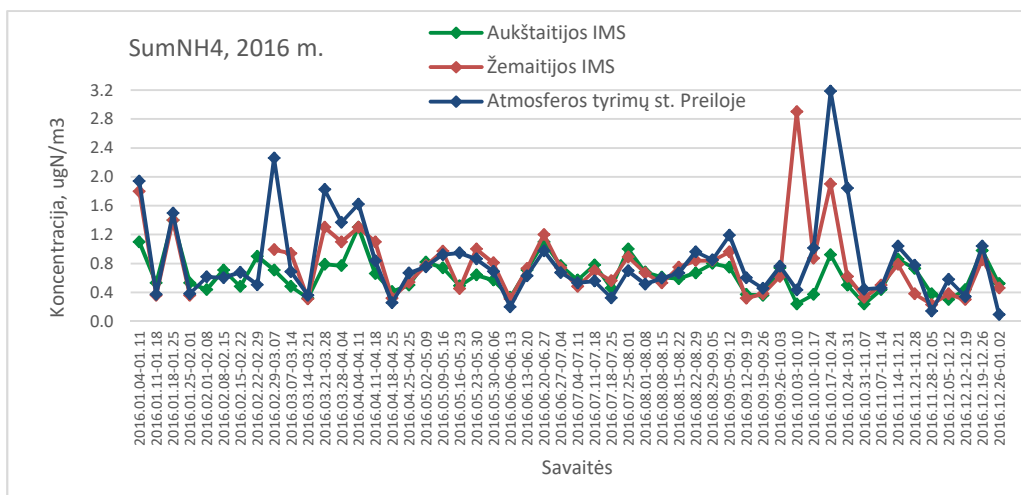
3 pav. Sieros dioksido ir azoto dioksido vienos paros koncentracijų dinamika atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.



4 pav. Sulfatų aerozolio dalelėse savaitės vidutinių koncentracijų dinamika Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (*SO₄-Snss* – neįūrinės kilmės sulfatai).



5 pav. Sumos nitratų junginių savaitės vidutinių koncentracijų dinamika Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.

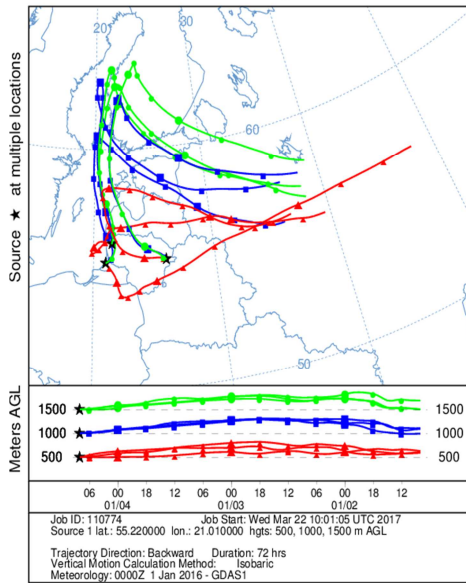


6 pav. Sumos amonio junginių savaitės vidutinių koncentracijų dinamika Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.

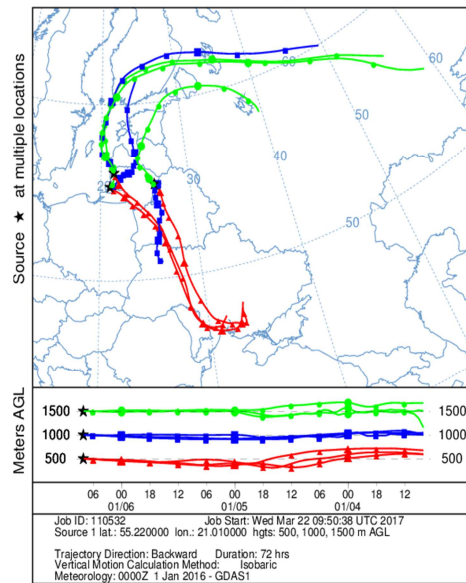
Koncentracijų kaitos dinamikoje stebimi keli kartus didesni nei 2016 metų vidutinės SO₂, SO₄, NO₂, SumNO₃ ir SumNH₄ koncentracijų epizodai. Oro masių judėjimo trajektorijų analizė rodo, kad oro masės kilmė yra viena iš priežasčių, veikiančių teršalų koncentracijas.

Vyrovusios oro masių pernašos į Lietuvą iš pietinių, vakarinių ir centrinės Europos rajonų lėmė teršalų didelių koncentracijų epizodus sausio, vasario, kovo, spalio, lapkričio ir gruodžio mėnesiais. 7 – 11 pav. paveiksluose pateiktos oro masių judėjimo atgalinės 72 val. trajektorijos, kurioms, judant link Lietuvos virš pietinių, vakarinių ir centrinės Europos valstybėse esančių emisijos šaltinių, kaupėsi teršalai ir tai lėmė matuojamų SO₂, NO₂, SO₄, sumNO₃ ir sumNH₄ koncentracijų tyrimų stotyse padidėjimą.

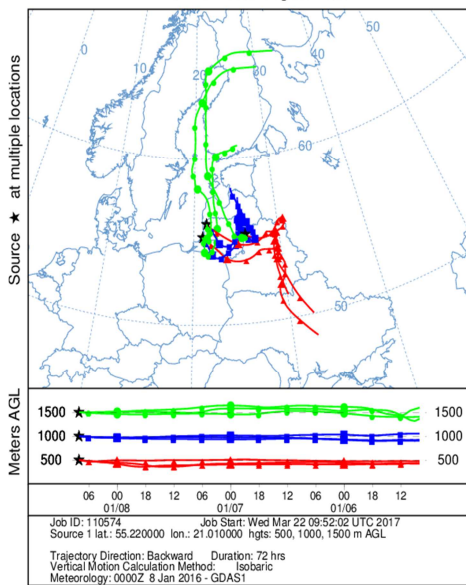
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 04 Jan 16
GDAS Meteorological Data



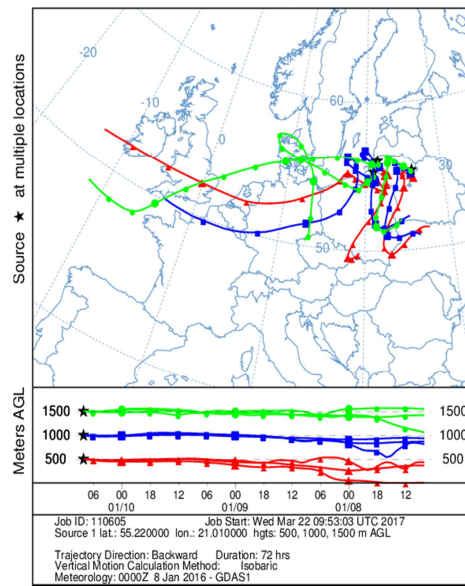
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 06 Jan 16
GDAS Meteorological Data



NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 08 Jan 16
GDAS Meteorological Data

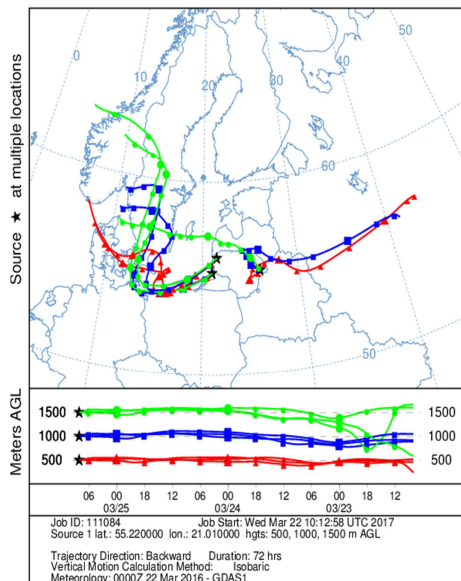


NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 10 Jan 16
GDAS Meteorological Data

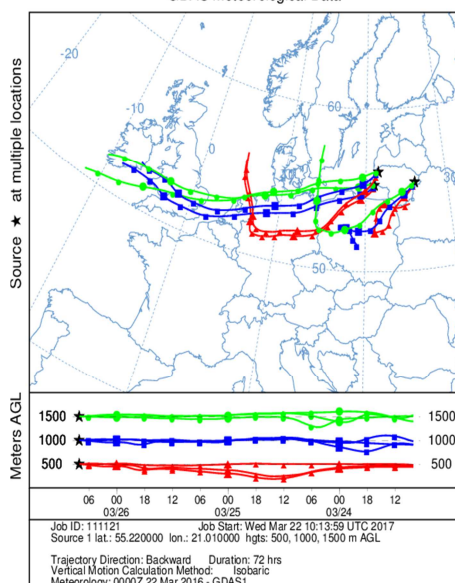


7 pav. Oro masių judėjimo 72 val. atgalinės trajektorijos 2016 m. sausio mėn. 4 – 10 d. į IM stotis ir Preilą. Šaltinis: http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php

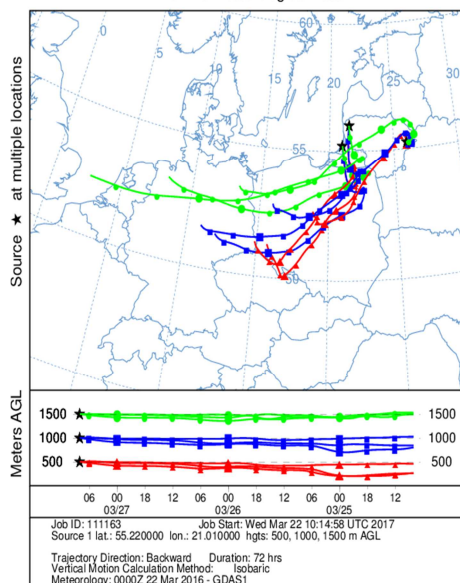
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 25 Mar 16
GDAS Meteorological Data



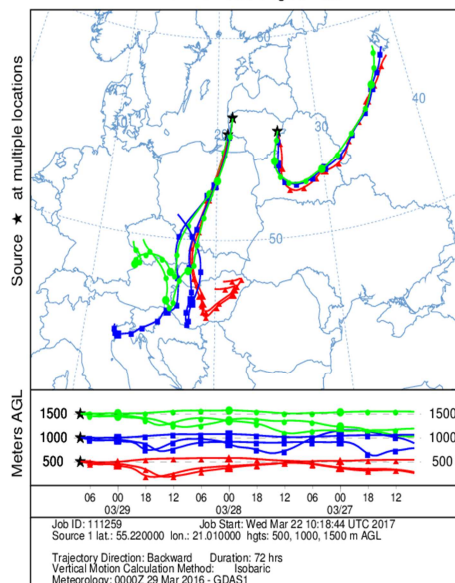
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 26 Mar 16
GDAS Meteorological Data



NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 27 Mar 16
GDAS Meteorological Data

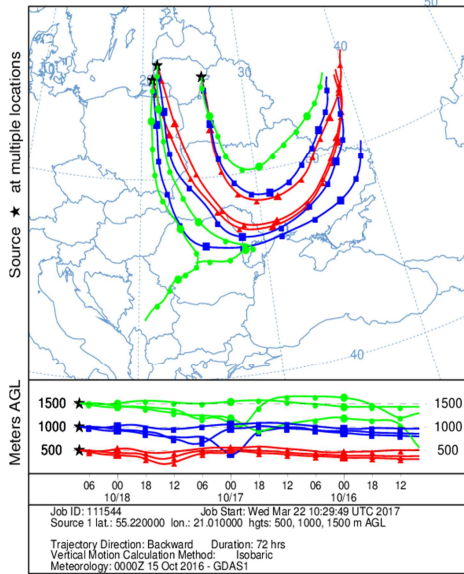


NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 29 Mar 16
GDAS Meteorological Data

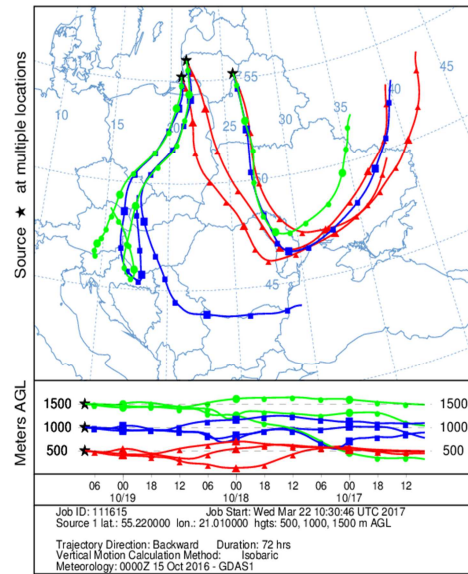


8 pav. Oro masių judėjimo 72 val. atgalinės trajektorijos 2016 m. kovo mėn. 25 – 29 d. į IM stotis ir Preilą. Šaltinis: http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php

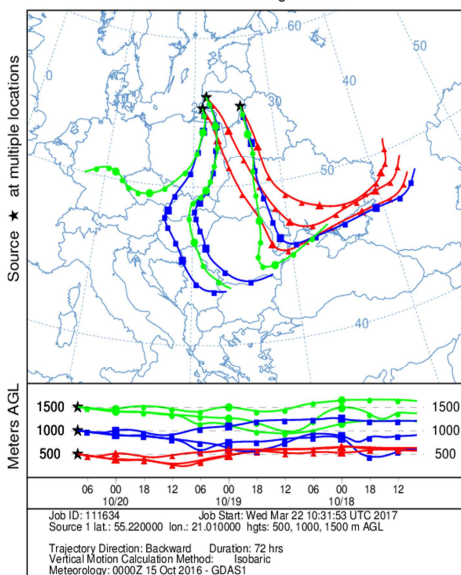
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 18 Oct 16
GDAS Meteorological Data



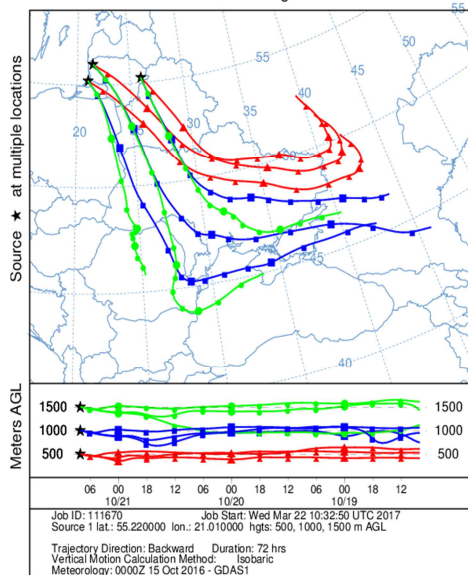
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 19 Oct 16
GDAS Meteorological Data



NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 20 Oct 16
GDAS Meteorological Data

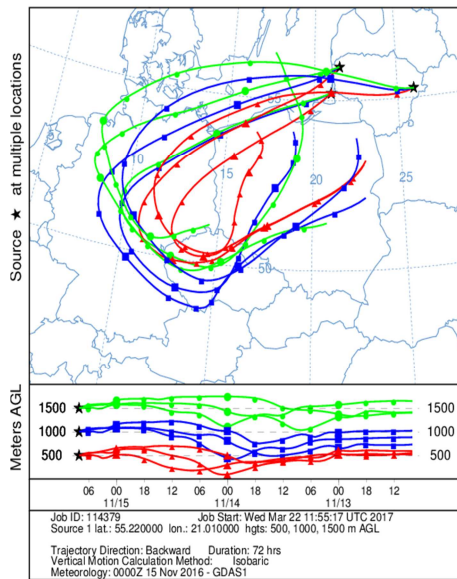


NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 21 Oct 16
GDAS Meteorological Data

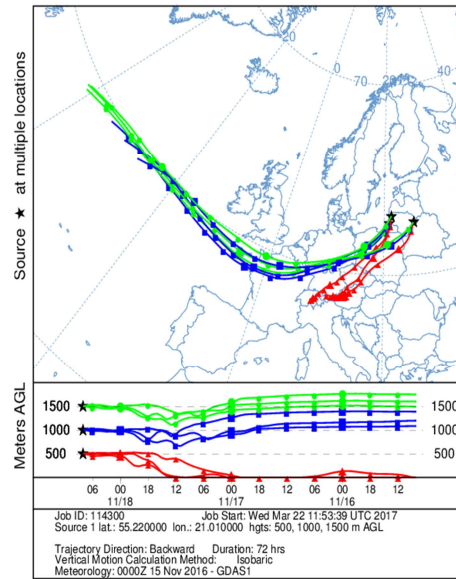


9 pav. Oro masių judėjimo 72 val. atgalinės trajektorijos 2016 m. spalio mėn. 18 – 21 d. į IM stotis ir Preiļā. Šaltinis: http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php

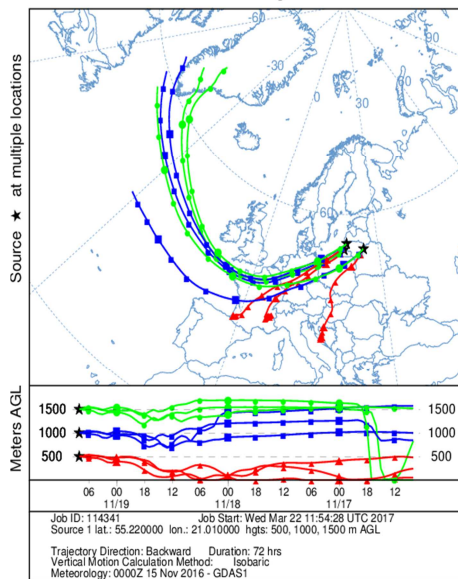
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 15 Nov 16
GDAS Meteorological Data



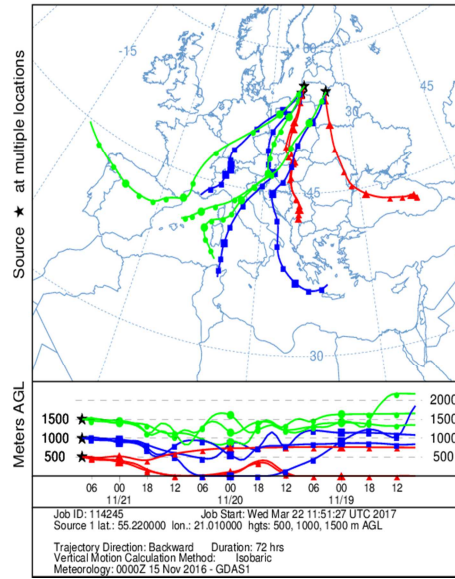
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 18 Nov 16
GDAS Meteorological Data



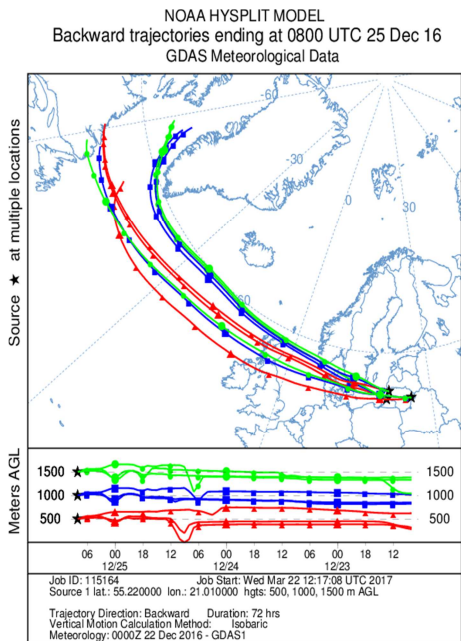
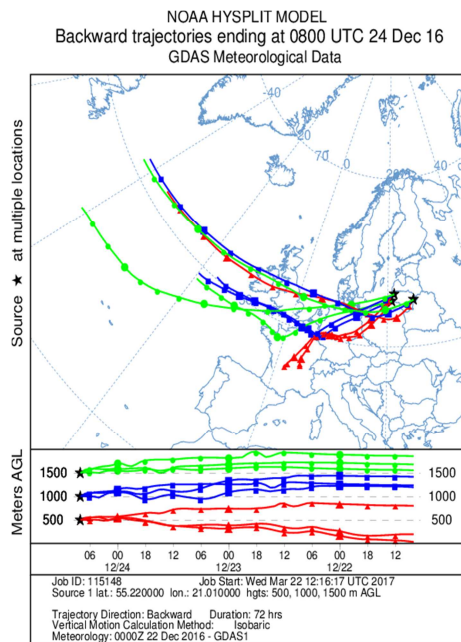
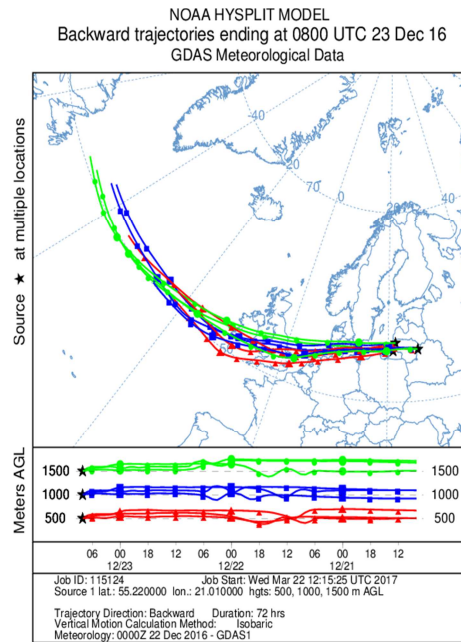
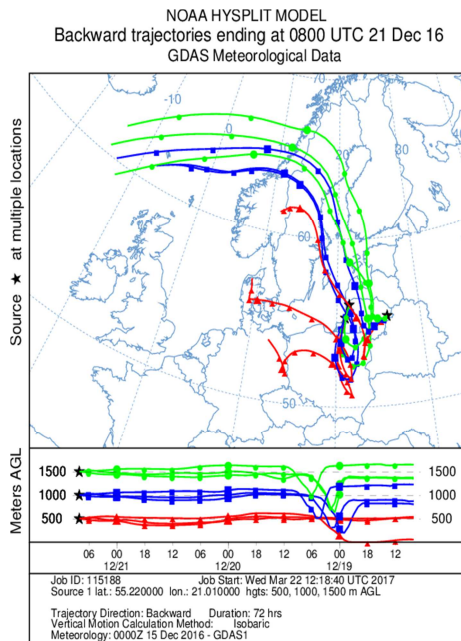
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 19 Nov 16
GDAS Meteorological Data



NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 21 Nov 16
GDAS Meteorological Data



10 pav. Oro masių judėjimo 72 val. atgalinės trajektorijos 2016 m. lapkričio mėn. 15 – 21 d. į IM stotis ir Preiļā. Šaltinis: http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php



11 pav. Oro masių judėjimo 72 val. atgalinės trajektorijos 2016 m. gruodžio mėn. 21 – 25 d. į IM stotis ir Preilą. Šaltinis: http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php

Teršalų koncentracijų metinė dinamika, vertinant teršalų vidutines kiekvieno mėnesio koncentracijas, pateikiama 2–4 lentelėse ir 12 paveiksle. Analizuojant SO₂ mėnesio vidutinių koncentracijų kaitą stebima jų sezoninė eiga. Didžiausios SO₂ koncentracijos visose tyrimo vietose nustatytos šaltuoju metų laiku. Mažesnių koncentracijų pasikartojimo tendencija SO₂ mėnesio vidutinių koncentracijų kaitoje stebima vasaros mėnesiais. Mažesnes šių teršalų koncentracijas atmosferoje per vasaros

mėn., lemia mažesnė SO₂ emisija, spartesnis atmosferos vertikalusis maišymasis. Akivaizdi NO₂ koncentracijų metinė eiga: ženkliai didesnės koncentracijos nei vidutinės 2016 m. vertės per žiemos mėnesius ir mažesnės per balandžio – rugpjūčio mėnesius. Tokią NO₂ mėnesio koncentracijų kaitą gali lemti spartesnė NO₂ fotocheminė oksidacija per pavasario ir vasaros mėnesius. Preiloje didesnes NO₂ koncentracijas nei IM stotyse, galima sieti su emisija NO_x iš laivų Baltijos jūroje ir didesniu autotransporto srautu Neringoje nei IM stočių aplinkoje. SumNO₃ ir SumNH₄ mėnesio vidutinių koncentracijų metinėje eigoje matomas ryškus vidutinių mėnesio koncentracijų mažėjimas visose tyrimų vietose pavasario – vasaros mėnesiais. Mažiau ryški sezoninė koncentracijų kaita stebima sulfatams. Nors per šaltąjį metų laikotarpį vyravo didesnės koncentracijos, tačiau jų santykis su šiltojo metų laikotarpio koncentracijomis neviršijo 1.3. Vidutiniškai 24% sulfatų koncentraciją Preiloje lėmė jų įnašas iš Baltijos jūros. Įvertinus šį įnašą, aerSO₄ metinė koncentracija yra 0,39 μgS/m³.

2 lentelė. Teršalų vidutinės mėnesio koncentracijos ore Aukštaitijos IMS

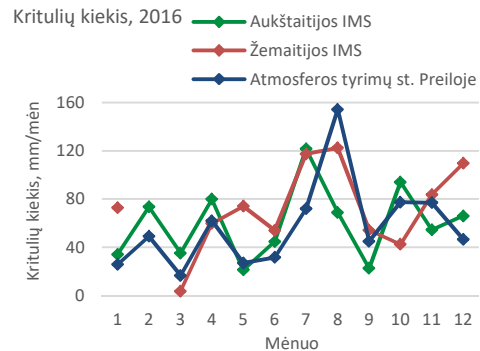
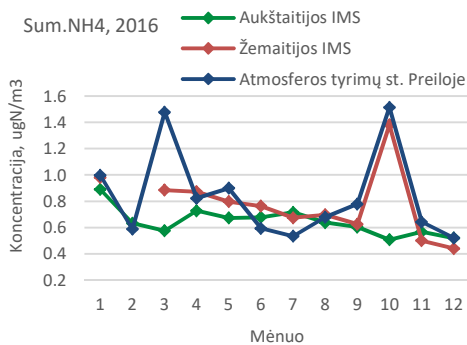
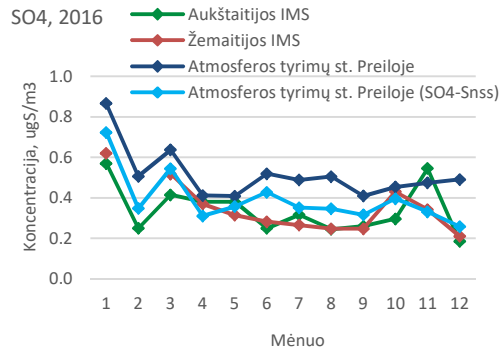
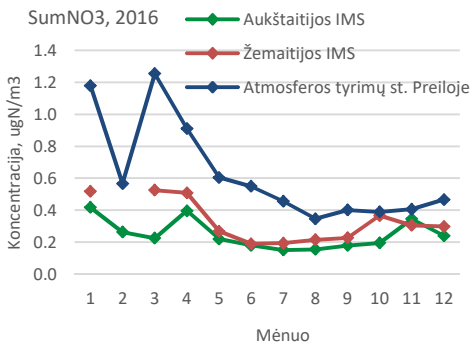
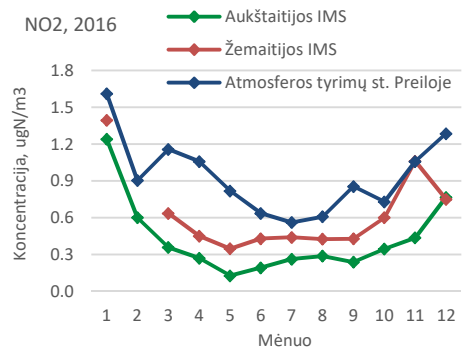
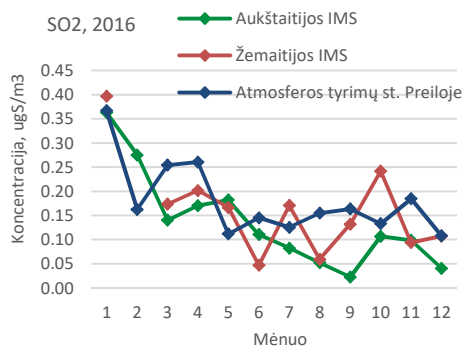
Metai, mėnuo	SO ₂	aerSO ₄	NO ₂	SumNO ₃	SumNH ₄
	μgS/m ³		μgN/m ³		
2016.01	0,36	0,57	1,24	0,42	0,89
2016.02	0,28	0,25	0,60	0,26	0,63
2016.03	0,14	0,42	0,36	0,23	0,58
2016.04	0,17	0,38	0,27	0,40	0,73
2016.05	0,18	0,38	0,13	0,22	0,67
2016.06	0,11	0,25	0,19	0,18	0,68
2016.07	0,08	0,32	0,26	0,15	0,72
2016.08	0,05	0,25	0,29	0,16	0,64
2016.09	0,02	0,26	0,24	0,18	0,60
2016.10	0,11	0,30	0,35	0,19	0,51
2016.11	0,10	0,55	0,44	0,35	0,57
2016.12	0,04	0,19	0,77	0,24	0,52

3 lentelė. Teršalų vidutinės mėnesio koncentracijos ore Žemaitijos IMS

Metai, mėnuo	SO ₂	aerSO ₄	NO ₂	SumNO ₃	SumNH ₄
	μgS/m ³		μgN/m ³		
2016.01	0,40	0,62	1,39	0,52	0,98
2016.02					
2016.03	0,17	0,52	0,64	0,53	0,89
2016.04	0,20	0,37	0,45	0,51	0,87
2016.05	0,17	0,32	0,35	0,27	0,80
2016.06	0,05	0,28	0,43	0,19	0,76
2016.07	0,17	0,27	0,44	0,19	0,67
2016.08	0,06	0,25	0,43	0,22	0,70
2016.09	0,13	0,25	0,43	0,23	0,63
2016.10	0,24	0,43	0,60	0,37	1,38
2016.11	0,09	0,34	1,06	0,30	0,50
2016.12	0,11	0,21	0,75	0,30	0,44

4 lentelė. Teršalų vidutinės mėnesio koncentracijos ore atmosferos tyrimų stotyje Preiloje

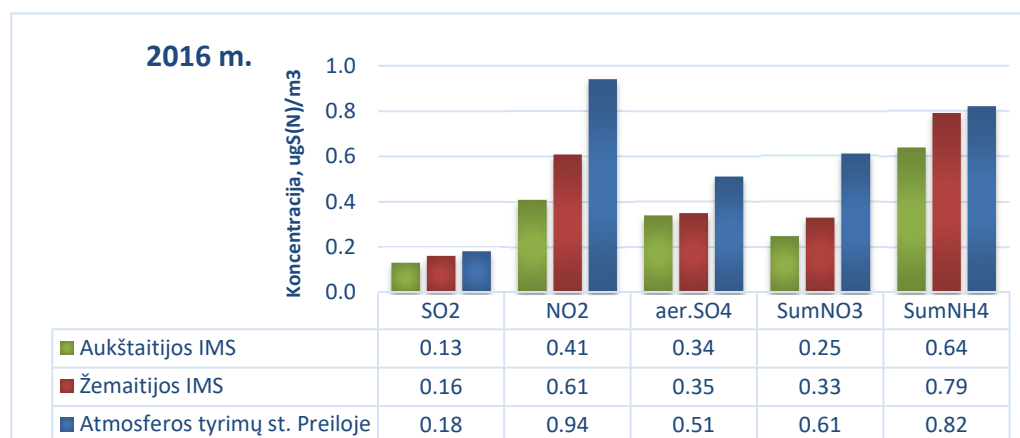
Metai, mėnuo	SO ₂	aerSO ₄	NO ₂	SumNO ₃	SumNH ₄	Na	K	Ca
	μgS/m ³		μgN/m ³			μgN/m ³		
2016.01	0,37	0,87	1,61	1,18	1,00	1,75	0,25	0,20
2016.02	0,16	0,51	0,90	0,57	0,59	2,26	0,17	0,19
2016.03	0,25	0,64	1,16	1,25	1,48	1,13	0,18	0,16
2016.04	0,26	0,41	1,06	0,91	0,82	1,24	0,13	0,25
2016.05	0,11	0,41	0,82	0,60	0,90	0,62	0,10	0,46
2016.06	0,15	0,52	0,63	0,55	0,59	1,12	0,25	0,35
2016.07	0,13	0,49	0,56	0,46	0,53	1,66	0,19	0,29
2016.08	0,15	0,51	0,61	0,35	0,68	1,93	0,29	0,18
2016.09	0,16	0,41	0,85	0,40	0,78	1,27	0,12	0,29
2016.10	0,13	0,45	0,73	0,39	1,51	0,70	0,12	0,10
2016.11	0,18	0,47	1,06	0,41	0,64	1,74	0,16	0,13
2016.12	0,11	0,49	1,28	0,47	0,52	2,96	0,19	0,24



12 pav. Dujinių ir aerosolinių teršalų mėnesio vidutinių koncentracijų ore dinamika 2016 m. Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.

Palyginus atmosferos teršalų metines vidutines 2016 m. koncentracijas trijose vietose (13 pav.) matyti, kad Preiloje jų metinės koncentracijos yra didesnės nei Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stotyse. Sieros dioksido vidutinė metinė koncentracija Preiloje yra didesnė nei Žemaitijos ir Aukštaitijos IMS, atitinkamai 28 ir 11 procentų. Azoto dioksido vidutinė metinė koncentracija Preiloje yra daugiau nei 2 kartus didesnė nei Aukštaitijos IMS ir pusantro karto didesnė nei Žemaitijos IMS. Aerosolinių sulfatų metinė koncentracija Žemaitijos ir Aukštaitijos IMS nežymiai (3 %) skiriasi ir yra 33% mažesnės nei Preiloje. Preiloje sum.NO₃ ir sum.NH₄ metinės koncentracijos yra didesnės

nei Aukštaitijos IMS, atitinkamai 59 ir 46 procentais, ir Žemaitijos IMS – 22 – 4 procentų.

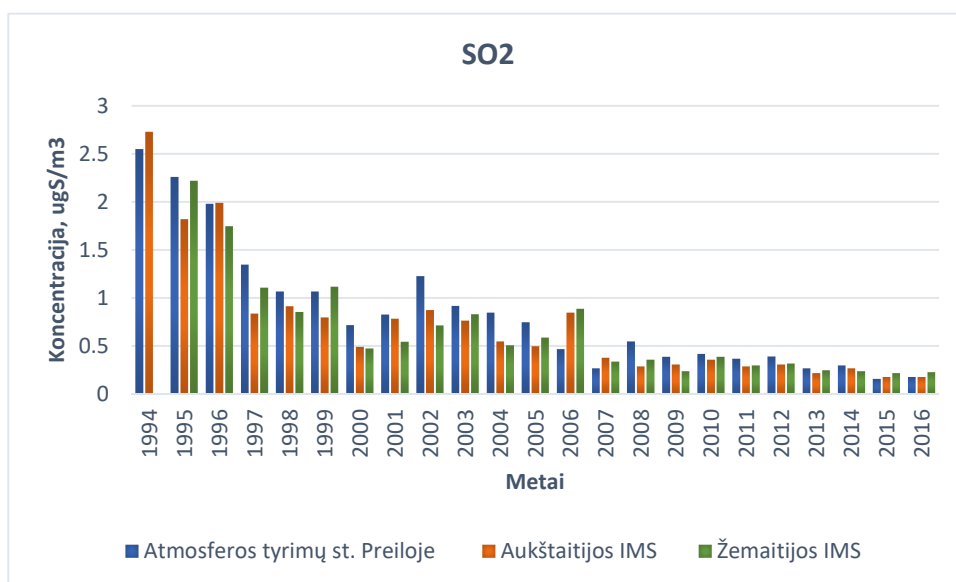


12 pav. Dujinių ir aerosolinių teršalų 2016 metų vidutinės koncentracijos Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje

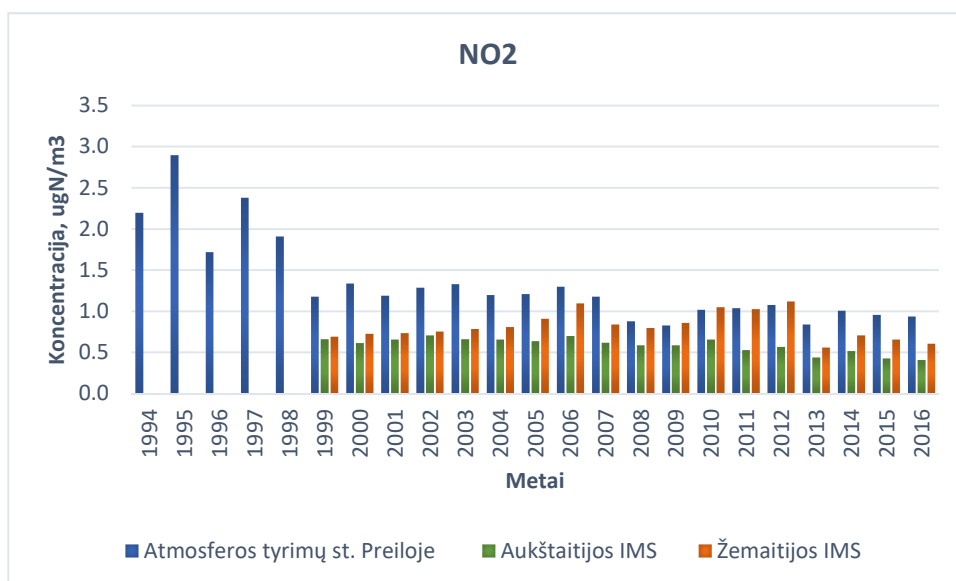
Analizuojant 2010 – 2016 metų tyrimų duomenis stebimas visų tirtų teršalų koncentracijų atmosferoje mažėjimas. Panaudojus tiesinės regresijos lygtį ir septynerių metų tyrimo duomenis Aukštaitijos, Žemaitijos IM stotyse ir Preiloje suskaičiuota, kad sieros dioksido koncentracija mažėja vidutiniškai apie 9 procentus per metus visose tyrimo vietose. Toks mažėjimas, be abejonės, gali būti labiausiai siejamas su SO₂ emisijos mažėjimu V.Europoje. Aerosolinio sulfato koncentracijos taip pat mažėja: Aukštaitijos IMS – 7 procentus per metus, Žemaitijos IMS – 5 procentus per metus ir Preiloje – 8 procentus per metus. Panaši koncentracijų mažėjimo tendencija stebima amoniui. Vertinant nitratų duomenis, gauta, kad šio teršalo koncentracijos taip pat nežymiai mažėja: 5, 2 ir 3 procentai per metus, atitinkamai Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir Preiloje. NO₂ koncentracijos mažėjimo tendencija yra ryškesnė vakarinėje Lietuvoje: 5 % per metus – Preiloje, 6 % per metus – Žemaitijos IMS ir 3 % per metus – Aukštaitijos.

Vertinant dujinių ir aerosolinių teršalų koncentracijų atmosferoje ilgalaikę dinamiką, naudotos vidutinės (aritmetinės) metų koncentracijos. Nepertraukiami nuo 1994 metų atmosferos taršos tyrimų duomenys Preiloje, Aukštaitijos ir Žemaitijos integruoto monitoringo stotyse rodo didelę pagrindinių sieros ir azoto junginių koncentracijų atmosferoje laikinę kaitą. Sieros dioksido, azoto dioksido, sulfatų, sumos nitratų ir sumos amonio metinių koncentracijų ore kaita nuo 1994 m. iki 2016 m. IM stotyse ir Preiloje pateikiama 14 – 18 paveiksluose. Teršalų koncentracijų atmosferoje ilgalaikės kaitos tendencijų ir pokyčių vertinimui naudotas neparametrinis Mann-Kendalio

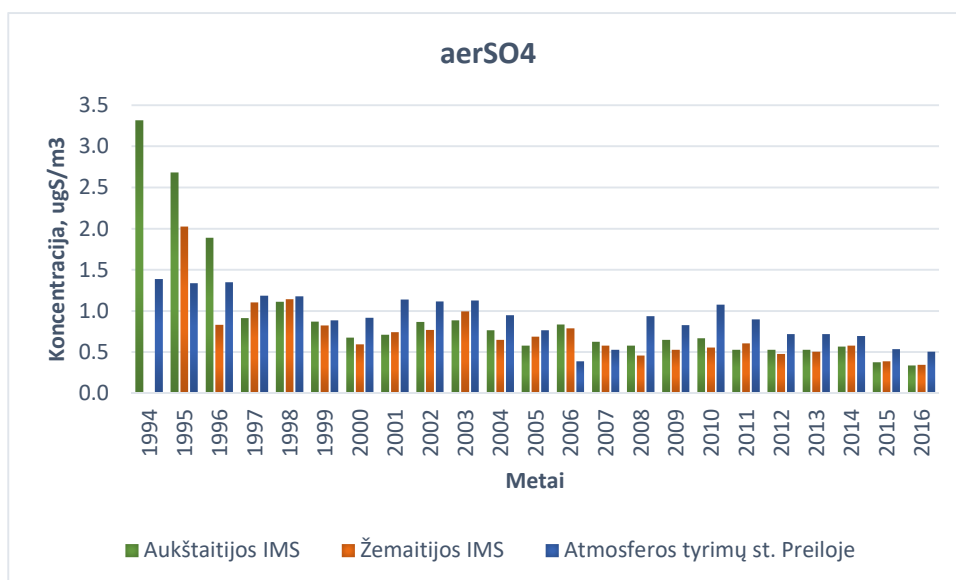
statistinis metodas [7]. Analizuojant sieros dioksido vidutinių metinių koncentracijų kaitą per 23 metų laikotarpį (14 pav.), stebime jų ryškų mažėjimą visose tyrimo vietose: Preiloje sumažėjo nuo 2,55 (1994 m.) iki 0,18 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (2016 m.), Aukštaitijoje – nuo 2,73 (1994 m.) iki 0,13 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (2016 m.) ir Žemaitijoje – nuo 2,22 (1995 m.) iki 0,16 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (2016 m.). Nuo 1994 m. iki 2016 m. SO_2 metinės koncentracijos sumažėjo 98, 91 ir 101 procentais, atitinkamai Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje. Visose trijose tyrimo stotyse ypatingai ryškus sieros dioksido metinių koncentracijų mažėjimas buvo nuo 1994 m. iki 2000 m. ir ženkliai lėtesnis per pastarąjį dešimtmetį. To priežastimi gali būti SO_2 emisijos mažinimo tempai [4]: nuo 1990 m. iki 2014 m. –88 % ir –89 % , o nuo 2013 m. iki 2014m. –11 % ir –10 % , atitinkamai EU-28 ir Lietuvoje.



14 pav. SO_2 metinių koncentracijų atmosferos ore kaita IM stotyse ir Preiloje



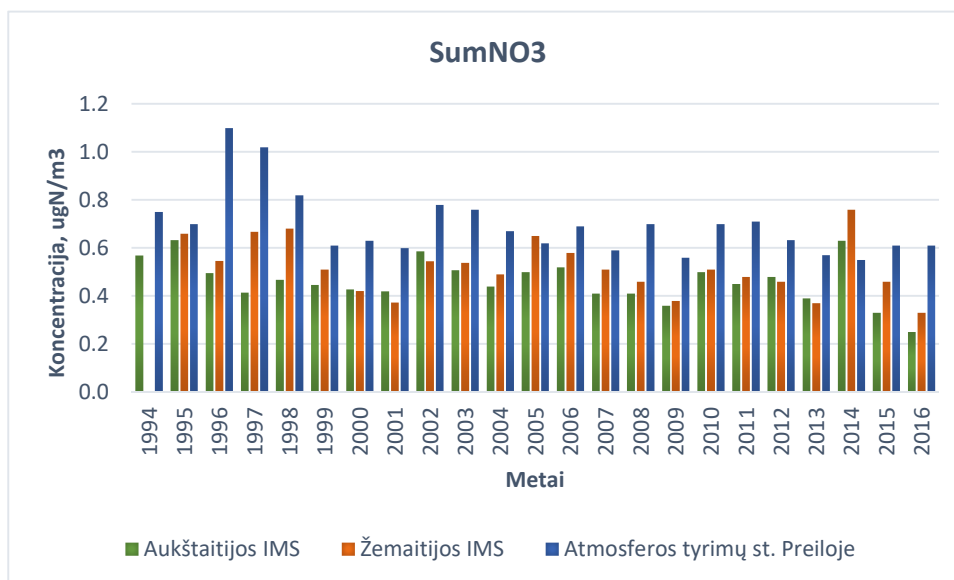
15 pav. NO₂ metinių koncentracijų atmosferos ore kaita IM stotyse ir Preiloje



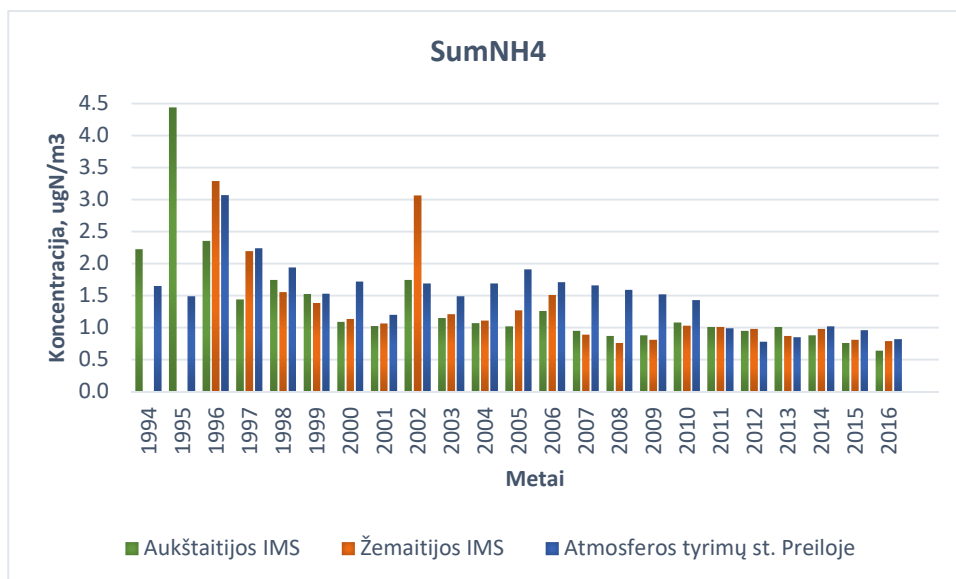
16 pav. aerSO₄²⁻ metinių koncentracijų atmosferos ore kaita IM stotyse ir Preiloje

Azoto dioksido vidutinės metinės koncentracijos 1999 – 2016 m. (15 pav.) Aukštaitijos IMS kito nuo 0,66 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (1999 m.) iki 0,41 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (2016 m.) Nors ir nėra aiškios kryptingos tendencijos NO₂ koncentracijų kaitoje Aukštaitijos IMS, Mann-Kendalio statistinis metodas skaičiuoja jų 32 % mažėjimą per 18 metų. Žemaitijos IMS NO₂ koncentracijų kaitoje statistinio metodo rezultatai rodo 26 % didėjimą per 1999 – 2016 metų laikotarpį. Preiloje azoto dioksido vidutinių metinių koncentracijų kaitos intervalas yra nuo 2,20 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (1999 m.) iki 0,61 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (2016 m.). Statistinis metodas skaičiuoja jų 55 % mažėjimą per 23 metus. Šioje tyrimų vietoje ryškus azoto dioksido koncentracijų mažėjimas buvo nuo 1994 m. iki 1999 m., o per pastaruosius 17 metų, kaip ir IM stotyse, metinės NO₂ koncentracijos kinta be vienašios tendencijos. Tokia NO₂

koncentracijų ore kaitos tendencija gali būti dėl pokyčių NO₂ emisijoje: nuo 1990 m. iki 2014 m. –55 % ir –60 %, o nuo 2013 m. iki 2014 m. –4,7 % ir –0,7 % , atitinkamai EU-28 ir Lietuvoje. Aerosolinių sulfatų metinių koncentracijų kaita rodo (16 pav.) jų mažėjimą nuo 3,32 iki 0,34 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (–74%) Aukštaitijos IMS, nuo 2,03 iki 0,35 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (–64 %) Žemaitijos IMS ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje nuo 0,51 iki 0,51 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (–59 %). 17 paveiksle pateikti duomenys rodo sumos nitrato metinių koncentracijų nevienareikšmę kaitos tendenciją Aukštaitijos bei Žemaitijos stotyse ir Preiloje. Per 23 metų laikotarpį vidutinės metų sumNO₃ koncentracijos Aukštaitijoje kito nuo 0,57 iki 0,25 $\mu\text{gN}\cdot\text{m}^{-3}$ (–30 %), Žemaitijoje nuo 0,66 iki 0,33 $\mu\text{gN}\cdot\text{m}^{-3}$ (–31 %) ir Preiloje kito nuo 1,10 iki 0,61 $\mu\text{gN}\cdot\text{m}^{-3}$ (–27 %).



17 pav. SumNO₃ metinių koncentracijų atmosferos ore kaita IM stotyse ir Preiloje



18 pav. SumNH₄ metinių koncentracijų atmosferos ore kaita IM stotyse ir Preiloje

Vidutinė metinė sumNH₄ koncentracija ore Aukštaitijoje kito nuo 2,23 iki 0,64 µgN/m³, Žemaitijoje nuo 2,20 iki 0,79 µgN/m³, Preiloje – nuo 3,07 iki 0,82 µgN/m³ (18 pav.). Visose stotyse stebima sumNH₄ metinių koncentracijų mažėjimo tendencija per 1994 – 2016 m.: –65, –53 ir –61 procentų, atitinkamai Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stotyse ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.

IŠVADOS

Vertinant atmosferos oro taršos tyrimų duomenis Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje 2016 m., daromos tokios išvados:

- Visiems tirtiems atmosferos ore sieros ir azoto junginiams būdingas didelis koncentracijų kaitos intervalas.
- Ryškiausia sezoninė koncentracijų kaita gauta azoto junginiams (NO_2 , sumNO_3 ir sumNH_4): didžiausios šių teršalų koncentracijos atmosferos ore matuotos per šaltąjį metų laikotarpį.
- Teršalų koncentracijoms atmosferos ore IM stotyse ir Preiloje didžiausią poveikį daro SO_2 ir NO_2 emisijos šaltiniai, kurie yra centrinėje, vakarinėje ir pietiniuose Europos regionuose.
- Teršalų 2016 m. vidutinės metinės koncentracijos Preiloje yra didesnės nei Aukštaitijos ir Žemaitijos IMS. Sieros dioksido vidutinė metinė koncentracija Preiloje yra didesnė nei Žemaitijos ir Aukštaitijos IMS atitinkamai 28 ir 11 procentų. Azoto dioksido vidutinė metinė koncentracija Preiloje yra 2 kartus didesnė nei Aukštaitijos IMS ir pusantro karto didesnė nei Žemaitijos IMS. Preiloje sumNO_3 ir sumNH_4 metinės koncentracijos yra didesnės nei Aukštaitijos IMS, atitinkamai 59 ir 46 procentais, ir Žemaitijos IMS – 22 – 4 procentų.
- SO_2 ir aerSO_4 koncentracijų atmosferos ore mažėjimas Lietuvoje labiausiai yra siejamas su ženkliai 88% SO_2 emisijos mažėjimu per 1990–2014 metų laikotarpį daugumoje centrinės Europos valstybių ir Skandinavijoje.
- Visose stotyse stebima sieros ir azoto junginių (SO_2 , aerSO_4 , NO_2 , sumNO_3 ir sumNH_4), išskyrus azoto dioksido Žemaitijos stotyje, metinių koncentracijų mažėjimo tendencija per 1994 – 2016 metų laikotarpį.
- Tolumų oro teršalų pernešimo į Lietuvą vertinimui, IM stotyse teršalų koncentracijų stebėjimo dažnis turėtų būti nedidesnis nei 24 valandos. Vertinant ir prognozuojant sąlygiškai natūralių ekosistemų būklę bei ilgalaikius pokyčius, būtinas oro baseino užterštumo tyrimų tęstinumas.

LITERATŪRA

1. Mylona S. (1996) Sulphur dioxide emissions in Europe 1880-1991 and their effect on sulphur concentrations and depositions. *Tellus*, 48B, 662-689.
2. Vitousek P., Aber J.D., Howarth R. W., Likens G., Matson P.A., Schindler D.W., Schlesinger W. H. and Tilman D. G. (1997). Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecol. Applic.*, 7, 737-750.
3. Rodhe H., Langner J., Gallardo L. and Kjellstrom E. (1995) Global scale transport of acidifying pollutants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 85, 37-50.
4. EEA Technical report No 16/2016. European Union emission inventory report 1990–2014 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP) ISSN 1977-8449
5. EMEP Manual for Sampling and Chemical Analysis, EMEP/CCC-Report 1/95, Norwegian Institute for Air Research; Kjeller.
6. Draxler, R.R. and Rolph, G.D., 2003. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver (Spring, MD).
7. T. Salmi, A. Maatta, P. Anttila, T. Ruoho-Airola. and T. Amnell, Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates – the excel template application MAKESENS, Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2002, 31.

2. PAGRINDINIŲ CHEMINIŲ PRIEMAIŠŲ FONINIŲ KONCENTRACIJŲ BEI FIZINIŲ PARAMETRŲ ATMOSFEROS IŠKRITOSE IR POLAJINIUOSE KRITULIUOSE TYRIMAI PAGAL EMEP IR ICP IM PROGRAMAS

SANTRAUKA

Krituliams tenka svarbus vaidmuo pernešant chemines priemaišas iš atmosferos į žemės paviršių ir todėl jie yra potencialūs neigiamų efektų sukėlėjai žemės ir vandens ekosistemose. Sąlygiškai natūraliose ekosistemose destrukcijų mastus lemia patenkantis į jas cheminių priemaišų kiekis ir pačių ekosistemų buferinė geba. Tiriant cheminių priemaišų koncentracijas atmosferos krituliuose, įvertinami cheminių priemaišų srautų dydžiai, kurie priklauso nuo priemaišų koncentracijų ore ir krituliuose, o taip pat ir nuo kritulių kiekio. Krituliams krentant per medžių lają, dėl abipusės sąveikos tarp kritulių ir lajos, kinta jų cheminė sudėtis ir tuo pačiu cheminių priemaišų kiekiai iškritose į miško paklotę.

Atmosferos kritulių tyrimai 2016 m. vykdyti Aukštaitijos integruoto monitoringo stotyje (LT01), Žemaitijos integruoto monitoringo stotyje (LT03) ir Atmosferos užterštumo tyrimo stotyje Preiloje, kurios kodas Europos foninio monitoringo tinkle yra LT15. Atmosferos krituliuose, o taip pat ir po miško laja rinktuose krituliuose, tirtos tokių pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos: sulfatų (SO_4^{2-}), nitratų (NO_3^-), chloridų (Cl^-), amonio (NH_4^+), natrio (Na^+), kalio (K^+), magnio (Mg^{2+}), kalcio (Ca^{2+}), pH ir kritulių savitasis laidumas.

Visoms pagrindinėms cheminėms priemaišoms nustatytas didelis koncentracijų krituliuose kaitos intervalas. pH kritulių metinės vertės tokios: Aukštaitijos IMS – 5,17, Žemaitijos IMS – 5,08, Preiloje – 4,94 ir tai rodo, kad 2016 m. rūgščiausi krituliai buvo Preiloje. Nedideli skirtumai matomi tarp cheminių komponentų koncentracijų (išskyrus Na^+ ir Cl^-) Aukštaitijos ir Žemaitijos IMS rinktuose krituliuose. Preiloje, sulfatų, nitratų, chloridų, natrio ir magnio koncentracijos yra ženkliai didesnės nei Aukštaitijoje ir Žemaitijoje. Natrio ir chlorido koncentracijos Preiloje dėl Baltijos jūros įtakos yra atitinkamai 8 kartus didesnės nei Aukštaitijoje ir apie 4 kartus nei Žemaitijoje. Didesnės magnio koncentracijos Preiloje nei Aukštaitijoje ir Žemaitijoje taip pat gali būti siejamos su jų išnešimu iš Baltijos jūros. Stebima ryški koncentracijų didėjimo tendencija vakarų kryptimi sulfatų, nitratų, chloridų, natrio ir magnio teršalų metinių koncentracijų erdvinėje kaitoje.

Nagrinėjant pagrindinių cheminių priemaišų šlapiose iškritose 2016 m. erdvinę kaitą, nustatyta, kad metiniai pagrindinių cheminių komponentų srautai, išskyrus kalio – Preiloje ir Žemaitijos IM stotyje yra didesni nei Aukštaitijoje. Metiniai sulfatų srautai Preiloje yra atitinkamai 1,9 ir 1,6 karto didesni nei Aukštaitijoje ir Žemaitijoje, nitratų srautai – atitinkamai didesni 1,8 ir 1,2 karto.

Nustatyta, kad krentant atmosferos krituliams per medžių lają, cheminių priemaišų, išskyrus azoto junginius, kiekiai iškritose į polajį yra iki 14 kartų didesni nei atviroje vietoje. Abiejose IMS didelis padidėjimas iškritose kalio (K^+) rodo šio elemento išplovimą krituliais iš lajos. Azoto junginių absorbcija lajoje gali būti priežastimi mažesnių azoto junginių kiekių iškritose į miško paklotę nei atviroje vietoje. Pagrindinių cheminių priemaišų srautai į miško paklotę abiejose IM stotyse 2016 m. yra netolygūs kritulių kiekiui; esant 1,3 karto didesniai kritulių metiniam kiekiui Žemaitijos IMS nei Aukštaitijos IMS, į polajį Žemaitijoje patenka apie 3 kartus daugiau sieros, 1,7 – azoto, 4 – kalio ir natrio, 2,1 – magnio ir 2,8 karto daugiau kalcio. Šie skirtumai tarp stočių gali būti dėl lajos skirtingos struktūros: Aukštaitijos IMS vyrauja pušys su ažūrinėmis lajomis ir mažu lapijos ploto indeksu, o Žemaitijos IMS – eglės su tankiomis lajomis ir dideliu lapijos ploto indeksu.

IVADAS

Sąlygiškai natūraliose ekosistemose destrukcijų mastus lemia patenkantis į jas cheminių priemaišų kiekis ir pačių ekosistemų buferinė geba. Koncentruodami atmosferoje esančias vandenyje tirpias chemines priemaišas, krituliai grąžina jas sausumos ir vandens ekosistemoms. Tiriant cheminių priemaišų koncentracijas atmosferos krituliuose, įvertinami teršalų srautų dydžiai iš atmosferos į ekosistemas, kurie priklauso nuo priemaišų koncentracijų ore ir krituliuose, o taip pat ir nuo kritulių kiekio. Atmosferos kritulių žemas pH vertes daugiausiai lemia oksiduoti sieros ir azoto junginiai.

Atmosferos kritulių tyrimai 2016 m. vykdyti Aukštaitijos integruoto monitoringo stotyje (LT01), Žemaitijos integruoto monitoringo stotyje (LT03) ir atmosferos užterštumų tyrimo stotyje Preiloje, kurios kodas Europos monitoringo tinkle yra LT15. Kritulių cheminės sudėties tyrimo tikslai tokie: gauti informaciją apie teršalų koncentracijas krituliuose, nustatyti erdvinis ir laikinius teršalų koncentracijų pokyčius, teršalų atmosferinius srautus į sąlygiškai natūralias ekosistemas ir miško paklotę. Krituliuose atviroje vietoje ir krituliuose po miško laja, tirtos tokių pagrindinių cheminių

priemaišų koncentracijos: sulfatų (SO_4^{2-}), nitratų (NO_3^-), chloridų (Cl^-), amonio (NH_4^+), natrio (Na^+), kalio (K^+), magnio (Mg^{2+}) ir kalcio (Ca^{2+}). Matuotas kritulių savitasis laidumas ir pH. Vandenilio (H^+) jonų koncentracija skaičiuota iš matuotų pH verčių.

DARBO METODIKA

Siekiant sumažinti teršalų sausųjų iškritų iš atmosferos patekimą į kritulių rinktuvą, Integruoto Monitoringo stotyse (IMS) ir Preiloje krituliai buvo renkami į rinktuvus su dangčiais, kurie automatiškai atsidaro prasidėjus lietui ar sniegui ir užsidaro, pasibaigus krituliams. Preiloje kritulių rinkimui naudojamas automatinis rinktuvas ARS 1500 (MTX Italija).

IM stotyse krituliai rinkti iškritę per savaitę, o Preiloje – per parą. Vykdamat atmosferos iškritų tyrimus Aukštaitijos IM stotyje surinkta 48 ir Žemaitijos IM stotyje – 40 atmosferos kritulių savaitiniai bandiniai per 2016 m. ir Preiloje – 93 atmosferos kritulių paros bandiniai. Polajinių kritulių monitoringas Lietuvoje vykdytas dviejose IM stotyse: Aukštaitijos IMS ir Žemaitijos IMS. Atmosferos krituliai rinkti kiekvieną mėnesį į penkis rinktuvus pastatytus vienoje linijoje kas 10 m po miško laja ir į vieną rinktuvą atviroje vietoje. Apjungiant tyrimų duomenis iš penkių po laja esančių rinktuvų mažinama kurio nors vieno medžio lajos įtaka rezultatų tikslumui ir gaunami rezultatai atspindi tiriamojo miško lajos poveikį atmosferos kritulių cheminei sudėčiai ir teršalų srautams į miško paklotę. Tęsiant polajinių kritulių tyrimus per 2016 m. abiejose IM stotyse buvo surinkti po 72 kritulių bandinius, t.y. po 60 bandinių po laja ir po 12 – atviroje vietoje.

Atmosferos ir polajinių kritulių bandiniai, surinkti Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stotyse, buvo tiriami į Aplinkos apsaugos agentūros aplinkos tyrimų departamente. Krituliai, kurie buvo renkami Preiloje, analizuoti Fizinių ir technologijos mokslų centro Fizikos institute. Anijonų (sulfatų, nitratų ir chloridų) koncentracijos krituliuose nustatomos jonų chromatografijos metodu, naudojant jonų mainų chromatografą “DIONEX 2011i” su kolonėlėmis AG4A-SC ir AS4A-SC, konduktometrinių detektorių. Amonio koncentracijų nustatymui indofenoliniu metodu naudotas spektrofotometras “SPECORD 210 PLUS”, pH matavimams naudotas laboratorinis skaitmeninis pH-metras 320 PerpHecT su kombinuotu PerpHecT Ross elektrodu, kalibruojant jį su standartais pH = 4,0 ir pH = 7,0. Natrio, kalio ir kalcio koncentracijų tyrimui naudotas liepsnos

fotometras PAŽ 2, magnio koncentracijos nustatytos Perkin-Elmer firmos atominiu absorbciniu spektrofotometru Zeeman/3030.

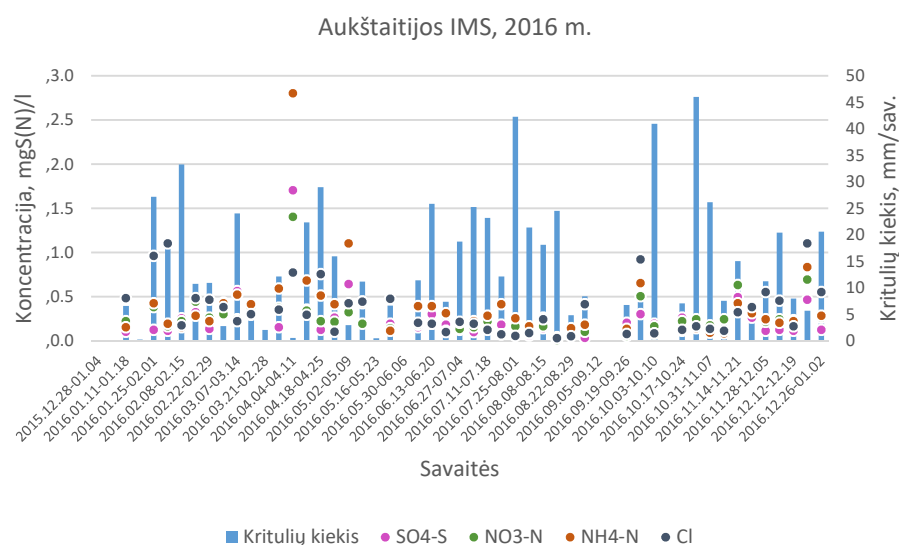
Cheminių priemaišų radimo ribos atmosferos krituliuose yra tokios: SO_4^{2-} – 0,02 mgS/l, NO_3^- – 0,013 mgN/l, Cl^- – 0,01 mg/l, NH_4^+ – 0,04 mgN/l, Na^+ – 0,02 mg/l, K^+ – 0,02 mg/l, Ca^{2+} – 0,02 mg/l, Mg^{2+} – 0,001 mg/l. Atmosferos kritulių bandiniai rinkti ir pagrindinių cheminių teršalų koncentracijos juose tirtos pagal EMEP bei WMO/GAW rekomendacijas. Įvertintas kiekvienos tiriamos krituliuose cheminės komponentės koncentracijos matavimo patikimumas ir tikslumas, analizuojant sintetinį lietų (EMEP ir WMO tinklo standartai) su žinomomis komponentių koncentracijomis. Analizuojamų komponentių koncentracijų nuokrypis nuo tikrosios jų vertės neviršijo 10 %. Kiekvieno bandinio cheminės analizės kokybė įvertinta pagal teigiamų ir neigiamų jonų koncentracijų ($\mu\text{ekv/l}$) balansą.

Nagrinėjant SO_4^{2-} koncentracijas Preiloje buvo įvertinamas šio teršalo įnašas iš Baltijos jūros. Jūrinės kilmės sulfatų kiekis krituliuose skaičiuojamas naudojant atitinkamus koeficientus pagal Na^+ arba Cl^- koncentracijas kritulių bandinyje. Atėmus jūrinės kilmės SO_4^{2-} - S_{sea} kiekį iš matuoto SO_4^{2-} - S_{tot} kiekio kritulių bandinyje, gauname neįūrinės kilmės sulfatų koncentracijas, kurias žymime SO_4^{2-} - S_{nss} . Šioje ataskaitoje pateikiamos teršalų savaitės ir mėnesių vidutinės tūrinės koncentracijos, kurios skaičiuotos pagal kiekvienos savaitės (IM stotyse) ir dienos (Preiloje) teršalo koncentraciją krituliuose ir kritulių kiekį, o taip pat ir vidutinės 2016 m. metinės koncentracijos, įvertinant metinį kritulių kiekį.

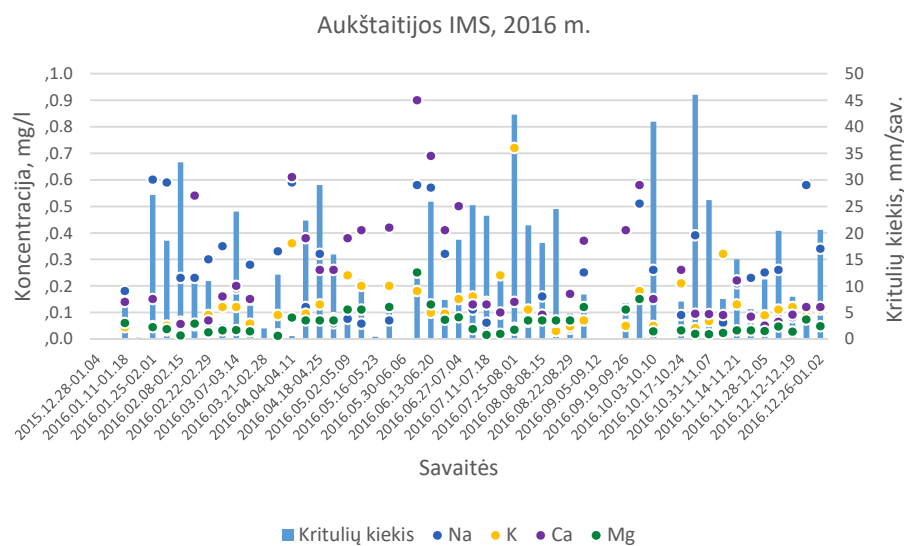
2.1 PAGRINDINIŲ CHEMINIŲ PRIEMAIŠŲ FONINIŲ KONCENTRACIJŲ BEI FIZINIŲ PARAMETRŲ ATMOSFEROS IŠKRITOSE TYRIMAI

TYRIMŲ REZULTATAI

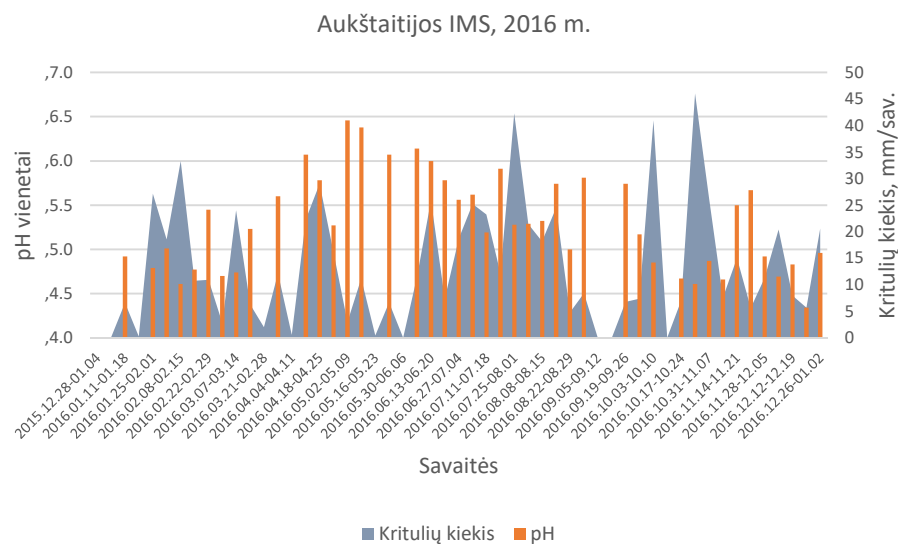
Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų savaitės kritulių bandiniuose Aukštaitijos IM stotyje kaita pateikta 1 ir 2 pav. Cheminių komponentų koncentracijos kito tokiuose intervaluose: sulfatai nuo 0,01 iki 1,70 mgS/l, nitratai nuo 0,003 iki 1,40 mgN/l, amonis nuo 0,04 iki 2,80 mgN/l, chloridas nuo 0,03 iki 1,10 mg/l, natriis nuo 0,04 iki 0,60 mg/l, kalis nuo 0,03 iki 0,72 mg/l, kalcis nuo 0,02 iki 0,90 mg/l ir magnis nuo 0,01 iki 0,25 mg/l. Šią gan ryškia pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų kaitą per 2016 m. daugiausia lėmė kritulių kiekis. Pateiktų pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų kaitoje ženkliai didesnės sulfatų, nitratų ir amonio koncentracijos nei 2016 m. vidutinės koncentracijos (atitinkamai 0,15 mgS/l, 0,18 mgN/l ir 0,24 mgN/l) matuotos balandžio 4 – 11 d., gegužės 2 – 9 d., gruodžio 19 – 26 d., esant mažam kritulių kiekiui, atitinkamai 0,5 mm/sav., 2,9 mm/sav. ir 5,7 mm/sav. Mažiausios sulfatų, nitratų ir amonio koncentracijos nustatytos liepos 25 – rugpjūčio 1 d., spalio 3 – 10 d., spalio 24 – 31 d., esant kritulių kiekiui atitinkamai 42,3, 41,0 ir 46,0 mm/sav. Kitų pagrindinių cheminių priemaišų (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^-) koncentracijų kaita savaitės bandiniuose analogiška SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ .



1 pav. SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ koncentracijų ir kritulių kiekio kaita savaitės bandiniuose Aukštaitijos IMS.



2 pav. Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻ koncentracijų ir kritulių kiekio kaita savaitės bandiniuose Aukštaitijos IMS.

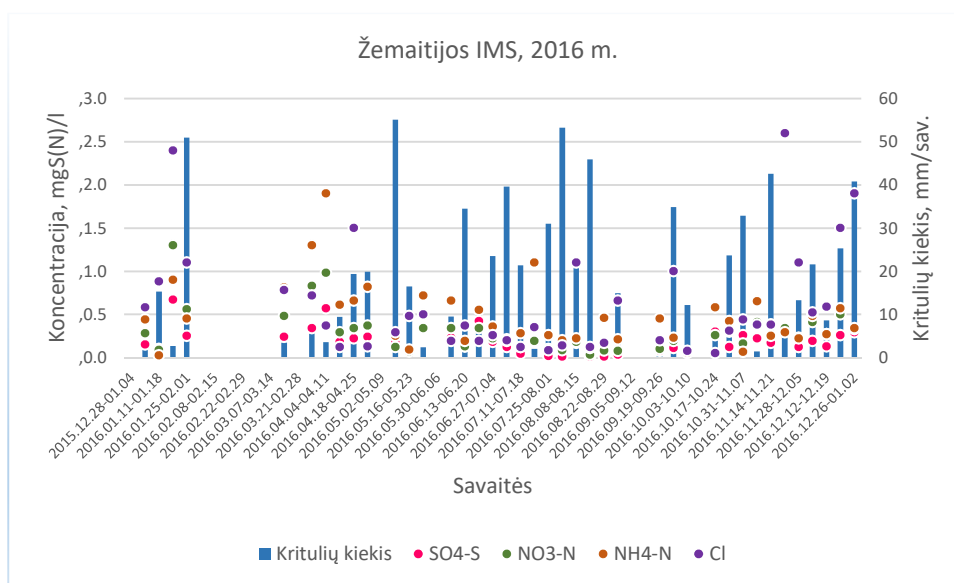


3 pav. pH ir kritulių kiekio kaita savaitės bandiniuose Aukštaitijos IMS.

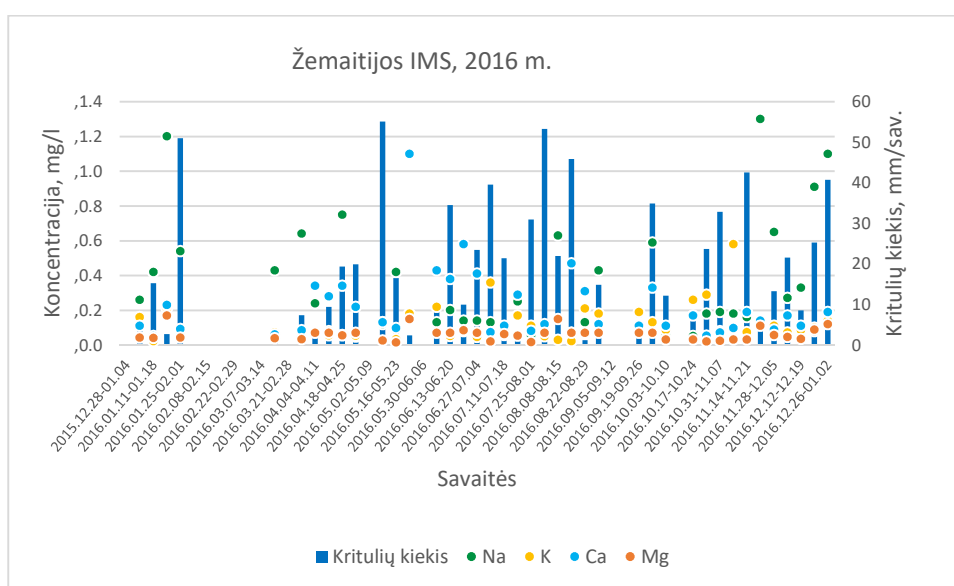
Aukštaitijos IM stotyje kritulių pH vertės savaitės bandiniuose kito nuo 4,34 iki 6,46 (3 pav.). Rūgštūs krituliai, kurių pH vertės buvo mažesnės nei 5,0, vyravo sausio, spalio, lapkričio ir gruodžio mėn. Per kitus metų mėnesius kritulių pH kito nuo 5,26 iki 6,46.

Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų krituliuose kaita savaitės mėginiuose Žemaitijoje (4 ir 5 pav.) gauta tokia: sulfatams nuo 0,01 iki 0,67 mgS/l, nitratams nuo 0,03 iki 1,30 mgN/l, amoniui nuo 0,02 iki 1,90 mgN/l, chloridui nuo 0,05

iki 2,60 mg/l, natriui nuo 0,05 iki 1,30 mg/l, kaliui nuo 0,02 iki 0,58 mg/l, kalciui nuo 0,05 iki 4,90 mg/l ir magniui nuo 0,01 iki 0,17 mg/l. Didelių koncentracijų epizodai, SO_4^{2-} , NO_3^- ir NH_4^+ koncentracijos buvo kelis kartus didesnės nei 2016 m. vidutinės, atitinkamai 0,16 mgS/l, 0,24 mgN/ ir 0,32 mgN/l, ypatingai sausio mėn. 18 – 25 d., balandžio mėn. 4 d. – 11 ir lapkričio mėn. 7 – 14 d., kritulių per šias savaites buvo atitinkamai 2,7, 3,6 ir 1,4 mm. Mažiausios sulfatų, nitratų ir amonio koncentracijos nustatytos rugpjūčio mėn. 1 – 8 ir 15 – 22 dienomis, esant kritulių kiekiui atitinkamai 53,3, ir 45,9 mm/sav.

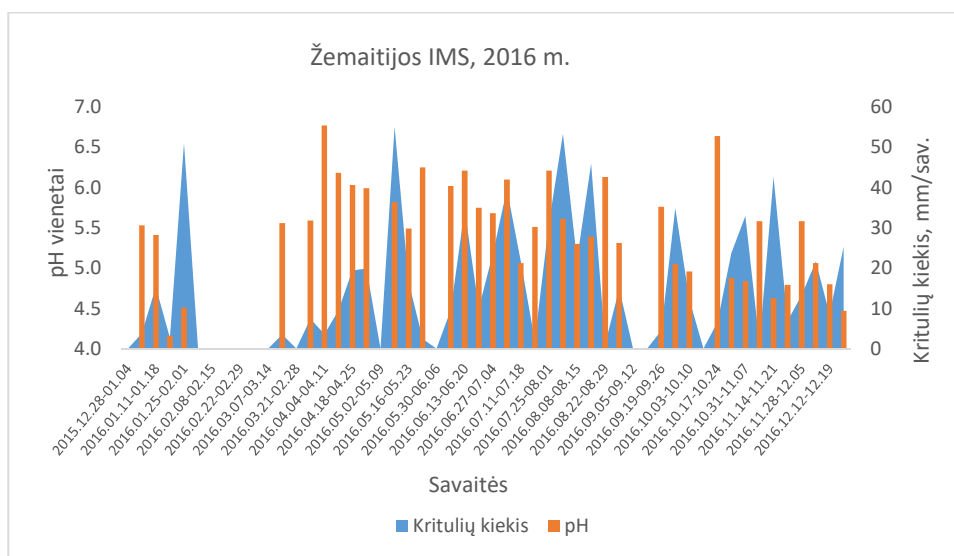


4 pav. SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Cl^- koncentracijų ir kritulių kiekio kaita savaitės bandiniuose Žemaitijos IMS.



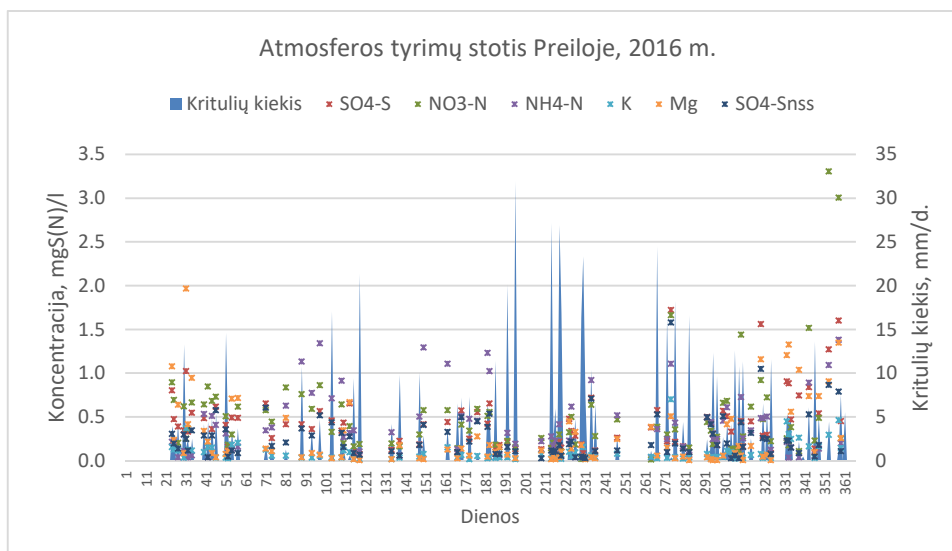
5 pav. Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , koncentracijų ir kritulių kiekio kaita savaitės bandiniuose Žemaitijos IMS.

Žemaitijos IMS stotyje kritulių pH vertės savaitės bandiniuose kito nuo 4,16 iki 6,77 (6 pav.) Krituliai, kurių pH vertės buvo mažesnės nei 5,0, vyravo spalio – gruodžio mėn. Per kitus metų mėnesius iškritusių kritulių pH vertė kito nuo 5,0 iki 6,77.

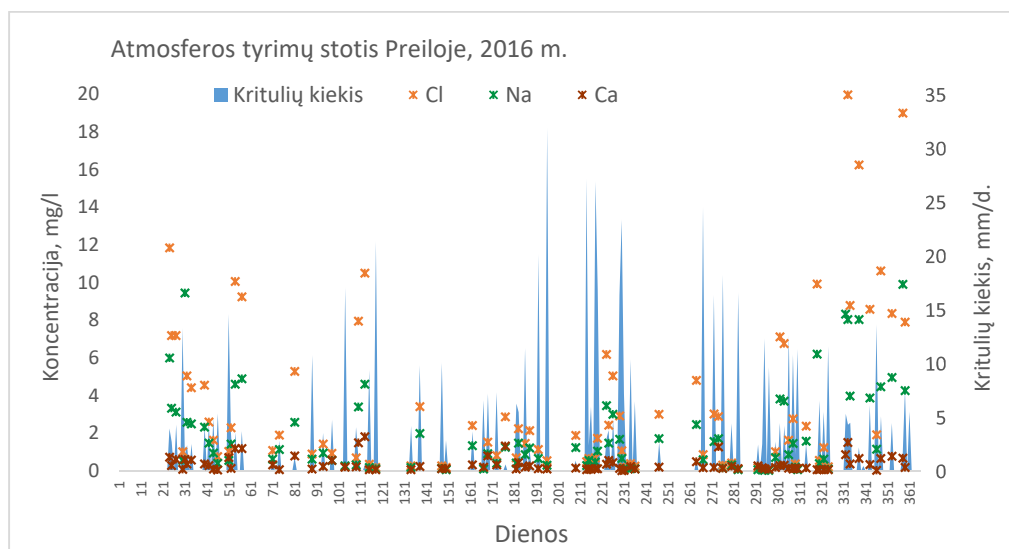


6 pav. pH ir kritulių kiekio kaita savaitės bandiniuose Žemaitijos IMS.

Preiloje (7 ir 8 pav.) cheminių priemaišų koncentracijos krituliuose kito gan dideliame intervale: sulfatai nuo 0,04 iki 1,72 mgS/l, nitratai nuo 0,02 iki 3,31 mgN/l, amonis nuo 0,04 iki 1,38 mgN/l, chloridas nuo 0,08 iki 22,21 mg/l, natris nuo 0,04 iki 9,92 mg/l, kalis nuo 0,02 iki 0,70 mg/l, kalcis nuo 0,02 iki 1,82 mg/l ir magnis nuo 0,01 iki 1,97 mg/l. Gretindami kritulių kiekį ir teršalų koncentracijas galime matyti, kad kelis kartus didesnės nei 2016 m. vidutinės tiriamų komponentų koncentracijos matuotos sausio mėn. 24 – 26 d., rugsėjo mėn. 30 – spalio 1 d., lapkričio mėn. 14 – 15 d., gruodžio mėn. 18 – 19 d. ir 23 – 24 d., esant kritulių kiekiui mažesniai nei 5 mm per dieną.

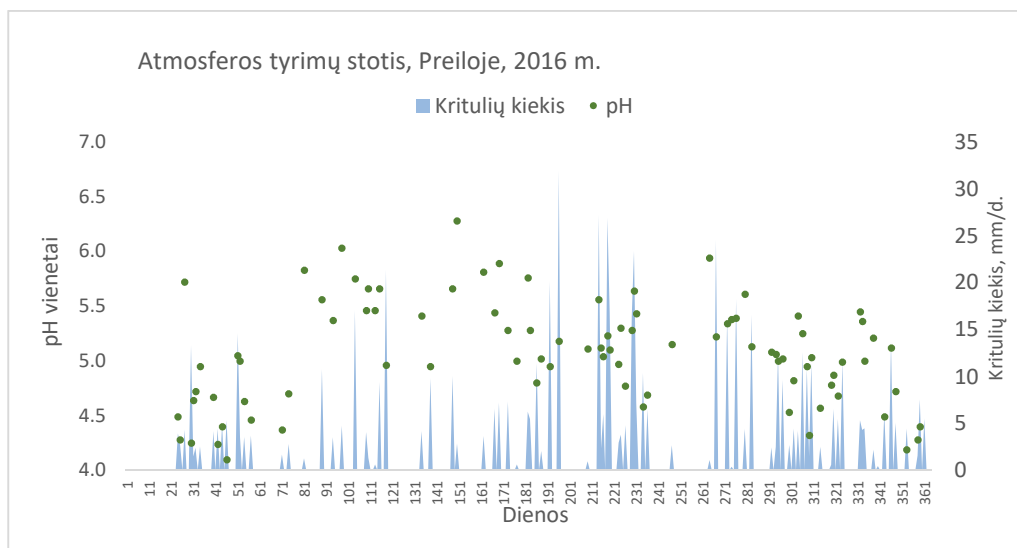


7 pav. SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} koncentracijų ir kritulių kiekio kaita vienos paros bandiniuose atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.

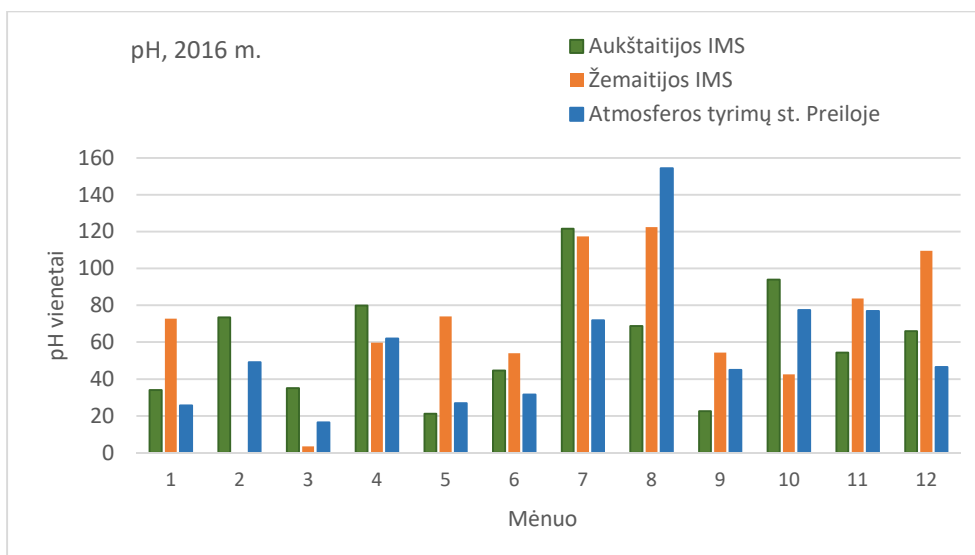


8 pav. Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- koncentracijų ir kritulių kiekio kaita vienos paros bandiniuose atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.

Preiloje kritulių pH vertės paros bandiniuose kito nuo 4,10 iki 6,28 (9 pav.). Rūgštūs krituliai ($\text{pH} < 5,0$) vyravo sausio – kovo ir lapkričio – gruodžio mėn. Per kitus metų mėnesius iškritusių kritulių pH vertės daugeliu lietaus atvejų kinto 5,0 iki 5,4.



9 pav. pH ir kritulių kiekio kaita vienos paros bandiniuose atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.



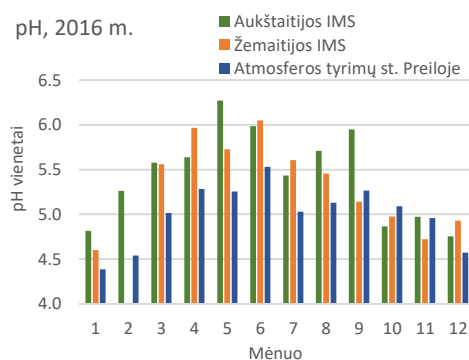
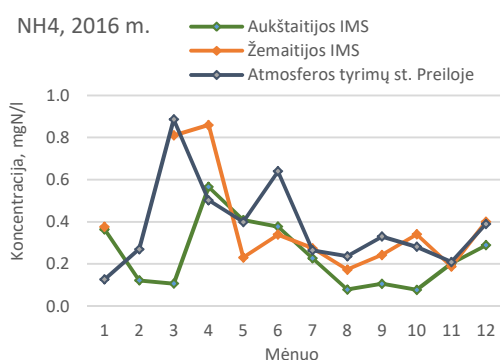
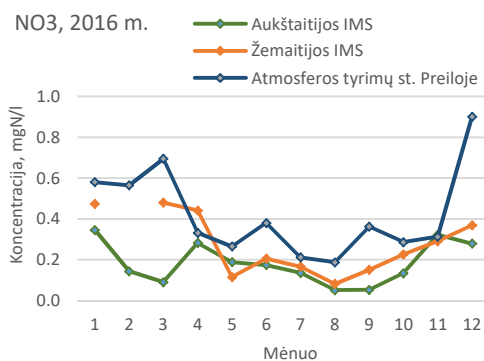
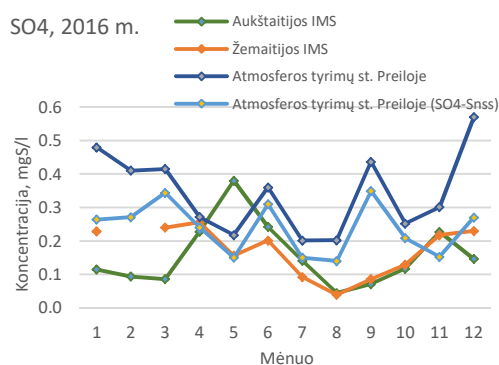
10 pav. Kritulių kiekio sezoninė kaita Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.

Cheminių priemaišų koncentracijas krituliuose ir jų kiekius šlapiosiose iškritose daugiausiai veikia jų koncentracijos ore ir kritulių kiekis. Pateikti 10 pav. duomenys rodo, kad didžiausi kritulių kiekiai 2016 m. iškrito per liepos ir rugpjūčio mėnesius: Žemaitijoje atitinkamai 118 ir 122 mm, Aukštaitijoje – 122 mm per liepos mėnesį ir Preiloje – 157 mm per rugpjūčio mėn. Mažiausias kritulių kiekis Aukštaitijoje buvo gegužės mėn. (21 mm). Žemaitijoje ir Preiloje mažiausiai lijo kovo mėn., atitinkamai 3,5 ir 17 mm. Metinis kritulių kiekis 2016 m. buvo Aukštaitijos IMS – 715,7 mm, Žemaitijos IMS – 794,1 mm ir Preiloje – 683,9 mm.

Pagrindinių priemaišų koncentracijų ir jų atmosferinių iškritų į sąlygiškai natūralias ekosistemas erdviųjų ir laikinių pokyčių vertinimui, skaičiavome svertines pagal kritulių kiekį kiekvieno mėnesio vidutines koncentracijas. Sezoninė koncentracijų kaita visose kritulių tyrimo vietose ryškiausiai matoma sulfatams, nitratams ir pH. Sulfatų, nitratų ir amonio koncentracijos atmosferos krituliuose matuotos didesnės nei 2016 metų vidutinės šaltuoju metų laiku. Esantį tamprų ryšį tarp amonio ir sulfatų, amonio ir nitratų jonų rodo suskaičiuoti teigiami koreliacijos tarp jų koncentracijų krituliuose koeficientai: tarp amonio ir sulfatų – 0,93, 0,81, 0,48 ir tarp amonio ir nitratų koncentracijų – 0,88, 0,78, 0,65, atitinkamai Aukštaitijos, Žemaitijos IMS ir Preiloje.

Tyrimų duomenys rodo, kad Aukštaitijos IM stotyje sulfatų koncentracijos, didesnės nei 2016 m. vidutinė (0,15 mgS/l) buvo balandžio – birželio ir lapkričio mėnesiais. Per kitus mėnesius sulfatų koncentracijos kito nuo 0,04 iki 0,15 mgS/l. Žemaitijos IM stotyje didžiausia sulfatų koncentracija (0,26 mgS/l) gauta balandžio mėn.

Preiloje šios komponentės didžiausios koncentracijos (0,57 mgS/l) gautos gruodžio mėn. Sausio – kovo mėn. gautos taip pat didelės sulfatų koncentracijos, atitinkamai 0,48 mgS/l, 0,41 mgS/l ir 0,42 mgS/l. Per kitus mėnesius sulfatų koncentracijos Preiloje kito nuo 0,20 iki 0,36 mgS/l, esant metų vidutinei koncentracijai – 0,30 mgS/l. Įvertinus Baltijos jūros įnašą, kuris kito nuo 1 iki 91%, SO₄-S_{ns} metinė koncentracija yra 0,21 mgS/l.



11 pav. SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ koncentracijų ir pH sezoninė kaita Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.

Nitratinio azoto koncentracijų sezoninėje kaitoje (11 pav.) didžiausios koncentracijos matuotos Žemaitijos IMS ir Preiloje per sausio – kovo ir gruodžio mėnesius, Aukštaitijos IMS, esant ženkliai didesniai kritulių kiekiui nei Žemaitijos IMS ir Preiloje vasario ir kovo mėnesiais matuotos mažesnės koncentracijos nei metų vidutinė (0.18 mgN/l).

Didžiausios per 2016 m. amonio azoto koncentracijos Aukštaitijos IMS buvo balandžio (0,57 mgN/l), gegužės (0,41 mgN/l) mėnesiais, Žemaitijos IMS – kovo (0,81 mgN/l, balandžio (0,86 mgN/l) mėnesiais, Preiloje – kovo (0,89 mgN/l ir birželio (0,64

mgN/l), esant metų vidutinei koncentracijai Aukštaitijos IMS – 0,24 mgN/l, Žemaitijos IMS – 0,32 mgN/l ir Preiloje – 0,32 mgN/l.

Sezoninė kritulių pH kaita matoma visose tyrimų vietose. Rūgštūs lietūs (pH<5.0) vyravo šaltuoju metų laiku sausio – vasario ir spalio – gruodžio mėn. Šiltuoju metų laiku IM stotyse, didėjant neutralizuojančių rūgštis teršalų (NH₃, Ca²⁺) emisijai į atmosferą iš vietinių šaltinių, vyravo krituliai, kurių pH>5,0.

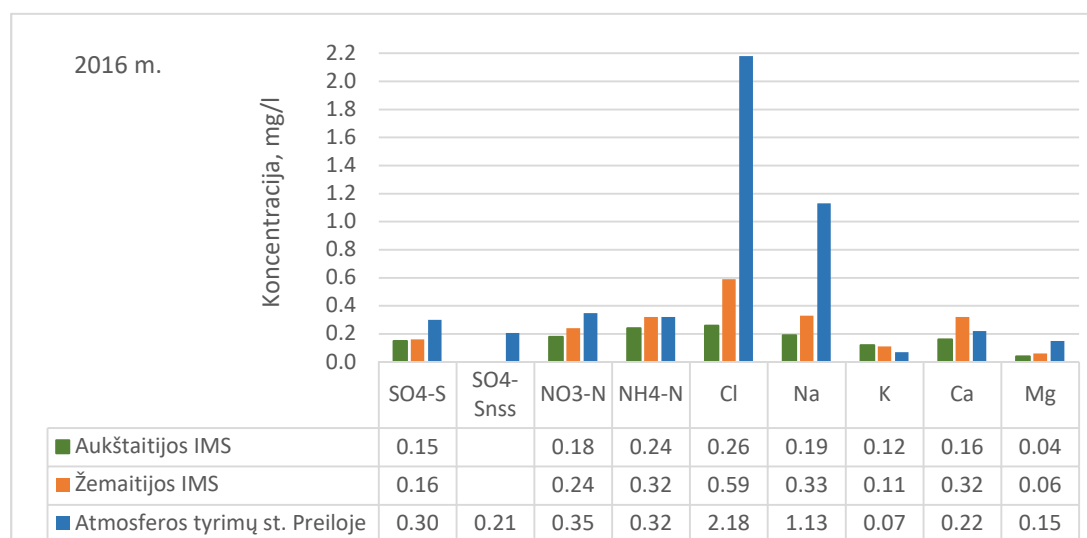


12 pav. Na⁺, Cl⁻, Ca²⁺ ir K⁺ koncentracijų sezoninė kaita Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.

12 pav. pateikti duomenys rodo, kad Na⁺ ir Cl⁻ vidutinės mėnesio koncentracijos Preiloje yra ženkliai didesnės nei Aukštaitijos ir Žemaitijos IMS. Stiprus teigiamas koreliacinis ryšis tarp Na ir Cl jonų Preiloje (0,99) ir Žemaitijos IMS (0,97), ir šiek tiek silpnesnis (0,75) Aukštaitijos IMS patvirtina šių jonų krituliuose jūrinę kilmę. Tai siejama su intensyvesniu šių cheminių komponentų išnešimu iš Baltijos jūros. Akivaizdi Baltijos jūros įtaka ir Žemaitijos regionui. Na⁺ ir Cl⁻ mėnesio vidutinių koncentracijų sezoninėje kaitoje (12 pav.) didesnės nei 2016 m. vidutinės gautos per šaltąjį laikotarpį. 2016 m. vidutinės koncentracijos Na⁺ ir Cl⁻ gautos tokios: Aukštaitijos IMS – 0,19, ir 0,26 mg/l, Žemaitijos IMS – 0,33 ir 0,59 mg/l, Preiloje – 1,13 ir 2,18 mg/l. Dėl Baltijos jūros įtakos

Preiloje ir kalčio jonų vidutinės mėnesio koncentracijos šaltuoju metų laiku didesnės nei Aukštaitijos ir Žemaitijos IMS. Kalio jonų vidutinių mėnesio koncentracijų krituliuose eigoje stebimas mažesnis kaitos intervalas nei kitoms komponentėms, esant metų vidutinei 2016 metų koncentracijai Aukštaitijos IMS – 0,12 mg/l, Žemaitijos IMS – 0,11 mg/l ir Preiloje – 0,07 mg/l. Didelių kalio jonų koncentracijų priežastimi gali būti didesni kritulių kiekiai per mėnesį.

Duomenys 13 pav. rodo pagrindinių cheminių priemaišų vidutinių metinių, svertinių pagal kritulių kiekį, koncentracijų atmosferos krituliuose erdvinę kaitą.



13 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų vidutinių metinių koncentracijų, svertinių pagal kritulių kiekį, erdvinė kaita.

Nedideli skirtumai matomi tarp cheminių komponentių koncentracijų (išskyrus Na^+ ir Cl^-) Aukštaitijos IMS ir Žemaitijos IMS rinktuose krituliuose. Preiloje, sulfatų, nitratų, chloridų, natrio ir magnio koncentracijos yra ženkliai didesnės nei Aukštaitijoje ir Žemaitijoje. Natrio ir chlorido koncentracijos Preiloje dėl Baltijos jūros įtakos yra atitinkamai 8 kartus didesnės nei Aukštaitijoje ir apie 4 kartus nei Žemaitijoje. Didesnės magnio koncentracijos Preiloje nei Aukštaitijoje ir Žemaitijoje taip pat gali būti siejamos su jų išnešimu iš Baltijos jūros. Metinės vidutinės pagal kritulių kiekį H^+ koncentracijos ($\mu\text{ekv/l}$) buvo tokios: 6,82 (Aukštaitijos IMS), 8,23 (Žemaitijos IMS) ir 11,53 (Preila) ir atitinkamai pH vertės yra 5,17, 5,08 ir 4,94. Duomenys rodo, kad rūgščiausi krituliai buvo Preiloje.

Cheminių priemaišų kiekiai krituliuose įvertinti pagal priemaišų koncentracijas krituliuose ir kritulių kiekius. Pagrindinių cheminių priemaišų šlapiųjų srautų sezoninė

kaita pateikiama 1, 2 ir 3 lentelėse. Duomenys rodo, kad priemaišų dydžių kaitą lėmė ir cheminių priemaišų koncentracijos krituliuose, ir kritulių kiekis. Didžiausias kiekis per mėnesį su krituliais į ekosistemas Aukštaitijoje pateko sulfatų 18,2 mgS/m², nitratų 22,6 mgN/m² ir amonio 45,2 mgN/m² (balandžio mėn.); Žemaitijoje – sulfatų 25,2 mgS/m² ir nitratų 40,4 mgN/m² (gruodžio mėn.), amonio 51,3 mgN/m² (balandžio mėn.); Preiloje – sulfatų 31,2 mgS/m² ir amonio 36,5 mgN/m² (rugpjūčio mėn.), nitratų 36,6 mgN/m² (gruodžio mėn.).

1 lentelė. Pagrindinių cheminių priemaišų šlapiųjų srautų sezoninė kaita Aukštaitijos IMS.

Metai, mėnuo	Kritulių kiekis, mm	Šlapiasis srautas, mg m ⁻² mėn. ⁻¹							
		SO ₄ -S	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2016.01	34,0	3,9	11,8	12,4	29,3	17,5	1,6	5,0	1,6
2016.02	73,5	6,9	10,5	8,9	30,5	16,7	2,5	7,1	1,6
2016.03	35,1	3,0	3,2	3,7	2,9	2,7	0,7	1,4	0,3
2016.04	79,9	18,2	22,6	45,2	34,5	17,2	8,4	20,7	4,9
2016.05	21,2	8,1	4,0	8,7	9,3	1,3	4,3	8,5	2,3
2016.06	44,7	10,8	7,8	16,8	7,9	23,7	5,3	31,2	6,7
2016.07	121,6	17,2	16,5	27,6	10,7	7,1	40,7	13,4	3,0
2016.08	68,8	3,1	3,5	5,4	4,6	3,1	1,8	2,5	1,6
2016.09	22,5	1,6	1,2	2,4	3,9	2,4	0,9	5,9	1,7
2016.10	94,1	11,0	12,6	7,2	8,2	18,6	3,4	6,2	1,1
2016.11	54,4	12,4	17,5	11,0	11,2	6,9	6,6	6,9	1,3
2016.12	65,9	9,7	18,4	19,0	34,2	19,1	7,0	5,8	2,9
Metinis	716	106	130	168	187	136	83	115	29

2 lentelė. Pagrindinių cheminių priemaišų šlapiųjų srautų sezoninė kaita Žemaitijos IMS.

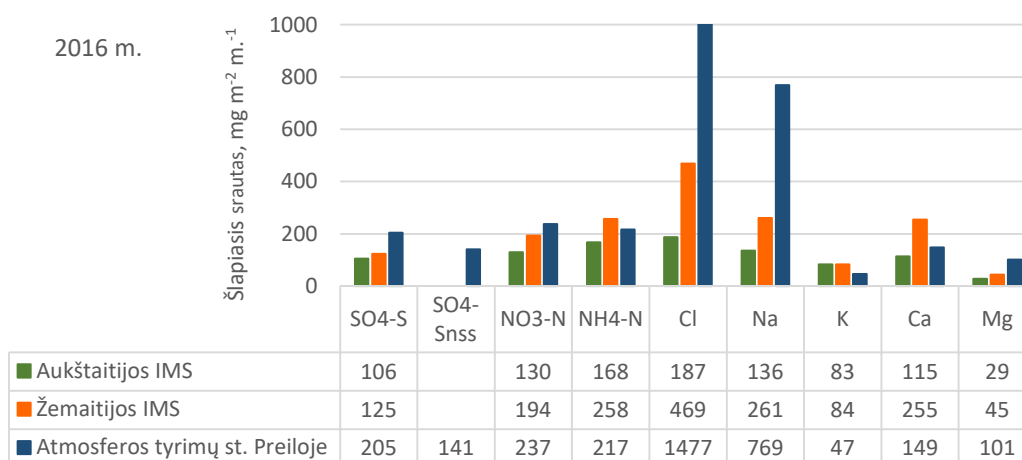
Metai, mėnuo	Kritulių kiekis, mm	Šlapiasis srautas, mg m ⁻² mėn. ⁻¹							
		SO ₄ -S	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2016.01	72,8	16,7	34,5	27,4	78,2	38,2	5,1	6,5	3,4
2016.02									
2016.03	3,5	0,8	1,7	2,8	2,7	1,5	0,3	0,2	0,1
2016.04	59,7	15,3	26,4	51,3	39,5	21,8	3,5	15,5	3,6
2016.05	74,0	11,6	8,6	17,0	25,1	14,0	8,1	11,4	2,0
2016.06	54,0	10,9	11,1	18,3	16,5	9,5	4,6	23,0	3,9
2016.07	117,5	10,8	19,5	32,2	19,8	12,5	20,3	18,0	4,4
2016.08	122,4	4,8	9,9	21,1	37,4	22,3	4,5	136,1	10,3
2016.09	54,3	4,7	8,2	13,2	45,6	27,8	8,1	13,8	3,8
2016.10	42,5	5,5	9,6	14,5	8,6	5,4	9,7	3,7	1,1
2016.11	83,8	18,2	24,4	15,8	49,1	22,3	7,4	11,6	2,9
2016.12	109,6	25,2	40,4	43,9	146,4	85,2	12,0	15,5	9,2

Metinis	794	125	194	258	469.0	261	84	255	45
----------------	-----	-----	-----	-----	-------	-----	----	-----	----

3 lentelė. Pagrindinių cheminių priemaišų šlapiųjų srautų sezoninė kaita atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.

Metai, mėnuo	Kritulių kiekis, mm	Šlapiasis srautas, mg m ⁻² mėn ⁻¹								
		SO ₄ -S	SO ₄ -S _{nss}	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2016.01	25,7	12,3	6,8	14,9	3,2	143,6	67,6	2,6	8,4	11,8
2016.02	49,1	20,1	13,3	27,7	13,2	159,1	83,2	4,7	25,5	13,2
2016.03	16,5	6,9	5,7	11,5	14,6	23,5	14,3	0,9	2,8	1,6
2016.04	62,0	16,8	14,9	20,6	31,2	40,5	23,5	2,1	13,1	2,7
2016.05	26,9	5,8	4,0	7,1	10,7	38,0	22,0	1,2	4,0	2,2
2016.06	31,6	11,3	9,8	12,2	20,2	32,9	18,6	1,7	12,0	2,6
2016.07	71,9	14,5	10,8	15,2	19,0	75,2	44,8	2,3	10,8	5,1
2016.08	154,4	31,2	21,7	28,9	36,5	195,8	116,7	9,2	19,0	11,9
2016.09	45,0	19,6	15,7	16,3	14,8	84,9	47,8	1,9	8,9	5,2
2016.10	77,4	19,5	16,2	22,1	21,8	74,7	41,1	3,9	11,7	5,4
2016.11	76,9	23,2	11,7	24,1	16,1	312,8	139,5	7,3	19,3	19,7
2016.12	46,5	23,1	10,8	36,6	15,7	295,5	149,8	6,1	13,3	20,0
Metinis	684	204	141	237	217	1476	769	44	149	101

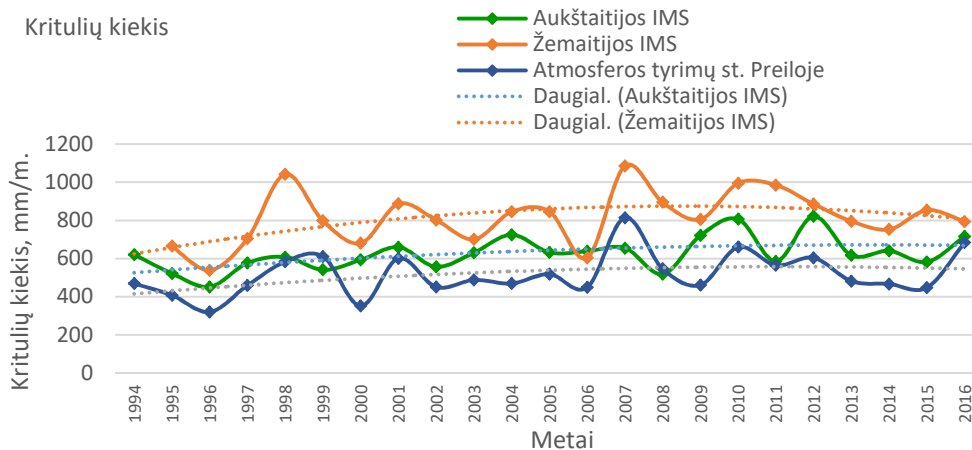
Nagrinėjant pagrindinių cheminių priemaišų šlapiose iškritose 2016 m. erdvinę kaitą (14 pav.) akivaizdu, kad metiniai pagrindinių cheminių komponentų srautai, išskyrus kalio metinius srautus, Preiloje ir Žemaitijos IM stotyje yra didesni nei Aukštaitijos IM stotyje. Preiloje dėl įnašo iš Baltijos jūros chlorido, natrio ir magnio jonų metiniai srautai yra ženkliai didesni nei IM stotyse. Metiniai sulfatų srautai Preiloje yra atitinkamai 1,9 ir 1,6 karto didesni nei Aukštaitijoje ir Žemaitijoje, nitratų srautai – atitinkamai didesni 1,8 ir 1,2 karto.



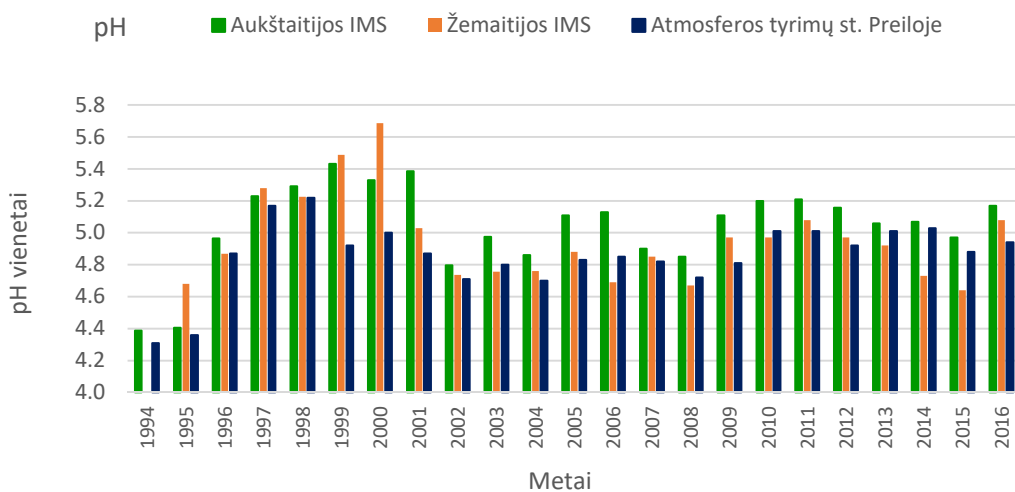
14 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų šlapiųjų srautų erdvinė kaita.

Pagrindinių teršalų šlapiųjų srautų dinamika per pastaruosius 7 metus (2010 – 2016 m.) Aukštaitijos, Žemaitijos IMS ir Preilos atmosferos tyrimo stotyse rodo mažėjimo tendenciją, atitinkamai sulfatui – 5, 3 ir 8 % per metus, nitratai – 6, 4 ir 8 % per metus bei amoniui – 7, 7 ir 4 % per metus. Pateiktos kritulių metinės pH vertės (16 pav.) rodo sumažėjimą paskutiniųjų septynerių metų laikotarpyje (2010 – 2016 m.) Aukštaitijoje – nuo 5,20 iki 5,17; Preiloje – nuo 5,01 iki 4,94 ir padidėjimą Žemaitijoje – nuo 4,97 iki 5,08;

Kritulių kiekio, kritulių pH, sieros ir azoto junginių koncentracijų ir šlapiųjų iškritų kiekio kaita nuo 1994 m. iki 2016 m. Aukštaitijoje, Žemaitijoje ir Preiloje pateikiama 15, 16, 17, 18 ir 19 paveiksluose. Stebima metinio kritulių kiekio didėjimo tendencija (15 pav.) visose tyrimų vietose. Kritulių kiekio didėjimas darė įtaką daugumos cheminių priemaišų šlapiams srautams. Per 1994 – 2016 m. kritulių kiekis Aukštaitijoje padidėjo 27%, Žemaitijoje 20% ir Preiloje – 29%. Teršalų šlapiųjų srautų ilgalaikės kaitos tendencijų ir pokyčių vertinimui naudotas neparametrinis Mann-Kendalio statistinis metodas. Iš pateiktų 16 pav. duomenų matyti, kad Aukštaitijoje 1994 – 1999 m. kritulių pH didėjo nuo 4,39 iki 5,43, per sekančius metus iki 2002 m. sumažėjo iki 4,80, 2003 – 2005 m. krituliai vėl buvo mažiau rūgštūs ir pH kilo iki 5,11. Žemaitijoje per 1995 – 2000 m. laikotarpį kritulių pH pakilo nuo 4,68 iki 5,69, per sekančius dvejus metus sumažėjo iki 4,74 (2002 m.) ir iki 2005 m. pakilo iki 4,88. Panaši kritulių pH metinių verčių kaita matoma ir Preiloje: didėjimas nuo 4,31 (1994 m.) iki 5,22 (1998 m.), o per sekančius metus iki 2005 m. nėra pastovios kaitos tendencijos. 2005 – 2011 m. metų laikotarpyje metinės pH vertės nežymiai didėjo. Nuo 2012 metų iki 2015 metų Aukštaitijos, Žemaitijos IM ir Preilos stotyse stebimas nežymus pH vertės sumažėjimas: Aukštaitijoje – nuo 5,21 (2011 m.) iki 4,97 (2015 m.), Žemaitijoje – nuo 5,08 (2011 m.) iki 4,72 (2015 m.) ir Preiloje – nuo 5,01 (2011 m.) iki 4,88 (2015 m.). 2016 metais visose tyrimo vietose vėl stebimas kritulių pH pakilimas: Aukštaitijos IMS – 5,17, Žemaitijos IMS – 5,08 ir Preiloje – 4,94.

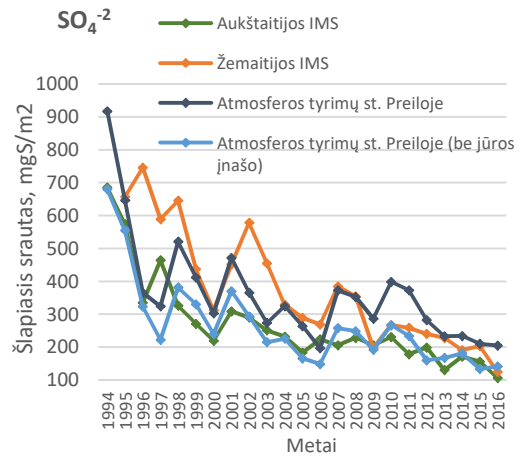
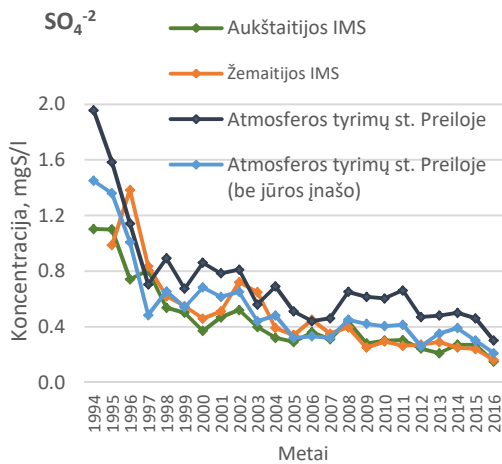


15 pav. Kritulių kiekio metinė kaita.

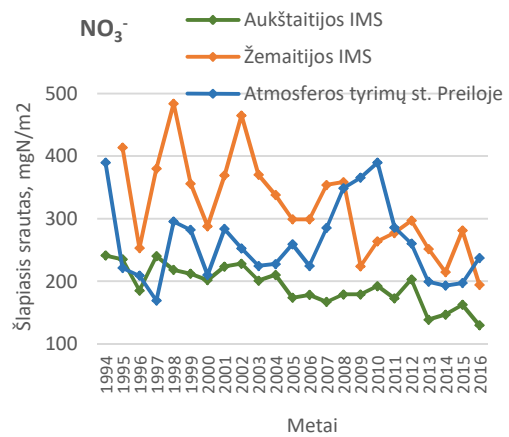
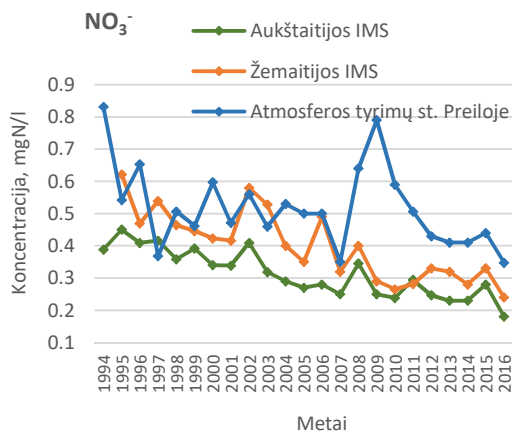


16 pav. Kritulių pH metinė kaita.

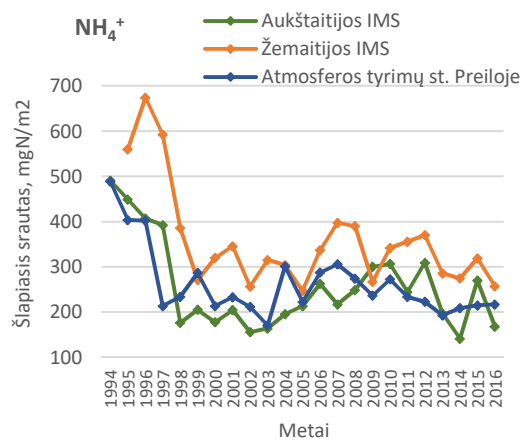
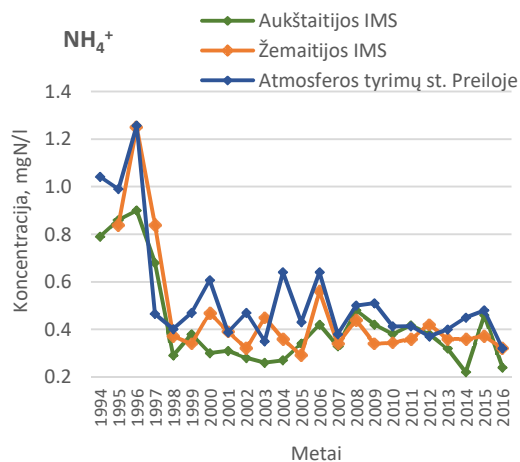
Pateikti 17 – 19 paveiksluose pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų ir šlapiųjų srautų metinės kaitos duomenys Aukštaitijoje ir Preiloje per pastaruosius 23 metus, o Žemaitijoje per 22 metus, rodo sulfatų ir amonio koncentracijų ir šlapiųjų srautų ($\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ ir $\text{NH}_4^+\text{-N}$) mažėjimo tendenciją. Sulfatų kiekio šlapiuose iškritose mažėjimas Lietuvoje, be abejonės, labiausiai yra siejamas su ženkliu SO_2 emisijos mažėjimu daugumoje C. Europos valstybėse ir Skandinavijoje, o taip pat ir Lietuvoje, ypatingai per 1994 – 2004 m. laikotarpį. Mažesnę mažėjimo tendenciją azoto junginiams šlapiuose iškritose, matyt, lemia mažesni NO_x ir NH_3 emisijos mažinimo tempai. Tyrimai rodo, kad sieros ir azoto junginių šlapiosios iškritos žymiu mastu visumoje yra antropogeninės kilmės ir šių teršalų koncentracijos krituliuose yra 2 – 3 kartus didesnės kai oro masės keliavo į Lietuvą virš centrinės, vakarinės ir pietinių Europos valstybių nei krituliuose su oro masėmis iš šiaurės vakarų ir šiaurės.



17 pav. Sulfatų koncentracijos (mgS/l) krituliuose ir šlapiųjų srautų (mgS/m²) metinė kaita.



18 pav. Nitratų koncentracijos (mgN/l) krituliuose ir šlapiųjų srautų (mgN/m²) metinė kaita.



19 pav. Amonio koncentracijos (mgN/l) krituliuose ir šlapiųjų srautų (mgN/m²) metinė kaita.

Taikant neparametrinį Mann-Kendalio statistinį metodą teršalų metinių koncentracijų ir šlapiųjų srautų kaitos per 23 metus vertinimui gauta, kad sulfatų koncentracijos krituliuose sumažėjo Aukštaitijoje 83%, Žemaitijoje 81% ir Preiloje 67%. Sulfatų šlapiasis srautas sumažėjo 71%, 79% ir 61%, atitinkamai Aukštaitijos, Žemaitijos IM stotyse ir Preiloje. Nitratinio azoto metinių koncentracijų ir šlapiųjų srautų eigoje nėra vienareikšmės kaitos tendencijos. Aukštaitijos IMS ir Žemaitijos IMS nitratų koncentracijos krituliuose sumažėjo atitinkamai 53% ir 56%, Preiloje – tik 32%. Aukštaitijoje ir Žemaitijoje šio teršalo srautas sumažėjo 38 ir 45%, Preiloje jis praktiškai nepakito. Analizuojant amonio azoto koncentracijų ir šlapiųjų srautų kaitos tendencijas per 1994 – 2016 m. IM stotyse ir Preiloje stebimas amonio koncentracijos mažėjimas: Aukštaitijos IMS – 31%, Žemaitijos IMS – 30% ir Preiloje – 40%. Amonio azoto šlapiji metiniai srautai sumažėjo Aukštaitijos IMS –21%, Žemaitijos IMS – 33% ir Preiloje – 35%.

IŠVADOS

Vertinant cheminių priemaišų foninių koncentracijų atmosferos šlapiose iškritose 2016 m. tyrimų duomenis Aukštaitijos integruoto monitoringo stotyje, Žemaitijos integruoto monitoringo stotyje ir atmosferos užterštumų tyrimo stotyje Preiloje, daromos tokios išvados:

- Tirtoms cheminėms priemaišoms yra būdingas didelis koncentracijų kaitos intervalas kritulių savaitės bandiniuose IM stotyse ir kritulių paros bandiniuose Preiloje.
- Metinė sulfatų (SO_4^{2-} - S_{tot}) koncentracija Preiloje gauta 2 kartus didesnė nei Aukštaitijoje ir Žemaitijoje. Nedidelis skirtumas rastas tarp sulfatų metinių koncentracijų (1,1 karto) Aukštaitijoje ir Žemaitijoje.
- Mažėjimo tendencija rytų kryptimi matoma sulfatų (SO_4^{2-}) nitratų (NO_3^-), chloridų (Cl^-), natrio (Na^+), magnio (Mg^{2+}) jonų metinių koncentracijų erdvinėje kaitoje.
- Rūgščiausi krituliai 2016 m. buvo Preiloje. pH kritulių metinės vertės tokios: Preiloje – 4,94, Žemaitijos IMS – 5,08 ir Aukštaitijos IMS – 5,17.

- Pagrindinių cheminių priemaišų šlapiųjų iškritų 2016 m. erdvinė kaita rodo, kad jie yra skirtingi kiekvienoje tyrimo vietoje. Preiloje metiniai nitratų ir sulfatų srautai yra didesni nei Žemaitijos ir Aukštaitijos IMS.
- Metinis nitratų ir amonio srautas Žemaitijoje yra beveik 1,3 karto didesni nei Aukštaitijoje. Tai siejama su didesniu kritulių kiekiu, o kartu ir su didesnėmis šių teršalų koncentracijomis krituliuose Žemaitijoje, palyginti su Aukštaitija.
- Sulfatų ir amonio azoto metinių koncentracijų ir jo šlapiųjų srautų kaitoje per 1994–2016 m. laikotarpį stebima mažėjimo tendencija. Sulfatų koncentracijos krituliuose sumažėjo Aukštaitijoje – 83% , Žemaitijoje – 81% ir Preiloje – 67%, šlapieji sulfatų srautai – atitinkamai 71%, 79% ir 61%. Amonio azoto koncentracijos Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir Preiloje krituliuose sumažėjo atitinkamai 31%, 30% ir 40%, šlapieji metiniai srautai – atitinkamai 21%, 33% ir 35%.
- Nitratinio azoto metinių koncentracijų ir šlapiųjų srautų eigoje per 1994–2016 m. laikotarpį nėra vienareikšmės kaitos tendencijos. Aukštaitijos IMS ir Žemaitijos IMS nitratų koncentracijos krituliuose sumažėjo atitinkamai 53% ir 56%, Preiloje – 32%. Aukštaitijoje ir Žemaitijoje šio teršalo srautas sumažėjo 38% ir 45%, Preiloje – nepakito.
- Pagrindinių cheminių priemaišų foninių koncentracijų bei fizinių parametrų atmosferos iškritose tyrimų apimtys (tiriami parametrai ir stebėjimo dažnis) IM stotyse (Aukštaitijoje ir Žemaitijoje) ir EMEP stotyje (Preiloje) atitinka keliamus EMEP ir ICP IM programų reikalavimus. Tolimų oro teršalų pernešimo į Lietuvą vertinimui, EMEP monitoringo stotyje (Preila) vykdoma kritulių tyrimo programa tenkina Europos monitoringo paruoštos strategijos 2010 – 2019 m. reikalavimus: cheminių priemaišų foninių koncentracijų bei fizinių parametrų krituliuose stebėjimo dažnis turi būti ne didesnis nei 24 val. Be to, pageidaujamas tyrimo duomenų ilgalaikis tęstinumas, Preiloje gaunami tyrimo duomenys kaupiami EMEP duomenų banke nuo 1980 m. Vertinant ir prognozuojant sąlygiškai natūralių ekosistemų būklę bei ilgalaikius pokyčius jose, yra būtinas pagrindinių cheminių priemaišų foninių koncentracijų bei fizinių parametrų atmosferos iškritose tyrimų tęstinumas.

2.2 PAGRINDINIŲ CHEMINIŲ PRIEMAIŠŲ BEI FIZINIŲ PARAMETRŲ POLAJINIUOSE KRITULIUOSE TYRIMAI PAGAL ICP IM PROGRAMĄ.

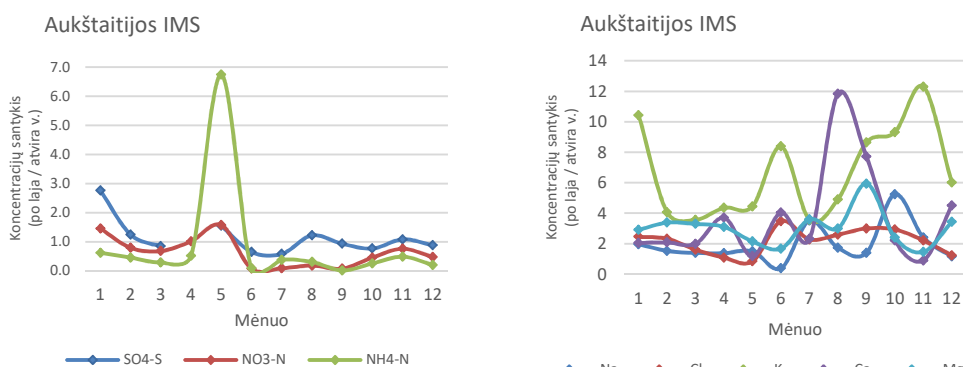
TYRIMŲ REZULTATAI

Vykstanti biologinė sąveika tarp krituliuose bei atmosferoje esančių teršalų ir lajos, keičia kritulių cheminę sudėtį jiems krentant per medžių lają, o taip pat ir teršalų srautus į miško paklotę. Cheminiai elementai (azoto junginiai, kalis, natriis, magnis), kurie dalyvauja medžių lajos biologiniuose procesuose, gali būti ir paimami iš kritulių, ir išplaunami jais iš lajos. Tuo pačiu metu vyksta cheminių priemaišų nuplovimas, kurios sausai nusėdo iš atmosferos ant lajos. Todėl duomenys apie azoto, sieros ir šarminių katijonų atmosferinius srautus yra būtini tiriant biogeocheminius ciklus miško ekosistemose.

Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos krituliuose ir srautai po medžių laja ir atviroje vietoje, matuoti 2016 m. Aukštaitijos IM stotyje, pateikti 4 ir 5 lentelėse. Kritulių pH rodo, kad rūgščiausi krituliai ($\text{pH} < 5,0$) po laja buvo per sausio – kovo mėnesius, o per likusius metų mėnesius vyravo krituliai, kurių pH kito nuo 5,00 iki 6,00. Atviroje vietoje kritulių $\text{pH} < 5,0$ matuota sausio, vasario ir gruodžio mėnesiais, o per kitus – nuo 5,13 iki 6,57. Įvertinus kritulių kiekį, metinė pH vertė po laja ir yra 4,94, atviroje vietoje – 5,21.

Nagrinėjant sulfatų, nitratų ir amonio koncentracijų ir iškritų (4 ir 5 lentelės) sezoninę kaitą matyti, kad didesnės sulfatų koncentracijos polajiniuose krituliuose rastos per žiemos ir pavasario mėnesius dėl didesnių nei per vasaros mėnesius sieros junginių koncentracijų atmosferos ore. 4 ir 5 lentelėse pateikti duomenys rodo, kad nitratų koncentracija gegužės – rugsėjo mėn. ir amonio koncentracija birželio – spalio mėn. polajiniuose krituliuose ženkliai sumažėjo ir kito nuo 0,01 iki iki 0,04 mgN/l ir tai lėmė mažesnę nei kitais mėnesiais iškritusio į polajį azoto kiekį. Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų krituliuose sezoninę kaitą iliustruoja ir duomenys, pateikti 20 paveiksle. Vertinant sulfatų koncentracijų santykio (po laja/atvira vieta) kaitą, galima tvirtinti, kad polajiniai krituliai praturtinami sulfatais dėl sausai nusėdusių sieros junginių (SO_2 , SO_4^{2-}) nuplovimo nuo lajos. Šis procesas labiausiai pastebimas per žiemos mėnesius, kai sieros junginių koncentracijos ore yra didesnės ir teršalų sausasis nuotėkis iš atmosferos yra spartesnis. Nitratų koncentracijų santykis (po laja/atvira vieta) kinta nuo 1,57 iki 0,07 su vidutine reikšme 0,64 rodo, kad nitratai buvo nuplaunami nuo lajos arba

iš jos išplaunami. Amonio koncentracijų santykis (po laja/atvira vieta) per visus mėnesius, išskyrus gegužės mėn., kintantis nuo 0,02 iki 0,62 su vidutine reikšme 0,33 rodo, kad azotas šioje cheminėje formoje yra lajos absorbuojamas geriau nei kitos maistinės medžiagos.

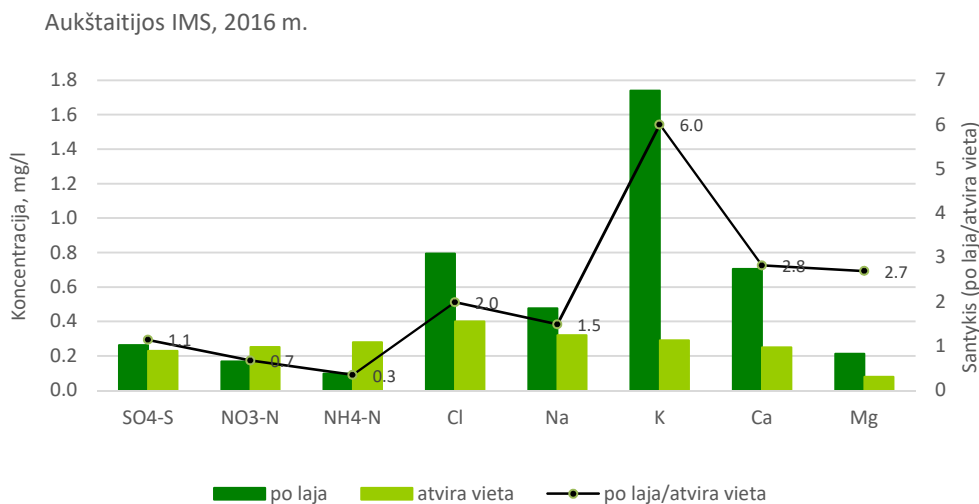


20 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų santykio (po laja/atvira vieta) sezoninė kaita Aukštaitijos IMS.

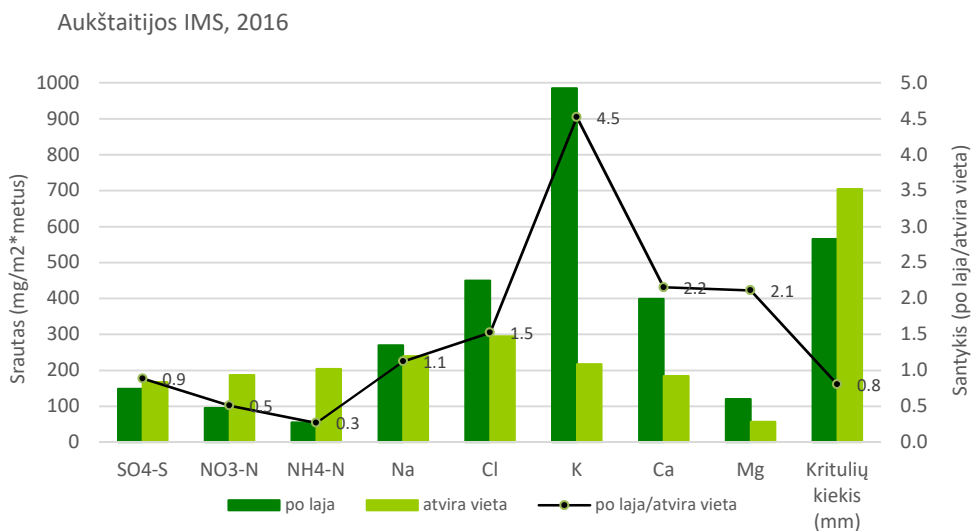
Priešingai azoto junginiams, tyrimai rodo kelis kart didesnes Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} ir K^+ koncentracijos krituliuose po laja nei atviroje vietoje. K^+ koncentracijų santykis (po laja/atvira vieta) kito nuo 4 iki 12, Cl^- – nuo 0,8 iki 3,5, Ca^{2+} – nuo 0,9 iki 12 ir Mg^{2+} – nuo 1,5 iki 6. Toks žymus šių komponentų koncentracijų padidėjimas polajiniuose krituliuose gali būti siejamas tiek su nuplovimu nuo lajos, tiek su išplovimu iš lajos, ypač kalio atveju.

Apibendrinti pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų ir iškritų tyrimų krituliuose po miško laja ir miške atviroje vietoje Aukštaitijoje duomenys pateikti 21 ir 22 pav. Polajiniai krituliai labiausiai praturtinami K^+ , mažiau Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} ir Mg^{2+} . Mažesnės yra nitratinio ir amoniakinio azoto koncentracijos polajiniuose krituliuose nei atviroje vietoje rinktuose krituliuose. Kritulių kiekio santykis (po laja/atvira vieta) kito nuo 0,5 iki 1,0. 2016 m. Aukštaitijos IMS po laja iškrito 566 mm ir atviroje vietoje 740 mm kritulių. Todėl galima sakyti, kad lajoje susilaikė apie 24 % kritulių kiekio. Tyrimai rodo, kad su krituliais į miško paklotę Aukštaitijoje iškrito apie 2 kartus daugiau magnio, kalcio, 1,5 karto daugiau chloridų ir 4,5 karto daugiau kalio jonų, nors polajinių kritulių kiekis buvo mažesnis nei atviroje vietoje. Aukštaitijoje į miško paklotę sulfatinės sieros iškrito apie 11% daugiau nei atviroje vietoje. Dėl azoto intensyvesnės absorbcijos lajoje,

metinis amonio azoto jonų srautas rastas 4 kartus, o nitratinio azoto – 2 kartus didesnis atviroje vietoje nei į miško paklotę. Visumoje, 2016 m. į miško paklotę pateko 151 mgN/m², tai yra 61 % azoto mažiau nei su krituliais atviroje vietoje (291 mgN/m²).



21 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų vidutinės koncentracijos, svertinės pagal kritulių kiekį, po laja ir atviroje vietoje Aukštaitijos IMS.



22 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų srautai po laja ir atviroje vietoje Aukštaitijos IMS.

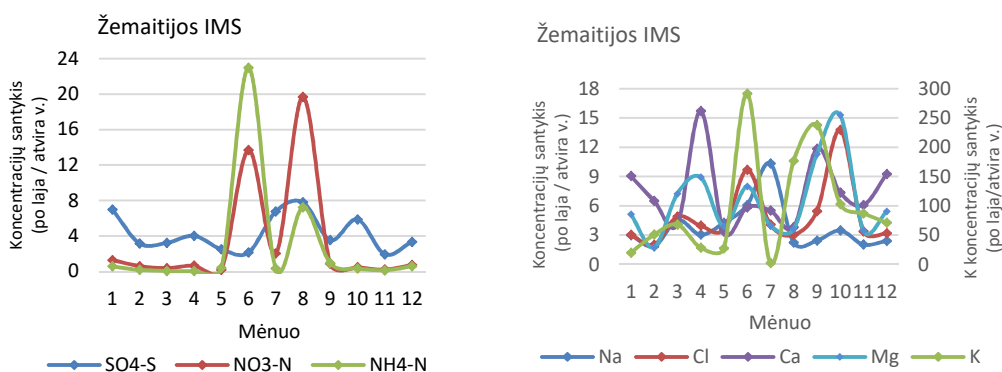
4 lentelė. pH ir pagrindinių cheminių priemaišų vidutinės (svertinės pagal kritulių kiekį) koncentracijos (mg/l) krituliuose po laja ir atviroje vietoje Aukštaitijos IMS

<i>Po medžių laja</i>									
Metai, mėnuo	pH	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2016.01	4,45	0,33	0,49	0,16	1,67	1,06	0,99	0,47	0,17
2016.02	4,63	0,37	0,22	0,11	1,53	0,69	0,49	0,29	0,12
2016.03	4,63	0,48	0,33	0,20	0,66	0,64	0,75	0,38	0,13
2016.04	5,00	0,36	0,34	0,29	0,78	0,54	0,96	2,14	0,22
2016.05	5,97	0,44	0,02	0,11	0,84	0,27	5,34	1,04	0,58
2016.06	6,00	0,20	0,01	0,04	0,90	0,41	4,36	1,45	0,37
2016.07	5,37	0,15	0,01	0,04	0,27	0,23	2,25	0,48	0,20
2016.08	5,14	0,10	0,02	0,02	0,34	0,23	1,32	0,77	0,21
2016.09	5,70	0,27	0,02	0,01	2,58	0,71	5,53	1,85	0,83
2016.10	5,34	0,21	0,10	0,02	0,50	0,42	1,86	0,44	0,17
2016.11	5,01	0,31	0,30	0,14	0,49	0,31	1,11	0,24	0,08
2016.12	5,03	0,13	0,14	0,07	0,59	0,35	0,66	0,29	0,13
vidutinė	4,94	0,26	0,17	0,10	0,79	0,48	1,74	0,70	0,21
<i>Atvira vieta</i>									
Metai, mėnuo	pH	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2016.01	4,85	0,12	0,34	0,26	0,68	0,54	0,10	0,23	0,06
2016.02	4,60	0,30	0,28	0,24	0,66	0,45	0,12	0,14	0,04
2016.03	5,13	0,56	0,48	0,69	0,41	0,46	0,21	0,19	0,04
2016.04	6,14		0,33	0,56	0,72	0,39	0,22	0,58	0,07
2016.05	6,54	0,28	0,01	0,02	1,00	0,18	1,20	0,88	0,27
2016.06	6,30	0,30	0,18	0,48	0,26	1,10	0,52	0,36	0,22
2016.07	5,70	0,26	0,14	0,10	0,12	0,07	0,63	0,21	0,06
2016.08	6,04	0,08	0,10	0,05	0,13	0,13	0,27	0,07	0,07
2016.09	6,57	0,29	0,25	0,34	0,86	0,51	0,64	0,24	0,14
2016.10	5,56	0,28	0,21	0,07	0,17	0,08	0,20	0,20	0,07
2016.11	5,33	0,29	0,40	0,28	0,22	0,13	0,09	0,27	0,05
2016.12	4,94	0,15	0,29	0,37	0,48	0,30	0,11	0,07	0,04
vidutinė	5,21	0,23	0,25	0,28	0,40	0,33	0,30	0,26	0,08

5 lentelė. Kritulių kiekio ir pagrindinių cheminių priemaišų srautai (mg/m²) po laja ir atviroje vietoje Aukštaitijos IMS

<i>Po medžių laja</i>									
Metai, mėnuo	Krituliai, mm/mėn	SO ₄ -S	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2016.01	33,5	11,1	16,6	5,4	56,1	35,6	33,3	15,7	5,7
2016.02	55,5	20,8	12,3	6,1	85,2	38,1	27,1	16,2	6,6
2016.03	37,6	18,0	12,3	7,5	24,8	24,1	28,1	14,2	4,8
2016.04	47,4	17,0	15,9	13,7	37,1	25,4	45,4	101,5	10,3
2016.05	18,7	8,2	0,3	2,0	15,7	5,0	99,9	19,4	10,8
2016.06	32,3	6,3	0,4	1,4	29,1	13,4	140,7	46,9	11,9
2016.07	88,4	13,4	1,1	3,3	24,3	20,2	198,7	42,9	17,8
2016.08	51,4	5,0	0,9	0,8	17,3	11,6	68,1	39,6	10,8
2016.09	11,4	3,1	0,2	0,1	29,5	8,1	63,3	21,2	9,5
2016.10	84,2	18,1	8,1	1,4	42,0	35,3	156,9	37,4	14,2
2016.11	39,0	12,2	11,8	5,3	18,9	12,2	43,1	9,4	3,1
2016.12	66,6	15,5	15,7	8,3	70,1	41,1	80,6	34,4	14,9
Metinis	566	149	96	55	450	270	985	399	120
<i>Atvira vieta</i>									
Metai, mėnuo	Krituliai, mm/mėn	SO ₄ -S	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2016.01	43,2	5,2	14,7	11,2	29,4	23,3	4,1	9,9	2,5
2016.02	72,2	21,6	20,2	17,3	47,6	32,5	8,7	10,1	2,5
2016.03	39,3	22,0	18,9	27,1	16,1	18,1	8,3	7,5	1,5
2016.04	78,7		26,0	44,1	56,7	30,7	17,3	45,6	5,5
2016.05	20,7	5,8	0,2	0,3	20,7	3,7	24,8	18,2	5,6
2016.06	59,3	17,8	10,7	28,4	15,4	65,2	30,8	21,3	13,0
2016.07	92,3	24,0	12,9	9,0	11,1	6,0	58,1	19,4	5,2
2016.08	63,6	5,0	6,4	3,3	8,3	8,3	17,2	4,1	4,5
2016.09	21,3	6,2	5,3	7,2	18,3	10,8	13,6	5,1	3,0
2016.10	98,3	27,5	20,6	6,5	16,7	7,9	19,7	19,7	6,9
2016.11	69,2	20,1	27,7	19,4	15,2	9,0	6,2	18,7	3,7
2016.12	47,0	12,4	23,9	30,5	39,6	24,8	9,1	5,4	3,1
Metinis	705	168	187	204	295	240	218	185	57

Pagrindinių cheminių priemaišų krituliuose po laja ir atviroje vietoje koncentracijų sezoninė kaita Žemaitijos IMS (LT03) pateikta 23 pav. Analizuojant sulfatų koncentracijų ir iškritų metinę kaitą matyti, kad kad sulfatų koncentracija šaltuoju metų laiku 3 –7 kartus buvo didesnė krituliuose po laja nei atviroje vietoje. Tai rodo, kad polajiniai krituliai praturtinami sulfatais dėl sausai nusėdusių ant lajos sieros junginių (SO_2 ir aerSO_4^{2-}) nuplovimo. Tiriant azoto junginių koncentracijų kaitą, nustatyta, kad koncentracijų santykis (po laja/atvira vieta) nitratams kito nuo 0,2 iki 19,7 ir amoniui – nuo 0,03 iki 23. Sausio, birželio – rugpjūčio šio santykio vertės nitratams, o birželio ir rugpjūčio mėn. amoniui, didesnės nei 1,0 rodo, kad polajiniai krituliai Žemaitijoje buvo praturtinami nitratinio ir amonio azotu, juos nuplaunant nuo lajos arba iš jos išplaunant. Amonio koncentracijų santykis (po laja/atvira vieta) per visus mėnesius, išskyrus birželio ir rugpjūčio mėn., kito nuo 0,03 iki 0,6. Mažesnis už vienetą amonio koncentracijų santykis (po laja/atvira vieta) rodo, kad laja absorbuoja azotą kaip maistinę medžiagą iš atmosferinių kritulių ir šioje cheminėje formoje azotas yra labiau lajos absorbuojamas nei nitratinis azotas. Stebimos kelis kart didesnės K^+ , Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} ir Mg^{2+} koncentracijos krituliuose po laja nei atviroje vietoje: K^+ koncentracijų santykis po laja/atvira vieta kito nuo 2 iki 292, Cl^- – nuo 2 iki 14, Mg^{2+} – nuo 1,7 iki 15, Ca^{2+} – nuo 3,4 iki 16 ir Na^+ – nuo 2 iki 10. Toks žymus šių komponentų koncentracijų padidėjimas polajiniuose krituliuose



gali būti siejamas su šių elementų išplovimu iš lajos, o taip pat ir nuplovimu nuo lajos.

23 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų santykio (po laja/atvira vieta) sezoninė kaita Žemaitijos IMS.

6 ir 7 lentelėse pateikiami duomenys apie cheminių priemaišų koncentracijų krituliuose, rinktuose po laja ir atviroje vietoje, ir srautų kaitą 2016 m. Žemaitijos IMS. Rūgščiausi krituliai ($\text{pH} < 5,0$) po laja buvo birželio mėn., o atviroje vietoje – per sausio – lapkričio ir gruodžio mėn. Per likusius metų mėnesius pH vertės krituliuose po laja kito nuo 5,00 iki 5,98, o atviroje vietoje – nuo 5,01 iki 6,37. Įvertinus kritulių kiekį, metinės

pH vertės: po laja – 5,28 ir atviroje vietoje – 5,03. Analizuojant sulfatų koncentracijų ir iškritų metinę kaitą matyti, kad didžiausia sulfatų koncentracija krituliuose po laja buvo 2,03 mgS/l (kovo mėn.). Per likusius mėnesius kito nuo 0,13 mgS/l (gegužės mėn.) iki 1,23 mgS/l (spalio mėn.). Didžiausias sieros kiekis 123,5 mgS/m² į miško paklotę po laja pateko sausio mėnesį.

6 lentelė. pH ir pagrindinių cheminių priemaišų vidutinės (svartinės pagal kritulių kiekį) koncentracijos (mg/l) krituliuose po laja ir atviroje vietoje Žemaitijos IMS

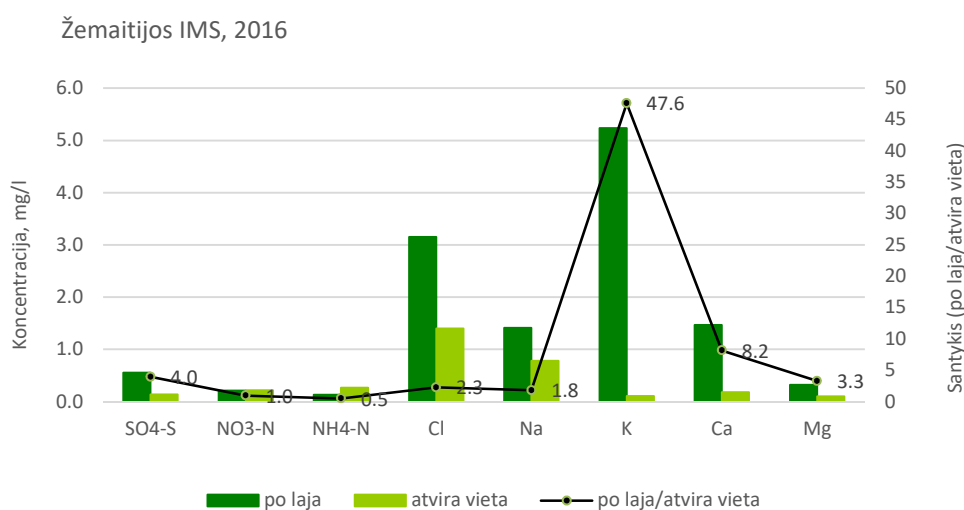
<i>Po medžių laja</i>									
Metai, mėnuo	pH	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2016.01	5,00	1,05	0,54	0,15	3,32	1,66	2,97	0,61	0,19
2016.02	5,14	0,38	0,16	0,04	4,20	2,04	2,23	0,58	0,15
2016.03	5,55	2,03	0,42	0,07	7,85	5,00	12,24	4,53	1,59
2016.04	5,24	1,04	0,28	0,02	4,37	1,89	5,45	6,91	0,71
2016.05	5,98	0,13	0,02	0,04	2,09	1,19	4,44	1,18	0,27
2016.06	4,98	0,34	0,18	0,69	3,87	1,28	11,66	2,93	0,65
2016.07	5,68	0,20	0,22	0,25	1,47	1,55	4,76	1,10	0,27
2016.08	5,75	0,20	0,11	0,13	1,51	0,74	5,30	1,60	0,25
2016.09	5,82	0,29	0,01	0,05	6,01	1,54	11,67	2,96	0,79
2016.10	5,76	1,23	0,08	0,02	4,68	1,84	11,33	2,28	0,61
2016.11	5,56	0,33	0,07	0,03	2,28	0,67	4,45	0,73	0,17
2016.12	5,04	1,00	0,31	0,24	4,47	1,88	7,85	1,66	0,54
vidutinė	5,28	0,55	0,21	0,13	3,15	1,41	5,23	1,47	0,32
<i>Atvira vieta</i>									
Metai, mėnuo	pH	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2016.01	4,51	0,15	0,42	0,27	1,10	0,55	0,15	0,07	0,04
2016.02	5,01	0,12	0,27	0,21	2,10	1,10	0,04	0,09	0,09
2016.03	6,37	0,63	1,10	1,40	1,60	1,10	0,18	1,10	0,22
2016.04	6,12	0,26	0,43	0,69	1,10	0,62	0,19	0,44	0,08
2016.05	5,85	0,05	0,10	0,11	0,58	0,28	0,16	0,35	0,07
2016.06	5,98	0,16	0,01	0,03	0,40	0,21	0,04	0,50	0,08
2016.07	5,57	0,03	0,11	0,76	0,36	0,15	2,00	0,20	0,07
2016.08	5,44	0,03	0,01	0,02	0,50	0,33	0,03	0,42	0,07
2016.09	5,87	0,08	0,02	0,05	1,10	0,63	0,05	0,25	0,07
2016.10	6,22	0,21	0,18	0,05	0,34	0,53	0,11	0,31	0,04
2016.11	4,80	0,17	0,34	0,21	0,67	0,33	0,05	0,12	0,05
2016.12	4,59	0,30	0,43	0,41	1,40	0,78	0,11	0,18	0,10

vidutinė	5,03	0,14	0,22	0,26	0,93	0,51	0,26	0,27	0,07
-----------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

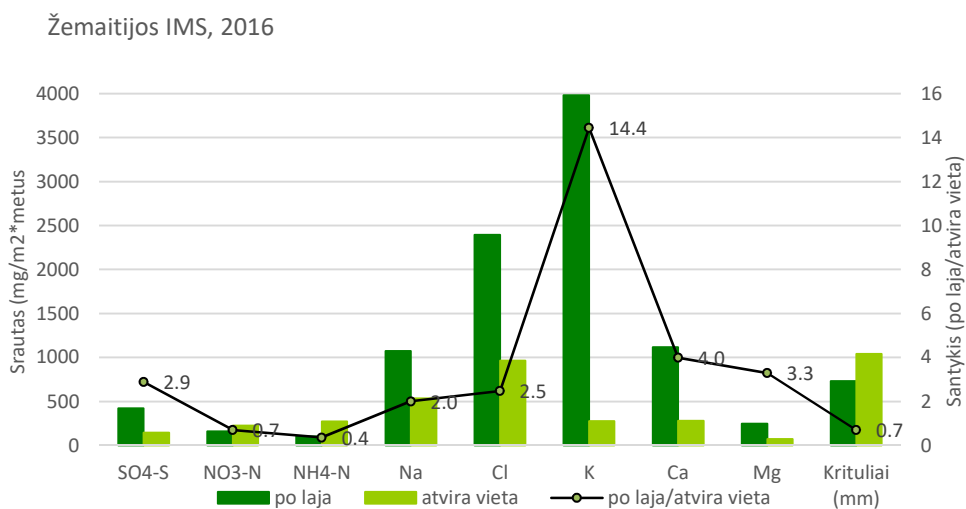
7 lentelė. Kritulių kiekio ir pagrindinių cheminių priemaišų srautai (mg/m²) po laja ir atviroje vietoje Žemaitijos IMS

<i>Po medžių laja</i>									
Metai, mėnuo	Krituliai, mm/mėn	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2016,01	117,82	123,5	63,6	18,2	391,0	195,2	350,5	71,5	22,9
2016,02	99,46	37,7	16,2	3,6	418,0	202,8	222,3	57,5	14,8
2016,03	0,84	1,7	0,4	0,1	6,6	4,2	10,3	3,8	1,3
2016,04	35,34	36,9	9,9	0,8	154,3	66,8	192,7	244,2	25,3
2016,05	56,54	7,6	1,0	2,4	118,3	67,5	251,2	66,6	15,4
2016,06	33,4	11,4	5,9	23,0	129,3	42,7	389,5	97,7	21,8
2016,07	56,88	11,5	12,6	14,2	83,5	88,1	270,6	62,6	15,6
2016,08	77,2	15,6	8,7	10,0	116,5	56,9	409,3	123,4	19,6
2016,09	29,64	8,7	0,4	1,4	178,3	45,8	345,8	87,8	23,4
2016,10	28,3	34,9	2,4	0,5	132,4	52,1	320,7	64,4	17,3
2016,11	99,94	32,8	7,4	2,7	227,6	67,2	444,5	73,0	16,6
2016,12	98,54	98,9	31,0	24,0	440,5	185,5	773,1	164,0	52,8
Metinis	734	421	160	101	2396	1075	3980	1117	247
<i>Atvira vieta</i>									
Metai, mėnuo	Krituliai, mm/mėn	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2016,01	89,8	13,5	37,7	24,2	98,8	49,4	13,5	6,0	3,4
2016,02	130,9	15,7	35,3	27,5	274,9	144,0	5,8	11,7	11,1
2016,03	9,2	5,8	10,1	12,9	14,7	10,1	1,7	10,1	2,0
2016,04	72,6	18,9	31,2	50,1	79,9	45,0	13,8	31,9	5,8
2016,05	100,6	5,4	9,6	11,1	58,3	28,2	16,1	35,2	7,0
2016,06	98,7	15,8	1,3	3,0	39,5	20,7	3,9	49,4	8,1
2016,07	95,9	2,9	10,5	72,9	34,5	14,4	191,8	19,2	6,6
2016,08	133,8	3,5	0,8	2,4	66,9	44,2	4,0	56,2	9,4
2016,09	54,8	4,5	0,8	2,8	60,3	34,5	2,7	13,7	3,8
2016,10	46,8	9,8	8,4	2,4	15,9	24,8	5,1	14,5	1,9
2016,11	93,6	15,9	31,8	19,7	62,7	30,9	4,8	11,2	4,5
2016,12	113,7	34,1	48,9	46,6	159,2	88,7	12,5	20,5	11,3
Metinis	1040	146	227	275	966	535	276	280	75

Pagrindinių cheminių priemaišų, išskyrus NH_4^+ ir NO_3^- metinės koncentracijos (24 pav.) po laja rinktuose krituliuose buvo kelis kartus didesnės nei krituliuose atviroje vietoje. Tyrimai rodo 2 kartus mažesnes amonio azoto koncentracijas polajiniuose krituliuose nei krituliuose atviroje vietoje. SO_4^{2-} koncentracija krituliuose po laja gauta 4 kartus didesnė nei krituliuose atviroje vietoje. Kelis kartus didesnės Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} ir Mg^{2+} koncentracijos nustatytos krituliuose po laja nei atviroje vietoje. K^+ koncentracijų santykis po laja/atvira vieta yra didžiausias – 47,6. Toks ryškus kalio koncentracijų padidėjimas krituliuose po laja rodo šio elemento išplovimą atmosferos krituliais iš lajos, nes nuplovimas nuo lajos yra nereikšmingas dėl mažų kalio koncentracijų atmosferos ore.



24 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų vidutinės koncentracijos, svertinės pagal kritulių kiekį, po laja ir atviroje vietoje Žemaitijos IMS.



25 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų srautai po laja ir atviroje vietoje Žemaitijos IMS.

Duomenys, pateikti 25 pav., rodo, kad Žemaitijos IMS 2016 m. polajinių kritulių metinis kiekis mažesnis nei atviroje vietoje: po laja iškrito 734 mm, o atviroje vietoje – 1040 mm. Taigi, šioje vietoje vyraujant eglėms, laja sulaukė apie 29 % metinio kritulių kiekio. Nustatyta, kad į miško paklotę Žemaitijoje iškrito 2,9 karto daugiau sulfatinės sieros, 2 kartus – natrio, 2,5 karto – chloridų, 4 kartus – kalcio, 3,3 karto – magnio ir 14,4 karto daugiau kalio nei atviroje vietoje. Dėl azoto junginių absorbcijos laja, metinis amonio azoto srautas į miško paklotę gautas 63 %, o nitratinio azoto – 30 % mažesnis nei atviroje vietoje. Visumoje, 2016 m. į miško paklotę pateko 261 mgN/m², tai yra 48 % azoto mažiau nei su krituliais atviroje vietoje (502 mgN/m²). Dėl žymiai didesnių Ca²⁺ koncentracijų polajiniuose krituliuose ir Ca²⁺ kiekio srautuose, iškritos į polajį buvo mažiau rūgščios nei atviroje vietoje: H⁺ metinio srauto santykis (po laja/atvira vieta) gautas 0.4.

8 lentelė. pH ir pagrindinių cheminių priemaišų 2016 m. vidutinės koncentracijos, svertinės pagal kritulių kiekį, po laja ir atviroje vietoje IM stotyse

Komponentė	<i>Po laja</i>		<i>Atvira vieta</i>	
	Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS	Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS
pH	4,94	5,28	5,21	5,03
SO ₄ ²⁻ , mgS/l	0,26	0,55	0,23	0,14
NO ₃ ⁻ , mgN/l	0,17	0,21	0,25	0,22
NH ₄ ⁺ , mgN/l	0,10	0,13	0,28	0,26
Cl ⁻ , mg/l	0,79	3,15	0,40	1,40
Na ⁺ , mg/l	0,48	1,41	0,32	0,78
K ⁺ , mg/l	1,74	5,23	0,29	0,11
Ca ²⁺ , mg/l	0,70	1,47	0,25	0,18
Mg ²⁺ , mg/l	0,21	0,32	0,08	0,10

Iš apibendrintų 8 lentelėje duomenų matyti, kad Žemaitijoje visų pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos polajiniuose krituliuose yra didesnės nei Aukštaitijoje.

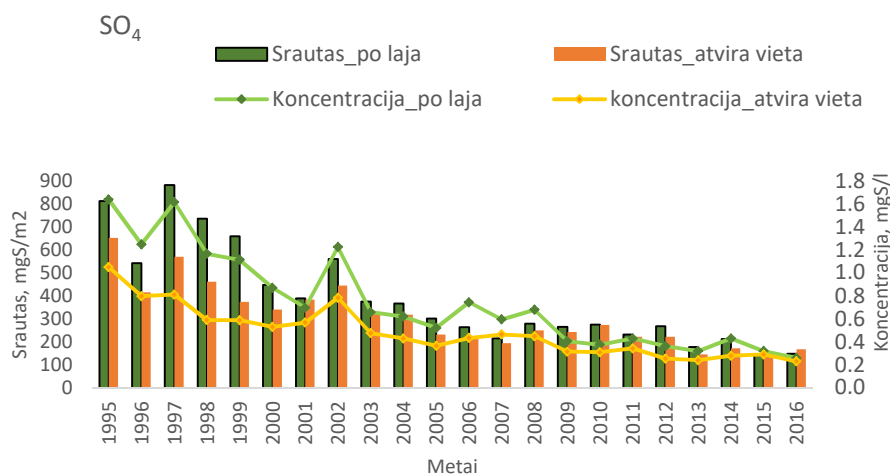
Nagrinęjant pagrindinių cheminių priemaišų srautus abiejose stotyse (9 lentelė) matyti, kad priemaišų kiekiai 2016 m. iškritose į miško paklotę yra netolygūs kritulių kiekiui. Pateikti duomenys rodo, kad, esant 1,3 karto didesniai polajinių kritulių metiniam kiekiui Žemaitijoje nei Aukštaitijoje, į polajį Žemaitijoje patenka apie 3 kartus daugiau sieros, 1,7 – azoto, 4 – kalio ir natrio, 2,1 – magnio ir 2,8 kartus daugiau kalcio. Šie skirtumai tarp stočių gali būti dėl lajos skirtingos struktūros: Aukštaitijos IMS vyrauja pušys su ažūrinėmis lajomis ir mažu lapijos ploto indeksu, o Žemaitijos IMS – eglės su tankiomis lajomis ir dideliu lapijos ploto indeksu.

9 lentelė. Kritulių kiekis ir pagrindinių cheminių priemaišų metiniai srautai su krituliais po laja ir atviroje vietoje IM stotyse, 2016 m.

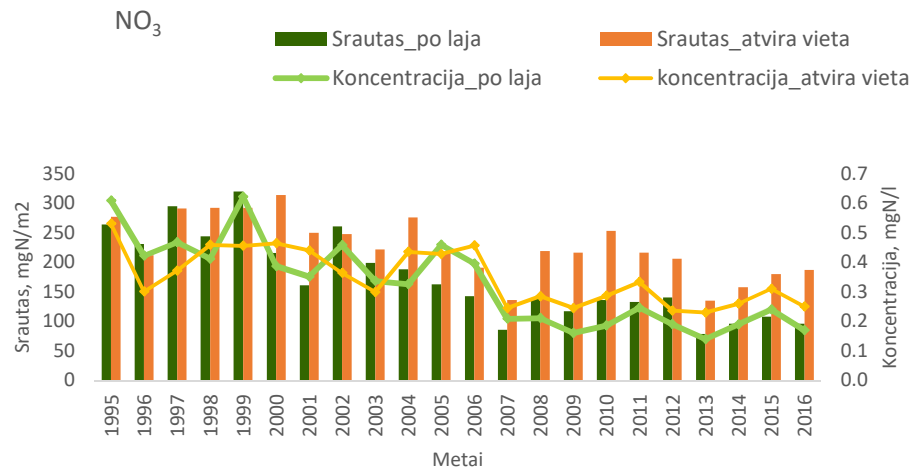
Komponentė	<i>Po laja</i>		<i>Atvira vieta</i>	
	Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS	Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS
Krituliai, mm	566	734	740	1040
H ⁺ , meq/m ²	6461	4030	4554	9611
SO ₄ ²⁻ , mgS/m ²	149	421	168	146
NO ₃ ⁻ , mgN/m ²	96	160	187	227
NH ₄ ⁺ , mgN/m ²	55	101	204	275
Cl ⁻ , mg/m ²	450	2396	295	966
Na ⁺ , mg/m ²	270	1075	240	535
K ⁺ , mg/m ²	985	3980	218	276
Ca ²⁺ , mg/m ²	399	1117	185	280
Mg ²⁺ , mg/m ²	120	247	57	75

Apibendrinti 1995 – 2016 metų pagrindinių cheminių priemaišų tyrimų duomenys (26 – 28 pav.) krituliuose po miško laja ir miške atviroje vietoje Aukštaitijos IM stotyje rodo, kad didžiausi sieros ir azoto junginių (NO₃ ir NH₄) srautai į miško paklotę buvo nustatyti 1995 – 1998 m. laikotarpiu. Vėliau jie gerokai sumažėjo ir pastaruoju metu yra apie penkis kartus mažesni, palyginti su metiniais srautais 1995 –1998 m. Kaip ir Aukštaitijos IM stotyje, Žemaitijoje didžiausi sieros ir amonio azoto junginių srautai į miško paklotę buvo nustatyti 1995 – 1998 m. (29 – 31 pav.). Pastaraisiais metais sieros ir azoto junginių srautas į miško paklotę yra keturis kartus mažesni nei 1995–1998 metais.

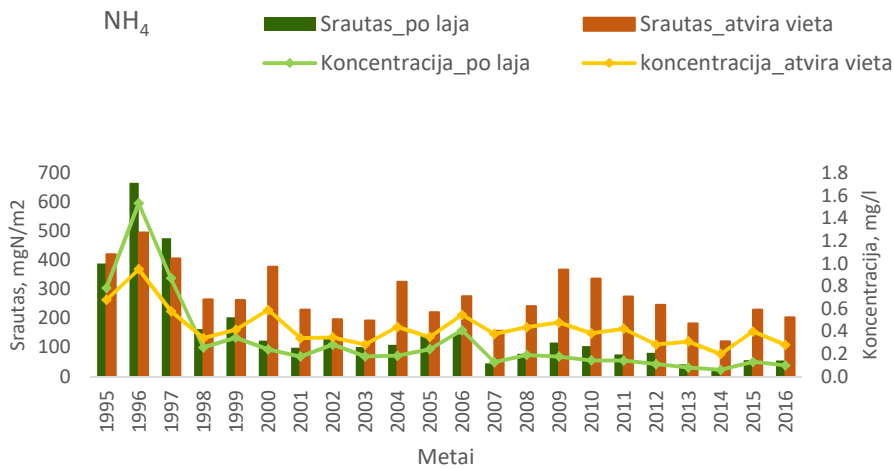
Pagrindinių cheminių priemaišų srautų į miško paklotę dinamika per pastaruosius 7 metus (2010 – 2016 m.) Aukštaitijos ir Žemaitijos IMS rodo mažėjimo tendenciją, atitinkamai sulfatui – 8 ir 7 %, nitratui – 13 ir 5 % bei amoniui – 11 ir 9 % per metus.



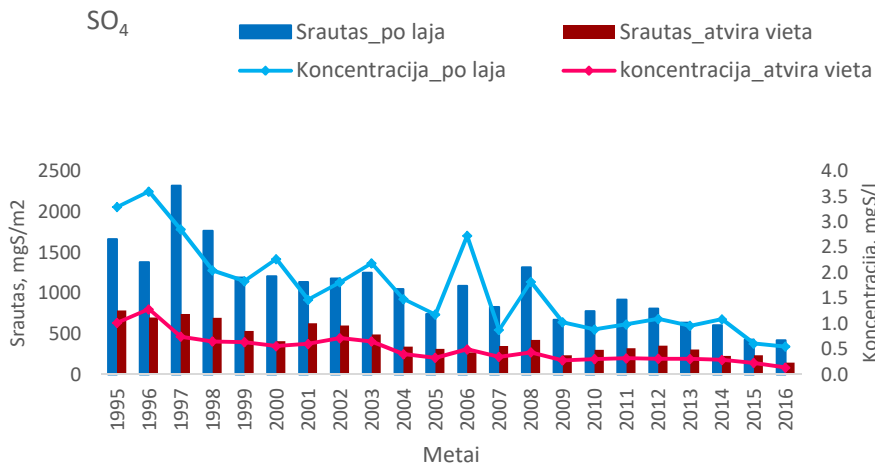
26 pav. Sulfatų srautų ir koncentracijų kaita atmosferos krituliuose atviroje vietoje ir po medžių lajomis Aukštaitijos IMS.



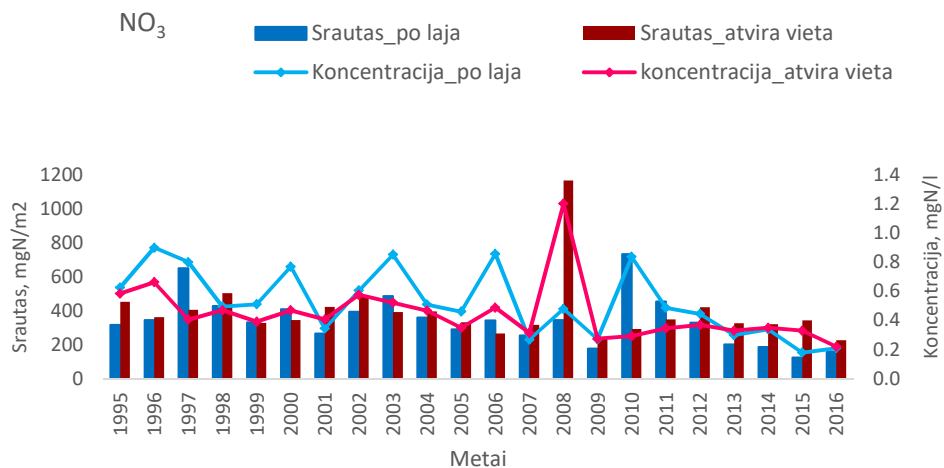
27 pav. Nitratų srautų ir koncentracijų kaita atmosferos krituliuose atviroje vietoje ir po medžių lajomis Aukštaitijos IMS.



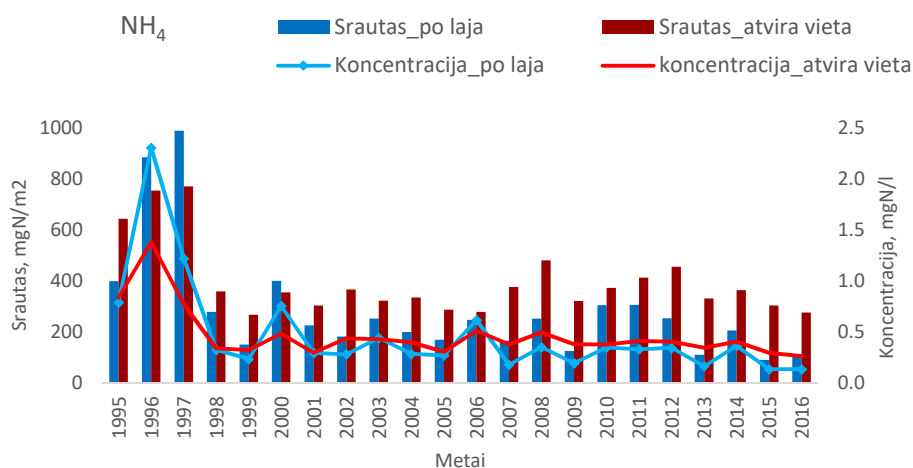
28 pav. Amonio srautų ir koncentracijų kaita atmosferos krituliuose atviroje vietoje ir po medžių lajomis Aukštaitijos IMS.



29 pav. Sulfatų srautų ir koncentracijų kaita atmosferos krituliuose atviroje vietoje ir po medžių lajomis Žemaitijos IMS.



30 pav. Nitratų srautų ir koncentracijų kaita atmosferos krituliuose atviroje vietoje ir po medžių lajomis Žemaitijos IMS.



31 pav. Amonio srautų ir koncentracijų kaita atmosferos krituliuose atviroje vietoje ir po medžių lajomis Žemaitijos IMS.

IŠVADOS

Vertinant 2016 m. pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų polajiniuose krituliuose IM stotyse tyrimo duomenis, daromos tokios išvados:

- Atmosferiniams krituliams krentant per medžių lają, cheminių priemaišų, išskyrus azoto junginius, koncentracijos ir jų kiekiai iškritose į polajį yra didesni nei atviroje vietoje.
- Sulfatų koncentracijos padidėjimas polajiniuose krituliuose gali būti siejamas su sieros junginių (sulfatų ir sieros dvideginio) nuplovimu nuo lajos.
- Azoto junginių koncentracijų pokyčiai polajiniuose krituliuose gali būti siejami su jų išplovimu iš lajos, nuplovimu nuo lajos, o taip pat ir dėl azoto junginių absorbcijos laja.
- Didžiausias koncentracijų ir srautų padidėjimas abiejose IM stotyse rastas kaliui. Tai rodo šio elemento išplovimą iš lajos.
- Žemaitijos IMS visų pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos ir srautai polajiniuose krituliuose yra didesnės nei Aukštaitijos IMS.
- Pagrindinių cheminių priemaišų srautai į miško paklotę abiejose IM stotyse 2016 m. yra netolygūs kritulių kiekiui; esant 1,3 karto didesniai kritulių metiniam kiekiui Žemaitijos IMS nei Aukštaitijos IMS, į polajį Žemaitijoje patenka apie 3 kartus daugiau sieros, 1,7 – azoto, 4 – kalio ir natrio, 2,1 – magnio ir 2,8 karto daugiau kalcio. Šie skirtumai tarp stočių gali būti dėl lajos skirtingos struktūros: Aukštaitijos IMS vyrauja pušys su ažūrinėmis lajomis ir mažu lapijos ploto indeksu, o Žemaitijos IMS – eglės su tankiomis lajomis ir dideliu lapijos ploto indeksu.
- Pagrindinių cheminių priemaišų srautų į miško paklotę dinamika per 2010 – 2016 m. Aukštaitijos ir Žemaitijos IMS rodo mažėjimo tendenciją, atitinkamai sulfatui – 8 ir 7 %, nitratui – 13 ir 5 % bei amoniui – 11 ir 9 % per metus.

3. PAŽEMINIO OZONO TYRIMAI PAGAL EMEP PROGRAMĄ

SANTRAUKA

Ataskaitoje pateikta ozono koncentracijos atmosferos pažemio sluoksnyje kaitos ir kitimo tendencijos EMEP stotyje Preiloje 2016 metais analizė.

Vidutinė metinė ozono koncentracija 2016 metais EMEP stotyje Preiloje buvo $63,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Didžiausia ozono koncentracija ($138,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 2016 metais buvo išmatuota gegužės 10 dieną, kurios kilmė yra sietina su užteršto oro masių pernaša iš Baltarusijos per Lenkiją ir Kaliningrado sritį bei galimu intensyvesniu vietiniu fotocheminiu susidarymu dėl palankių meteorologinių sąlygų.

Apskaičiuotos AOT40 vertės augmenijos apsaugai Preilos stotyje neviršijo 2008/50/EB direktyvos VII priede pateiktos siektinos 5 metų vidutinės vertės, ilgalaikis tikslas - $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ per 2012-2016 metus teoriškai buvo pasiektas.

Per 2016 metus gyventojų informavimo ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) slenkstis nebuvo viršytas; pavojaus ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) slenkstis nebuvo pasiektas. Siektina žmonių sveikatos apsaugai vertė, t.y., kad didžiausias paros 8 valandų vidurkis $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nebūtų viršijamas daugiau nei 25 paras per kalendorinius metus, imant trejų metų vidurkį, stotyje nebuvo viršytas.

Per pastaruosius 5 metus nustatyta didžiausios (pikinės) ozono koncentracijos svyravimai $123 - 151 \mu\text{g}/\text{m}^3$ intervale. Vertinant ozono koncentracijos pokyčius Preiloje ir kitose Europos regionuose per 2012-2016 metus didelių ($>160 \mu\text{g}/\text{m}^3$) koncentracijų padažnėjimo neturėtų būti per ateinančius artimiausius metus, nes visose šalyse yra stengiamasi sumažinti ozono pirmtakų emisijas, kurios ir yra labiausiai siejamos su didelių ozono koncentracijų susidarymu.

IVADAS

Ozonas yra stiprus fotocheminis oksidatorius, kuris gali sukelti rimtus žmogaus sveikatos sutrikimus ir pažeisti žemės ūkio kultūras bei įvairias medžiagas. Tokios ozono koncentracijos yra stebimos visoje Europoje. Troposferoje yra tik apie 10 % viso atmosferos ozono kiekio, tačiau jis vaidina didžiulį vaidmenį ne tik augmenijos, bet ir gyvūnijos bei žmonių gyvenime. Neigiamus efektus ozonas sukelia dėl savo ypatingo cheminio aktyvumo.

Ozonas troposferoje yra taip pat labai svarbus daugelyje atmosferos vyksmų: oksidacijoje, aplinkos rūgštėjime, „šiltnamio“ efekte, antrinių kietųjų dalelių susidaryme ir panašiai. Ozonas yra natūraliai egzistuojanti atmosferos priemaiša ir turi du pagrindinius šaltinius. Pirmasis yra natūralus - stratosfera, kurio indėlis į ozono kiekį troposferoje metai iš metų mažai kinta ir yra glaudžiai susijęs su atmosferos dinamika. Ozono srautas iš stratosferos į troposferą yra apie 10^{10} - 10^{11} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Antrasis antropogeninis fotocheminis šaltinis yra pačioje troposferoje, kuris labai kinta priklausomai nuo ozono pirmtakų (pagrindiniai yra lakūs organiniai junginiai ir azoto oksidai) koncentracijos lygio, saulės ultravioletinės spinduliuotės intensyvumo, sinoptinės situacijos, oro masių pernašos bei vietinių meteorologinių sąlygų. Todėl bendra ozono koncentracija atmosferos pažemio sluoksnyje metai iš metų labai kinta. Fotocheminis ozono susidarymas troposferoje tampa problema, kadangi jis gali padidinti ozono koncentraciją keletą kartų ir jo lygis gali pasiekti jau pavojingą ribą. Didelė ozono koncentracija atmosferoje ardo daugelį medžiagų bei yra žalinga augmenijai, gyvūnų ir žmogaus sveikatai, tačiau maža ozono koncentracija ore pasižymi dezinfekuojančiomis savybėmis.

Atmosferos ozono monitoringas yra neatsiejama dalis daugumos tarptautinių programų, susijusių su bendru atmosferos monitoringu, pvz., EMEP, Pasaulinės Meteorologų Organizacijos (WMO) programa GAW ir kt.

Šiais metais ozono koncentracijos aplinkos ore normas Lietuvoje reglamentavo Europos parlamento ir Tarybos direktyva 2008/50/EB dėl aplinkos oro kokybės ir švaresnio oro Europoje direktyva [1], bei Lietuvos Respublikos aplinkos ministro ir Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2010 m. liepos 7 d. įsakymo Nr. D1-585/V-611 [2] ir Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2010 04 06 įsakymas Nr D1-279 [3].

2008/50/EB direktyvos tikslas:

a) nustatyti Bendrijoje ilgalaikius tikslus, siektinas vertes, pavojaus ir informavimo slenksčius, susijusius su ozono koncentracija aplinkos ore, kurie skirti išvengti, užkirsti kelią arba sumažinti žalingą poveikį žmonių sveikatai ir aplinkai kaip visumai;

b) užtikrinti, kad aplinkos ore esančio ozono koncentracijai ir atitinkamai ozono pirmtakams (azoto oksidams ir lakiesiems organiniams junginiams) vertinti valstybėse narėse būtų taikomi bendri metodai ir kriterijai;

c) užtikrinti, kad būtų gaunama pakankamai informacijos apie ozono lygius aplinkoje ir kad ji būtų prieinama visuomenei;

d) užtikrinti, kad aplinkos oro kokybė ozono atžvilgiu būtų išlaikoma, jeigu ji yra gera, o kitais atvejais – ji būtų gerinama;

e) skatinti didesnę bendradarbiavimą tarp valstybių narių ozono lygių mažinimo srityje, panaudoti tarpvalstybinių priemonių galimybes ir susitarimus dėl tokių priemonių.

Direktyvoje nurodytos siektinos ozono koncentracijos ir AOT40 vertės aplinkos ore 2010 metams (1 lentelė) bei ilgalaikiai tikslai (2 lentelė). Ilgalaikiai tikslai turi būti keičiami, atskaitos tašku imant 2020 m. bei atsižvelgiant į pažangą, padarytą siekiant sumažinti nacionalinius išmetamųjų teršalų kiekius. AOT 40 (išreikštas $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{valandų}$) yra skirtumo tarp valandinių koncentracijų, didesnių už $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (= 40 dalių vienam milijardui) ir $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ suma per nustatytą laikotarpį, naudojant vienos valandos vertes, matuotas nuo 8:00 iki 20:00 val. Vidurio Europos laiku kiekvieną dieną.

1 lentelė

SIEKTINOS VERTĖS

Tikslas	Parametrai	2010 m. siektina vertė
Žmonių sveikatos apsauga	Didžiausias paros 8 valandų vidurkis	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ neturi būti viršijama daugiau nei 25 paras per kalendorinius metus, imant trejų metų vidurkį
Augmenijos apsauga	AOT40, apskaičiuotas pagal 1 valandos vertes	$18000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$, imant penkerių metų vidurkį

nuo gegužės iki liepos
mėn.

2 lentelė

OZONO ILGALAIKIAI TIKSLAI

Tikslas	Parametrai	Ilgalaikius tikslus atitinkanti vertė
Žmonių sveikatos apsauga	Didžiausias paros 8 valandų vidurkis per kalendorinius metus	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Augmenijos apsauga	AOT40, apskaičiuotas pagal 1 valandos vertes nuo gegužės iki liepos mėn.	6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$

Pagal direktyvos reikalavimus privaloma užtikrinti, kad naujausia informacija apie ozono koncentraciją aplinkos ore būtų reguliariai pateikiama visuomenei. Šioje informacijoje nurodomos visos koncentracijos, viršijančios užterštumo lygius, nurodytus ilgalaikiuose sveikatos apsaugos tiksluose, ir pavojaus slenksčius per atitinkamą vidurkinimo laiką (3 lentelė).

3 lentelė

GYVENTOJŲ INFORMAVIMO IR PAVOJAUS SLENKSČIAI

	Parametrai	Vertė
Informavimo slenkstis	1 valandos vidurkis	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Pavojaus slenkstis	1 valandos vidurkis*	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

*slenksčius viršijančios vertės turi būti matuojamos arba numatomos iš eilės tris valandas

Pažemio ozono kritinis lygis žmonių sveikatai nusakomas indikatoriumi AOT 60, kurio vertė yra didesnių nei 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (= 60 dalių vienam milijardui) ir 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pažemio ozono 1 valandos koncentracijų, matuotų metus skirtumų suma. Be to, pažemio ozono apkrova bet kuriame 150 km x 150 km plote neturi viršyti absoliučios 5800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

x h (2,9 ppm x h) ribos. Pažemio ozono apkrova, didesnė negu pasėliams ir natūraliai augančiai augmenijai nustatytas (2 lentelė) kritinis lygis $AOT\ 40 = 6000\ \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ (3 ppm x h), 2010 metais palyginti su 1990, turėjo būti sumažintas taip pat dviem trečdaliais. Be to, pažemio ozono apkrova bet kuriame 150 km x 150 km plote neturi viršyti absoliučios $20000\ \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ (10 ppm x h) ribos.

Ozono koncentracijos atmosferos pažemio sluoksnyje monitoringas leidžia nustatyti ozono lygio pokyčius per ilgą laikotarpį, ozono kitimo tendenciją bei šaltinius, nustatyti kritinius jo lygius bei įvertinti galimą poveikį ekosistemoms.

Pagrindinis darbo tikslas – ozono koncentracijos duomenų, gautų Preilos foninio monitoringo stotyje, įvertinimas, jų apdorojimas ir analizė, didžiausių ozono koncentracijų atsikartojimo dažnio ir šaltinio įvertinimas. Ozono parametrų pokyčių per 2016 metų laikotarpį analizė ir palyginimas su 1993-2015 metų duomenimis. Indikatorių AOT40 ir AOT60 verčių apskaičiavimas ir įvertinimas.

METODIKA

Ozono koncentracija atmosferos pažemio sluoksnyje Lietuvoje pagal EMEP (Oro taršos tolimųjų pernašų Europoje monitoringo ir įvertinimo kooperatyvinė programa) programos reikalavimus [4] matuojama Preilos foninėje stotyje LT15 Neringos nacionaliniame parke. Ozono koncentracija matuojama nenutrūkstamai ultravioletinių spindulių fotometriniu metodu aprašytu LST EN 14625:2005 „Oro kokybė. Standartinis ozono koncentracijos matavimo metodas, taikant ultravioletinę fotometriją“. Matavimams naudojami komerciniai UV absorbcijos ozono analizatoriai.

UV absorbcijos ozono analizatorių veikimas paremtas ozono sugebėjimu absorbuoti 254 nm bangos ultravioletinius spindulius. Spinduliuotės šaltinis prietaise yra gyvsidabrio garų lempa, o detektorius - vakuuminis fotodiodas. Aplinkos ozono koncentracijos matavimas vyksta per du ciklus kas 20 sek. Pirmuoju - oras su ozonu praeina absorbcinę celę ir išmatuojamas šviesos intensyvumas I . Antru etapu - oras, jau išvalytas nuo ozono, patenka į celę ir vėl išmatuojamas šviesos intensyvumas I_0 . Pagal Bero - Lamberto dėsnį išmatuota ozono koncentracija apskaičiuojama

$$[O_3] = \left(-\frac{1}{al} \ln \frac{I}{I_0}\right) \left(\frac{T}{273}\right) \left(\frac{760}{P}\right) \left(\frac{10^6}{L}\right), \quad (1)$$

čia

$[O_3]$ - ozono koncentracija, ppm (1 ppm = 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$),

a = absorbcijos koeficientas,

l = optinio kelio ilgis, cm

T = pavyzdžio temperatūra, $^{\circ}\text{K}$

P = pavyzdžio slėgis, tor

L = ozono nuostoliai prietaise.

Prietaisų matavimo ribos 0 - 40000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, jutos riba -1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, matavimo trukmė - 20 s. Prietaisai turi analoginį išėjimą.

AOT40 reikšmės apskaičiuojamos pagal formulę:

$$AOT40 = \sum_i^N (C_i - T) \times \delta_i \quad (2)$$

kur $\delta_i = 0$, jeigu ozono koncentracija žemiau ribinės reikšmės T ($80\mu\text{g}/\text{m}^3$) ir $\delta_i=1$, kai viršija T , N yra visų galimų matavimų per nustatyta periodą skaičius. AOT40 vertė augmenijos apsaugai skaičiuota iš ozono koncentracijos duomenų per gegužę-liepą, o miškų apsaugai per balandį-rugsėį.

Kadangi gauti ozono koncentracijos duomenys nėra pilni, t.y., sudaro mažiau 100 procentų, buvo pritaikyta apskaičiavimas pagal formulę (3), kai duomenų skaičius buvo tarp 90 ir 100 procentų.

$$AOT40 = (AOT40)_0 \times \frac{h}{h_0}, \quad (3)$$

kur $(AOT40)_0$ yra apskaičiuota vertė, h_0 yra realiai matuotų valandų skaičius ir h visų galimų valandų skaičius.

Ozono koncentracijos duomenų analizei naudojama papildoma informacija pateikta Rhenish Institute for Environmental Research at the University of Cologne, European Environment Information and Observation Network, EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) bei National Oceanic and Atmospheric administration (NOAA) Air Resources laboratory (ARL) Real-time Environmental Applications and Display sYstem (READY) internetiniuose puslapiuose.

Ozono analizatorius kas trys mėnesiai buvo kalibruoti pagal Aplinkos apsaugos agentūroje naudojamais Lietuvos aplinkos oro monitoringo tarpinius ozono standartus.

REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Lietuvoje šiuo metu yra viena monitoringo stotis, kuri veikia pagal EMEP programos reikalavimus – tai Preilos foninio monitoringo stotis. Ozono koncentracija stotyje buvo matuota nenutrūkstamai. Vienok, dėl įvairių priežasčių, pavyzdžiui, elektros energijos sutrikimai, aparatūros gedimai ir kt., dalies duomenų nėra. 4 lentelėje pateikiamas gautų patikimų ozono valandinių duomenų kiekio 2016 metais monitoringo stotyje įvertinimas.

Vienas iš pagrindinių monitoringo reikalavimų yra duomenų patikimumas bei jų visuma. Ozono koncentracijos matavimai turi būti nenutrūkstami, minimalus ozono duomenų kiekis privalo būti nemažesnis kaip 75 % visų galimų žiemą ir 90 % vasarą. Šie reikalavimai 2016 metais buvo išpildyti. Šiais kaip ir ankstesniais metais pagrindinė duomenų nebuvimo priežastis buvo elektros tinklo trikdžiai pajūrio krašte dėl labai stiprių vėjų ir kitų ekstremalių situacijų.

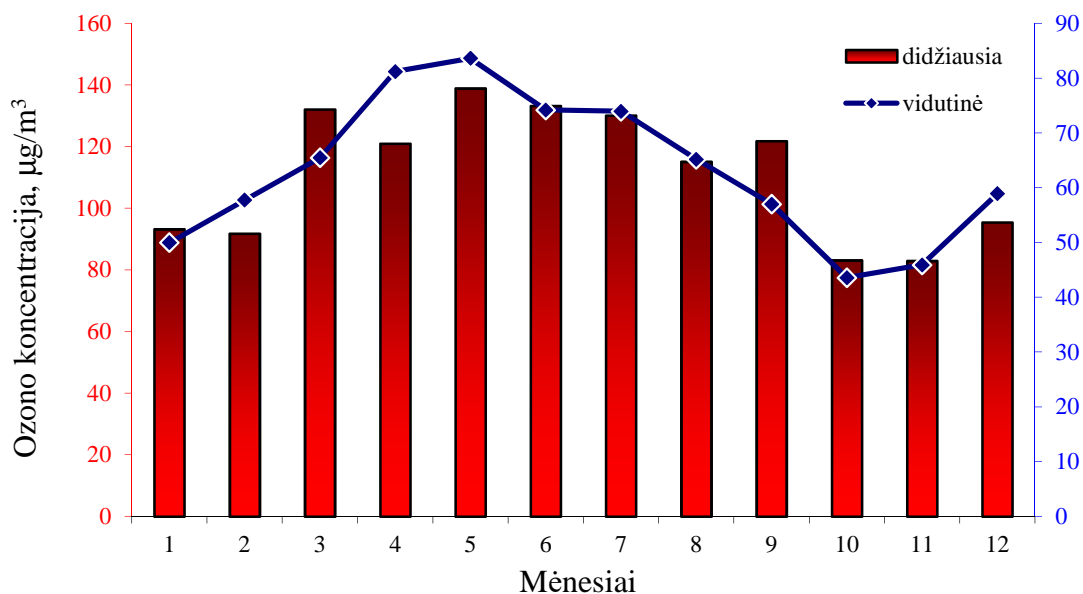
4 lentelė

Ozono koncentracijos patikimų duomenų kiekis (valandų skaičius ir procentai) Preilos stotyje 2016 metais

Mėnuo	Valandų skaičius	%
Sausis	744	100
Vasaris	674	96,6
Kovas	729	98
Balandis	697	96,8
Gegužė	744	100
Birželis	698	96,9
Liepa	735	98,8
Rugpjūtis	705	94,8
Rugsėjis	720	100
Spalis	712	95,7
Lapkritis	720	100
Gruodis	736	98,9

Vidutinių ir didžiausių ozono koncentracijų sezoninė eiga 2016 metais monitoringo stotyje pateikta 1 paveiksle. Vidutinės ozono koncentracijos sezoninė eiga

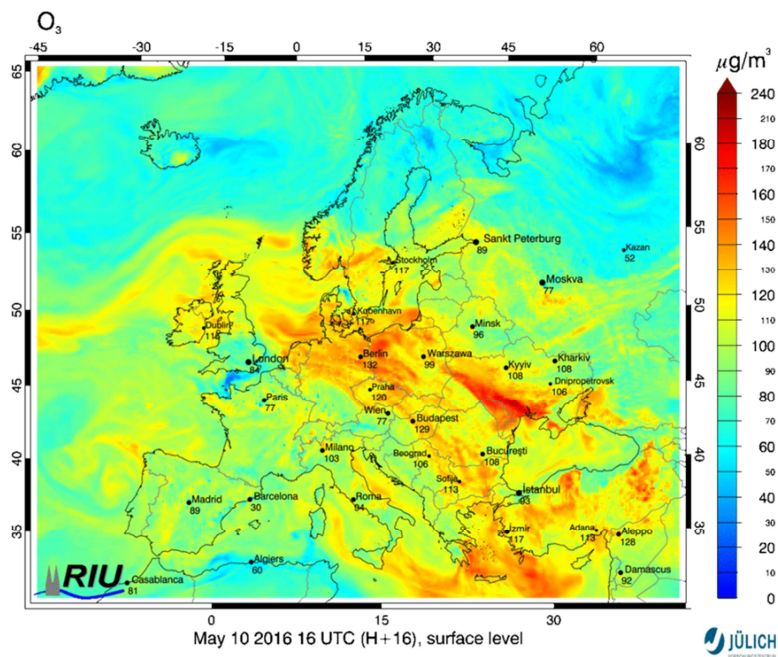
stotyje pasižymi aiškiu pavasariniu padidėjimu balandžio - gegužės mėnesiais. Didžiausia valandinė reikšmė $138,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ užregistruota gegužės mėnesį.



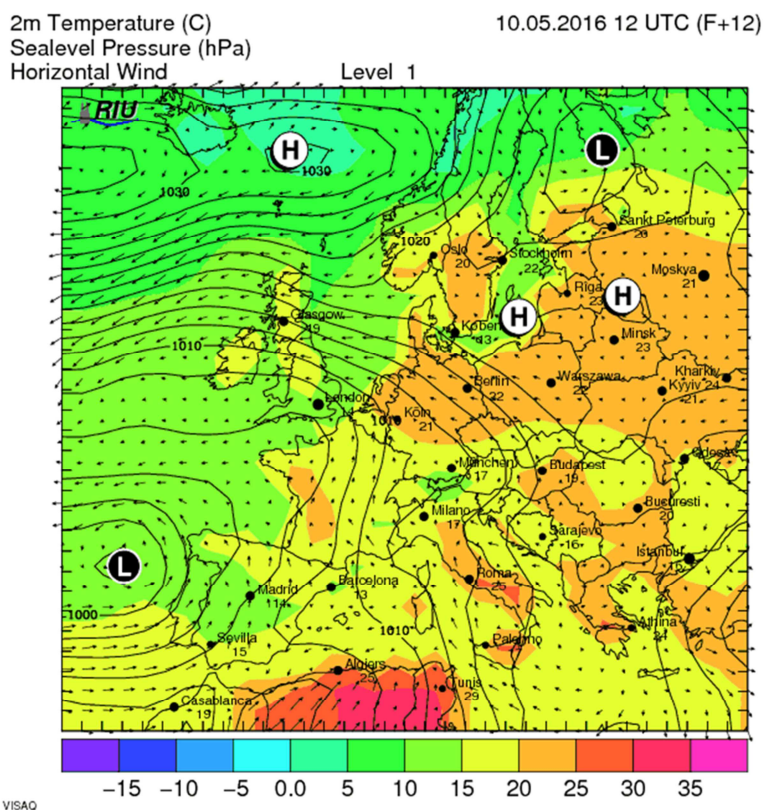
1 pav. Vidutinių ir didžiausių mėnesio ozono koncentracijų sezoninės eigos Preilos stotyje 2016 metais

2016 metais didelių ozono koncentracijų, t.y. viršijančių gyventojų informavimo slenkstį $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, monitoringo stotyje nebuvo užregistruota. Preliminarūs duomenys rodo, kad analogiška situacija, t.y., ozono koncentracijos nesiekė $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, buvo stebėta ir kaimyninėse šalyse – Latvijoje, Lenkijoje, Švedijoje, Suomijoje, Estijoje ir kt. Ozono koncentracijos didesnės $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ paprastai ir yra stebimos Europos pietiniuose regionuose. Lietuvoje ir kitose šiaurės šalyse tokios koncentracijos neregistruojamos jau daugelį metų.

Didžiausia ozono koncentracija ($138,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 2016 metais Preilos stotyje buvo išmatuota gegužės 10 dieną. Pagal EURAD modelio prognozę tą dieną ozono koncentracija turėjo būti panašiam lygyje (2 pav.). Apskritai, ozono koncentracijų prognozė tuo metu rodė didelėje Europos dalyje tokį ozono lygį.

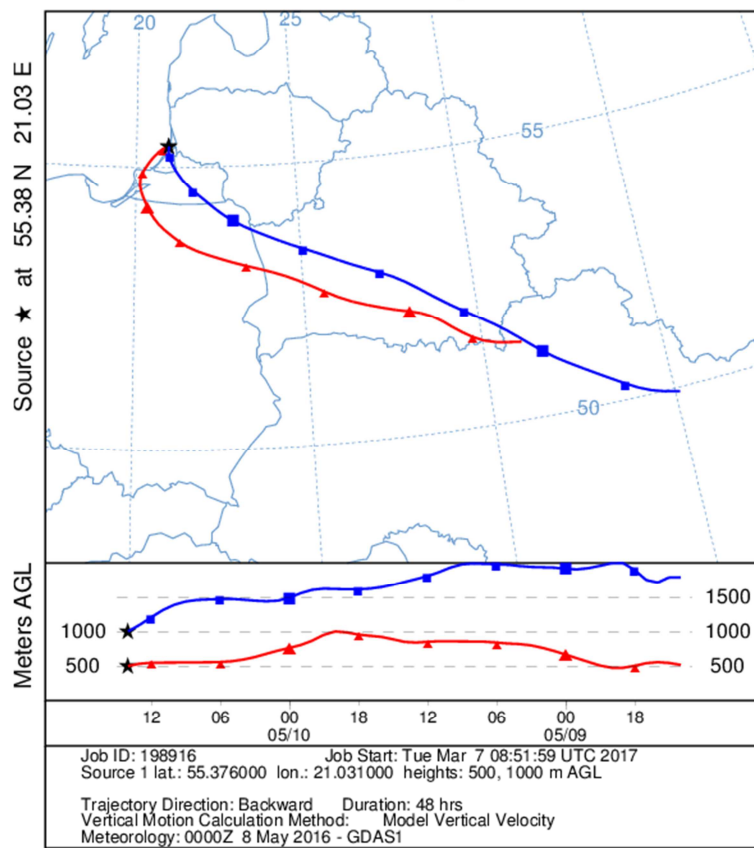


2 pav. Didžiausių valandinių ozono koncentracijų prognozė 2016 m. gegužės 10 d.
Šaltinis: <http://db.eurad.uni-koeln.de>



3 pav. Sinoptinės situacijos ir meteorologinių parametŕų prognozė
2016 metų gegužės 10 d.
Šaltinis: http://www.eurad.uni-koeln.de/index_e.html

NOAA HYSPLIT MODEL
 Backward trajectories ending at 1400 UTC 10 May 16
 GDAS Meteorological Data

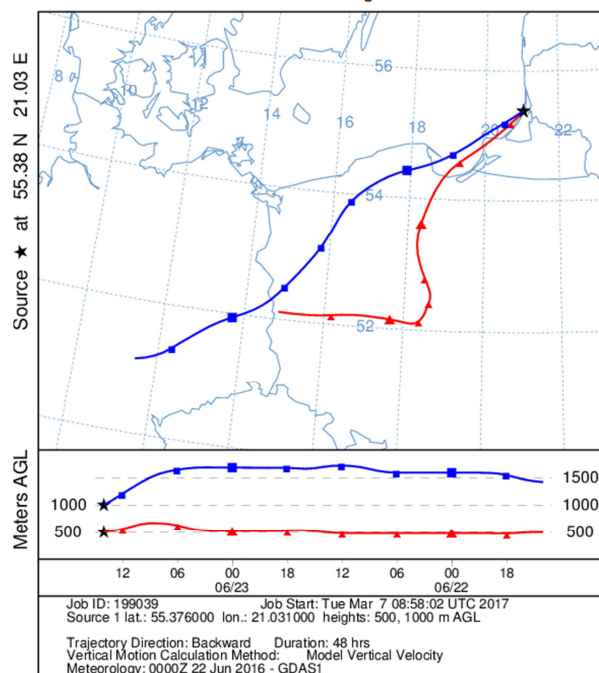


4 pav. Oro masių pernašos atgalinės trajektorijos, 2016 metų gegužės 10 d.
 Šaltinis: http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php

Sinoptinė situacija ir meteorologinės sąlygos (3 pav.) buvo palankios padidintų ozono koncentracijų pernašai bei vietiniam fotocheminiam ozono susidarymui. Atgalinės oro masių pernašos trajektorijos rodo (4 pav.), kad Preilos stotį pasiekė lėtai judančios oro masės iš Baltarusijos pietų per Lenkijos šiaurę ir Kaliningrado sritį, kur tuo metu buvo padidinta ozono koncentracija.

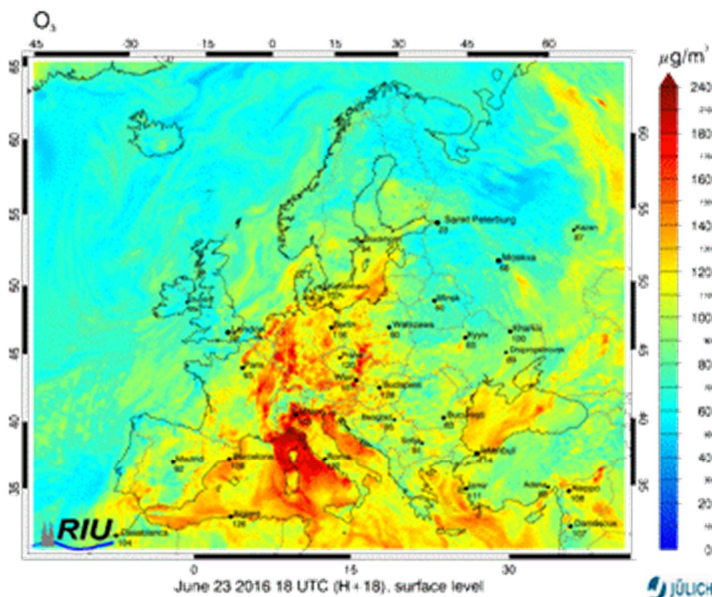
Kitas padidintos ozono koncentracijos epizodas (didžiausia valandinė koncentracija siekė $133,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) buvo stebėtas ir birželio 23-24 dienomis. Oro masės atėjo iš užterštų vakarų Europos regionų (5 pa.). To paties lygio ir didesnės ozono koncentracijos buvo prognozuojamos plačiai Europoje, o tuo pačiu ir kaimyninėse šalyse, bei virš Baltijos jūros (6 pav.).

NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 1400 UTC 23 Jun 16
GDAS Meteorological Data



5 pav. Oro masių pernašos atgalinės trajektorijos, 2016 metų birželio 23 d.

Šaltinis: http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php



6 pav. Didžiausių valandinių ozono koncentracijų prognozė 2016 m. birželio 23 d

Šaltinis: <http://db.eurad.uni-koeln.de>

5 lentelėje pateikiama ozono koncentracijos statistika Preilos stotyje už 2016 metus. Apskaičiuotos AOT40 vertės augmenijos apsaugai (5 lentelė) stotyje neviršijo 2008/50/EB direktyvos VII priede pateiktos siektinos vertės, t.y., $18000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$., tuo pačiu ir 5-ių metų vidurkis neviršijo šio lygio (5 lentelė).

Pažemio ozono koncentracijos statistiniai parametrai Preilos monitoringo stotyje 2016 metais

Parametras	Vertė	Vienetai	Laikotarpis	Direktyva	Pastabos
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Metinis vidurkis	63,1	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		2008/50/EB	
Patikimų duomenų skaičius:					
kalendoriniai metai	8614 (98,1%)	valandų skaičius	sausis -gruodis	2008/50/EB	ne daugiau kaip 8784
vasaros metas	4299 (97,9 %)	valandų skaičius	balandis-rugsėjis	2008/50/EB	ne daugiau kaip 4392
žiemos metas	4315 (98,2 %)	valandų skaičius	sausis-kovas ir spalis-gruodis	2008/50/EB	ne daugiau kaip 4392
Didžiausia mėnesio reikšmė:					
balandis	121,0	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
gegužė	138,9	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
birželis	133,2	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
liepa	130,1	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
rugpjūtis	115,1	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
rugsėjis	121,8	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Žmonių sveikatos apsauga					
Maksimalus 8 valandų vidurkis $>120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	7	dienų skaičius	kalendoriniai metai	2008/50/EB	
Informavimo slenkstinės	0	valandų skaičius			

vertės - valandos vidurkis >180 µg/m ³ - viršijimas				2008/50/EB	
1	2	3	4	5	6
Pavojaus slenkstinės vertės - valandos vidurkis >240 µg/m ³ - viršijimas	0	valandų skaičius		2008/50/EB	
AOT60	504	µg/m ³ x h	sausis-gruodis	2001/81/EB	ne daugiau kaip 5800
AOT40 miškų apsaugai	15415 (15628)	µg/m ³ x h	balandis-rugsėjis	2008/50/EB	Skiaustuose pateiktos reikšmės perskaičiuotos pagal 3 formulę
Patikimų duomenų skaičius	2160	valandų skaičius	balandis-rugsėjis, 8-20 val.		ne daugiau kaip 2196
AOT40 augmenijos apsaugai	10611 (10689)	µg/m ³ x h	gegužė-liepa	2001/81/EB 2008/50/EB	Skiaustuose pateiktos reikšmės perskaičiuotos pagal 3 formulę
Patikimų duomenų skaičius	1094	valandų skaičius	gegužė-liepa, 8-20 val.		ne daugiau kaip 1104

Atskiri ozono slenkstinių verčių viršijimo atvejai:
Sveikatos apsaugos ozono ilgalaikio tikslo
(maksimalus 8 valandų vidurkis $> 120\mu\text{g}/\text{m}^3$) viršijimas

Stotis	Mėnuo ir diena	Didžiausia paros 8 h vidutinė ozono koncentracija, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Preila	Kovo 28	123
	Gegužės 09	134,5
	Gegužės 10	121,2
	Gegužės 11	123,9
	Birželio 24	127,6
	Liepos 02	122,4
	Liepos 09	125,8

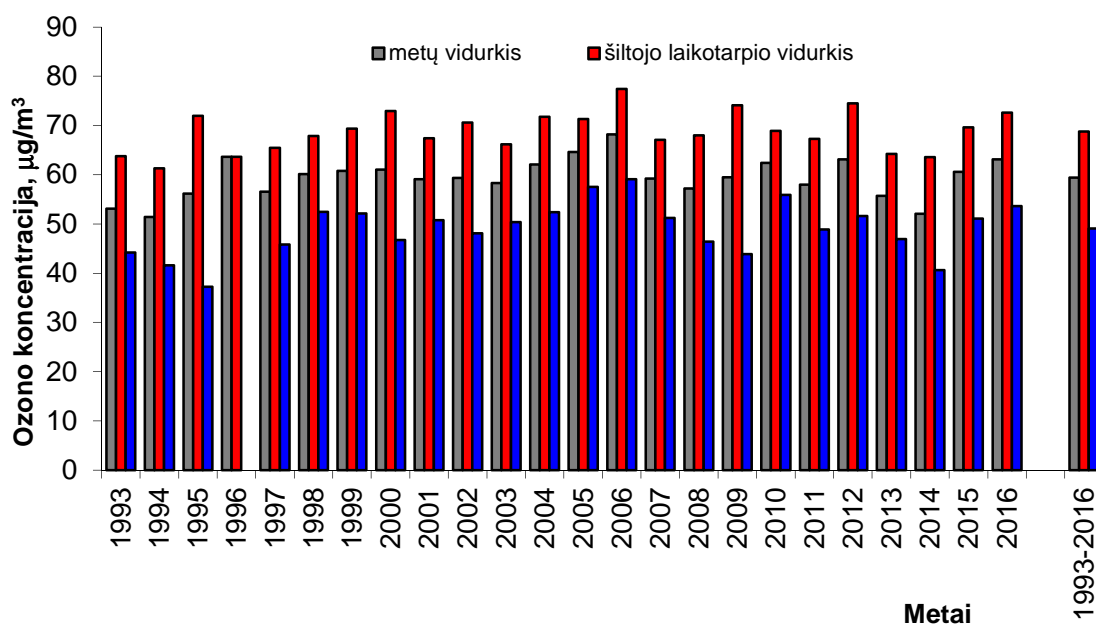
Vertinant ozono poveikį žmogaus sveikatai yra naudojami du indikatoriai: pagal 2002/3/EB (2008/50/EB) direktyvą (2 lentelė) bei Pasaulio sveikatos organizacijos siūlomas bei direktyvoje 2001/81/EB priimtas AOT60. Remiantis pažemio ozono koncentracijos duomenimis nustatyta, kad pavojingas poveikis žmogaus sveikatai per 2016 metus nebuvo stebėtas.

Gyventojų informavimo slenkstis ($180\mu\text{g}/\text{m}^3$) nebuvo viršytas. Siektina žmonių sveikatos apsaugai vertė, t.y., kad didžiausias paros 8 valandų vidurkis $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ nebūtų viršijamas daugiau nei 25 paras per kalendorinius metus, imant trejų metų vidurkį, taip pat nebuvo viršytas. Tačiau ilgalaikiai tikslai dar nėra pasiekti, t.y., užregistruoti atvejai, kai paros didžiausias 8 valandų vidurkis viršijo $120\mu\text{g}/\text{m}^3$. Visi atvejai, kai stotyje buvo viršytas šis lygis pateikti 6 lentelėje. AOT60 reikšmės 2016 metais neviršijo leistinos absoliučios $5800\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ ribos, tačiau viršijo žmonių sveikatai nustatytą kritinį lygį $\text{AOT } 60 = 0$.

OZONO KONCENTRACIJOS APŽVALGA SKIRTINGAIS METAIS IR PROGNOZĖ

Palyginus 2016 metų ozono koncentracijos reikšmes su 2015 metų yra stebimas padidėjimas visais laikotarpiais. Tokia situacija stebima jau trečius metus iš eilės. Išmatuota didžiausia ozono valandinė reikšmė 2016 metais palyginus su 2015 metais buvo mažesnė, t.y., atitinkamai $138,9$ ir $149,4\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vidutinė metinė ozono

koncentracija per 1993-2016 metų laikotarpį buvo labai artima 1993-2015 metų laikotarpiui, t.y., atitinkamai 59,4 ir 59,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tai lėmė didesnės šiltojo ir šaltojo laikotarpių padidėjusios koncentracijos. Didžiausia koncentracija (77,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) šiltojo laikotarpio (balandis - rugsėjis) buvo nustatyta 2006 metais, o mažiausia šaltuoju laikotarpiu (spalis – kovas) (37,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 1995 metais (7 pav.).



5 pav. Ozono koncentracijos vidutinių reikšmių kaita per 1993–2016 metus Preilos stotyje atskirais laikotarpiais: šiltuoju (balandis-rugsėjis), šaltuoju (spalis-kovas) ir kalendoriniais metais

Apskaičiuotos AOT40 vertės augmenijos apsaugai Preilos stotyje neviršijo 2008/50/EB direktyvos VII priede pateiktos siektinos 5 metų vidutinės vertės gegužės - liepos mėnesiais, t.y., 18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$. Penkerių metų (2012-2016) vidurkis buvo 6493 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$, t.y., ilgalaikis tikslas - 6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ per šį laikotarpį yra pasiektas ir viršytas. Tačiau, kadangi per šį 15 mėnesių laikotarpį nėra 100% duomenų surinkimo, tai gali būti traktuojama kaip apytikslė reikšmė.

Siektina žmonių sveikatos apsaugai vertė, t.y., kad didžiausias paros 8 valandų vidurkis 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nebūtų viršijamas daugiau nei 25 paras per kalendorinius metus, imant trejų metų vidurkį, per 2014-2016 metų laikotarpį nebuvo viršyta. Tačiau ilgalaikiai tikslai dar nėra pasiekti, t.y., užregistruoti atvejai, kai paros didžiausias 8 valandų vidurkis viršijo 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dažniausiai šie atvejai buvo stebėti, kai užterštos oro masės pasiekdavo Lietuvą iš pietinių-vakarinių Europos regionų. Todėl, vertinant

pernašų iš kitų šalių indėlių į bendrą Lietuvos oro baseino užterštumo lygį yra būtina nuolatinei matuoti ozono koncentraciją vakarinėje Lietuvos dalyje esančioje stotyje, neužterštoje vietovėje ir kurioje yra vykdoma plati kitų teršalų monitoringo programa.

Kadangi duomenų analizė rodo, kad didelės ozono koncentracijos dažniausiai yra susijusios su užteršto oro pernaša iš kitų regionų, tai tolimesnis ozono ir su jo koncentracija susijusių kitų parametrų (AOT40, AOT60 ir panašiai) lygiai ir ateityje priklausys pagrindė nuo išmestų į atmosferą ozono pirmtakų kiekio kitose regionuose, nes Lietuvos indėlis į fotocheminį ozono susidarymą yra nedidelis. Pastaruosius penkerius metus ozono koncentracijos lygis vasaros mėnesiais mažai keitėsi ir kitose Europos foninėse stotyse [5], tačiau, kadangi ozono lygis labai priklauso ir nuo meteorologinių sąlygų pokyčių atskirais metais, tai ozono koncentracijos matavimai foninėse stotyse yra labai svarbūs.

IŠVADOS

Vidutinė metinė ozono koncentracija 2016 metais EMEP stotyje Preiloje buvo $63,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, t.y., didesnė nei 2015 metais ($60,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ir to paties lygio kaip ir 2012 metais ($63,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Didžiausia ozono koncentracija ($138,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 2016 metais Preilos stotyje buvo išmatuota gegužės 10 dieną, kurios kilmė yra sietina su užteršto oro masių pernaša iš Baltarusijos per Lenkiją ir Kaliningrado sritį bei galimu intensyvesniu vietiniu fotocheminiu susidarymu dėl palankių meteorologinių sąlygų.

Apskaičiuotos AOT40 vertės miškų apsaugai stotyje ($15415 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ ir $15628 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ perskaičiuotasis) neviršijo 2002/3/EB direktyvos III priede pateikto leistino lygio, t.y., $20000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$, ir buvo didesnės nei 2015 metais.

Apskaičiuotos AOT40 vertės augmenijos apsaugai Preilos stotyje neviršijo 2008/50/EB direktyvos VII priede pateiktos siektinos 5 metų vidutinės vertės gegužės - liepos mėnesiais, t.y., $18000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$. Penkerių metų (2012-2016) vidurkis buvo $6493 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$, t.y., ilgalaikis tikslas - $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ per šį laikotarpį yra pasiektas ir viršytas. Tačiau, kadangi per šį 15 mėnesių laikotarpį nėra 100% duomenų surinkimo, tai gali būti traktuojama kaip apytikslė reikšmė.

Per 2016 metus gyventojų informavimo ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) slenkstis nebuvo viršytas; pavojaus ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) slenkstis nebuvo pasiektas. Siektina žmonių sveikatos apsaugai vertė, t.y., kad didžiausias paros 8 valandų vidurkis $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nebūtų viršijamas daugiau nei 25 paras per kalendorinius metus, imant trejų metų vidurkį, stotyje nebuvo viršytas. Tačiau ilgalaikiai tikslai dar nėra pasiekti, t.y., užregistruotas atvejis, kai paros didžiausias 8 valandų vidurkis viršijo $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. AOT60 reikšmės 2016 metais neviršijo leistinos absoliučios $5800 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ ribos, tačiau viršijo žmonių sveikatai nustatytą kritinį lygį $\text{AOT } 60 = 0$.

Vertinant ozono koncentracijos pokyčius Preiloje ir kitose Europos regionuose per 2012-2016 metus staigių pikinių koncentracijų padidėjimų neturėtų būti per ateinančius artimiausius metus, nes visose šalyse yra stengiamasi sumažinti ozono pirmtakų emisijas, kurios ir yra labiausiai siejamos su didelių ozono koncentracijų susidarymu.

Padidėjus vietinei teršalų emisijai (šaltiniai - gaisrai, transportas ir panašiai) ir esant palankioms meteorologinėms sąlygoms, sietinomis su prognozuojamu klimato šiltėjimu, gali atsirasti dažnesni vietiniai padidintų ozono koncentracijų epizodai.

LITERATŪRA

1. Europos Parlamento Tarybos direktyva 2008/50/EB dėl aplinkos oro kokybės ir švaresnio oro Europoje, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:LT:PDF>
2. Lietuvos Respublikos Aplinkos ir Sveikatos apsaugos ministrų įsakymas Nr. D1-585/V-611 "Dėl aplinkos oro užterštumo sieros dioksidu, azoto dioksidu, azoto oksidais, benzenu, anglies monoksidu, švinu, kietosiomis dalelėmis ir ozonu normų patvirtinimo". Valstybės žinios, 2010-07-13, Nr. 82-4364.
3. Aplinkos ministro įsakymas Nr. D1-279 "Dėl aplinkos oro kokybės vertinimo". Valstybės žinios, 2010, Nr.42-2042.
4. EMEP Manual for Sampling and Analysis. <http://tarantula.nilu.no/projects/ccc/manual/index.html>
5. EEA. Summer 2014 ozone assessment. <http://www.eea.europa.eu/themes/air/ozone/air-pollution-by-ozone-across>

4. SUNKIŲJŲ METALŲ IR POLICIKLINIŲ AROMATINIŲ ANGLIAVANDENILIŲ ATMOSFEROS IŠKRITOSE TYRIMAI

SANTRAUKA

Krituliai dėl savo nereguliarumo nors ir ne visiškai, bet iš dalies atspindi ir atmosferos užterštumą, tačiau tiriant teršalų koncentraciją krituliuose, galima žymiai tiksliau nei iš jų koncentracijos ore įvertinti jų srautą į žemės paviršių.

Žemės paviršiaus apkrova 2016 m. visais tirtais sunkiaisiais metalais ir benz(a)pirenu buvo didesnė vakarinėje Lietuvos dalyje (Žemaitijos IMS) nei rytinėje Lietuvos dalyje (Aukštaitijos IMS). Didesnę žemės paviršiaus apkrovą vakarų Lietuvoje sunkiaisiais metalais lėmė labiau šioje dalyje užterštos oro masės, iš kurių krituliais išplaunami sunkieji metalai, bei didesnis kritulių kiekis. Pagrindinė analizės duomenų išsibarstymo priežastis yra didelė oro masių trajektorijų kaita bei kritulių nereguliarumas.

Lyginant Žemės paviršiaus apkrovą sunkiaisiais metalais 2006÷2015 ir 2016 metais pastebėta bendra abiems stotims tolimesnė Pb mažėjimo tendencija. Pastebėtas žymus Ni koncentracijos krituliuose bei sraute į žemės paviršių sumažėjimas Žemaitijos IMS. Žemės paviršiaus apkrovos kitais elementais pokyčiai dėl didelio mėnesinių verčių išsibarstymo yra nereguliarūs.

Darbe nustatyta, kad benz(a)pireno srautas į žemės paviršių 2016 m. kito nuo $0,143 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ iki $0,517 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ Aukštaitijos IMS ir nuo $0,409 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ iki $1,272 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ Žemaitijos IMS. Aukštaitijos IMS kiek benz(a)pireno srautas į žemės paviršių turėjo stipriai išreikštą sezoniškumą. Benz(a)pireno koncentracija krituliuose ir jo srautas į žemės paviršių buvo didesnis Žemaitijos IMS. Tai rodo intensyvesnių benz(a)pireno šaltinių įtaką šios stoties aplinkai.

IVADAS

Vystantis industrijai ir energijos gamybai didėja ir išmetamų į atmosferą teršalų kiekis. Ant žemės ir vandens paviršių teršalai nusėda ir sausu būdu ir yra išplaunami krituliais, todėl svarbūs ne vien tik jų sklidimo ir nusėdimo procesų tyrimai, bet taip pat svarbu nustatyti ir jų koncentracijas atmosferoje bei žemės paviršiaus apkrovos teršalais kiekius bei jų kitimo tendencijas. Tarp labiausiai paplitusių aplinkoje toksinių teršalų, svarbią vietą užima sunkieji metalai ir policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAA).

Metalai į atmosferą patenka tiek iš antropogeninių šaltinių – pramonės įmonių, šiluminių jėgainių bei transporto priemonių, tiek ir iš natūralių šaltinių – vulkanų, dirvų erozijos, miškų gaisrų, vėliau aerolio dalelių sudėtyje su oro srautais sklinda įvairiais atstumais ir sauso ar šlapio nusėdimo būdu patenka į žemės bei vandenų paviršių. Jie toliau migruoja dirvožemyje, patenka į gruntinius vandenis, su upėmis nunešami į jūras ir vandenynus, nusėda vandens telkinių dugne. Daugelis metalų pasižymi toksinėmis savybėmis, todėl yra pavojingi žmogui ir gyvajai gamtai. Iš bendro antropogeninės kilmės sunkiųjų metalų kiekio, nusėdusio ant Lietuvos teritorijos žemės paviršiaus, 70÷90 % jų nusėda su krituliais [1]. Sunkiųjų metalų koncentracijos ore bei krituliuose, o taip pat ir samanose stebėjimai parodė, kad antropogeninės kilmės metalų emisija pačioje Lietuvos teritorijoje yra nedidelė – maždaug 70÷90 % teršalų yra atnešama tolimosios oro masių pernašomis iš Vakarų bei Centrinės Europos ir tik apie 10÷30 % teršalų kiekio, esančio ore, yra išplaunama krituliais Lietuvos teritorijoje [1,2,3]. Pažangesnių technologijų bei valymo įrenginių gamyboje įdiegimas Vakarų Europoje turi didelės įtakos teršalų koncentracijos sumažėjimui Lietuvos oro baseine, ką rodo ir sunkiųjų metalų koncentracijos samanose mažėjimo tendencijos [4].

Praktiškai visi sunkieji metalai, išskyrus gyvsidabrį, atmosferoje būna aerolio dalelių sudėtyje. Didžioji gyvsidabrio dalis atmosferoje yra dujinėje būsenoje, o apie 5÷10 % yra aerolio dalelių sudėtyje. Gyvsidabrio antropogeniniai šaltiniai sudaro daugiau nei 70% visų šaltinių, likusi dalis yra vulkaninės bei foninės kilmės [5]. Atmosferoje aptinkamos įvairios gyvsidabrio formos: elementinis gyvsidabris ($Hg(0)$), neorganiniai ($HgCl_2$) bei organiniai gyvsidabrio junginiai (CH_3Hg). Nuo to,

kokioje formoje atmosferoje yra gyvsidabris, priklauso jo išsiplovimo iš atmosferos ypatumai.

Benz(a)pirenas (B(a)P) yra stipriausias kancerogenas PAA junginių grupėje, todėl jo migracijos dėsninumų ir koncentracijų žinojimas įvairiuose biosferos objektuose padeda gyvų organizmų vėžinių susirgimų profilaktikai [6]. Benz(a)pireno koncentracija atmosferos ore Lietuvoje yra tiriama nuo 1980 metų Fizikos instituto Aplinkos tyrimo stotyje Preiloje. Šie nenutrūkstami tyrimai leido išnagrinėti benz(a)pireno kitimo tendencijas ir priežastis atmosferos ore foninėje stotyje [7]. Benz(a)pireno srautas į žemės paviršių tiek Lietuvoje, tiek ir pasaulyje, net iki praėjusio dešimtmečio, buvo tiriamas gana epizodiškai, tačiau paskutiniaisiais dešimtmečiais šie tyrimai suintensyvėjo, kas leido nustatyti jo išsivalymo iš atmosferos ypatumus, bei įvertinti žemės paviršiaus apkrovas kancerogeniškai aktyviais junginiais netgi regioninėje plotmėje [8,9].

Vykdamas Tarptautinę teršalų transporto ir transformacijos tyrimo programą EUROTRAC, buvo nustatyta, kad benz(a)pireno nusėdimo iš atmosferos į žemės paviršių greitis gali kisti $0.03 \div 0.38 \text{ m s}^{-1}$ intervale vasaros metu ir $0.02 \div 0.26 \text{ m s}^{-1}$ žiemos metu. Nustatyta, kad benz(a)pireno išsivalymo iš atmosferos procesui didelę įtaką turi atmosferos oro temperatūra ir kritulių pobūdis bei intensyvumas [10].

Krituliai dėl savo nereguliarumo nors ir ne visiškai, bet iš dalies atspindi ir atmosferos užterštumą, tačiau tiriant teršalų koncentraciją krituliuose, galima žymiai tiksliau nei iš jų koncentracijos ore įvertinti jų srautą į žemės paviršių.

DARBO METODIKA

Kritulių bandiniai Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stotyse buvo renkami 2016 metų laikotarpyje. Aukštaitijos IM stotis yra išsidėsčiusi rytų Lietuvoje tarp $26^{\circ}03'20''$ ir $26^{\circ}04'50''$ rytų ilgumos bei $55^{\circ}26'00''$ ir $55^{\circ}26'53''$ šiaurės platumos. Žemaitijos IM stotis yra šiaurės vakarų Lietuvoje tarp $21^{\circ}51'56''$ ir $21^{\circ}53'10''$ rytų ilgumos bei $56^{\circ}00'19''$ ir $56^{\circ}01'05''$ šiaurės platumos. Tiriant sunkiuosius metalus šiose stotyse buvo įrengta po tris atmosferos iškritų rinktuvus. Kritulių bandiniai iš rinktuvų buvo imami kas savaitę ir kaupiami trijuose lygiagrečiuose, kiekvienam rinktuvų laikikliui priskirtuose induose visą mėnesį – t.y. kas mėnesį per abi stotis susidarė po šešis bandinius. Laikikliui buvo skirta po du rinktuvus – vienas eksponuojamas savaitę, o kitas ruošiamas. Taip surinktuose bandiniuose buvo nustatyta Pb, Zn, Cr, Ni, Cu, Cd,

As, ir Hg koncentracija. Išanalizavus bandinius, matavimo iš lygiagrečių indų duomenys, atmetus išsišokusias vertes, buvo vidurkinami. Tai buvo daroma siekiant išvengti atsitiktinio užterštumo įtakos analizės rezultatams.

Kritulių rinktuvus sudarė 1000 ml plastmasiniai buteliai, į kuriuos buvo įsukti 8.15 cm skersmens (52.17 cm^2 ploto) piltuvėliai. Prieš naudojimą tiek piltuvėliai, tiek ir buteliai buvo pamerkti į 5% HNO_3 vandeninį tirpalą ir laikomi tris paras, po to pamerkami į 1% HNO_3 vandeninį tirpalą ir laikomi savaitę, po ko praplaunami dejonizuotu vandeniu. Po ekspozicijos rinktuvai laikikliuose buvo keičiami. Nuėmus rinktuvus, į juos buvo įpilama ypatingai švarios HNO_3 tiek, kad rūgšties koncentracija bandinyje būtų lygi 0,2%. Rinktuvai laikomi parą, o po to bandiniai supilami į kiekvienam laikikliui priskirtą butelį. Rinktuvai buvo sveriami su krituliais ir išpylus kritulių vandenį – iš masių skirtumo buvo įvertinamas kritulių tūris. Vėliau buteliai buvo dedami į šaldytuvą ir laikomi ne aukštesnėje kaip 5°C temperatūroje. Panaudoti rinktuvai buvo ruošiami eilinei pamainai: dviem paroms pamerkami į 5% HNO_3 vandeninį tirpalą, po to trims paroms į 1% HNO_3 vandeninį tirpalą, ir praplaunami dejonizuotu vandeniu. Sunkiųjų metalų analizės kokybė užtikrinama naudojant etaloninius “Merck” firmos standartus.

Sunkieji metalai kritulių bandiniuose buvo analizuojami induktyviai susietos plazmos masių spektrometrijos metodu (Inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS) masių spektrometru “Element 2” pagal standartą LST EN ISO 17294:2004. Gyvsidabris buvo analizuojamas šaltų garų atominės absorbcijos spektrometrijos gyvsidabrio analizatoriumi GARDIS-5 (Cold vapour atomic absorption spectrometry, CVAAS) pagal standartą LST EN ISO 12846:2012.

Benz(a)pireno srautui iš žemės paviršių įvertinimui suminiai atmosferos krituliai (sausos iškritos, lietus bei sniegas) buvo renkami į 5 litrų talpos 0.024 m^2 paviršiaus ploto polietileninį indą. Indas buvo keičiamas kas mėnesį. Suminės iškritos buvo filtruojamos per popierinį filtrą “Filtrak” (skirtas smulkiausioms nuosėdoms). Benz(a)pirenas buvo nustatomas skystoje (vandenyje) ir kietoje fazėje (filtre). Filtrai su kietomis nuosėdomis buvo džiovinami kambario temperatūroje (20°C), vėliau užpilami 25 ml n-heksenu ir paliekami mirkti 12÷15 val. Benz(a)pireno ekstrakcija iš nuosėdų buvo atliekama vibracijos aparatu, esant 8Hz dažnumui, 1 val. laikotarpyje. Gautas ekstraktas buvo chromatografiškai frakcionuojamas, o kiekybinė B(a)P analizė atlikta spektrofluorescensiniu metodu, skysto azoto temperatūroje (77°K),

fluorescenciją sužadinant 298 nm bangos ilgio šviesa, o registruojant šviesos, kurios bangos ilgis lygus 403 nm, intensyvumą. Suminių iškritų filtratas buvo padalintas į kelias porcijas po 0.5 l. ir ekstrahuojamas 3 kartus 20-čia ml. n-hekseno. Metodikos procedūrą yra detaliai aprašytą straipsnyje [8].

Benz(a)pireno analizei spektrofluorescenciniu metodu buvo naudotas spektrometras DFS-12, kuris buvo kalibruotas paruoštais standartiniais benz(a)pireno tirpalais 1 ng ml^{-1} ir 10 ng ml^{-1} (96% HPLC, Sigma, Vokietija) pagal standartą LST EN 15980:2011.

TYRIMŲ REZULTATAI

Sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno koncentracijos krituliuose vertės gautos 2016 m. Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stotyse yra pateiktos 1 lentelėje. Iš lentelės matyti, kad sunkiųjų metalų koncentracija krituliuose didesnė Žemaitijos nei Aukštaitijos IM stotyje. Tai iš dalies galima paaiškinti tuo, kad žymią dalį teršalų Lietuva su oro masėmis gauna iš pramoninių vakarų ir centrinės Europos rajonų – dalis sunkiųjų metalų iš oro yra išplaunama vakarinėje Lietuvos dalyje, o į rytinę šalies dalį patenka jau švaresnė, krituliais iš dalies išplauta oro masė. Iš kitos pusės, oro masių pasiskirstymas pagal kryptis nors ir nedaug, bet skiriasi – toliau nuo jūros patenka mažesnė dalis drėgnesnių, lietu nešančių oro masių.

1 lentelė. Vidutinė mėnesinė sunkiųjų metalų ir benz(a)pireno koncentracija krituliuose.

Metai, mėnuo	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Hg	B(a)P
	C, $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$								
Žemaitijos IM stotis									
2016 01	8.67	134	0.515	0.960	11.3	0.229	1.12	0.00556	0.00788
2016 02	7.57	83.3	1.33	2.12	23.3	0.194	1.13	0.00398	0.00613
2016 03	5.59	21.5	0.398	0.938	6.70	0.087	0.656	0.00422	0.04252
2016 04	5.20	133	2.45	4.28	29.0	0.276	1.11	0.00467	0.01199
2016 05	5.15	64.6	2.02	2.31	11.72	0.181	1.21	0.00524	0.00802
2016 06	1.42	37.8	0.100	0.546	4.24	0.137	0.156	0.00581	0.01095
2016 07	1.54	23.5	0.387	0.746	3.16	0.099	0.366	0.00450	0.00836
2016 08	0.76	42.8	0.552	0.521	1.15	0.103	0.328	0.00664	0.00330
2016 09	0.87	41.1	0.439	0.626	0.867	0.045	0.446	0.00358	0.01634
2016 10	1.03	62.5	0.586	0.486	1.60	0.069	0.335	0.00307	0.01508
2016 11	3.15	74.1	0.488	0.442	2.14	0.772	1.43	0.00419	0.00692
2016 12	1.35	47.4	0.637	0.862	4.05	0.057	0.549	0.00400	0.01286
Vidurkis*	3.70	70.0	0.953	1.41	9.81	0.210	0.794	0.00480	0.00937
Aukštaitijos IM stotis									
2016 01	5.59	43.1	0.904	0.65	7.03	0.175	0.527	0.00425	0.01275
2016 02	3.11	42.4	0.738	0.73	7.98	0.151	0.443	0.0149	0.00687
2016 03	3.94	45.8	0.504	0.85	5.88	0.183	0.871	0.00769	0.01422
2016 04	2.69	53.1	0.348	1.49	4.35	0.103	0.875	0.00970	0.00516
2016 05	1.42	71.3	0.167	1.10	3.71	0.130	0.797	0.00860	0.01013
2016 06	2.24	39.7	0.389	1.45	3.75	0.097	0.513	0.00543	0.00676
2016 07	1.50	36.1	0.206	1.97	4.02	0.141	0.568	0.00607	0.00156
2016 08	1.18	85.2	0.150	1.82	3.07	0.145	0.786	0.00325	0.00385
2016 09	1.65	57.1	0.675	1.10	4.97	0.088	0.645	0.00351	0.01050
2016 10	2.48	75.1	0.274	0.92	5.18	0.187	0.683	0.00357	0.00348
2016 11	3.06	204	1.13	1.16	9.96	0.164	0.788	0.00514	0.00957
2016 12	2.97	42.6	0.348	1.03	7.67	0.125	0.804	0.00586	0.00968
Vidurkis*	5.59	43.1	0.904	0.65	7.03	0.175	0.527	0.00425	0.01275

*vidurkiai skaičiuoti atsižvelgiant į kritulių kiekius.

Teršalų įtaką žemės ekosistemai svarbiau yra vertinti pagal iškritusį su krituliais sunkiųjų metalų kiekį. 2 lentelėje yra pateikti kritulių kiekiai ir su krituliais ant žemės paviršiaus iškritę sunkiųjų metalų kiekiai per mėnesį. Kritulių kiekiai buvo įvertinti dalinant inde surinkto kritulių tūrio vertę iš piltuvo viršutinės dalies ploto skaitinės vertės.

Iš duomenų pateiktų 2 lentelėje matyti, kad rytinėje Lietuvos dalyje, kuri toliau jūros, kritulių iškrito mažiau negu vakarinėje Lietuvos dalyje. Iškritę sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno kiekiai rodo, kad oro masė vakarinėje Lietuvos dalyje yra labiau užteršta. Kad oro masės vakarinėje Lietuvos dalyje labiau užterštos rodo ir 1 lentelės duomenys. Šios dvi priežastys ir lemia, kad žemės paviršiaus apkrova sunkiaisiais metalais vakarų Lietuvoje didesnė nei rytų Lietuvoje.

2 lentelė. Kritulių kiekiai ir sunkiųjų metalų ir benz(a)pireno, iškritusių su krituliais, kiekiai į kvadratinį metrą per mėnesį.

Metai, mėnuo	h, mm	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Hg	B(a)P
		Iškritęs kiekis, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mėn.}^{-1}$								
Žemaitijos IM stotis										
2016 01	78.7	682	10541	40.5	75.6	891	18.0	88.2	0.438	0.620
2016 02	114.7	869	9555	153	244	2671	22.3	130	0.46	0.703
2016 03	15.5	87.0	334	6.18	14.6	104	1.35	10.2	0.066	0.661
2016 04	106.1	552	14158	260	454	3082	29.3	118	0.495	1.272
2016 05	85.7	442	5540	173	198	1005	15.5	104	0.450	0.688
2016 06	58.8	83.4	2225	5.88	32.1	250	8.09	9.19	0.342	0.644
2016 07	92.0	142	2166	35.6	68.7	291	9.11	33.7	0.414	0.769
2016 08	124.1	94.7	5313	68.5	64.6	143	12.8	40.7	0.824	0.409
2016 09	31.7	27.5	1303	13.9	19.9	27.5	1.41	14.2	0.114	0.518
2016 10	55.6	57.4	3477	32.6	27.0	89.2	3.86	18.6	0.171	0.839
2016 11	87.0	275	6450	42.5	38.5	186	67.2	125	0.365	0.603
2016 12	69.2	93.5	3283	44.1	59.6	280	3.95	38.0	0.277	0.890
Σ =	919.4	3404	64345	876	1296	9019	193	730	4.41	8.62
Aukštaitijos IM stotis										
2016 01	38.3	214	1647	34.6	24.8	269	6.69	20.2	0.162	0.488
2016 02	75.2	234	3187	55.5	54.6	600	11.4	33.4	1.12	0.517
2016 03	21.5	84.6	982	10.8	18.1	126	3.93	18.7	0.165	0.305
2016 04	59.1	159	3141	20.6	87.9	257	6.12	51.7	0.573	0.305
2016 05	23.0	32.6	1638	3.85	25.4	85.3	2.98	18.3	0.198	0.233
2016 06	40.3	90.2	1599	15.7	58.6	151	3.90	20.7	0.219	0.272
2016 07	94.7	142	3421	19.5	187	381	13.4	53.8	0.575	0.148
2016 08	59.5	70.0	5071	8.93	108	183	8.66	46.8	0.193	0.229
2016 09	13.6	22.5	777	9.19	14.9	67.7	1.19	8.78	0.048	0.143
2016 10	95.0	236	7137	26.0	87.2	492	17.8	64.9	0.339	0.331
2016 11	53.7	164	10980	60.5	62.2	535	8.82	42.3	0.276	0.514
2016 12	53.1	158	2262	18.5	54.6	408	6.66	42.7	0.311	0.514
Σ =	627.1	1607	41842	284	784	3555	91.5	422	4.18	4.00

Sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno kiekiai, iškritę ant žemės paviršiaus, į kvadratinį metrą per parą pateikti 2a lentelėje. Duomenys pateikti atsižvelgiant į dienu skaičių mėnesyje.

2a lentelė. Sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno kiekiai, iškritę ant žemės paviršiaus, į kvadratinį metrą per parą.

Metai, mėnuo	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Hg	B(a)P
	Iškritęs kiekis, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\text{para}^{-1}$								
Žemaitijos IM stotis									
2016 01	22.0	340	1.31	2.44	28.7	0.582	2.84	0.01412	0.02000
2016 02	30.0	329	5.28	8.40	92.1	0.768	4.48	0.01574	0.02426
2016 03	2.80	10.8	0.199	0.470	3.36	0.044	0.329	0.00212	0.02132
2016 04	18.4	472	8.67	15.1	103	0.975	3.94	0.01650	0.04241
2016 05	14.2	179	5.58	6.39	32.4	0.500	3.36	0.01450	0.02218
2016 06	2.78	74.2	0.196	1.07	8.32	0.270	0.306	0.01140	0.02147
2016 07	4.57	69.9	1.15	2.21	9.38	0.294	1.09	0.01335	0.02481
2016 08	3.05	171	2.21	2.09	4.62	0.413	1.31	0.02658	0.01320
2016 09	0.918	43.4	0.464	0.662	0.917	0.0471	0.472	0.00379	0.01728
2016 10	1.85	112	1.05	0.872	2.88	0.125	0.601	0.00551	0.02705
2016 11	9.15	215	1.42	1.28	6.20	2.24	4.16	0.01217	0.02009
2016 12	3.01	106	1.42	1.92	9.04	0.127	1.23	0.00894	0.02872
Vidurkis	9.30	176	2.39	3.54	24.6	0.527	1.99	0.01205	0.02354
Aukštaitijos IM stotis									
2016 01	6.89	53.1	1.12	0.800	8.68	0.216	0.650	0.00524	0.01574
2016 02	8.07	110	1.91	1.88	20.7	0.393	1.15	0.03862	0.01781
2016 03	2.73	31.7	0.349	0.585	4.07	0.127	0.602	0.00532	0.00984
2016 04	5.30	105	0.686	2.93	8.57	0.204	1.72	0.01912	0.01018
2016 05	1.05	52.8	0.12	0.818	2.75	0.0962	0.591	0.00637	0.00751
2016 06	3.01	53.3	0.523	1.95	5.04	0.130	0.689	0.00730	0.00908
2016 07	4.58	110	0.628	6.02	12.3	0.432	1.74	0.01856	0.00478
2016 08	2.26	164	0.288	3.50	5.89	0.279	1.51	0.00624	0.00740
2016 09	0.749	25.9	0.306	0.498	2.26	0.0398	0.293	0.00159	0.00476
2016 10	7.61	230	0.840	2.81	15.9	0.574	2.09	0.01095	0.01066
2016 11	5.47	366	2.02	2.07	17.8	0.294	1.41	0.00921	0.01713
2016 12	5.09	73.0	0.596	1.76	13.1	0.215	1.38	0.01004	0.01658
Vidurkis	2.56	66.7	0.452	1.25	5.67	0.146	0.673	0.00667	0.00638

Koreliacijos tarp mėnesinių kritulių kiekių ir vidutinės mėnesinės sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno koncentracijos krituliuose koeficientų vertės pateiktos 3 lentelėje. Daugumai metalų koreliacinio ryšio nėra dėl oro masių pernašų bei kritulių nereguliarumo. Iš vienerių metų matavimų spręsti apie koreliacinį ryšį yra nepatikima. Neigiamas koreliacinis ryšys abejose stotyse kasmet yra stebimas benz(a)pirenui. Tai rodo, kad į abi stotis patenka išplautos oro masės ir, bendrai paėmus, į Aukštaitijos IMS patenka labiau išplautos oro masės.

3 lentelė. Koreliacijos tarp mėnesinių kritulių kiekių ir vidutinės mėnesinės sunkiųjų metalų koncentracijos krituliuose koeficientų vertės.

Elementas	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Hg	B(a)P
Žemaitijos IMS	0.162	0.422	0.454	0.392	0.431	0.291	0.332	0.443	-0.799
Aukštaitijos IMS	-0.154	0.019	-0.229	0.313	0.038	0.322	-0.261	0.108	-0.819

Koreliacijos tarp mėnesinių kritulių kiekių ir vidutinių mėnesinių sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno kiekių, iškritusių ant žemės paviršiaus į kvadratinį metrą per parą koeficientų vertės pateiktos 4 lentelėje. Iš lentelės matyti, kad koreliacinio ryšio 2016 m. nebuvo dėl oro masių pernašų bei kritulių nereguliarumo.

4 lentelė. Koreliacijos tarp mėnesinių kritulių kiekių ir vidutinių mėnesinių sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno kiekių, iškritusių ant žemės paviršiaus į kvadratinį metrą per parą.

Elementas	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Hg	B(a)P
Žemaitijos IMS	0.002	0.184	-0.065	0.013	-0.050	0.452	0.216	-0.046	0.220
Aukštaitijos IMS	-0.029	-0.061	0.199	-0.236	-0.149	-0.370	-0.390	-0.245	0.117

Šiose ir kitose lentelėse tamsiau pažymėtos vertės rodo patikimesnį nei 95% koreliacinį ryšį ($r > 0,576$, kai $n = 12$).

5 ir 6 lentelėse yra pateiktos tarpusavio koreliacijos koeficientų vertės tarp sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno koncentracijos krituliuose bei iškritusių su krituliais sunkiųjų metalų kiekiuose.

5 lentelė. Koreliacijos koeficientų tarp sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno koncentracijos krituliuose vertės.

Žemaitijos IMS									
	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Hg	B(a)P
Pb	1.000	0.652	0.428	0.494	0.704	0.234	0.730	0.088	0.083
Zn		1.000	0.573	0.612	0.701	0.387	0.669	0.087	-0.359
Cr			1.000	0.944	0.817	0.113	0.578	0.005	-0.193
Ni				1.000	0.922	0.074	0.512	0.020	-0.078
Cu					1.000	0.113	0.572	0.016	-0.100
Cd						1.000	0.711	0.008	-0.280
As							1.000	-0.057	-0.183
Hg								1.000	-0.357
B(a)P									1.000
Aukštaitijos IMS									
	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Hg	B(a)P
Pb	1.000	-0.061	0.627	-0.702	0.602	0.507	-0.142	0.104	0.604
Zn		1.000	0.486	0.027	0.479	0.250	0.336	-0.232	0.051
Cr			1.000	-0.543	0.818	0.227	-0.248	0.058	0.527
Ni				1.000	-0.599	-0.405	0.131	-0.245	-0.700
Cu					1.000	0.393	-0.067	0.204	0.431
Cd						1.000	0.039	-0.039	0.136
As							1.000	-0.144	0.188
Hg								1.000	0.019
B(a)P									1.000

6 lentelė. Koreliacijos koeficientų tarp kritulių, iškritusių su krituliais sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno kiekių vertės.

Žemaitijos IMS										
	h	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Hg	B(a)P
h	1.000	0.538	0.664	0.609	0.555	0.540	0.451	0.652	0.908	0.131
Pb		1.000	0.829	0.654	0.668	0.824	0.391	0.841	0.357	0.243
Zn			1.000	0.775	0.806	0.837	0.519	0.825	0.525	0.476
Cr				1.000	0.970	0.885	0.299	0.729	0.455	0.610
Ni					1.000	0.942	0.267	0.680	0.389	0.705
Cu						1.000	0.272	0.724	0.330	0.612
Cd							1.000	0.759	0.301	0.059
As								1.000	0.439	0.270
Hg									1.000	-0.099
B(a)P										1.000
Aukštaitijos IMS										
	h	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Hg	B(a)P
h	1.000	0.687	0.512	0.385	0.806	0.753	0.944	0.890	0.621	0.130
Pb		1.000	0.404	0.729	0.220	0.851	0.733	0.554	0.590	0.697
Zn			1.000	0.612	0.341	0.643	0.591	0.628	0.110	0.330
Cr				1.000	0.018	0.832	0.434	0.232	0.544	0.755
Ni					1.000	0.344	0.651	0.763	0.364	-0.306
Cu						1.000	0.772	0.627	0.676	0.667
Cd							1.000	0.832	0.498	0.196
As								1.000	0.388	0.104
Hg									1.000	0.324
B(a)P										1.000

Tamsiau pažymėtos vertės lentelėse rodo patikimesnį nei 95% koreliacinį ryšį.

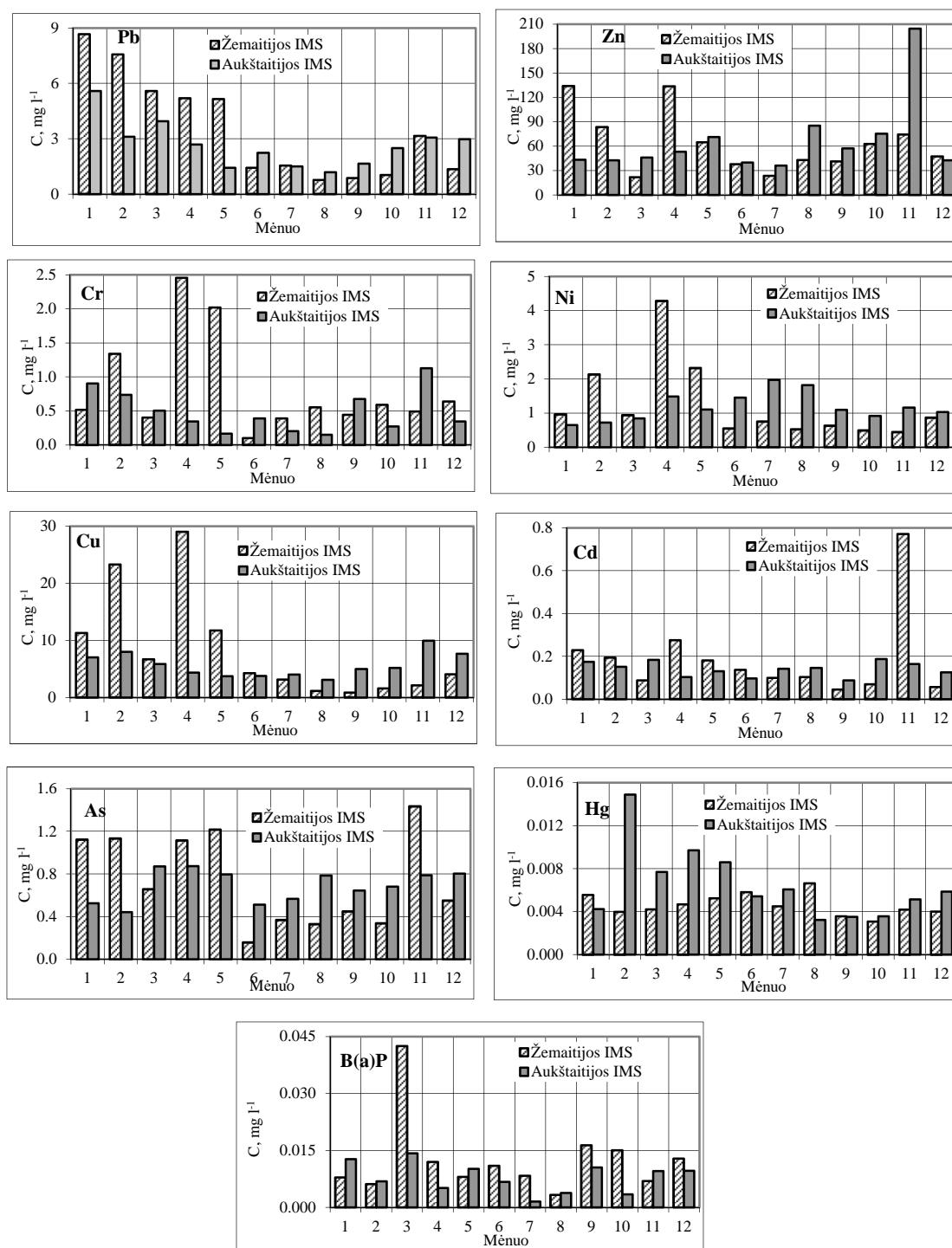
Išplovimo intensyvumas priklauso nuo aerozolio dalelių dydžio [11], metalai aerozolio dalelėse pasiskirstę nevienodai, todėl ir koreliacinis ryšys tarp elementų koncentracijos pakinta, jei lyginame koncentraciją ore ir iškritose.

Koreliacijos koeficientai atskirai paimtų vienerių metų eigai yra skirtingi, todėl apie patikimesnį koreliacinį ryšį galima spręsti tik iš ilgamečių stebėjimų [12].

Paveiksle 1 pateikta sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno koncentracijos krituliuose metinė eiga., o paveiksle 2 pateikta sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno kiekių į m² per mėnesį, iškritusių su krituliais, metinė eiga.

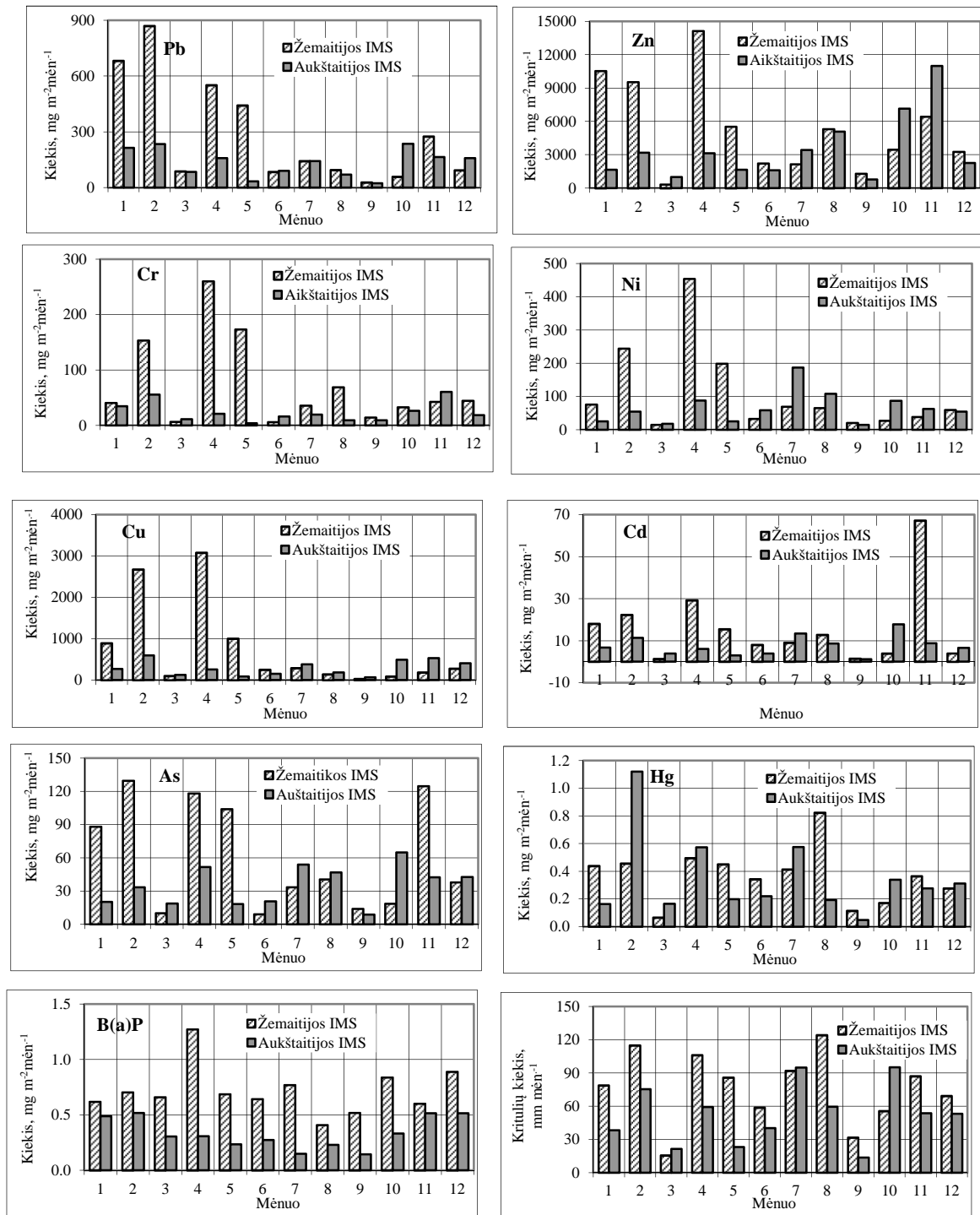
Matyti, kad atskiriems elementams sunkiųjų metalų koncentracijos krituliuose mėnesinės vertės išsidėsčiusios gana netolygiai tiek laiko, tiek ir stočių atžvilgiu, kai, tuo tarpu, toks nesutapimas tarp sunkiųjų metalų kiekių, iškritusių į m² per mėnesį yra šiek tiek mažesnis. Lemiamą įtaką žemės paviršiaus apkrovai sunkiaisiais metalais turi krituliai, o tai rodo ir darbo [13] duomenys.

Kaip matoma iš atliktų tyrimų rezultatų benz(a)pireno koncentracija krituliuose kito intervale nuo 0,00156 $\mu\text{g l}^{-1}$ iki 0,0142 $\mu\text{g l}^{-1}$ Aukštaitijos IMS ir nuo 0,0033 $\mu\text{g l}^{-1}$ iki 0,0425 $\mu\text{g l}^{-1}$ Žemaitijos IMS. Benz(a)pireno srautas i žemės paviršių 2016 m. kito nuo 0,143 $\mu\text{g m}^{-2}\text{mėn}^{-1}$ iki 0,517 $\mu\text{g m}^{-2}\text{mėn}^{-1}$ Aukštaitijos IMS ir nuo 0,409 $\mu\text{g m}^{-2}$



mėn⁻¹ iki 1,27 $\mu\text{g m}^{-2}\text{mėn}^{-1}$ Žemaitijos IMS.

Pav.1. Vidutinė mėnesinė Pb, Zn, Cr, Ni, Cu, Cd, As, Hg ir B(a)P koncentracija ($\text{C}, \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) krituliuose Žemaitijos ir Aukštaitijos integruoto monitorinio stotyse 2016 m.



Pav. 2. Iškritę Pb, Zn, Cr, Ni, Cu, Cd, As, Hg ir B(a)P mėnesiniai kiekiai (μg) bei kritulių kiekiai (mm) į žemės paviršiaus kvadratinį metrą Žemaitijos ir Aukštaitijos integruoto monitorinio stotyse 2016 m.

Abiejose stotyse buvo išreikštas benz(a)pireno koncentracijos krituliuose kaitos sezoniškumas: mažiausias jo srautas į žemės paviršių buvo nustatytas vasaros metu (gegužės-rugsėjo mėnesiais), o didžiausias žiemos metu (spalio-balandžio mėnesiais), kas yra susiję su policiklinių aromatinių angliavandenilių taršos šaltinių

suintensyvėjimu kūrenimo sezono metu. Benz(a)pireno srauto į žemės paviršių kaita priklausomai nuo sezoniškumo yra pateikta 7 lentelėje. Matoma, kad Aukštaitijos IMS benz(a)pireno mėnesinis srautas, o tuo pačiu ir žemės paviršiaus apkrova dėl namų šildymo šalto sezono metu yra padidėjusi apie 196 %, o Žemaitijos IMS tik apie 88 %, kas rodo tų stočių neadekvatų išsidėstymą policikliniu aromatinių angliavandenilių taršos šaltinių atžvilgiu. Matyti, kad Žemaitijos IMS yra pakankamai intensyviai įtakojama įvairių taršos šaltinių, net ir šiltojo sezono metu.

7 lentelė. Benz(a)pireno srautas į žemės paviršių ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mėn}^{-1}$) šaltu ir šiltu metų periodu.

Šaltas periodas (spalis- balandis)		Šiltas periodas (gegužė-rugsėjis)	
Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS	Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS
0,425±0,105	0,799±0,235	0,205±0,057	0,606±0,142

Nagrinėjant benz(a)pireno išsivalymo iš atmosferos dėsninumus, reikia pabrėžti, kad PAA yra aeroliniai, atmosferoje susiję su dalelėmis mažesnėmis nei 1 μm , be to, aeroliniai PAA yra praktiškai netirpūs vandenyje. Atliktas B(a)P iškritų tyrimas Preilos foninių tyrimų stotyje parodė, kad atmosferos kritulių kiekis neturi esminės įtakos benz(a)pireno srauto į žemės paviršių intensyvumui, išskyrus liūtinį lietų ir sniegą [10].

8 lentelė. 2006÷2015 m. ir 2016 m. tyrimo duomenų palyginimas.

Elementas	Vidutinė koncentracija krituliuose				Vidutiniai mėnesiniai iškritę kiekiai			
	Žemaitijos IMS		Aukštaitijos IMS		Žemaitijos IMS		Aukštaitijos IMS	
	2006/15 m.	2016 m.	2006/15 m.	2016 m.	2006/15 m.	2016 m.	2006/15 m.	2016 m.
Pb	5.36	3.70	2.64	2.56	469	284	137	134
Zn	38.4	70.0	20.8	66.7	3383	5362	1100	3487
Cr	0.488	0.953	0.397	0.452	42.8	73.0	20.3	23.6
Ni	4.10	1.41	0.840	1.25	362	108	43.7	65.3
Cu	6.62	9.81	2.36	5.67	586	752	123	296
Cd	0.154	0.210	0.102	0.146	13.6	16.1	5.27	7.63
As	0.561	0.794	0.283	0.673	51.1	60.8	15.1	35.2
Hg	0.0101	0.00480	0.0101	0.00667	0.737	0.368	0.559	0.348
B(a)P	0.0106	0.00937	0.00608	0.00638	0.611	0.718	0.325	0.333

Äankstesnių 2006÷2015 m. ir 2016 m. tyrimo duomenų palyginimas pateiktas 8 lentelėje. Lyginant Žemės paviršiaus apkrovą benz(a)pirenu ir sunkiaisiais metalais

2006÷2015 ir 2016 metais, remiantis [12] darbo duomenimis, pastebėta bendra abiemis stotims tolimesnė Pb mažėjimo tendencija. Pastebėtas žymus Ni koncentracijos kritulių vandenyje bei sraute į žemės paviršių sumažėjimas Žemaitijos IMS. Žemės paviršiaus apkrovos kitais elementais pokyčiai nereguliarūs – panašūs arba kiekvienai stotiai skirtingi ir neturi bendros abiem stotims tendencijos. Apkrovos dydis priklauso tiek nuo elementų koncentracijos ore, tiek ir nuo kritulių kiekio, kuris yra labai nereguliarus, todėl ir apie patikimas tendencijas sunku spręsti iš šio stebėjimų laikotarpio.

IŠVADOS

Žemės paviršiaus apkrova visais sunkiaisiais metalais bei benz(a)pirenu buvo didesnė vakarinėje Lietuvos dalyje (Žemaitijos IMS) nei rytinėje Lietuvos dalyje (Aukštaitijos IMS). Didesnę žemės paviršiaus apkrovą vakarų Lietuvoje sunkiaisiais metalais bei benz(a)pirenu, kaip ir ankstesniais metais, taip ir 2016 m. lėmė tai, kad oro masės, iš kurių krituliais išplaunami sunkieji metalai, vakarų Lietuvoje yra labiau užterštos, be to, čia iškrenta ir daugiau kritulių.

Sezoninės sunkiųjų metalų koncentracijos krituliuose eigos praktiškai nebuvo arba buvo tik silpnai stebima analizuojant 2016 m. kritulių duomenis. Pagrindinė priežastis – didelė oro masių trajektorijų kaita bei kritulių nereguliarumas.

Nustatyta, kad benz(a)pireno srautas į žemės paviršių 2016 m. kito nuo $0,143 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ iki $0,517 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ Aukštaitijos IMS ir nuo $0,409 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ iki $1,27 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ Žemaitijos IMS. Aukštaitijos IMS benz(a)pireno srautas į žemės paviršių turėjo išreikštą sezoniškumą. Benz(a)pireno koncentracija krituliuose ir jo srautas į žemės paviršių buvo didesnis Žemaitijos IMS, kas rodo intensyvesnių benz(a)pireno šaltinių įtaką šios stoties aplinkai.

Lyginant Žemės paviršiaus apkrovą benz(a)pirenu ir sunkiaisiais metalais 2006÷2015 ir 2016 metais pastebėta bendra abiemis stotims tolimesnė Pb mažėjimo tendencija. Pastebėtas ir žymus Ni koncentracijos kritulių vandenyje bei sraute į žemės paviršių sumažėjimas Žemaitijos IMS. Žemės paviršiaus apkrovos kitais elementais pokyčiai nereguliarūs.

REKOMENDACIJA

Atsižvelgiant į sunkiųjų metalų ir benz(a)pireno atliktus tyrimus Žemaitijos ir Aukštaitijos integruoto monitoringo stotyse 2006-2016 m. bei siekiant patikimai nustatyti taršos kitimo tendencijas rekomenduojame juos tęsti abiejose stotyse analizuojant šiuos teršalus tiek atmosferos iškritose, tiek ir ore, nes abi stotys yra skirtingose Lietuvos dalyse ir abi vietovės dažnai yra įtakojamos skirtingų taršos šaltinių bei meteorologinių sąlygų.

LITERATŪRA

1. D.Čeburnis. (1999) Atmospheric trace metal deposition in Lithuania: methods and estimation // Ed. D. A. Lovejoy. Heavy Metals in the Environment: an Integrated Approach, Vilnius, Lithuania, 5-15.
2. D.Čeburnis, D.Valiulis, J.Šakalys. (1999) The influence of local processes on trace metal concentrations in long-range transported air masses. Environmental and Chemical Physics, (Vilnius), 21 (1), 31-36.
3. Čeburnis D., Ruhling A. and Kvietkus K. (1997) Extended study of atmospheric heavy metal deposition in Lithuania based on moss analysis. Environmental Monitoring & Assessment, 47, 135-152.
4. J.Šakalys, K.Kvietkus, J.Sucharova, I.Suchara, D.Valiulis. (2009) Changes in total concentrations and assessed background concentrations of heavy metals in moss in Lithuania and the Czech Republic between 1995 and 2005. Chemosphere, Vol. 76(1), 91-97.
5. P.Schuster, D.Krabbenhoft, D.Naftz et al. (2002) Atmospheric mercury deposition during the last 270 years: a Glacial ice core record of natural and anthropogenic sources.
6. A.Milukaite, L. Gričiute, 2004. Differential assessment of population health risk due to appearance of polycyclic aromatic hydrocarbons in the human environment and meal. *Fresenius Environmental Bulletin*, 13, p. 21-24.

7. A.Milukaite, 2006. Long-term trends of benzo(a)pyrene concentration on the eastern coast of the Baltic Sea. *Atmospheric Environment*, 40, 2046-2057.
8. Milukaitė. Flux of benzo(a)pyrene to the ground surface and its distribution in the ecosystem. - *J. Water, Air and Soil Pollution*, 1998, 105, p. 471-480.
9. Shatalov V., Malanichev A., Vulykh N., Berg T., Mano S., 2001. Assessment of POPs transport and accumulation in the environment. EMEP Report 2001/4. Meteorological synthesizing centre-East, Moscow.
10. Milukaitė, A. Mikelinskienė, 1999. The influence of meteorological and physico-chemical factors on benzo(a)pyrene washout from the atmosphere.- *Proceedings of EUROTRAC Symposium'98*, Garmisch-Partenkirchen, Germany, p. 390-394 .
11. J.Šakalys, J.Švedkauskaitė and D.Valiulis. (2003) Estimation of heavy metal wash-out from the atmosphere. *Environmental and Chemical Physics (Vilnius)*, 25 (1), 16-22.
12. K.Kvietkus, J.Šakalys and D.Valiulis. (2011) Trends of atmospheric heavy metal deposition in Lithuania. *Lithuanian Journal of Physics (Vilnius)*, Vol. 51, No. 4. 306-316.
13. Šakalys J., Kvietkus K. and Valiulis D. (2004). Variation tendencies of heavy metal concentration in the air and precipitation. *Environmental and Chemical Physics*, 26, 2, 61-67.