



TVIRTINU

Fizinių ir technologijos mokslų centro Direktorius

Gintaras Valušis

2021 m. 03 mėn. d.

UŽSAKOMOJO DARBO

**TOLIMŲJŲ ORO TERŠALŲ PERNAŠŲ IŠ KITŲ VALSTYBIŲ POVEIKIO
BENDRAM LIETUVOS ORO BASEINO UŽTERŠTUMO LYGIUI
ĮVERTINIMAS**

2020 m. sausio mėn. 31 d. Sutartis Nr. 28T-2020-10

ATASKAITA
(II dalis)

Vilnius 2021

VYKDYTOJŲ SĄRAŠAS

m. d. Dalia Jasinevičienė, darbų vadovė

vyr. m. d. Steigvilė Byčenkienė

m.d. Inga Garbarienė

m. d. Jelena Andriejauskienė

m. d. Darius Valiulis

vyr. laborantas Arūnas Andriejauskas

vyr. laborantas Jonas Didžbalis

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>	30
<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>	62
3. PAŽEMINIO OZONO TYRIMAI PAGAL EMEP PROGRAMĄ.....	64
<i>SANTRAUKA</i>	64
<i>ĮVADAS</i>	65
<i>METODIKA</i>	68
<i>REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS</i>	68
<i>IŠVADOS</i>	79
<i>LITERATŪRA</i>	80
4. SUNKIŲJŲ METALŲ IR POLICIKLINIŲ AROMATINIŲ ANGLIAVANDENILIŲ ATMOSFEROS IŠKRITOSE TYRIMAI	81
<i>SANTRAUKA</i>	81
<i>ĮVADAS</i>	82
<i>DARBO METODIKA</i>	83
<i>TYRIMŲ REZULTATAI</i>	85
<i>IŠVADOS</i>	94
<i>LITERATŪRA</i>	95

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 aerosolinių 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 aerosolinių 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.

2020 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-} aerosolinės dalelės), sumos nitratų (HNO_3 , dujinė azoto rūgštis ir NO_3^- , aerosolinės dalelės) ir sumos amonio (NH_3 , dujinis amoniakas ir NH_4^+ , aerosolinės dalelės) koncentracijų tyrimai. Dideli koncentracijų kaitos intervalai yra būdingi visiems tirtiems atmosferos ore sieros ir azoto junginiams.

Tyrimų duomenys rodo, kad nei sieros dioksido, nei aerosolinių sulfatų koncentracijų metinei dinamikai nebūdingas sezoniškumas. Nors per vasaros mėnesius yra tendencija mažesnių už metų vidutines arba artimų joms koncentracijoms. Mažesnes šių teršalų koncentracijas atmosferoje per vasaros mėnesius lemia mažesnė SO_2 emisija, spartesnis atmosferos vertikalusis maišymasis. Azoto dioksido ir sumos nitratų koncentracijoms stebima sezoninė eiga: azoto dioksido vidutinės šaltojo periodo koncentracijos yra didesnės už šiltojo metų periodo vidutines koncentracijas: Aukštaitijos IMS apie 2,7 karto, Žemaitijos IMS – 1,7 karto ir Preiloje – 1,4 karto. Didesnes koncentracijų nei vidutinės 2020 m. vertės per žiemos mėnesius ir mažesnės per birželio – spalio gali lemti spartesnę NO_2 fotocheminė oksidacija per pavasario ir vasaros mėnesius. Preiloje didesnes NO_2 koncentracijas nei IM stotyse, galima sieti su emisija NO_x iš laivų Baltijos jūroje ir didesniu autotransporto srautu Neringoje nei IM stočių aplinkoje. Sum. NO_3 junginių koncentracijų metinėje kaitoje taip pat matomas sezoniškumas: žiemos mėn. vidutinė koncentracija yra beveik 2 kartus didesnė už vasaros mėn. Sum. NH_4 mėnesio

vidutinių koncentracijų kaitoje nėra ryškios metinės kaitos tendencijos. Nors mėnesio vidutinių koncentracijų kaitos tendencija yra gan vienoda visose tyrimų stotyse, tačiau, reikia pažymėti, kad Preiloje, kaip ir kitų azoto junginių, sum.NH₄ koncentracijos matuotos didesnės.

Preiloje visų tirtų teršalų (SO₂, aerSO₄, NO₂, sumNO₃ ir sumNH₄) 2020 m. vidutinės metinės koncentracijos yra apie 1,3 – 2 kartus didesnės nei Aukštaitijos IM stotyje. Sieros dioksido metinė vidutinė koncentracija Žemaitijos IM stotyje ir Preiloje yra vienodos – 0,12 µgS/m³, kitų teršalų metinės koncentracijos Preiloje yra apie 1,4–1,7 karto didesnės nei Žemaitijos IM stotyse. Mažesnis skirtumas yra tarp teršalų metinių koncentracijų Žemaitijoje ir Aukštaitijoje. Sieros dioksido, azoto dioksido, aerolinių sulfatų, sumNO₃ ir sumNH₄ metinės koncentracijos Žemaitijoje yra atitinkamai 25, 14, 11, 34 ir 22 procentų didesnės nei Aukštaitijoje. Vidutiniškai 27% sulfatų koncentraciją Preiloje lėmė jų įnašas iš Baltijos jūros. Įvertinus šį įnašą, aerSO₄ metinė koncentracija yra 0,33 µgS/m³. Tyrimų duomenys rodo, kad teršalų koncentracijoms atmosferos ore IM stotyse ir Preiloje didžiausią poveikį 2020 metais darė SO₂ ir NO₂ emisijos šaltiniai, kurie yra centrinėje, vakarinėje ir pietiniuose Europos regionuose. 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. Visose tyrimų stotyse stebima sieros ir azoto junginių metinių koncentracijų mažėjimo tendencija per 1994 – 2020 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, 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, 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.

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 užterštumo tyrimo stotyje Preiloje (kodas Europos monitoringo tinkle – LT15) buvo tęsiami 2020 m.

DARBO METODIKA

Remiantis darbo užduotimi, sieros dioksido (SO₂, dujos), azoto dioksido (NO₂, dujos), sulfatų (aerSO₄²⁻, t.y. aerosolinėse dalelėse), suma nitratų (SumNO₃, t.y. dujinė azoto rūgštis ir nitratai aerosolinėse dalelėse) ir suma amonio (SumNH₄, t.y. dujinis amoniakas ir amonis aerosolinėse dalelėse), rinkti kiekvienos savaitės mėginiai IM stotyse (LT01 ir LT03), o Preiloje (LT15) – kiekvienos paros mėginiai. Aerosolinių SO₄, NO₃⁻, NH₄⁺, Cl⁻, Na⁺, K⁺ ir Ca²⁺, SO₂, SumNO₃, SumNH₄ mėginių paėmimui naudojamas EK mėginių paėmimo įrenginys (Sequential Air Sampler, type EK NILU, Norway), NO₂ 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, aerozoliniai teršalai, t.y. SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Cl^- , Na^+ , K^+ ir Ca^{2+} koncentruojami ant pirmoje pakopoje esančio tefloninio filtro, kuris yra atviras atmosferai, sieros dioksido ir sumos nitratų (sum NO_3) koncentravimui naudojamas antroje filtro laikiklio pakopoje šarmu impregnuotas “Whatman 40” filtras. Sumos amonio (sum NH_4) junginių koncentravimui iš atmosferos naudojamas trečioje filtro laikiklio pakopoje rūgštinti 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 aerozolinių teršalų mėginiai iš Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stočių atvežami į Aplinkos apsaugos agentūros aplinkos tyrimų departamentą ir, atlikus cheminę oro mėginių analizę, tyrimų rezultatai perduodami Fizinių ir technologijos mokslų centrui. Kiekvienos paros oro mėginiai, surinkti Preilos atmosferos užterštumo tyrimo stotyje, analizuojami Fizinių ir technologijos mokslų centre, 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, nitratų ir chloridų jonų koncentracijų tyrimams vandeniniuose tirpaluose iš tokių atmosferos oro bandinių: SO_2 ir aerozolinių SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- ir sum NO_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 impregnavimui 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 sum NO_3^- – $0,014 \mu\text{gN}/\text{m}^3$, NH_4^+ ir sum NH_4^+ – $0,027 \mu\text{gN}/\text{m}^3$, Cl^- – $0,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Na^+ – $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$, K^+ – $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Ca^{2+} – $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tiriamųjų dujinių ir aerozolinių 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 0,04 iki $0,38 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ (Aukštaitijos IMS),

nuo 0,05 iki 0,30 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (Žemaitijos IMS) ir Preiloje nuo 0,03 iki 0,39 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (savaitės vidutinės), nuo 0,02 iki 0,75 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (paros); NO_2 nuo 0,11 iki 1,50 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (Aukštaitijos IMS), nuo 0,18 iki 1,10 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (Žemaitijos IMS) ir Preiloje nuo 0,36 iki 1,86 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (savaitės vidutinės), nuo 0,13 iki 3,75 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (paros); sulfatai nuo 0,05 iki 0,67 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (Aukštaitijos IMS), nuo 0,1 iki 0,59 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (Žemaitijos IMS) ir Preiloje nuo 0,18 iki 1,45 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (savaitės vidutinės), nuo 0,04 iki 2,38 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (paros); sumNO_3 nuo 0,07 iki 0,81 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (Aukštaitijos IMS), nuo 0,08 iki 1,20 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (Žemaitijos IMS) ir Preiloje nuo 0,17 iki 1,04 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (savaitės vidutinės), nuo 0,02 iki 1,81 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (paros); sumNH_4 nuo 0,09 iki 1,00 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (Aukštaitijos IMS), nuo 0,07 iki 1,30 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (Žemaitijos IMS) ir Preiloje nuo 0,20 iki 2,06 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (savaitės vidutinės), nuo 0,03 iki 3,26 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (paros).

1 lentelė. Dujinių ir aerosolinių teršalų koncentracijų 2020 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	0.04	0.05	0.03	0.02
	max	0.38	0.30	0.39	0.75
	vidutinė	0.09	0.12	0.12	0.12
	standart. nuokrypis	0.06	0.08	0.07	0.11
NO₂ $\mu\text{gN}/\text{m}^3$	min	0.11	0.18	0.36	0.13
	max	1.50	1.10	1.86	3.75
	vidutinė	0.42	0.49	0.82	0.82
	standart. nuokrypis	0.28	0.21	0.31	0.51
aerSO₄²⁻ $\mu\text{gS}/\text{m}^3$	min	0.05	0.10	0,18 (0,08) ^a	0,04 (0,01) ^a
	max	0.67	0.59	1,45 (1,43) ^a	2,38 (2,37) ^a
	vidutinė	0.24	0.27	0,45 (0,31)^a	0,45 (0,33)^a
	standart. nuokrypis	0.12	0.11	0,22 (0,25) ^a	0,31 (0,34) ^a
sumNO₃⁻ $\mu\text{gN}/\text{m}^3$	min	0.07	0.08	0.17	0.02
	max	0.81	1.20	1.04	1.81
	vidutinė	0.21	0.32	0.45	0.45
	standart. nuokrypis	0.13	0.20	0.19	0.33
sumNH₄⁺ $\mu\text{gN}/\text{m}^3$	min	0.09	0.07	0.20	0.03
	max	1.00	1.30	2.06	3.26
	vidutinė	0.42	0.54	0.77	0.77
	standart. nuokrypis	0.24	0.33	0.44	0.63

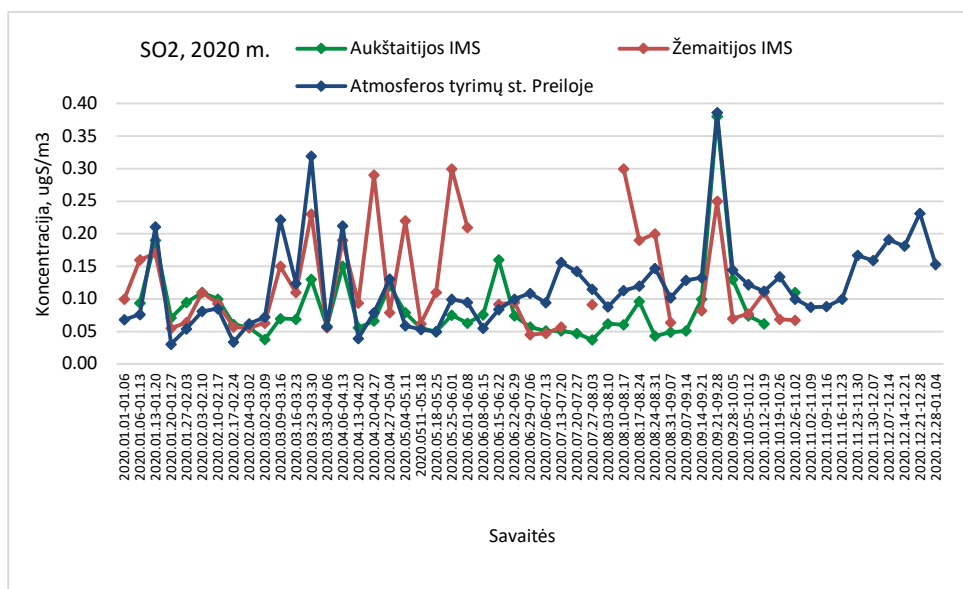
1	2	3	4	5	6
aerNO₃⁻ μgN/m ³	min max vidutinė standart. nuokrypis	–	–	–	0.03 1.76 0.41 0.33
aerNH₄⁺ μgN/m ³	min max vidutinė standart. nuokrypis	–	–	–	0.02 2.90 0.57 0.52
Cl⁻	min max vidutinė standart.	–	–	–	0.02 16.94 2.87 3.03
Na⁺ μg/m ³	min max vidutinė standart. nuokrypis	–	–	–	0.02 10.36 1.76 1.76
K⁺ μg/m ³	min max vidutinė standart. nuokrypis	–	–	–	0.02 1.03 0.16 0.11
Ca²⁺ μg/m ³	min max vidutinė standart. nuokrypis	–	–	–	0.02 4.25 0.27 0.43

Iš pateiktų 1 – 6 paveiksluose 2020 m. sieros ir azoto junginių koncentracijų kaitos duomenų matomi didesnių nei 2020 metų vidutinės SO₂, NO₂, SO₄, SumNO₃ ir SumNH₄ koncentracijos, epizodai. Oro masių judėjimo trajektorijų analizė rodo, kad oro masės kilmė yra viena iš priežasčių, veikiančių teršalų koncentracijas. Vyravusios oro masių pernašos į Lietuvą iš pietinių ir centrinės Europos rajonų lėmė teršalų didelių koncentracijų epizodus sausio, kovo, spalio ir gruodžio mėnesiais. 7 – 11 pav. paveiksluose pateiktos oro masių judėjimo atgalinės 72 val. trajektorijos, kurioms, judant link Lietuvos virš pietinių, ir centrinės Europos valstybėse esančių emisijos šaltinių, kaupėsi teršalai ir tai lėmė matuojamų SO₂, NO₂, SO₄, sumNO₃ ir sumNH₄ koncentracijų tyrimų stotyse padidėjimą.

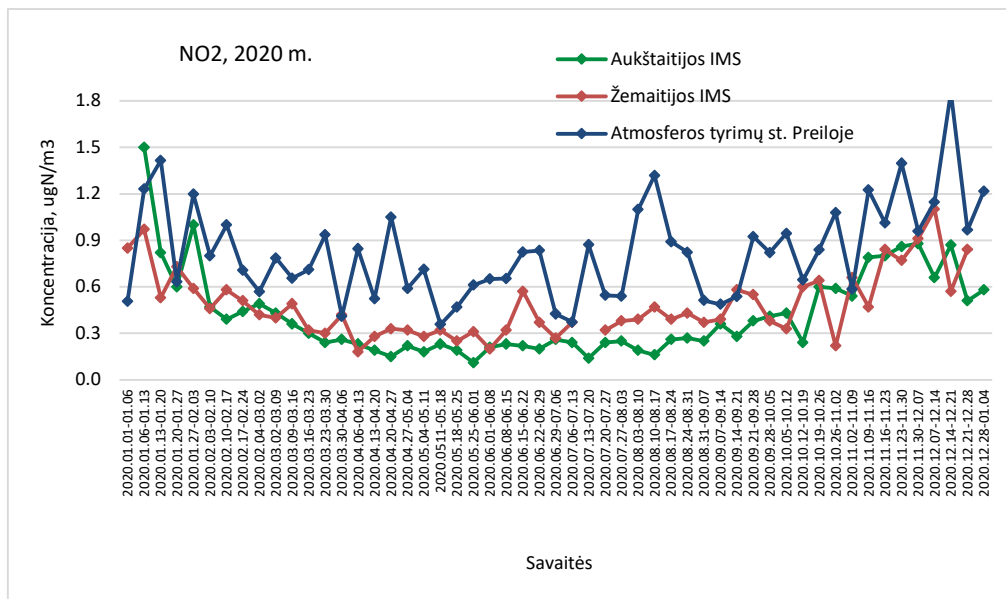
Vyravusios oro masių pernašos į Lietuvą iš vakarinių ir pietvakarinių Europos rajonų sausio 13–20 d. ir esant nedideliame kritulių kiekiui (LT01 –1,6 mm, LT03 – 10,6 mm ir LT15 – 0 mm), lėmė dideles teršalų koncentracijas Lietuvoje. Savaitės vidutinės SO₂

– 0,19, 0,17 ir 0,21 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$, NO_2 koncentracijos buvo: 0,82, 0,97 ir 1,42 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, SumNO_3 – 0,81, 0,120 ir 0,87 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, SumNH_4 – 0,25, 0,26 ir 0,95 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, atitinkamai LT01, LT03 ir LT15. Teršalų didelių koncentracijų epizodą paskutinę kovo savaitę, gruodžio mėn. 7–14 d. lėmė oro masės, kurios į Lietuvą judėjo iš pietrytinės Europos rajonų. Kovo mėn. 23–30 d. Žemaitijos IM stotyje ir Preiloje kritulių nebuvo, o Aukštaitijos IM stotyje – 3,7 mm. Šios savaitės koncentracijos buvo: SO_2 – 0,13, 0,23 ir 0,32 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$, NO_2 – 0,24, 0,32 ir 0,94 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, aerSO_4 – 0,19, 0,28 ir 0,34 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$, SumNO_3 – 0,28, 0,55 ir 0,76 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, SumNH_4 – 0,66, 1,30 ir 1,44 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, atitinkamai LT01, LT03 ir LT15. Gruodžio mėn. 7–14 d. teršalų koncentracijos buvo: NO_2 – 0,66, 0,91 ir 1,15 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, SumNO_3 – 0,18, 0,27 ir 0,74 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, SumNH_4 – 0,90, 1,30 ir 1,90 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, kritulių kiekis – 2,4, 0,9 ir 0,82, atitinkamai LT01, LT03 ir LT15. Didelės NO_2 koncentracijos (0,87, 1,10 ir 1,86 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ atitinkamai LT01, LT03 ir LT15) buvo matuotos gruodžio mėn. 14–21 d. Tyrimų duomenys rodo, kad teršalų koncentracijų pokyčius labiausiai lėmė oro masių, nešamų į Lietuvą, kilmės kaita ir, be abejo, šių teršalų emisijos regionuose, iš kurių jie buvo nešami, o taip pat ir klimatiniai veiksniai.

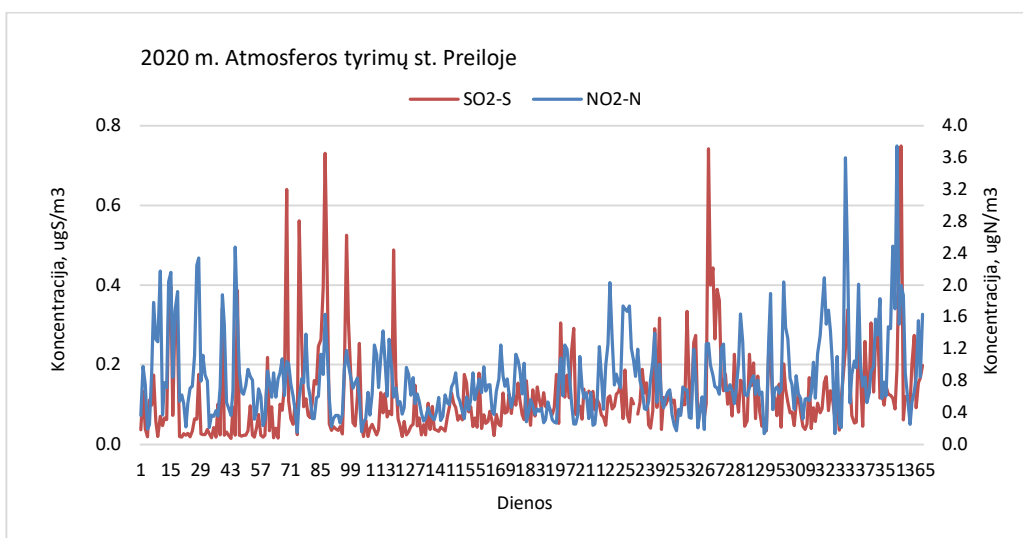
Nustatyta, kad teršalų koncentracijos, kurios yra mažesnės arba labai artimos 2020 metų vidutinėms koncentracijoms, matuojamos tiek žiemos, tiek vasaros mėn. esant oro masių pernašai daugiausiai iš šiaurinių ir šiaurės vakarinių rajonų, t.y. nuo Atlanto vandenyno per Skandinaviją ir Baltijos jūrą.



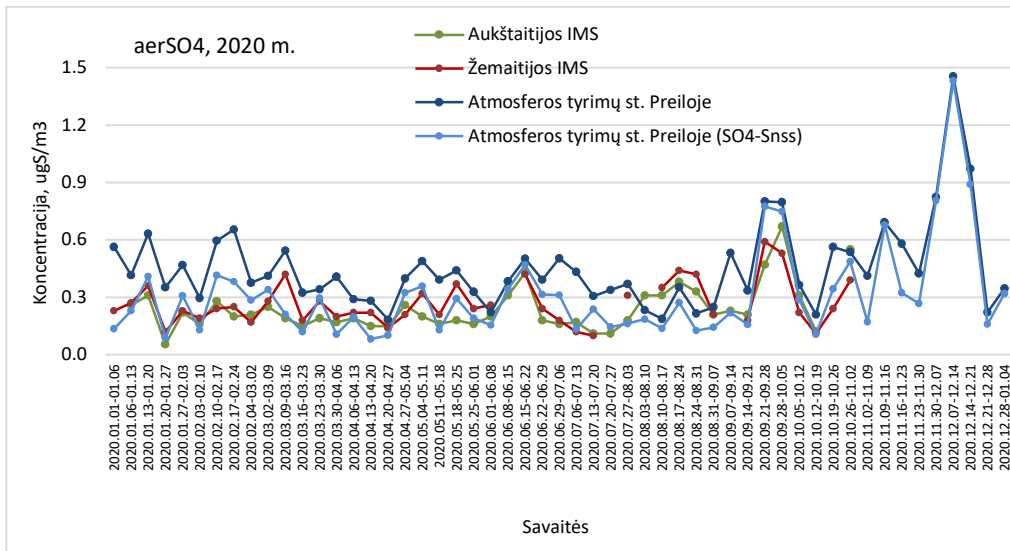
1 pav. Sieros dioksido savaitės vidutinių koncentracijų dinamika Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.



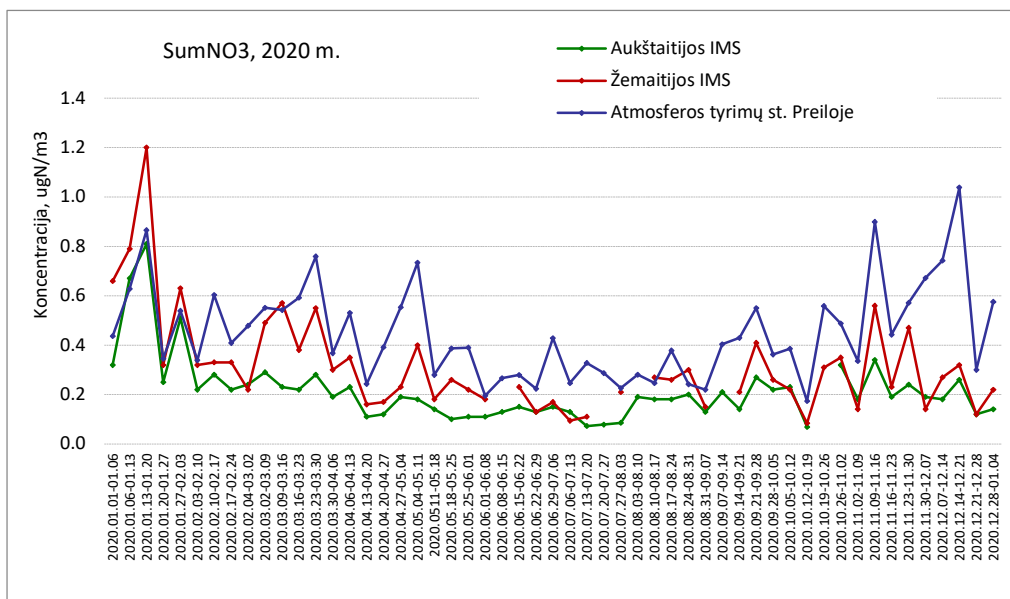
2 pav. Azoto dioksido savaitės vidutinių koncentracijų dinamika Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.



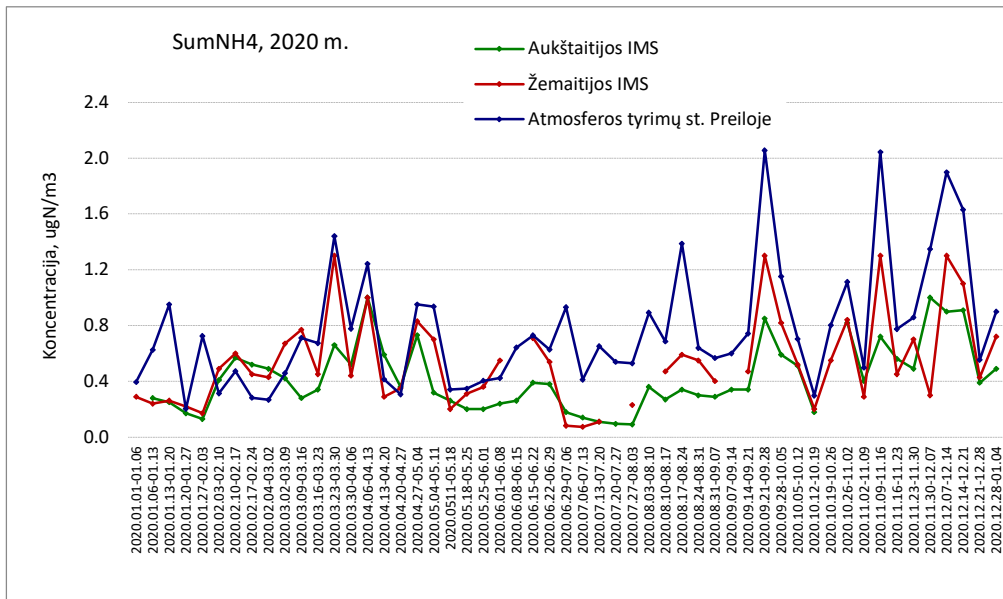
3 pav. Sieros dioksido ir azoto dioksido vienos paros koncentracijų dinamika atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.



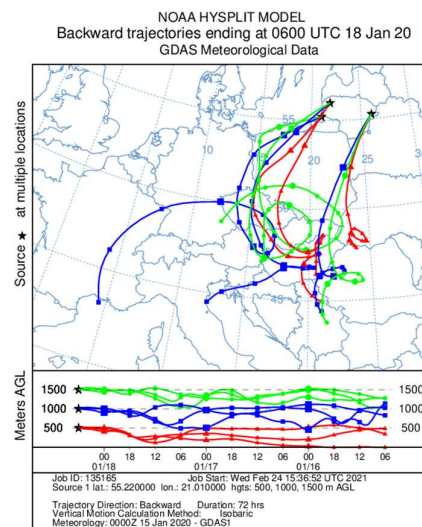
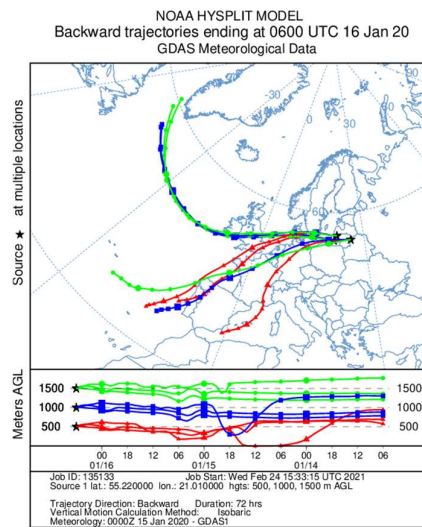
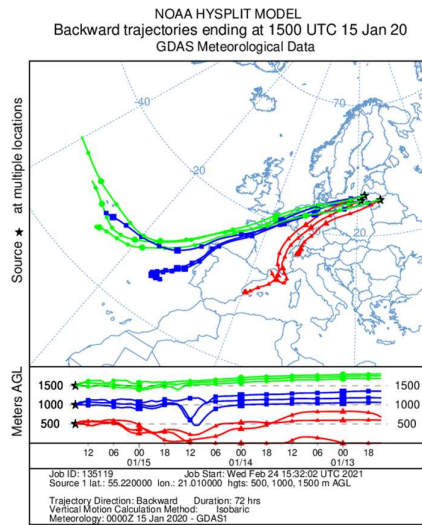
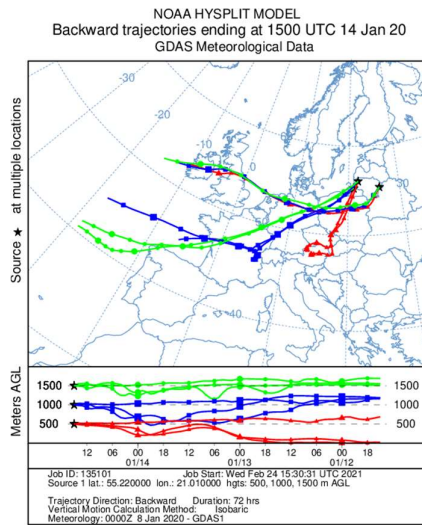
4 pav. Sulfatų aerozolio dalelėse savaitės vidutinių koncentracijų dinamika Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (SO_4 -Snss – neįūrinės kilmės sulfatai).



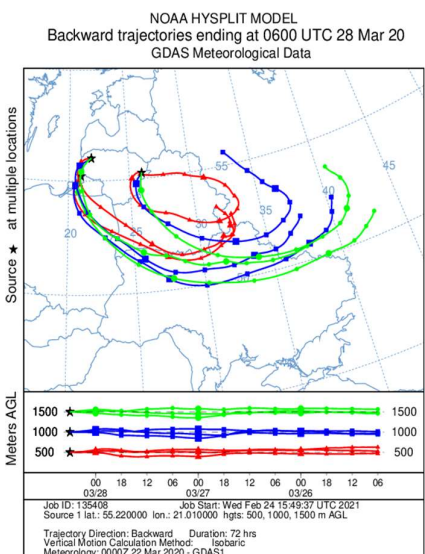
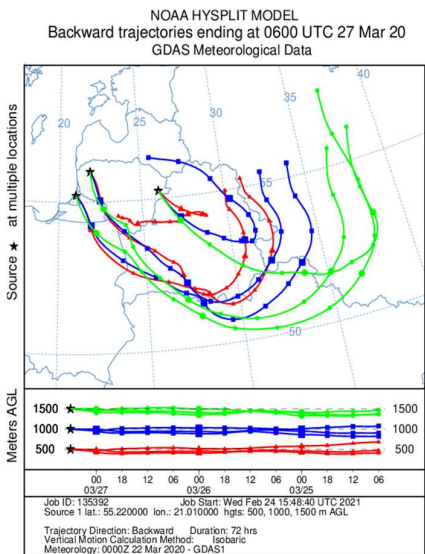
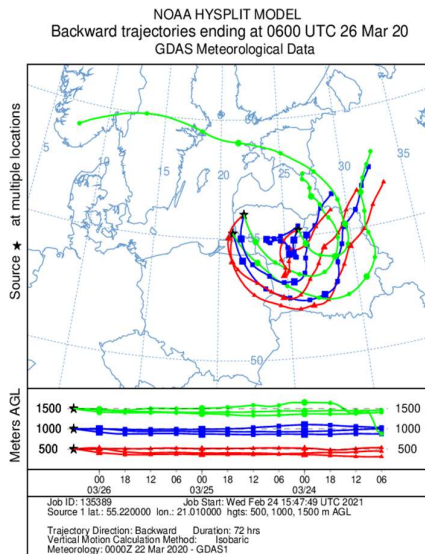
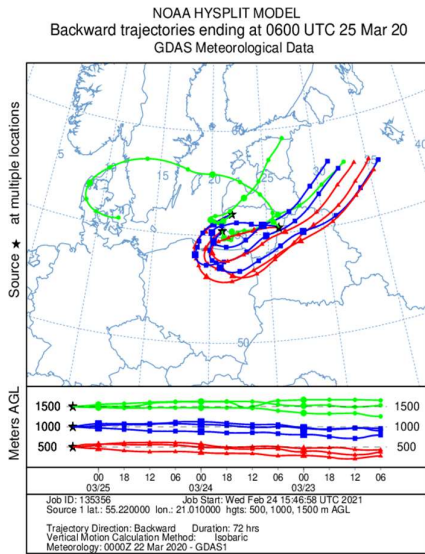
5 pav. Sumos nitratų junginių savaitės vidutinių koncentracijų dinamika Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.



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

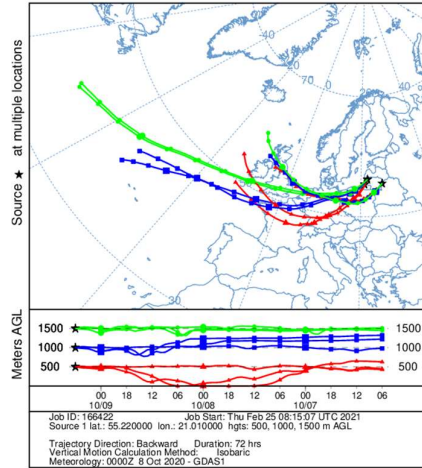


7 pav. Oro masių judėjimo 72 val. atgalinės trajektorijos 2020 m. sausio mėn. 14 – 18 d. į IM stotis ir Preiļā. Šaltinis: http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php

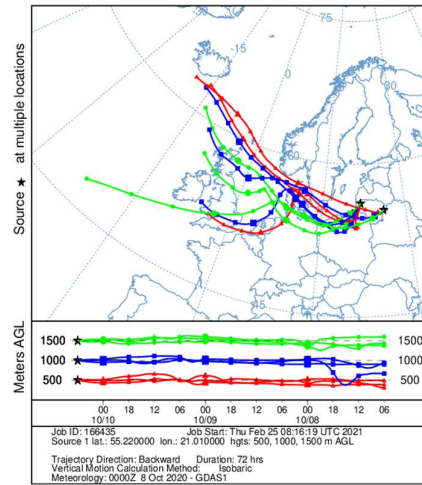


8 pav. Oro masių judėjimo 72 val. atgalinės trajektorijos 2020 m. kovo mėn. 25 – 28 d. į IM stotis ir Preilą. Šaltinis: http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php

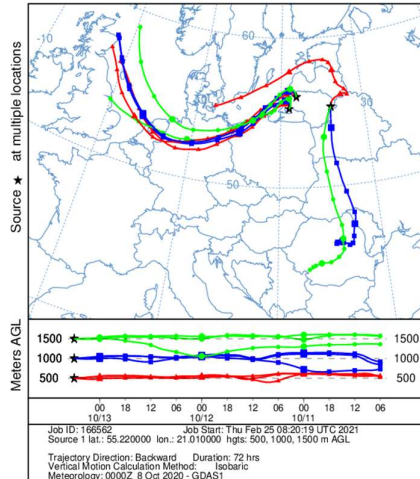
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0600 UTC 09 Oct 20
GDAS Meteorological Data



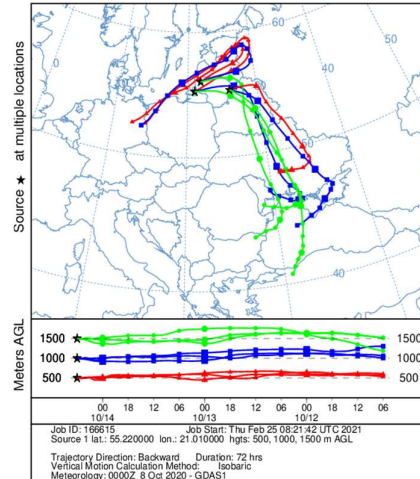
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0600 UTC 10 Oct 20
GDAS Meteorological Data



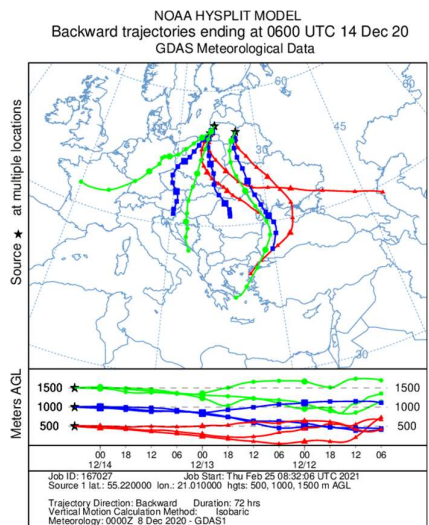
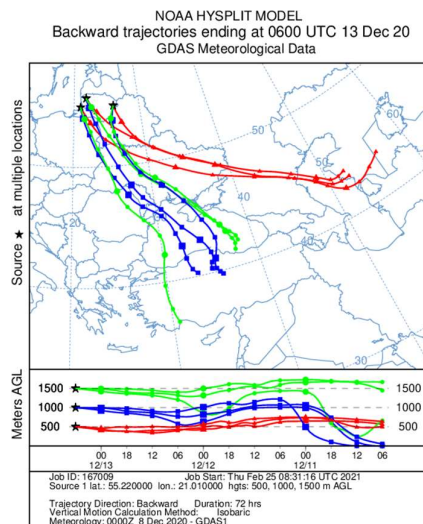
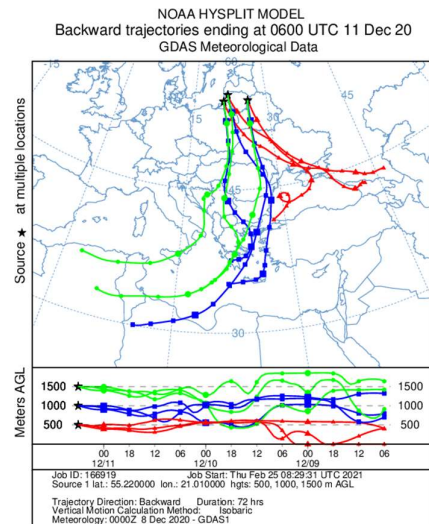
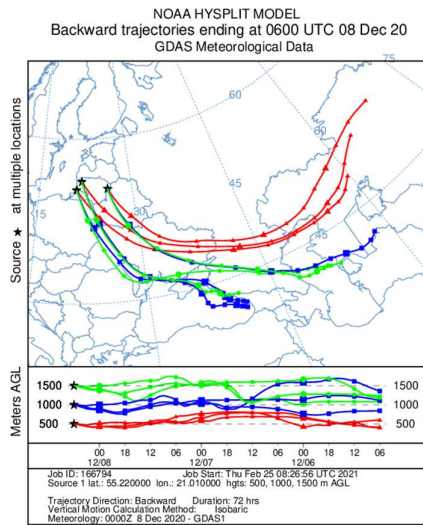
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0600 UTC 13 Oct 20
GDAS Meteorological Data



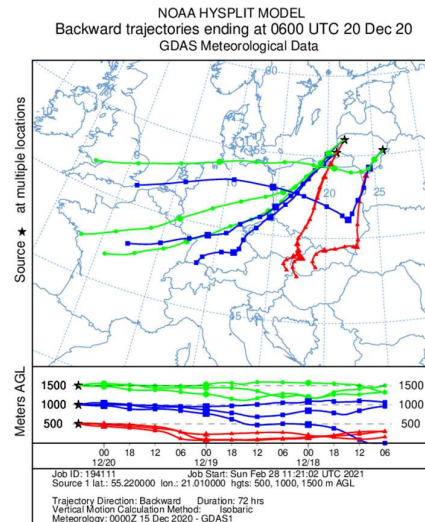
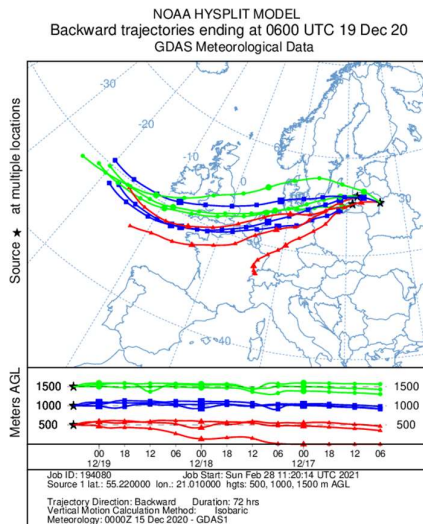
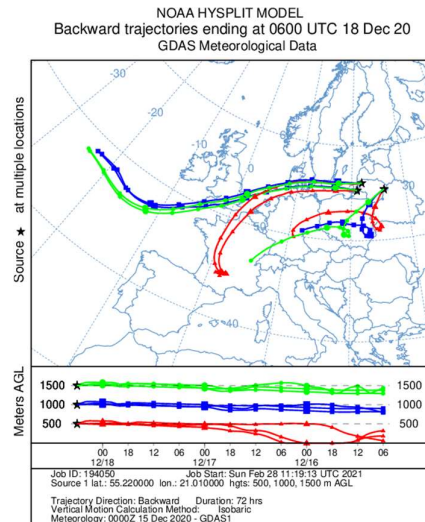
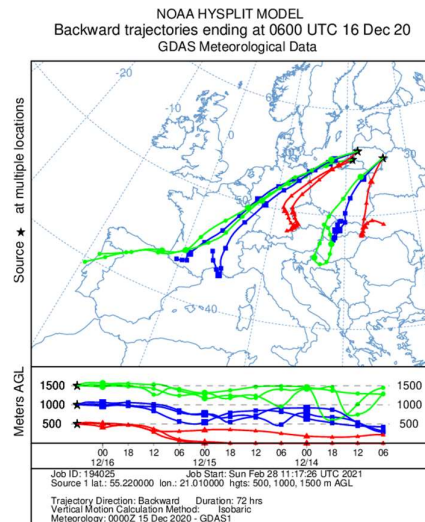
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0600 UTC 14 Oct 20
GDAS Meteorological Data



9 pav. Oro masių judėjimo 72 val. atgalinės trajektorijos 2020 m. spalio mėn. 09 – 14 d. į IM stotis ir Preiļā. Šaltinis: http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php



10 pav. Oro masių judėjimo 72 val. atgalinės trajektorijos 2020 m. gruodžio mėn. 08 – 14 d. į IM stotis ir Preiļā. Šaltinis: http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php



11 pav. Oro masių judėjimo 72 val. atgalinės trajektorijos 2020 m. gruodžio mėn. 16 – 20 d. į IM stotis ir Preilą. Šaltinis: http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php

Teršalų koncentracijų metinė dinamika, vertinant teršalų vidutinės kiekvieno mėnesio koncentracijas, pateikiama 2–4 lentelėse ir 12 paveiksle. Didžiausios SO₂ koncentracijos gautos Aukštaitijos IMS rugsėjo mėn. – 0,15 μgS/m³, Žemaitijos IMS rugpjūčio mėn. – 0,20 μgS/m³ ir Preiloje rugsėjo ir gruodžio mėn. – 0,19 μgS/m³. Dėl vietinės taršos šaltinių didesnės nei vidutinės metinės SO₂ koncentracijos, nebūdingos vasaros mėnesiams, stebimos Žemaitijos IMS. Analizuojant sieros junginių mėnesio vidutinių koncentracijų kaitą matome, kad nei sieros dioksido, nei aerozolinių sulfatų koncentracijų metinei dinamikai nebūdingas sezoniškumas. Nors per vasaros mėnesius yra tendencija mažesnių už metų vidutinės arba artimų joms koncentracijoms. Mažesnes šių teršalų koncentracijas

atmosferoje per vasaros mėn., lemia mažesnė SO₂ emisija, spartesnis atmosferos vertikalusis maišymasis. Vidutiniškai 27% sulfatų koncentraciją Preiloje lėmė jų įnašas iš Baltijos jūros. Įvertinus šį įnašą, aerSO₄ metinė koncentracija yra 0,33 μgS/m³. Analizuojant NO₂ mėnesių koncentracijų kaitą matoma jų didėjimo tendencija per žiemos mėnesius (12 pav.) ir Aukštaitijos IM stotyse jos 2,7, o Žemaitijos IM stotyje – 1,7 karto didesnės nei vidutinė vasaros mėnesių. Preiloje šis koncentracijų skirtumas stebimas mažesnis (1,4 karto) ir didesnes NO₂ koncentracijas Preiloje nei IM stotyse, matyt, reikia sieti su didesniu autotransporto srautu Neringoje nei IM stočių rajonuose, o taip pat ir NO_x emisija iš laivų, esančių Baltijos jūroje. Sum.NO₃ junginių koncentracijų metinėje kaitoje taip pat matomas sezoniškumas: žiemos mėn. vidutinė koncentracija yra beveik 2 kartus didesnė už vasaros mėn. Sum.NH₄ mėnesio vidutinių koncentracijų kaitoje nėra ryškios metinės kaitos tendencijos. Nors mėn. vidutinių koncentracijų kaitos tendencija yra gan vienoda visose tyrimų stotyse, tačiau, reikia pažymėti, kad Preiloje, kaip ir kitų azoto junginių, sum.NH₄ koncentracijos matuotos didesnės.

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		
2020.01	0,11	0,21	0,98	0,51	0,21
2020.02	0,08	0,21	0,45	0,24	0,50
2020.03	0,08	0,20	0,33	0,26	0,43
2020.04	0,08	0,17	0,21	0,16	0,62
2020.05	0,08	0,19	0,19	0,14	0,34
2020.06	0,09	0,28	0,22	0,13	0,32
2020.07	0,05	0,14	0,22	0,11	0,13
2020.08	0,06	0,30	0,23	0,17	0,27
2020.09	0,15	0,28	0,32	0,19	0,46
2020.10	0,09	0,41	0,45	0,21	0,53
2020.11	*	*	0,75	0,24	0,54
2020.12	*	*	0,70	0,18	0,74

* – nėra duomenų

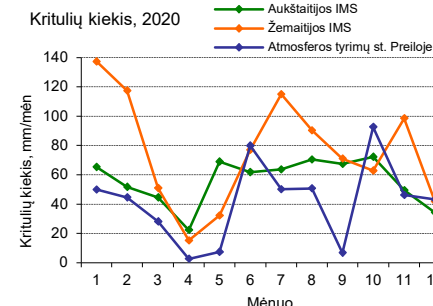
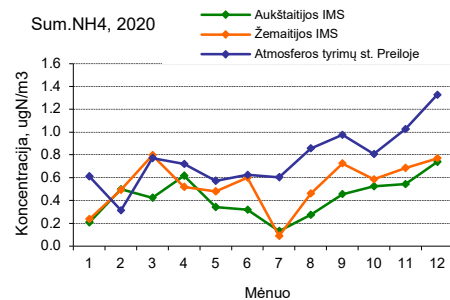
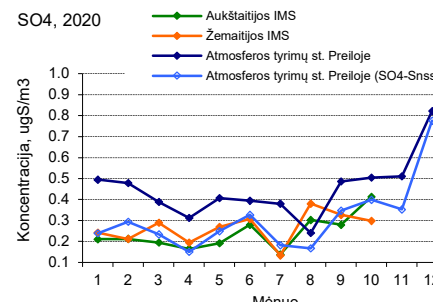
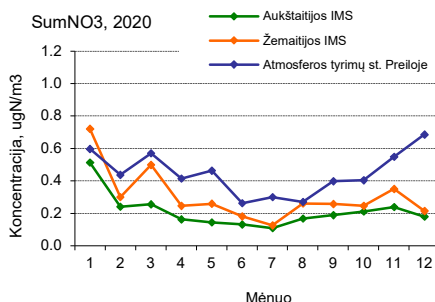
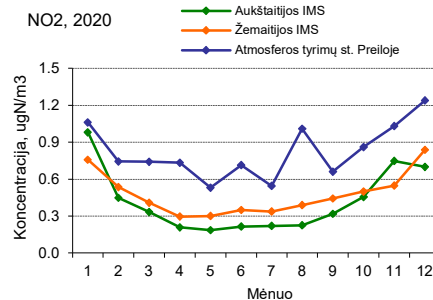
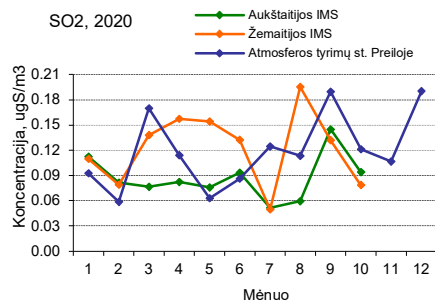
3 lentelė. Teršalų vidutinės mėnesio koncentracijos ore Žemaitijos IMS.

Metai, mėnuo	SO ₂	aerSO ₄	NO ₂	SumNO ₃	SumNH ₄
	μgS/m ³		μgN/m ³		
2020.01	0,11	0,24	0,76	0,72	0,24
2020.02	0,08	0,21	0,54	0,30	0,49
2020.03	0,14	0,29	0,41	0,50	0,80
2020.04	0,16	0,20	0,30	0,25	0,52
2020.05	0,15	0,27	0,30	0,26	0,48
2020.06	0,13	0,31	0,35	0,18	0,60
2020.07	0,05	0,13	0,34	0,12	0,09
2020.08	0,20	0,38	0,39	0,26	0,46
2020.09	0,13	0,33	0,44	0,26	0,72
2020.10	0,08	0,30	0,50	0,24	0,59
2020.11	*	*	0,55	0,35	0,69
2020.12	*	*	0,84	0,21	0,77

* – nėra duomenų

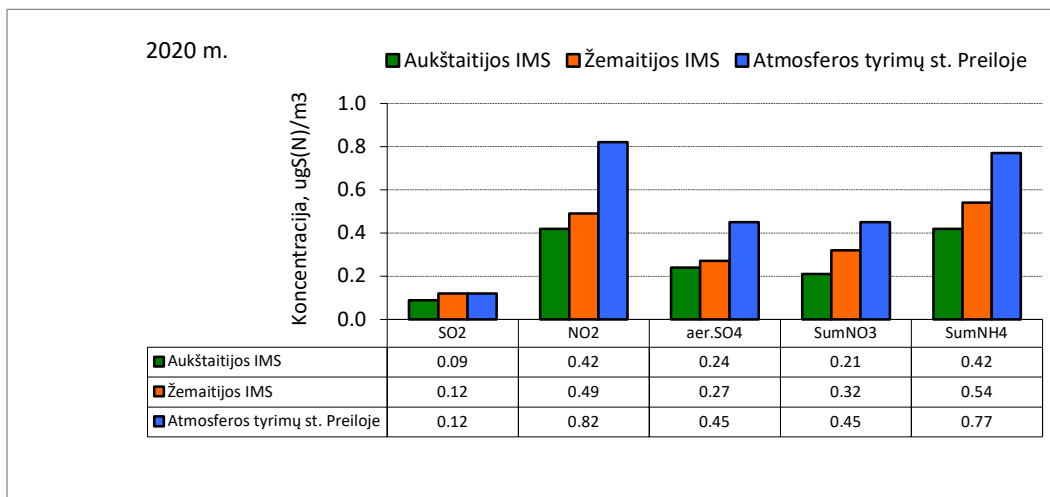
4 lentelė. Teršalų vidutinės mėnesio koncentracijos ore atmosferos tyrimų stotyje Preiloje

Metai, mėnuo	SO ₂	aerSO ₄	NO ₂	SumNO ₃	SumNH ₄	Cl	Na	K	Ca
	μgS/m ³		μgN/m ³			μg/m ³			
2020.01	0,09	0,50	1,06	0,60	0,61	5,27	3,21	0,27	0,26
2020.02	0,06	0,48	0,74	0,44	0,31	5,64	2,40	0,17	0,25
2020.03	0,17	0,39	0,74	0,57	0,77	2,96	1,89	0,18	0,23
2020.04	0,11	0,31	0,73	0,41	0,72	3,09	2,10	0,21	0,28
2020.05	0,06	0,41	0,53	0,46	0,57	2,91	1,93	0,10	0,17
2020.06	0,09	0,39	0,71	0,26	0,63	1,69	0,83	0,10	0,34
2020.07	0,12	0,38	0,55	0,30	0,60	3,34	2,41	0,13	0,30
2020.08	0,11	0,24	1,01	0,27	0,86	1,02	0,83	0,11	0,78
2020.09	0,19	0,49	0,66	0,40	0,98	2,82	1,83	0,14	0,24
2020.10	0,12	0,51	0,86	0,40	0,81	1,95	1,30	0,19	0,23
2020.11	0,11	0,51	1,03	0,55	1,02	2,96	1,97	0,20	0,14
2020.12	0,19	0,82	1,24	0,69	1,33	1,04	0,55	0,15	0,08



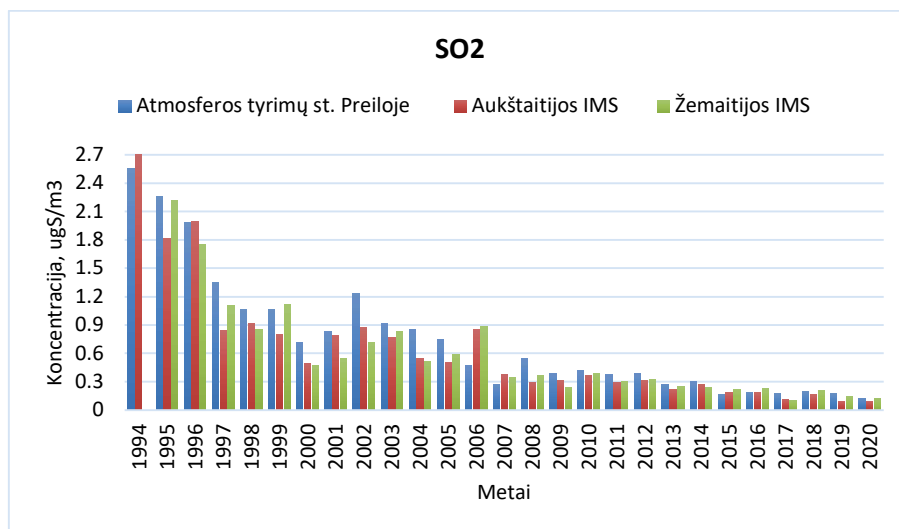
12 pav. Dujinių ir aerosolinių teršalų mėnesio vidutinių koncentracijų ore dinamika 2020 m. Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.

Palyginus atmosferos teršalų metines vidutines 2020 m. koncentracijas trijose vietose (13 pav.) matyti, kad Preiloje visų teršalų metinės koncentracijos yra apie 1,3 – 2 kartus didesnės nei Aukštaitijos IM stotyje. Sieros dioksido metinė vidutinė koncentracija Žemaitijos IM stotyje ir Preiloje yra vienodos – 0,12 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$, kitų teršalų metinės koncentracijos Preiloje yra apie 1,4–1,7 karto didesnės nei Žemaitijos IM stotyse. Mažesnis skirtumas yra tarp teršalų metinių koncentracijų Žemaitijoje ir Aukštaitijoje. Sieros dioksido, azoto dioksido, aerosolinių sulfatų, sumNO₃ ir sumNH₄ metinės koncentracijos Žemaitijoje yra atitinkamai 25, 14, 11, 34 ir 22 procentų didesnės nei Aukštaitijoje.

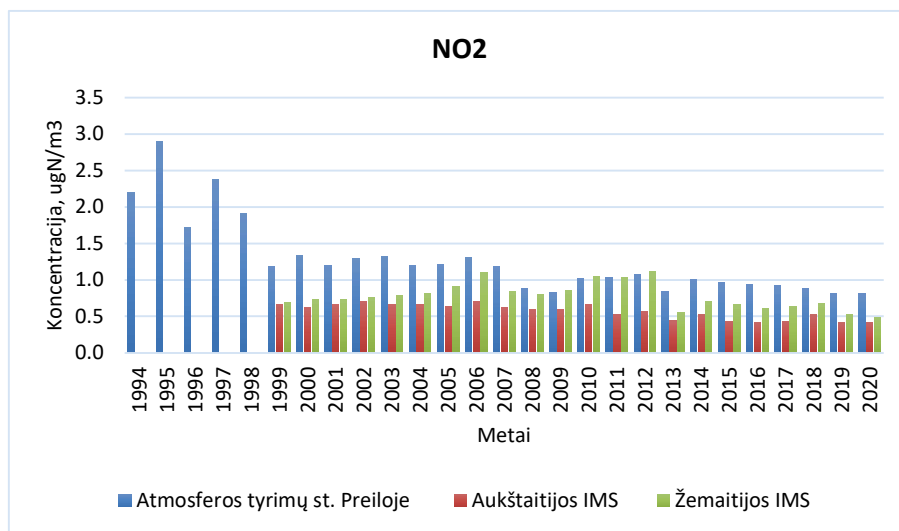


12 pav. Dujinių ir aerosolinių teršalų 2020 metų vidutinės koncentracijos Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje

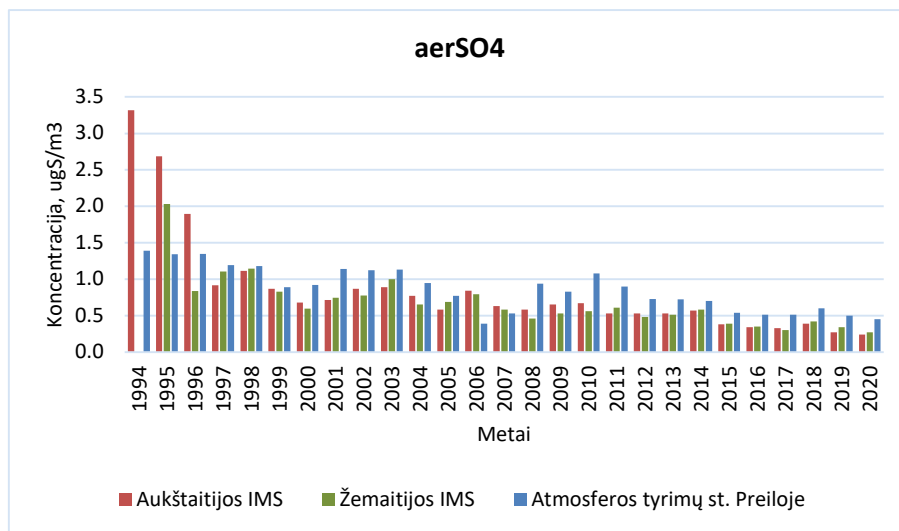
Vertinant dujinių ir aerosolinių teršalų koncentracijų atmosferoje ilgalaikę dinamiką, naudotos vidutinės (aritmetinės) metų koncentracijos. Nepertraukiami nuo 1994 metų atmosferos taršos tyrimų duomenys Preiloje, Aukštaitijos ir Žemaitijos integruoto monitoringo stotyse rodo didelę pagrindinių sieros 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 2020 m. IM stotyse ir Preiloje pateikiama 14 – 18 paveiksluose. Teršalų koncentracijų atmosferoje ilgalaikės kaitos tendencijų ir pokyčių vertinimui naudotas neparametrinis Mann-Kendalio statistinis metodas [4]. Analizuojant sieros dioksido vidutinių metinių koncentracijų kaitą per 27 metų laikotarpį (14 pav.), stebime jų ryškų mažėjimą visose tyrimo vietose: Preiloje sumažėjo nuo 2,55 (1994 m.) iki 0,12 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (2020 m.), Aukštaitijoje – nuo 2,73 (1994 m.) iki 0,09 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (2020 m.) ir Žemaitijoje – nuo 2,22 (1995 m.) iki 0,12 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (2020 m.). Nuo 1994 m. iki 2020 m. SO_2 metinės koncentracijos sumažėjo 97, 96 ir 95 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 [1]: nuo 1990 m. iki 2018 m. –92 % ir –93 % , o nuo 2017 m. iki 2018 m. –6,7 % ir 0,4 % , atitinkamai EU-28 ir Lietuvoje.



14 pav. SO₂ metinių koncentracijų atmosferos ore kaita IM stotyse ir Preiloje

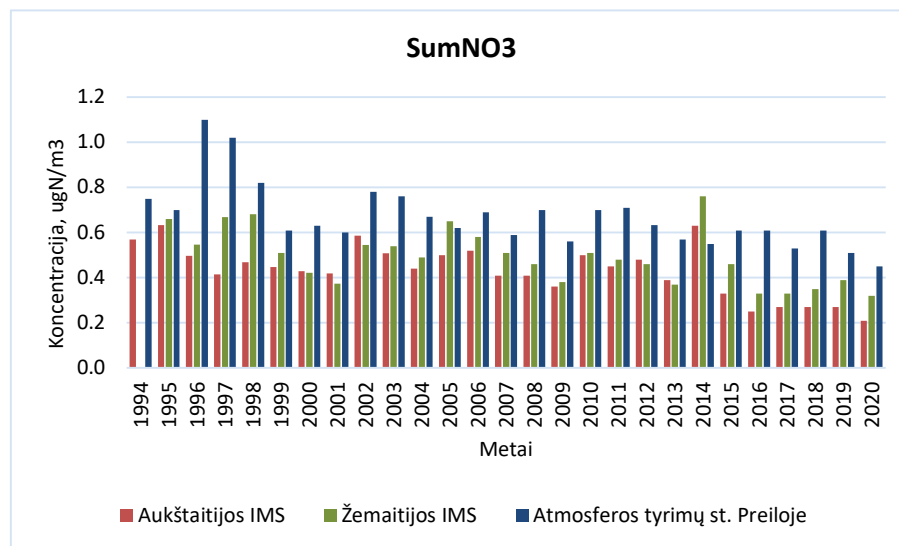


15 pav. NO₂ metinių koncentracijų atmosferos ore kaita IM stotyse ir Preiloje

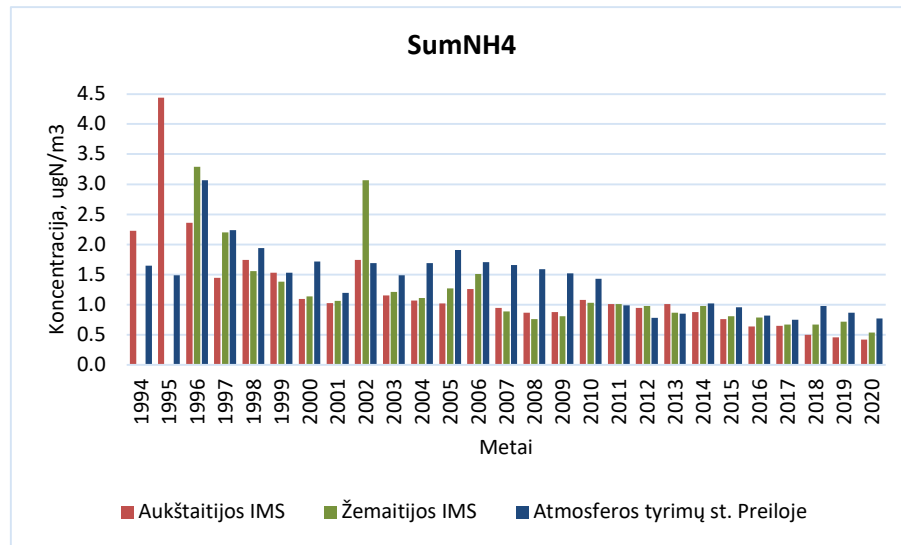


16 pav. aerSO₄²⁻ metinių koncentracijų atmosferos ore kaita IM stotyse ir Preiloje

Azoto dioksido vidutinės metinės koncentracijos 1999 – 2020 m. (15 pav.) Aukštaitijos IMS kito nuo $0,66 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (1999 m.) iki $0,42 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (2020 m.). Nors ir nėra aiškios kryptingos tendencijos NO_2 koncentracijų kaitoje Aukštaitijos IMS, Mann-Kendalio statistinis metodas skaičiuoja jų 39 % mažėjimą per 20 metų. Žemaitijos IMS NO_2 koncentracijų kaitoje statistinio metodo rezultatai rodo 23% mažėjimą per 1999 – 2020 metų laikotarpį. Preiloje azoto dioksido vidutinių metinių koncentracijų kaitos intervalas yra nuo $2,20 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (1999 m.) iki $0,82 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (2020 m.). Statistinis metodas skaičiuoja jų 56 % mažėjimą per 27 metus. Šioje tyrimų vietoje ryškus azoto dioksido koncentracijų mažėjimas buvo nuo 1994 m. iki 1999 m., o per pastaruosius 20 metų, kaip ir IM stotyse, metinės NO_2 koncentracijos kinta be vienpusės tendencijos. Tokia NO_2 koncentracijų ore kaitos tendencija gali būti dėl pokyčių NO_2 emisijoje: nuo 1990 m. iki 2018 m. –60 % ir –63 %, o nuo 2017 m. iki 2018 m. –4,1 % ir 0,8 %, atitinkamai EU-28 ir Lietuvoje. Aerosolinių sulfatų metinių koncentracijų kaita rodo (16 pav.) jų mažėjimą nuo $3,32$ iki $0,24 \mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (–83%) Aukštaitijos IMS, nuo $2,03$ iki $0,27 \mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (–73 %) Žemaitijos IMS ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje nuo $1,39$ iki $0,45 \mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (–68 %). 17 paveiksle pateikti duomenys rodo sumos nitratų metinių koncentracijų nevienareikšmę kaitos tendenciją Aukštaitijos bei Žemaitijos stotyse ir Preiloje. Per 27 metų laikotarpį vidutinės metų sumos NO_3 koncentracijos Aukštaitijoje kito nuo $0,57$ iki $0,21 \mu\text{gN}\cdot\text{m}^{-3}$ (–50 %), Žemaitijoje nuo $0,66$ iki $0,32 \mu\text{gN}\cdot\text{m}^{-3}$ (–43 %) ir Preiloje kito nuo $1,10$ iki $0,45 \mu\text{gN}\cdot\text{m}^{-3}$ (–35 %).



17 pav. Sum NO_3 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 0,42 µgN/m³, Žemaitijoje nuo 3,29 iki 0,54 µgN/m³, Preiloje – nuo 1,65 iki 0,77 µgN/m³ (18 pav.). Visose stotyse stebima sumNH₄ metinių koncentracijų mažėjimo tendencija per 1994 – 2020 m.: –82, –63 ir –68 procentų, atitinkamai Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stotyse ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.

IŠVADOS

- Visiems tirtiems atmosferos ore sieros ir azoto junginiams būdingas didelis koncentracijų kaitos intervalas.
- Vertinant vidutines kiekvieno mėnesio matuotų atmosferos teršalų koncentracijas ryškiausia sezoninė koncentracijų kaita gauta azoto junginiams (NO_2 , sumNO_3). Dėl spartesnės NO_2 fotocheminės oksidacijos per pavasario ir vasaros mėnesius didesnės šių teršalų koncentracijos atmosferos ore matuotos per šaltąjį metų laikotarpį.
- 2020 m. oro masių judėjimo trajektorijų analizė rodo, kad vyravusios oro masių pernašos į Lietuvą iš vakarinių, pietinių, ir centrinės Europos rajonų lėmė didesnes nei 2020 metų vidutinės SO_2 , NO_2 , SO_4 , SumNO_3 ir SumNH_4 koncentracijas. Teršalų koncentracijoms atmosferos ore Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stotyse ir Preiloje didžiausią poveikį daro SO_2 ir NO_2 emisijos šaltiniai, kurie yra centrinėje, vakarinėje ir pietiniuose Europos regionuose.
- Visų tirtų teršalų (SO_2 , aerSO_4 , NO_2 , sumNO_3 ir sumNH_4) 2020 m. vidutinės metinės koncentracijos Preiloje yra apie 1,3 – 2 kartus didesnės nei Aukštaitijos IM stotyje. Sieros dioksido metinė vidutinė koncentracija Žemaitijos IN stotyje ir Preiloje yra vienodos – $0,12 \mu\text{gS}/\text{m}^3$, kitų teršalų metinės koncentracijos Preiloje yra apie 1,4–1,7 karto didesnės nei Žemaitijos IM stotyse. Mažesnis skirtumas yra tarp teršalų metinių koncentracijų Žemaitijoje ir Aukštaitijoje. Sieros dioksido, azoto dioksido, aerolinių sulfatų, sumNO_3 ir sumNH_4 metinės koncentracijos Žemaitijoje yra atitinkamai 25, 14, 11, 34 ir 22 procentų didesnės nei Aukštaitijoje. Didesnes koncentracijas vakarų Lietuvoje lemia šių teršalų emisijos šaltinių V. Europoje (Lenkijoje, Čekijoje, Vokietijoje) artumas. Taip pat ir mažesnę metinį kritulių kiekį Preiloje nei Žemaitijoje ir Aukštaitijoje, matyt, galima laikyti teršalų didesnių koncentracijų priežastimi.
- Visose stotyse stebima sieros ir azoto junginių (SO_2 , aerSO_4 , NO_2 , sumNO_3 ir sumNH_4) metinių koncentracijų mažėjimo tendencija per 1994 – 2020 metų laikotarpį. SO_2 ir aerSO_4 koncentracijų atmosferos ore mažėjimas Lietuvoje labiausiai yra siejamas su ženkliai 92% SO_2 emisijos mažėjimu per 1990–2018 metų laikotarpį daugumoje centrinės Europos valstybių ir Skandinavijoje.
- Dujinių ir aerolinių sieros ir azoto junginių koncentracijų tyrimų apimtys (tiriami parametrai ir stebėjimo dažnis) IM stotyse (Aukštaitijos IMS ir Žemaitijos IMS) ir EMEP stotyje (Preilos atmosferos užterštumo tyrimo stotyje) atitinka keliamus programų reikalavimus. Tolimų 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 jose, yra būtinas oro baseino užterštumo tyrimų tęstinumas.

LITERATŪRA

1. EEA Report No 05/2020. European Union emission inventory report 1990–2018 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP) ISSN 1977-8449
2. EMEP Manual for Sampling and Chemical Analysis, EMEP/CCC-Report 1/95, Norwegian Institute for Air Research; Kjeller.
3. 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).
4. 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 2020 m. vykdyti Aukštaitijos integruoto monitoringo stotyje (LT01), Žemaitijos integruoto monitoringo stotyje (LT03) ir Atmosferos užterštumo tyrimo stotyje Preiloje (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 laidis.

Visoms pagrindinėms cheminėms priemaišoms nustatytas didelis koncentracijų krituliuose kaitos intervalas. Nedideli skirtumai visose tyrimų stotyse matomi tarp amonio, kalio, kalcio metinių koncentracijų. 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 13 ir 12 kartų didesnės nei Aukštaitijoje ir apie 5 ir 6 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: Aukštaitijos IMS – 9,81, Žemaitijos IMS – 11,55, Preiloje 6,35 ir atitinkamai pH vertės yra 5,01, 4,94 ir 5,20. Duomenys rodo, kad rūgščiausi krituliai buvo Žemaitijos IMS.

Taikant neparimetrinį Mann-Kendalio statistinį metodą teršalų metinių koncentracijų ir šlapiųjų srautų kaitos per 27 metus (1994 – 2020 m.) vertinimui gauta, kad sulfatų, nitratų ir amonio azoto metinių koncentracijų ir jų šlapiųjų srautų kaitoje per 1994–2020 m. laikotarpį stebima mažėjimo tendencija. Sulfatų koncentracijos krituliuose

sumažėjo Preiloje – 54%, Aukštaitijoje – 87% ir Žemaitijoje – 86% ir šlapieji sulfatų srautai – atitinkamai 60%, 74% ir 88%. Amonio azoto koncentracijos Aukštaitijos, Žemaitijos IM stotyse ir Preiloje krituliuose sumažėjo atitinkamai 29%, 37% ir 42%, šlapieji metiniai srautai – atitinkamai 22%, 39% ir 38%. Nitratinio azoto metinių koncentracijų ir šlapiųjų srautų eigoje per 1994–2020 m. laikotarpį nėra vienareikšmės kaitos tendencijos. Aukštaitijos IMS ir Žemaitijos IMS nitratų koncentracijos krituliuose sumažėjo atitinkamai 60% ir 64%, Preiloje – 36%. Aukštaitijoje ir Žemaitijoje šio teršalo srautas sumažėjo 45% ir 60%, Preiloje – 12%. Sulfatų kiekio šlapiuose iškritose mažėjimas Lietuvoje, labiausiai yra siejamas su ženkliu SO₂ emisijos mažėjimu daugumoje C. Europos valstybėse ir Skandinavijoje, o taip pat ir Lietuvoje. Mažesnę mažėjimo tendenciją azoto junginiams šlapiuose iškritose, matyt, lemia mažesni NO_x ir NH₃ emisijos mažinimo tempai.

Nustatyta, kad krentant atmosferos krituliams per medžių lają, cheminių priemaišų, išskyrus azoto junginius, kiekiai iškritose į polajį yra iki 26 kartų didesni nei atviroje vietoje. Abiejose IM stotyse didelis padidėjimas iškritose kalio 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 2020 m. yra netolygūs kritulių kiekiui; esant 2% didesniai polajinių kritulių metiniam kiekiui Aukštaitijoje nei Žemaitijoje, į polajį Žemaitijoje šiais metais pateko apie 12% daugiau sieros, 58% daugiau amonio azoto, 23 % magnio, 20 % kalcio, apie 65% chloridų, 2,4 karto natrio, 2 kartus daugiau kalio. Palyginus iškritų rūgštingumą gauta, kad H⁺ metinis srautas į polajį buvo 1,7 karto didesnis Aukštaitijoje nei Žemaitijoje. 2020 metais azoto junginių (NO₃ ir NH₄) srautas į miško paklotę taip pat buvo apie 15 % didesnis Žemaitijoje nei Aukštaitijoje. Šie stebimi pokyčių skirtumai tarp stočių Aukštaitijos ir Žemaitijos IM 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 2020 m. vykdyti Aukštaitijos integruoto monitoringo stotyje (LT01), Žemaitijos integruoto monitoringo stotyje (LT03) ir atmosferos užterštumo tyrimo stotyje Preiloje, kurios kodas Europos monitoringo tinkle yra LT15. Kritulių cheminės sudėties tyrimo tikslai tokie: gauti informaciją apie teršalų koncentracijas krituliuose, nustatyti erdvinius 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 ir Žemaitijos IM stotyse per 2020 m. surinkta po 53 atmosferos kritulių savaitiniai bandiniai ir Preiloje – 99 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 2020 m. Aukštaitijos ir Žemaitijos IMS surinkta po 72 (60 bandinių po laja ir 12 – atviroje vietoje).

Atmosferos ir polajinių kritulių bandiniai, surinkti Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stotyse, buvo tiriami Aplinkos apsaugos agentūros aplinkos tyrimų departamente. Krituliai, kurie buvo renkami Preiloje, analizuoti Fizinių ir technologijos mokslų centro Aplinkotyros skyriuje. 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 ir kalio koncentracijų tyrimui naudotas liepsnos fotometras PAŽ 2, magnio ir kalcio koncentracijos nustatytos Perkin-Elmer firmos atominiu absorbciniu spektrofotometru Zeeman/3030.

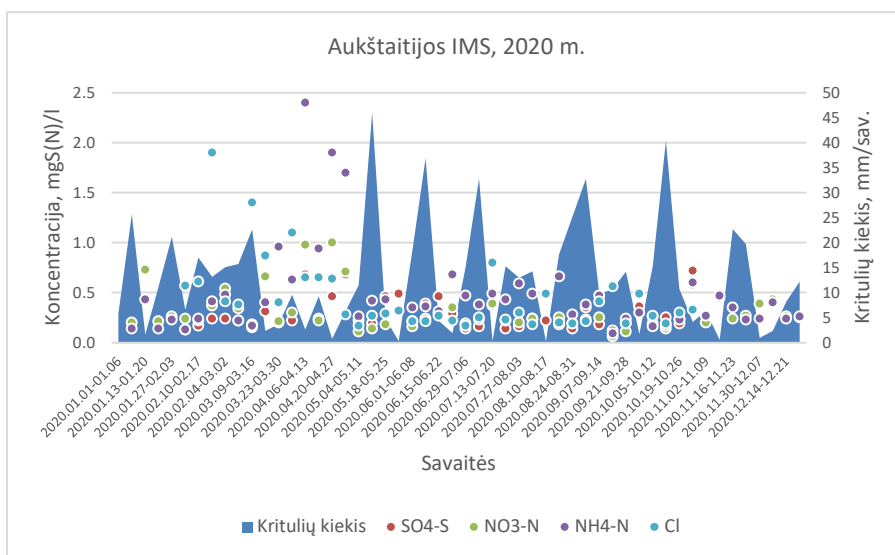
Cheminių priemaišų radimo ribos atmosferos krituliuose yra tokios: SO_4^{2-} – 0,02 mgS/l, NO_3^- – 0,013 mgN/l, Cl^- – 0,01 mg/l, NH_4^+ – 0,04 mgN/l, Na^+ – 0,02 mg/l, K^+ – 0,02 mg/l, Ca^{2+} – 0,002 mg/l, Mg^{2+} – 0,001 mg/l. Atmosferos kritulių bandiniai rinkti ir pagrindinių cheminių teršalų koncentracijos 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 2020 m. metinės koncentracijos, įvertinant metinį kritulių kiekį.

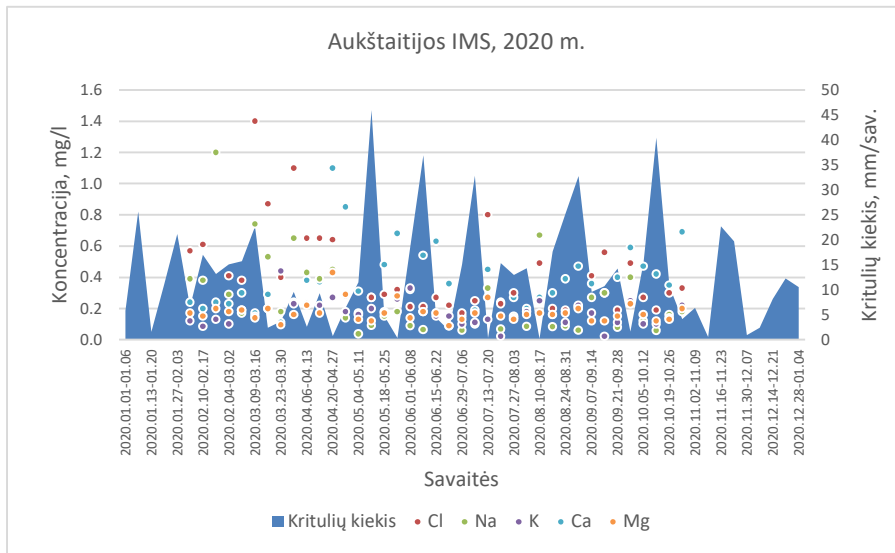
2.1 PAGRINDINIŲ CHEMINIŲ PRIEMAIŠŲ FONINIŲ KONCENTRACIJŲ BEI FIZINIŲ PARAMETRŲ ATMOSFEROS IŠKRITOSE TYRIMAI

TYRIMŲ REZULTATAI

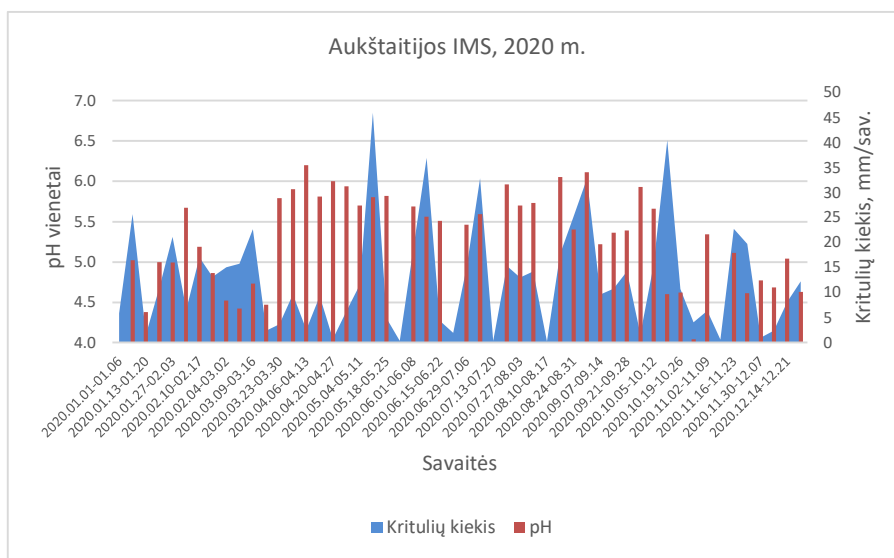
Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų savaitės kritulių mėginiuose Aukštaitijos IM stotyje kaita pateikta 1 ir 2 pav. Cheminių komponentų koncentracijos kito tokiuose intervaluose: sulfatai nuo 0,12 iki 0,72 mgS/l, nitratai nuo 0,06 iki 1,0 mgN/l, amonis nuo 0,09 iki 2,40 mgN/l, chloridas nuo 0,17 iki 1,90 mg/l, natriis nuo 0,04 iki 1,20 mg/l, kalis nuo 0,02 iki 0,44 mg/l, kalcis nuo 0,11 iki 1,10 mg/l ir magnis nuo 0,09 iki 0,43 mg/l. Šią gan ryškią pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų kaitą per 2020 m. daugiausia lėmė kritulių kiekis. Pateiktų pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų kaitoje ženkliai didesnės sulfatų, nitratų ir amonio koncentracijos nei 2020 m. vidutinės koncentracijos (atitinkamai 0,24 mgS/l, 0,23 mgN/l ir 0,36 mgN/l) matuotos balandžio 6 – 13 d., balandžio 20 – gegužės 4 d., spalio 26 – lapkričio 2 d. esant mažam kritulių kiekiui, atitinkamai 2,6 mm/sav., 0,7 mm/sav., 6,3 mm/sav., 4,1 mm/sav. Mažiausios sulfatų, nitratų ir amonio koncentracijos nustatytos sausio 6– 13 d., rugsėjo 14 –21 d., rugsėjo 21 – 28 d., esant kritulių kiekiui atitinkamai 25,7 mm/sav., 10,7 ir 14,2 mm/sav. Kitų pagrindinių cheminių priemaišų (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^-) koncentracijų kaita savaitės mėginiuose analogiška SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ .



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



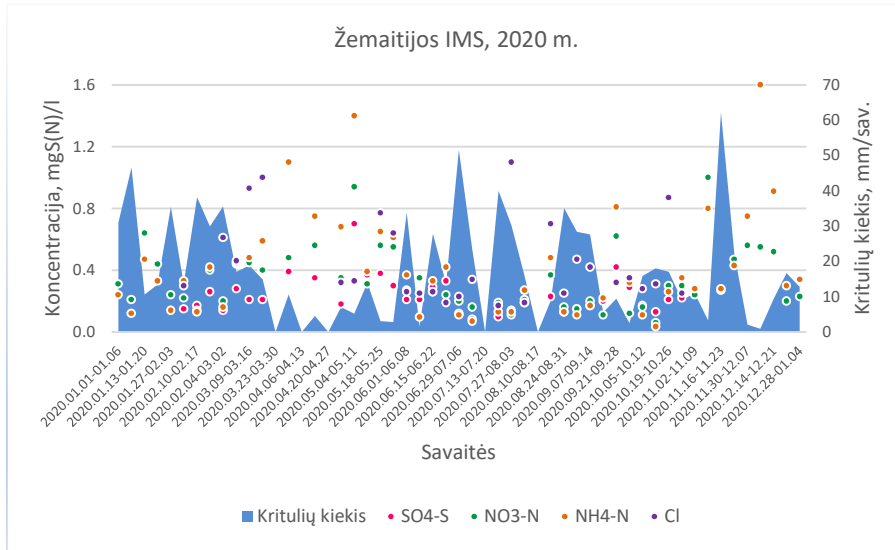
2 pav. Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻ koncentracijų ir kritulių kiekio kaita savaitės mėginiuose Aukštaitijos IMS.



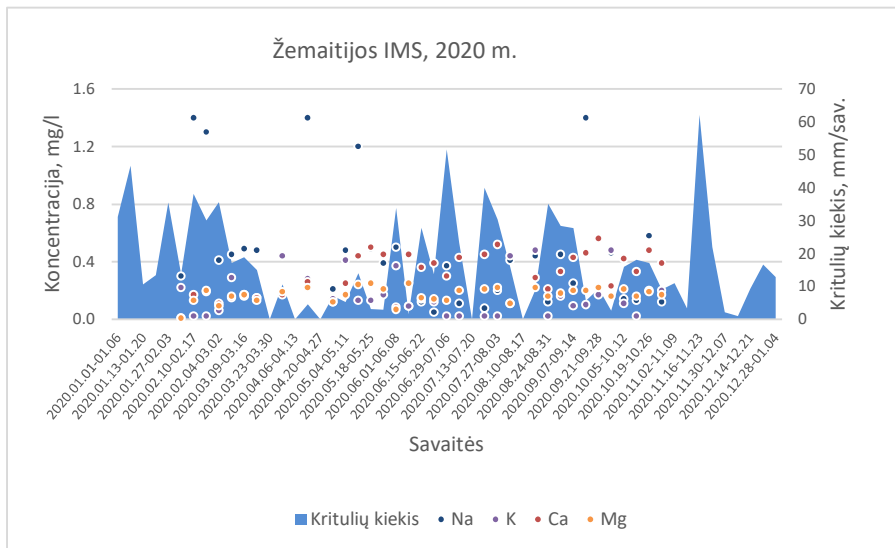
3 pav. pH ir kritulių kiekio kaita savaitės mėginiuose Aukštaitijos IMS.

Aukštaitijos IM stotyje kritulių pH vertės savaitės mėginiuose kito nuo 4,04 iki 6,20 (3 pav.). Rūgštūs krituliai, kurių pH vertės buvo mažesnės nei 5,0, vyravo sausio – kovo, spalio – gruodžio mėn. Per kitus metų mėnesius kritulių pH kito nuo 5,22 iki 6,20. Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų krituliuose kaita savaitės mėginiuose Žemaitijoje (4 ir 5 pav.) gauta tokia: sulfatams nuo 0,08 iki 0,70 mgS/l, nitratams nuo 0,06 iki 1,00 mgN/l, amoniui nuo 0,04 iki 1,60 mgN/l, chloridui nuo 0,17 iki 4,10 mg/l, natriui nuo 0,05 iki 2,40 mg/l, kaliui nuo 0,02 iki 0,48 mg/l, kalciumui nuo 0,01 iki 0,56 mg/l ir

magniiui nuo 0,01 iki 0,25 mg/l. Didelių koncentracijų epizodai, t.y. SO_4^{2-} , NO_3^- ir NH_4^+ koncentracijos buvo kelis kartus didesnės nei 2020 m. vidutinės, atitinkamai 0,19 mgS/l, 0,26 mgN/l/ ir 0,28 mgN/l, buvo kovo mėn. 30 – balandžio 6 d., balandžio mėn. 13 – 20 d., gegužės mėn. 4 –11 d., rugsėjo mėn. 21 – 28 d., kritulių per šias savaites buvo atitinkamai 10,6, 4,6, 5,20 ir 9,40 mm. Mažiausios sulfatų, nitratų ir amonio koncentracijos nustatytos liepos mėn. 6 – 13 ir liepos 20 – 27 dienomis, esant kritulių kiekiui atitinkamai 23,3 ir 40,0 mm/sav.

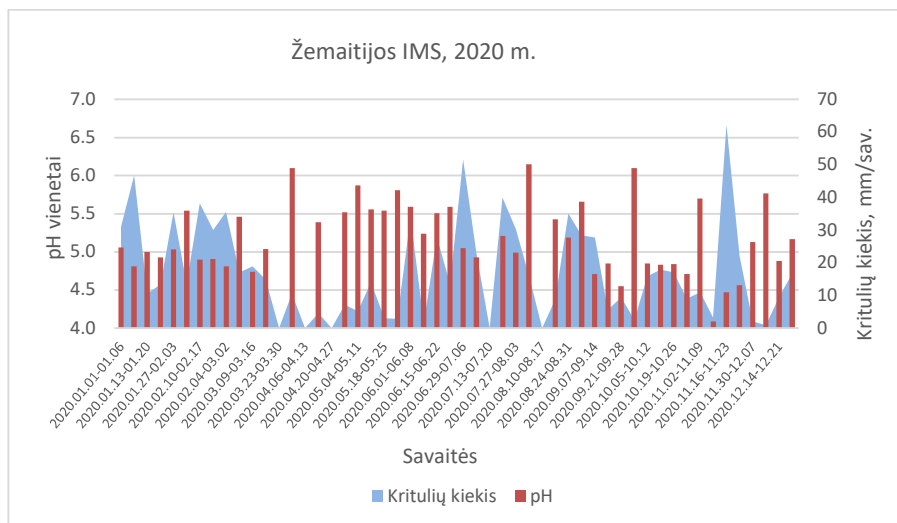


4 pav. SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Cl^- koncentracijų ir kritulių kiekio kaita savaitės mėginiuose Žemaitijos IMS.



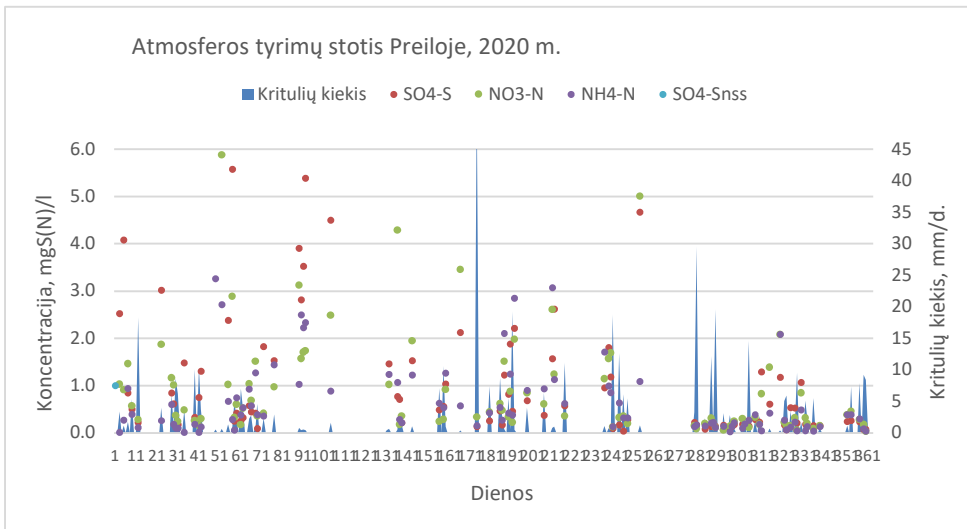
5 pav. Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} koncentracijų ir kritulių kiekio kaita savaitės mėginiuose Žemaitijos IMS.

Žemaitijos IMS stotyje kritulių pH vertės savaitės mėginiuose kito nuo 4,09 iki 6,15 (6 pav.). Krituliai, kurių pH vertės buvo mažesnės nei 5,0, nustatytos sausio – kovo, rugsėjo – gruodžio mėn. Per kitus metų mėnesius iškritusių kritulių pH vertė kito nuo 5,05 iki 6,15.

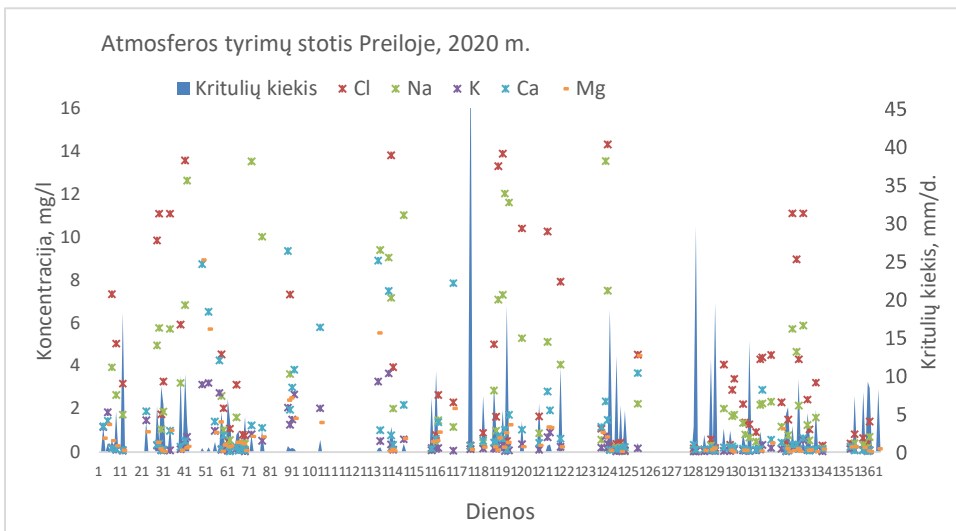


6 pav. pH ir kritulių kiekio kaita savaitės mėginiuose Žemaitijos IMS.

Preiloje (7 ir 8 pav.) cheminių priemaišų koncentracijos krituliuose kito gan dideliame intervale: sulfatai nuo 0,04 iki 12,21 mgS/l, nitratai nuo 0,03 iki 12,90 mgN/l, amonis nuo 0,02 iki 9,84 mgN/l, chloridas nuo 0,08 iki 103,61 mg/l, natris nuo 0,04 iki 51,06 mg/l, kalis nuo 0,03 iki 3,67 mg/l, kalcis nuo 0,04 iki 9,37 mg/l ir magnis nuo 0,01 iki 7,81 mg/l. Gretindami kritulių kiekį ir teršalų koncentracijas galime matyti, kad kelis kartus didesnės nei 2020 m. vidutinės tiriamų komponentų koncentracijos matuotos sausio mėn. 5 – 6 d., 23 – 24, vasario mėn. 19 – 20 d., 22 – 23 d., gegužės mėn. 11 – 12 d., spalio mėn. 14 – 15 dienomis, esant kritulių kiekiui mažesniau nei 2 mm per dieną.

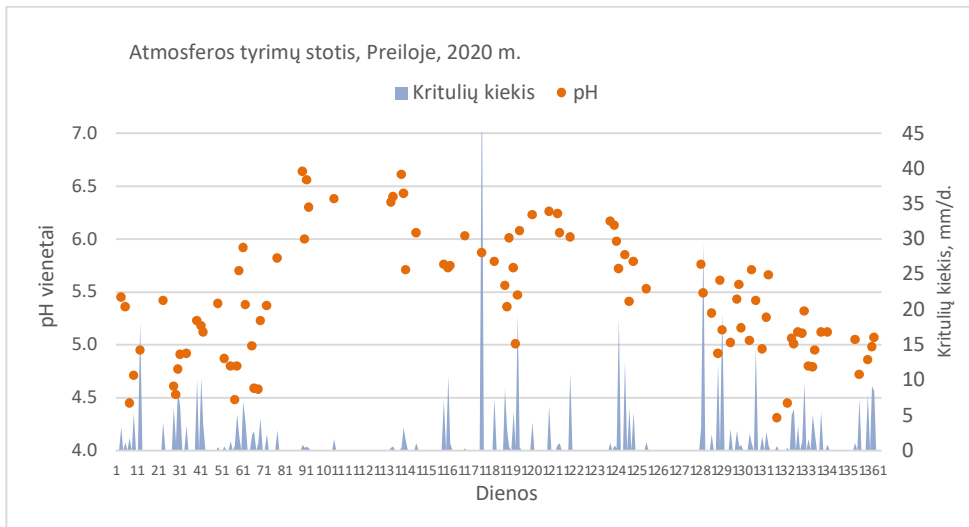


7 pav. SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ koncentracijų ir kritulių kiekio kaita vienos paros mėginiuose atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.

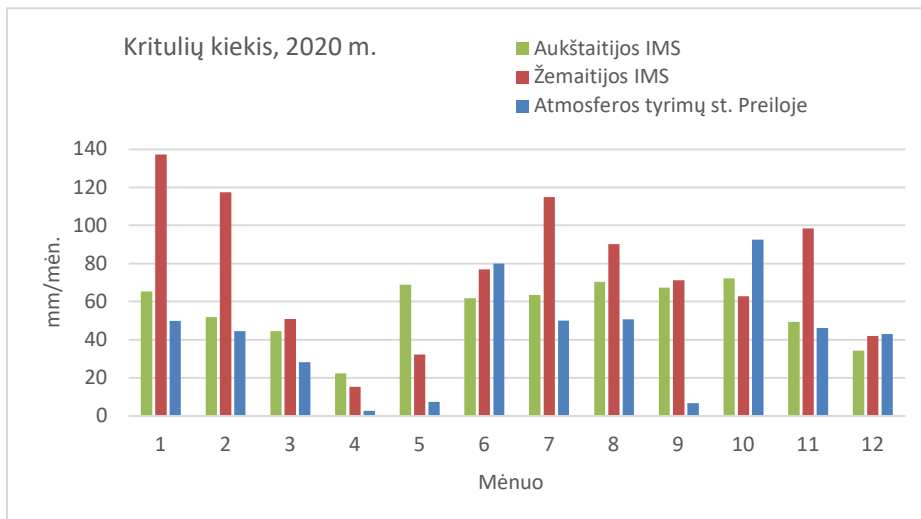


8 pav. Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , Mg^{2+} koncentracijų ir kritulių kiekio kaita vienos paros mėginiuose atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.

Preiloje kritulių pH vertės paros mėginiuose kito nuo 4,31 iki 6,64 (9 pav.). Rūgštūs krituliai ($\text{pH} < 5,0$) vyravo sausio – kovo ir spalio – gruodžio mėn. Per kitus metų mėnesius iškritusių kritulių pH vertės daugeliu lietaus atvejų kinto 5,01 iki 6,64.



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

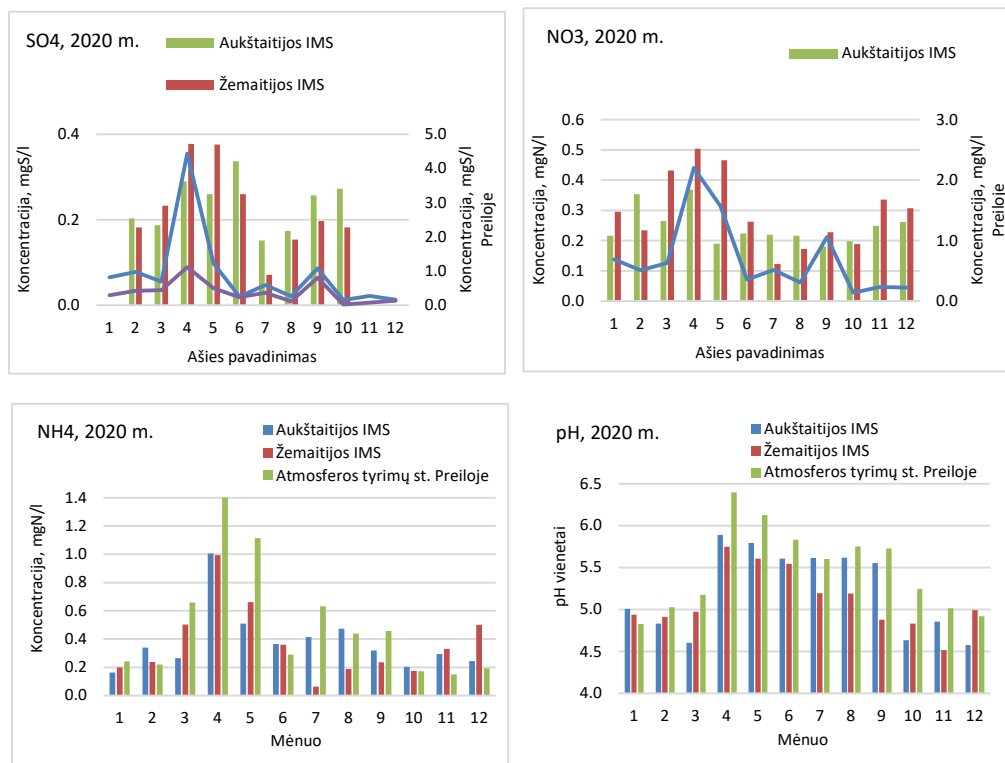


10 pav. Kritulių kiekio sezoninė kaita Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.

Didelį įtaką cheminių priemaišų koncentracijoms krituliuose ir jų kiekiams šlapiosiose iškritose daugiausiai daro jų koncentracijos ore ir kritulių kiekis bei jų pobūdis. Pateikti 10 pav. duomenys rodo, kad didžiausias kritulių kiekis 2020 m. Žemaitijoje iškrito per sausio mėnesį – 137,3 mm. Aukštaitijoje ir Preiloje daugiausiai kritulių iškrito spalio mėn. atitinkamai – 72,3 ir 92,7 mm/mėn. Balandžio mėnuo buvo sausiausias Lietuvoje per 2020 metus – Preiloje iškrito 2,56 mm/mėn., Aukštaitijoje 22,3 mm/mėn. ir Žemaitijoje –

15,2 mm/mėn. Metinis kritulių kiekis 2020 m. buvo Aukštaitijos IMS –672 mm, Žemaitijos IMS – 910 mm ir Preiloje – 501 mm.

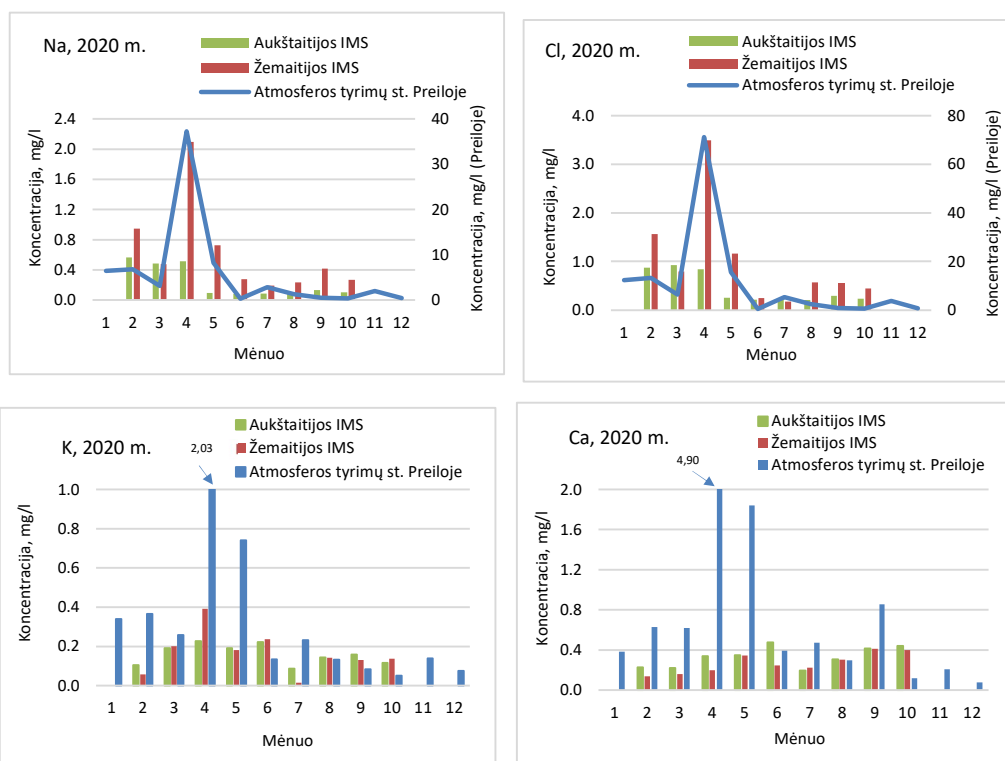
Pagrindinių priemaišų koncentracijų ir jų atmosferinių išskirtų į sąlygiškai natūralias ekosistemas erdviųjų ir laikinių pokyčių vertinimui, skaičiavome svertines pagal kritulių kiekį kiekvieno mėnesio vidutines koncentracijas. Didžiausios 2020 metų sieros ir azoto junginių koncentracijos nustatytos per balandžio ir gegužės mėnesius esant mažam kritulių kiekiui – 2,6 ir 7,3, 15,2 ir 32,3, 22,3 ir 68,9, atitinkamai Preiloje, Aukštaitijos ir Žemaitijos IMS. Tyrimų duomenys rodo, kad (11 ir 12 pav.) sulfatų koncentracijos didesnės nei 2020 m. vidutinė 0,24 mgS/l Aukštaitijos IMS ir 0,19 mg/l Žemaitijos IMS matuotos per balandžio, gegužės, birželio mėnesius. Per sekančius mėnesius jos mažai skyrėsi nuo metų vidutinių koncentracijų. Preiloje šios komponentės didesnės nei 2020 m. vidutinė 0,46 mgS/l koncentracija gauta sausio – balandžio ir rugsėjo mėn. Įvertinus Baltijos jūros įnašą, kuris kito nuo 2 iki 98%, SO₄-Sns metinė koncentracija yra 0,22 mgS/l.



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

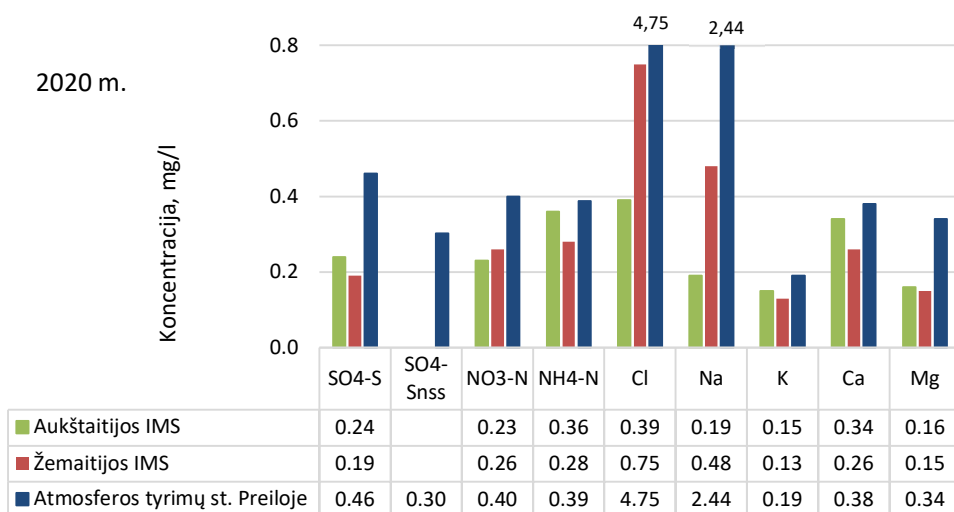
Nitratinio azoto koncentracijų sezoninėje kaitoje (11 pav.) ženkliai didesnės nei 2020 m. vidutinės koncentracijos gautos per vasario – balandžio mėnesius Aukštaitijoje, Žemaitijoje – per kovo – gegužės ir lapkričio – gruodžio mėnesius. Per sekančius mėnesius NO_3^- koncentracijos kito nuo 0,12 iki 0,23 mgN/l, esant metų vidutinei koncentracijai šiose tyrimų vietose, atitinkamai 0,23 mgN/l ir 0,26 mgN/l. 2020 m. vidutinė nitrātų koncentracija Preiloje yra 0,40 mgN/l ir sezoninėje kaitoje didesnės už vidutinę koncentraciją gautos sausio – gegužės ir rugsėjo mėnesiais.

Didžiausios per 2020 m. amonio azoto koncentracijos Aukštaitijos IMS buvo kovo – balandžio ir liepos – rugpjūčio mėnesiais, Žemaitijos IMS – kovo – birželio mėnesiais, Preiloje – kovo – gegužės ir liepos – mėnesiais, esant metų vidutinei koncentracijai Aukštaitijos IMS – 0,36 mgN/l, Žemaitijos IMS – 0,28 mgN/l ir Preiloje – 0,33 mgN/l. Krituliai, kurių pH vertės mažesnės nei 5,0, Aukštaitijoje buvo vasario – kovo ir spalio – gruodžio mėnesiais, Žemaitijoje sausio – kovo ir rugsėjo – gruodžio mėnesiais ir Preiloje – sausio ir gruodžio mėnesiais.



12 pav. Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} 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 ryšys tarp Na ir Cl jonų Preiloje (0,98) ir Žemaitijos IMS (0,96), ir šiek tiek silpnesnis (0,90) 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 2020 m. vidutinės gautos per šaltąjį laikotarpį. 2020 m. vidutinės koncentracijos Na⁺ ir Cl⁻ gautos tokios: Aukštaitijos IMS – 0,19, ir 0,39 mg/l, Žemaitijos IMS – 0,48 ir 0,75 mg/l, Preiloje – 2,44 ir 4,75 mg/l. Kalio jonų vidutinių mėnesio koncentracijų krituliuose eigoje stebimas mažesnis kaitos intervalas nei kitoms komponentams, esant metų vidutinei 2020 metų koncentracijai Aukštaitijos IMS – 0,15 mg/l, Žemaitijos IMS – 0,13 mg/l ir Preiloje – 0,19 mg/l. 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 visose tyrimų stotyse matomi tarp amonio, kalio, kalcio metinių koncentracijų. 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 13 ir 12 kartų didesnės nei Aukštaitijoje ir apie 5 ir 6 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: 9,81 (Aukštaitijos IMS), 11,55 (Žemaitijos IMS) ir 6,35 (Preila) ir atitinkamai pH vertės yra 5,01, 4,94 ir 5,20. Duomenys rodo, kad rūgščiausi krituliai buvo Žemaitijos IMS.

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 $20,9 \text{ mgS/m}^2$ per birželio mėn., nitratų $18,3 \text{ mgN/m}^2$ per vasario mėn. ir amonio $35,1 \text{ mgN/m}^2$ gegužės mėn. Žemaitijoje – sulfatų $21,3 \text{ mgS/m}^2$ per vasario mėn., nitratų $40,7 \text{ mgN/m}^2$ sausio mėn. ir amonio $32,6 \text{ mgN/m}^2$ gruodžio mėn.; Preiloje – sulfatų $43,5 \text{ mgS/m}^2$ vasario mėn., nitratų $34,2 \text{ mgN/m}^2$ per sausio mėn., amonio $31,7 \text{ mgN/m}^2$ – per liepos mėn.

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

Metai, mėnuo	Kritulių kiekis, mm	Šlapiasis srautas, $\text{mg m}^{-2} \text{ mėn.}^{-1}$							
		$\text{SO}_4\text{-S}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	Cl	Na	K	Ca	Mg
2020.01	65,3	*	14,1	10,7	*	*	*	*	*
2020.02	51,8	10,5	18,3	17,6	45,3	29,2	5,5	11,6	9,0
2020.03	44,4	8,3	11,8	11,8	41,3	21,4	8,5	9,7	7,0
2020.04	22,3	6,5	8,2	22,4	18,8	11,3	5,1	7,5	4,0
2020.05	69,0	17,9	13,1	35,1	17,6	6,3	13,1	23,9	9,8
2020.06	61,8	20,9	13,8	22,5	13,3	4,9	13,7	29,4	10,2
2020.07	63,6	9,6	13,9	26,3	14,6	5,4	5,5	12,3	9,9
2020.08	70,3	12,3	15,2	33,3	14,9	7,0	10,0	21,5	11,1
2020.09	67,3	17,3	12,2	21,4	19,5	8,9	10,6	27,8	11,1
2020.10	72,3	19,7	14,3	14,8	17,2	7,3	8,4	31,8	9,9
2020.11	49,4	*	12,3	14,5	*	*	*	*	*
2020.12	34,2	*	9,0	8,3	*	*	*	*	*
Metinis	672	123	156	239	202	102	80	175	82

* – Nėra duomenų

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

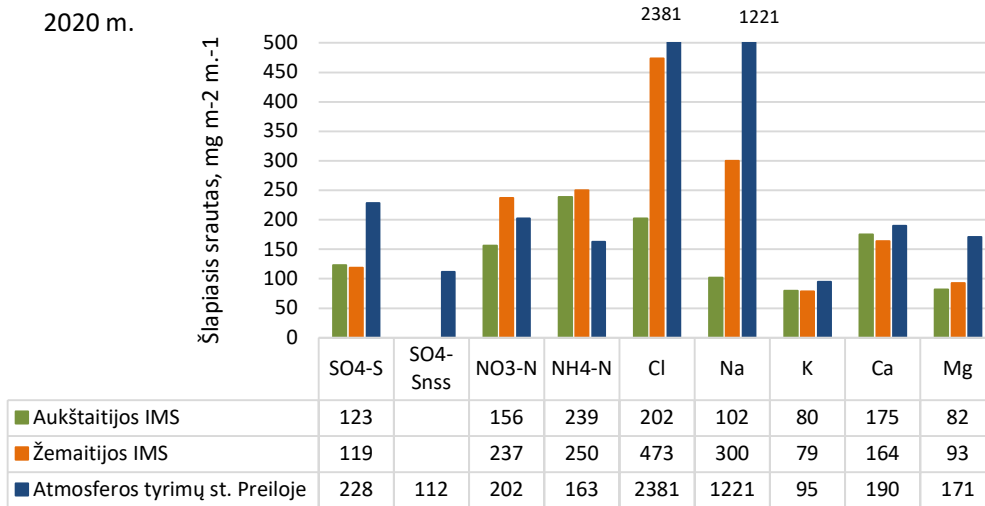
Metai, mėnuo	Kritulių kiekis, mm	Šlapiasis srautas, mg m ⁻² mėn. ⁻¹							
		SO ₄ -S	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2020.01	137,3	*	40,6	27,4	*	*	*	*	*
2020.02	117,5	21,3	27,5	27,8	184,3	111,2	6,7	16,2	14,4
2020.03	50,9	11,9	22,0	25,6	40,3	24,1	10,2	8,0	7,9
2020.04	15,2	5,7	7,7	15,1	53,1	31,9	6,0	3,0	3,0
2020.05	32,3	12,1	15,0	21,4	37,6	23,4	5,8	11,2	6,5
2020.06	77,0	20,0	20,2	27,6	19,0	21,1	18,2	19,0	8,8
2020.07	114,9	8,1	14,0	7,3	19,8	21,7	1,6	25,5	11,4
2020.08	90,3	13,9	15,6	17,1	51,4	20,7	12,8	27,5	16,0
2020.09	71,1	14,0	16,2	16,7	39,8	29,5	9,3	29,1	13,8
2020.10	62,7	11,4	11,8	10,8	28,1	16,8	8,6	25,0	11,4
2020.11	98,5	*	33,1	32,6	*	*	*	*	*
2020.12	41,9	*	12,8	20,9	*	*	*	*	*
Metinis	910	119	237	250	473	300	79	164	93

* – Nėra duomenų

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
2020.01	49,8	40,6	14,6	34,2	12,1	616,2	317,3	16,9	19,2	40,6
2020.02	44,4	43,5	18,8	22,5	9,7	587,3	302,0	16,2	28,0	47,8
2020.03	28,1	19,5	12,4	17,7	18,5	181,7	86,7	7,2	17,4	12,4
2020.04	2,6	11,4	2,8	5,6	3,6	182,4	95,5	5,2	12,6	11,5
2020.05	7,3	8,9	3,6	11,5	8,1	113,5	59,7	5,4	13,4	7,6
2020.06	79,9	20,4	19,0	28,3	23,1	36,0	17,7	10,7	31,4	2,7
2020.07	50,1	29,7	18,3	25,8	31,6	266,6	138,8	11,6	23,5	17,3
2020.08	50,7	13,3	5,8	15,7	22,3	127,1	65,1	6,7	15,1	8,0
2020.09	6,7	7,1	5,4	7,1	3,0	5,9	2,9	0,6	5,7	6,4
2020.10	92,7	14,1	2,1	13,0	15,9	57,9	30,3	4,7	10,8	4,2
2020.11	46,1	12,6	3,1	11,0	6,9	173,2	88,6	6,4	9,5	10,7
2020.12	43,0	7,0	5,6	9,4	8,3	33,3	16,8	3,2	3,2	2,1
Metinis	501	228	112	202	163	2381	1221	95	190	171

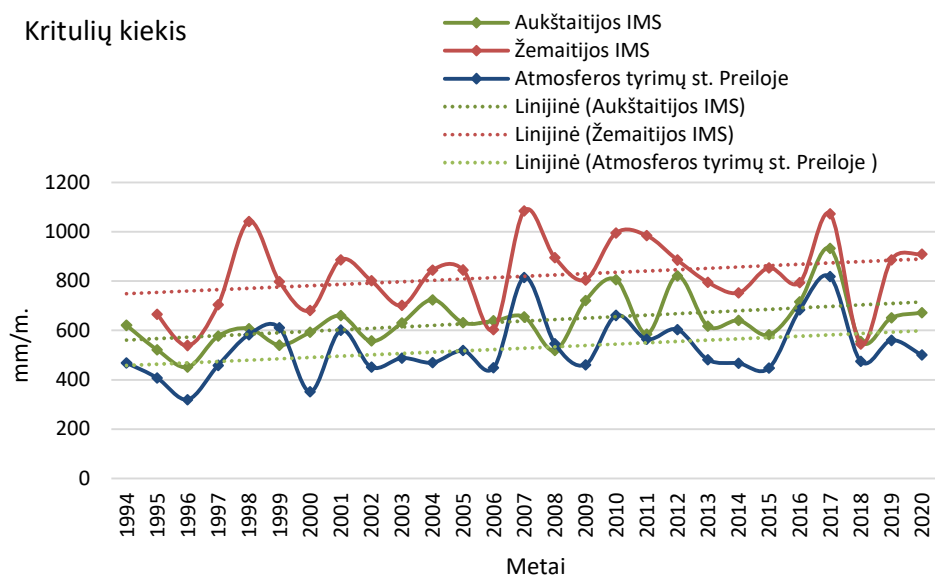
Nagrinėjant pagrindinių cheminių priemaišų kiekius šlapiose iškritose 2020 m. erdvinę kaitą (14 pav.) akivaizdu, kad skirtumai tarp stočių yra nedideli, išskyrus SO₄²⁻, Na⁺, Cl⁻ ir Mg²⁺. Šių cheminių priemaišų šlapijieji srautai Preiloje yra didesni nei IM stotyse daugiausiai dėl įnašo iš Baltijos jūros. Baltijos jūros įtaka stebima ir Žemaitijoje rinktiems atmosferos krituliams. Neįūrinės kilmės sulfatams Preiloje teko 51%.



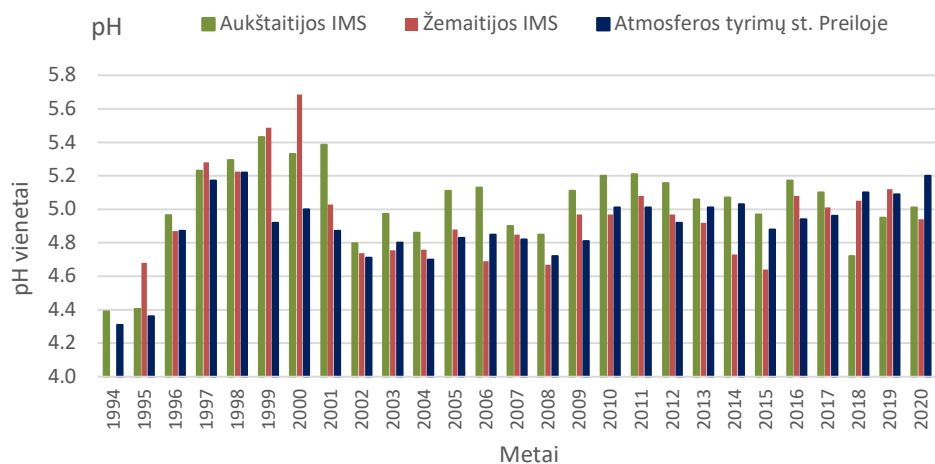
14 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų šlapiųjų srautų erdvinė kaita.

Kritulių kiekio, kritulių pH, sieros ir azoto junginių koncentracijų ir šlapiųjų iškritų kiekio kaita nuo 1994 m. iki 2020 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 – 2020 m. kritulių kiekis Aukštaitijoje padidėjo 26%, Žemaitijoje 23% ir Preiloje – 26%. 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 rūgštus 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 – 2017 metais visose tyrimo vietose vėl stebimas kritulių pH pakilimas. 2017 – 2019 metais Aukštaitijos ir Žemaitijos IMS pH sumažėjo atitinkamai nuo

5,10 iki 4,95, ir nuo 5,01 iki 4,95, o Preiloje nežymiai pakilo ir metinės vertės, atitinkamai – 4,96 ir 5,09. 2020 m. rūgščiausi krituliai buvo Žemaitijoje. Tai rodo metinės pH kritulių vertės: Preiloje – 5,20, Žemaitijoje – 4,94 ir Aukštaitijoje – 5,01.



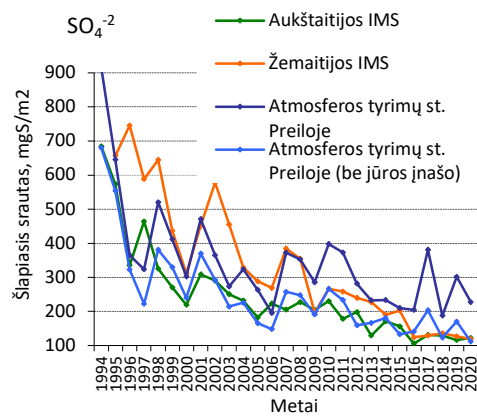
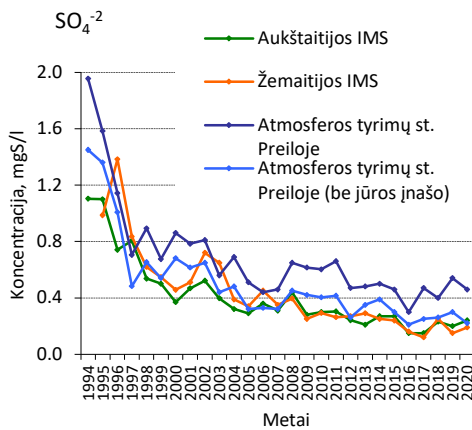
15 pav. Kritulių kiekio metinė kaita.



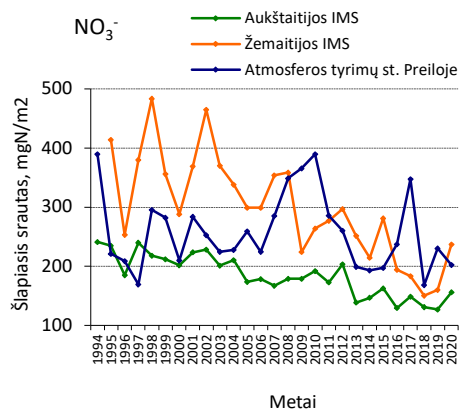
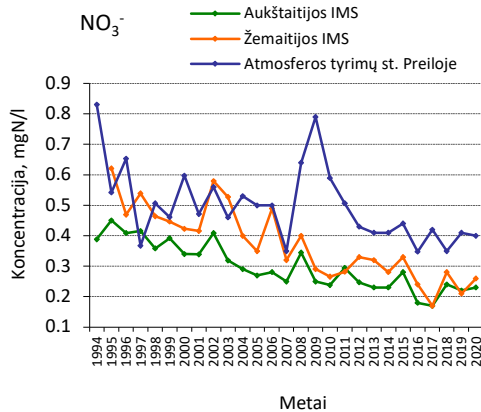
16 pav. Kritulių pH metinė kaita.

Pateikti 17 – 19 paveiksluose pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų ir šlapiųjų srautų metinės kaitos duomenys Aukštaitijoje ir Preiloje per pastaruosius 27 metus, o Žemaitijoje per 26 metus, rodo sulfatų, amonio ir nitratų koncentracijų ir šlapiųjų srautų

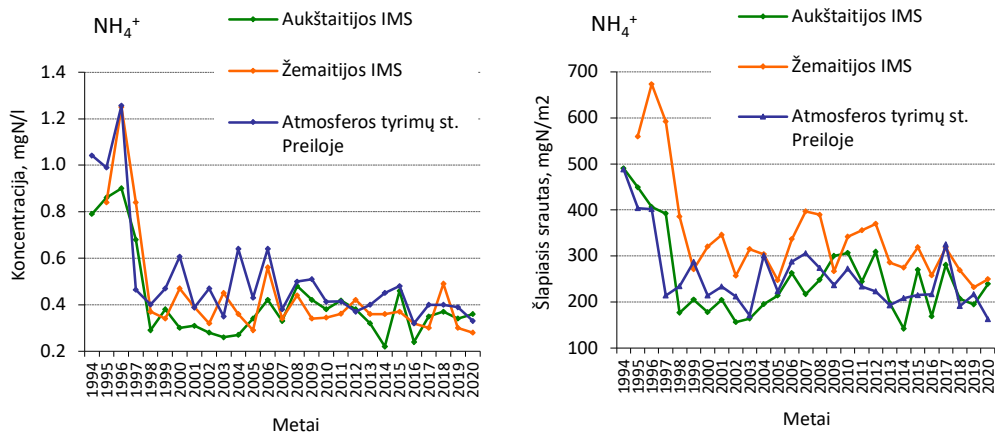
mažėjimo tendenciją. Sulfatų kiekio šlapiuose iškritose mažėjimas Lietuvoje, be abejonės, labiausiai yra siejamas su ženkliai SO_2 emisijos mažėjimu daugumoje C. Europos valstybėse ir Skandinavijoje, o taip pat ir Lietuvoje, ypatingai per 1994 – 2004 m. laikotarpį. Mažesnę mažėjimo tendenciją azoto junginiams 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/m^2) metinė kaita.



18 pav. Nitratų koncentracijos (mgN/l) krituliuose ir šlapiųjų srautų (mgN/m^2) 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 27 metus vertinimui gauta, kad sulfatų koncentracijos krituliuose sumažėjo Preiloje 54%, Aukštaitijoje 87% ir Žemaitijoje 86%. Sulfatų šlapiasis srautas sumažėjo 74%, 88% ir 60%, atitinkamai Aukštaitijos, Žemaitijos IM stotyse ir Preiloje. Nitratinio azoto metinių koncentracijų ir šlapiųjų srautų eigoje nėra vienareikšmės kaitos tendencijos. Nitratų koncentracijos krituliuose sumažėjo Aukštaitijoje 60%, Žemaitijoje 64% ir Preiloje – tik 36%. Aukštaitijoje ir Žemaitijoje šio teršalo srautas sumažėjo atitinkamai 45% ir 60%, o Preiloje – tik 12%. Analizuojant amonio azoto koncentracijų ir šlapiųjų srautų kaitos tendencijas per 1994 – 2020 m. IM stotyse ir Preiloje stebimas amonio koncentracijos mažėjimas: Aukštaitijos IMS – 29%, Žemaitijos IMS – 37% ir Preiloje – 42%. Amonio azoto šlapiji metiniai srautai sumažėjo Aukštaitijos IMS –22%, Žemaitijos IMS – 39% ir Preiloje – 38%.

IŠVADOS

- Tirtoms cheminėms priemaišoms yra būdingas didelis koncentracijų kaitos intervalas kritulių savaitės bandiniuose IM stotyse ir kritulių paros bandiniuose Preiloje.
- Metinė sulfatų (SO₄²⁻-S_{tot}) koncentracija Preiloje gauta beveik 2 kartus didesnė nei Aukštaitijoje ir 2,4 karto didesnė nei Žemaitijoje. Tai lėmė didesnė sulfatų ir sieros dioksido koncentracija atmosferos ore Preiloje, o taip pat ir kritulių kiekis. Sulfatų metinės koncentracijos Aukštaitijoje ir Žemaitijoje nežymiai skiriasi.

- Dėl rūgštis neutralizuojančių teršalų – amonio ir kalcio mažesnės koncentracijos Žemaitijos IMS krituliuose nei Aukštaitijoje ir Preiloje, rūgščiausi krituliai 2020 m. buvo Žemaitijos IMS. pH kritulių metinės vertės tokios: Aukštaitijos IMS – 5,01, Žemaitijos IMS – 4,94 ir Preiloje – 5,20.
- Pagrindinių cheminių priemaišų šlapiųjų iškritų 2020 m. erdvinė kaita rodo, kad Žemaitijos ir Aukštaitijos IM stotyse skirtumai tarp stočių yra nedideli, išskyrus natrio ir chlorido. Preiloje chlorido ir natrio šlapieji srautai dėl įnašo iš Baltijos jūros yra kelis kartus didesni nei IM stotyse.
- Sulfatų, nitratų ir amonio azoto metinių koncentracijų ir jų šlapiųjų srautų kaitoje per 1994–2020 m. laikotarpį stebima mažėjimo tendencija. Sulfatų koncentracijos krituliuose sumažėjo Preiloje – 54%, Aukštaitijoje – 87% ir Žemaitijoje – 86% ir šlapieji sulfatų srautai – atitinkamai 60%, 74% ir 88%. Amonio azoto koncentracijos Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir Preiloje krituliuose sumažėjo atitinkamai 29%, 37% ir 42%, šlapieji metiniai srautai – atitinkamai 22%, 39% ir 38%. Nitratinio azoto metinių koncentracijų ir šlapiųjų srautų eigoje per 1994–2020 m. laikotarpį nėra vienareikšmės kaitos tendencijos. Aukštaitijos IMS ir Žemaitijos IMS nitratų koncentracijos krituliuose sumažėjo atitinkamai 60% ir 64%, Preiloje – 36%. Aukštaitijoje ir Žemaitijoje šio teršalo srautas sumažėjo 45% ir 60%, Preiloje – 12%.
- Sulfatų kiekio šlapiuose iškritose mažėjimas Lietuvoje, labiausiai yra siejamas su ženkliu SO₂ emisijos mažėjimu daugumoje C. Europos valstybėse ir Skandinavijoje, o taip pat ir Lietuvoje. Mažesnę mažėjimo tendenciją azoto junginiams šlapiuose iškritose, matyt, lemia mažesni NO_x ir NH₃ emisijos mažinimo tempai.
- 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 (Preiloje) vykdoma kritulių tyrimo programa tenkina Europos monitoringo paruoštos strategijos 2020 – 2029 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 paaimami 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 2020 m. Aukštaitijos IM stotyje, pateikti 4 ir 5 lentelėse. Kritulių pH rodo, kad rūgščiausi krituliai ($\text{pH} < 5,0$) po laja buvo per sausio – balandžio, spalio – gruodžio mėnesius, o per likusius metų mėnesius vyravo krituliai, kurių pH kito nuo 5,11 iki 5,72. Atviroje vietoje kritulių pH kito – nuo 5,33 iki 6,35. Įvertinus kritulių kiekį, metinė pH vertė po laja ir yra 4,94, atviroje vietoje – 5,83. Nagrinėjant sulfatų koncentraciją ir srautų (4 ir 5 lentelės) sezoninę kaitą matyti, kad sulfatų koncentracijos krituliuose po laja didžiausios buvo balandžio ir birželio mėn., atitinkamai 0,58 ir 0,44 mgS/l. Per likusius pavasario, vasaros ir rudens mėn. jos kito nuo 0,13 mgS/l (liepos mėn.) iki 0,38 mgS/l (spalio mėn.). Sulfatų koncentracija krituliuose po laja tik kovo ir liepos mėn. buvo nežymiai mažesnė nei krituliuose atviroje vietoje (santykis po laja/atviroje vietoje buvo 0,90–0,82). Per likusius metų mėnesius šis santykis (po laja/atviroje vietoje) kito nuo 1,0 (birželio mėn.) iki 1,8 (rugpiūčio mėn.). Tai rodo, kad polajiniai krituliai praturtinami sulfatais dėl sausai nusėdusių sieros junginių (SO_2 ir aerosolinių SO_4^{2-}) nuplovimo nuo lajos. Didžiausias sieros kiekis į miško paklotę po laja ($24,5 \text{ mgS/m}^2$) ir atviroje vietoje ($27,9 \text{ mgS/m}^2$) pateko per birželio mėn.. Vertinant sieros srautų metinę dinamiką matyti, kad jų dydžius lėmė ir SO_4^{2-} koncentracija krituliuose, ir kritulių kiekis. Visumoje per metus į miško paklotę po laja pateko 123 mgS/m^2 , tai yra 16 % mažiau nei į žemės paviršių su krituliais atviroje vietoje (146 mgS/m^2).

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

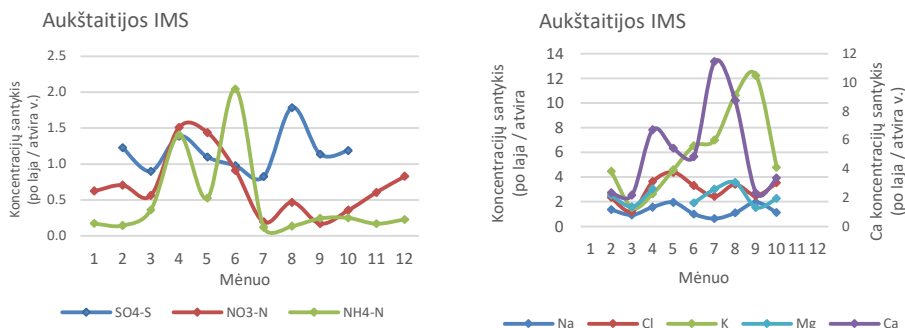
<i>Po medžių laja</i>									
Metai, mėnuo	pH	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2020.01	4,79	*	0,20	0,05	*	*	*	*	*
2020.02	4,72	0,31	0,28	0,07	2,35	1,12	1,03	0,64	0,38
2020.03	4,71	0,30	0,26	0,20	1,70	0,85	0,84	0,61	0,34
2020.04	5,00	0,58	0,79	0,93	3,49	1,48	2,04	2,08	0,80
2020.05	5,11	0,26	0,17	0,16	1,49	0,86	1,84	1,25	0,42
2020.06	5,72	0,44	0,05	0,02	1,26	0,61	2,88	1,12	0,33
2020.07	5,18	0,13	0,03	0,02	0,85	0,39	1,33	1,03	0,33
2020.08	5,35	0,32	0,10	0,02	0,79	0,39	1,92	1,40	0,57
2020.09	5,27	0,31	0,04	0,02	0,95	0,45	2,08	1,07	0,43
2020.10	5,28	0,38	0,07	0,01	0,99	0,41	2,34	0,77	0,37
2020.11	4,68	*	0,21	0,07	*	*	*	*	*
2020.12	4,40	*	0,33	0,09	*	*	*	*	*
vidutinė	4,94	0,32	0,16	0,09	1,33	0,63	1,92	1,04	0,40
<i>Atvira vieta</i>									
Metai, mėnuo	pH	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2020.01	5,70	*	0,32	0,28	*	*	*	*	*
2020.02	6,36	0,25	0,40	0,48	1,00	0,81	0,23	0,27	0,15
2020.03	5,62	0,33	0,46	0,56	1,40	0,90	0,55	0,28	0,21
2020.04	6,21	0,42	0,52	0,66	0,96	0,94	0,77	0,31	0,26
2020.05	5,93	0,24	0,12	0,30	0,34	0,44	0,40	0,23	0,15
2020.06	5,33	0,45	0,06	0,01	0,38	0,60	0,44	0,23	0,17
2020.07	6,07	0,16	0,17	0,17	0,35	0,61	0,19	0,09	0,11
2020.08	5,98	0,18	0,21	0,18	0,23	0,35	0,18	0,16	0,16
2020.09	5,95	0,27	0,22	0,09	0,38	0,23	0,17	0,46	0,28
2020.10	5,72	0,32	0,20	0,06	0,28	0,37	0,49	0,23	0,16
2020.11	6,35	*	0,35	0,40	*	*	*	*	*
2020.12	6,27	*	0,40	0,40	*	*	*	*	*
vidutinė	5,83	0,28	0,25	0,25	0,48	0,52	0,35	0,25	0,18

* – Nėra duomenų

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.	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2020.01	55,8	*	11,2	2,7	*	*	*	*	*
2020.02	34,3	10,5	9,7	2,4	80,5	38,3	35,4	21,8	13,1
2020.03	23,6	7,0	6,1	4,8	40,2	20,0	19,8	14,4	8,0
2020.04	17,0	9,9	13,3	15,7	59,3	25,2	34,6	35,4	13,5
2020.05	45,4	12,0	7,8	7,2	67,8	39,2	83,5	56,7	19,3
2020.06	55,8	24,5	2,8	1,1	70,3	34,0	160,4	62,4	18,2
2020.07	57,9	7,6	1,9	1,2	49,5	22,5	77,0	59,7	19,2
2020.08	25,1	8,1	2,5	0,6	19,8	9,7	48,1	35,2	14,3
2020.09	52,8	16,2	2,0	1,1	50,1	23,9	110,0	56,4	22,9
2020.10	71,1	27,0	5,1	1,1	70,4	29,5	166,4	55,0	26,0
2020.11	35,5	*	7,5	2,4	*	*	*	*	*
2020.12	29,3	*	9,7	2,7	*	*	*	*	*
Metinis	503	123	80	43	508	242	735	397	154
<i>Atvira vieta</i>									
Metai, mėnuo	Krituliai, mm/mėn.	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2020.01	68,5	*	21,9	19,2	*	*	*	*	*
2020.02	44,7	11,2	17,9	21,5	44,7	36,2	10,3	12,1	6,7
2020.03	28,8	9,5	13,3	16,1	40,3	25,9	15,9	8,1	6,1
2020.04	29,1	12,2	15,1	19,2	28,0	27,4	22,4	9,0	7,6
2020.05	64,3	15,4	7,7	19,3	21,9	28,3	25,7	14,8	9,6
2020.06	62,0	27,9	3,4	0,6	23,5	37,2	27,3	14,2	10,5
2020.07	74,7	12,0	12,7	12,7	26,1	45,6	14,2	6,7	8,2
2020.08	60,0	10,8	12,6	10,8	13,8	21,0	10,8	9,6	9,6
2020.09	73,7	19,9	16,2	6,6	28,0	16,9	12,5	33,9	20,6
2020.10	84,4	27,0	16,9	5,1	23,6	31,2	41,4	19,4	13,5
2020.11	67,2	*	23,5	26,9	*	*	*	*	*
2020.12	38,0	*	15,2	15,2	*	*	*	*	*
Metinis	695	146	176	173	250	270	180	128	92

* – Nėra duomenų

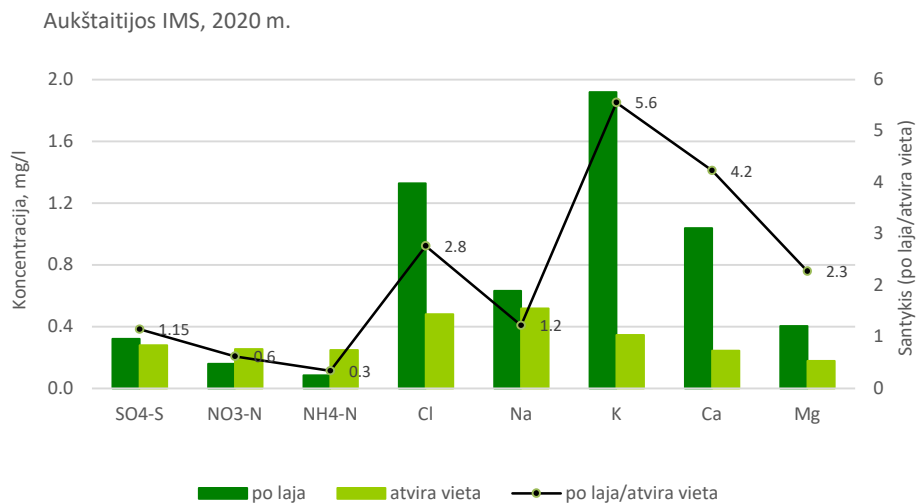


20 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų santykio (po laja/atvira vieta) sezoninė kaita Aukštaitijos IMS.

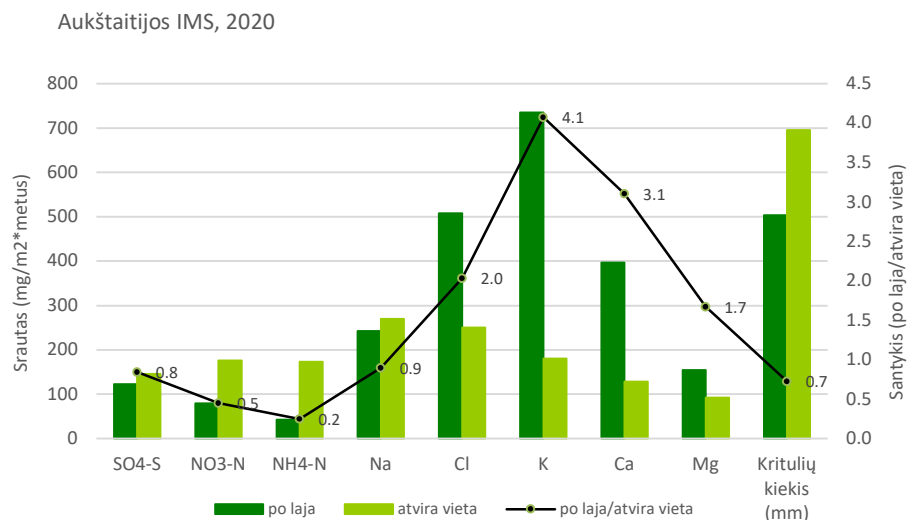
Nitratų koncentracijų krituliuose ir srautų dinamikoje (4 ir 5 lentelės) atviroje jų rinkimo vietoje ir po miško laja matyti, kad liepos – spalio mėn. NO₃⁻ koncentracija krituliuose po miško laja buvo 2 - 6 kartus mažesnė nei krituliuose atviroje vietoje, o balandžio – gegužės mėn. nitratų koncentracija buvo didesnė polajiniuose krituliuose. Nitratų koncentracijų santykis (po laja/atvira vieta) kinta nuo 0,17 iki 1,5 su vidutine reikšme 0,70. Tokia nitratų koncentracijų metinė dinamika gali būti siejama su NO₃⁻ nuplovimu nuo lajos arba išplovimu iš jos (koncentracija krituliuose po laja yra didesnė nei atviroje vietoje) ir su NO₃⁻ absorbcija lajoje (koncentracija krituliuose po laja yra mažesnė nei atviroje vietoje).

Didžiausi skirtumai tarp nitratinio azoto srautų per mėnesį į miško paklotę ir atviroje vietoje rasti nuo birželio iki lapkričio mėn. Apibendrinant visų 2020 m. mėnesių duomenis gauta, kad į miško paklotę nitratinio azoto metinis srautas buvo 55 % mažesnis nei atviroje vietoje. Amonio koncentracijų santykis krituliuose po laja ir atviroje vietoje (4 ir 5 lentelės) per visus mėnesius, išskyrus tik balandžio ir birželio mėn., kito nuo 0,12 iki 0,36 su vidutine reikšme 0,48. Tai rodo, kad laja absorbuoja šioje cheminėje formoje esantį azotą ir todėl per visus mėnesius amonio srautai į miško paklotę po laja buvo mažesni nei atviroje vietoje. Metinis amoniakinio azoto srautas po laja buvo 43 mgN/m², o atviroje vietoje –173 mgN/m². Priešingai azoto junginiams, ryškiai didesnės K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ ir Cl⁻ koncentracijos krituliuose po laja nei atviroje vietoje. K⁺ koncentracijų santykis (po laja/atvira vieta) kito nuo 1,5 iki 12,3, Ca²⁺ – nuo 2,2 iki 11,5, Mg²⁺ – nuo 1,6 iki 2,4, ir Cl⁻ – nuo 1,2 iki 4,4. Natrio koncentracijų santykis krituliuose po laja ir atviroje vietoje per visus mėnesius, išskyrus kovo ir liepos mėn., kito nuo 0,6 iki 2,0 su vidutine reikšme 1,3. 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^+ , Ca^{2+} , Cl^- , Mg^{2+} , mažiau Na^+ . Mažesnės yra nitratinio ir amoniakinio azoto koncentracijos polajiniuose krituliuose nei atviroje vietoje rinktuose krituliuose. Kritulių kiekio santykis (po laja/atvira vieta) kito nuo 0,4 iki 0,9. 2020 m. Aukštaitijos IMS po laja iškrito 503 mm ir atviroje vietoje 695 mm kritulių. Todėl galima sakyti, kad lajoje susilaikė apie 28 % kritulių kiekio. Tyrimai rodo, kad su krituliais į miško paklotę Aukštaitijoje iškrito apie 4 kartus daugiau kalio jonų, 3,1 karto daugiau kalcio, 2 kartus daugiau chloridų, 1,7 karto daugiau magnio ir nors polajinių kritulių kiekis buvo mažesnis nei atviroje vietoje. Aukštaitijoje į miško paklotę sulfatinės sieros iškrito apie 16% mažiau nei atviroje vietoje. Dėl azoto intensyvesnės absorbcijos lajoje metinis amonio azoto jonų srautas rastas 4 kartus, o nitratinio azoto – 2,2 karto didesnis atviroje vietoje nei į miško paklotę. Visumoje, 2020 m. į miško paklotę pateko 122 mgN/m^2 , tai yra beveik 65 % azoto mažiau nei su krituliais atviroje vietoje (350 mgN/m^2).



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



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

6 ir 7 lentelėse pateikiami duomenys apie cheminių priemaišų koncentracijų krituliuose, rinktuose po laja ir atviroje vietoje ir srautų kaitą 2020 m. Žemaitijos IMS. Kritulių pH rodo, kad rūgščiausi krituliai ($\text{pH} < 5,0$) po laja buvo per spalio mėnesį, o atviroje vietoje – per vasario – kovo, rugsėjo – gruodžio mėnesius. Per likusius metų mėnesius pH krituliuose po laja kito nuo 5,03 iki 5,99, o atviroje vietoje – nuo 5,18 iki 5,98. Rugsėjo mėnesio kritulių pH vertę ($\text{pH} 3,25$) galėjo lemti vietinis taršos šaltinis. Įvertinus kritulių kiekį, metinės pH vertės: po laja – 5,19 ir atviroje vietoje – 4,85, t.y., krituliai buvo rūgštesni atviroje vietoje. Analizuojant sulfatų koncentracijų ir iškritų metinę kaitą matyti, kad didžiausios sulfatų koncentracijos krituliuose po laja buvo balandžio mėn. (1,40 mgS/l) ir gegužės mėn. (1,43 mgS/l). Per likusius mėnesius kito nuo 0,12 mgS/l (liepos mėn.) iki 0,79 mgS/l (birželio mėn.). Didžiausias sieros kiekis 46,8 mgS/m² į miško paklotę po laja pateko taip pat vasario mėnesį. Sulfatų koncentracijos krituliuose atviroje vietoje buvo kelis kartus mažesnės nei krituliuose po laja: koncentracijų santykis (po laja/atviroje vietoje) kito nuo 1.2 iki 3,6. Tai rodo, kad polajiniai krituliai yra praturtinami sulfatais dėl nuplovimo nuo lajos sausai nusėdusių sieros junginių (SO₂ ir aerolinių SO₄²⁻). Didžiausias sieros kiekis į miško paklotę po laja (46.8 mgS/m²) ir atviroje vietoje (26,6 mgS/m²) pateko per vasario mėn. Vertinant sieros srautų metinę dinamiką matyti, kad jų dydžius lėmė ir SO₄²⁻ koncentracija krituliuose, ir kritulių kiekis. Visumoje per metus į miško paklotę po laja pateko 139 mgS/m², tai yra 3 % daugiau nei į žemės paviršių su krituliais atviroje vietoje (136 mgS/m²).

Iš pateiktų 6 ir 7 lentelėse ir 23 paveiksle duomenų matyti, kad nuo birželio iki lapkričio mėnesio nitratų koncentracija krituliuose po miško laja buvo ženkliai mažesnė nei per kitus mėnesius. Tokia nitratų koncentracijų krituliuose po laja metinė kaita gali būti siejama su nitratinio azoto absorbcija laja.

6 lentelė. pH ir pagrindinių cheminių priemaišų vidutinės (svertinės 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
2020.01	5,43	*	0,12	0,08	*	*	*	*	*
2020.02	5,21	0,51	0,09	0,05	4,89	1,94	3,40	0,69	0,39
2020.03	5,03	0,68	0,13	0,10	7,91	3,24	4,28	1,22	0,77
2020.04	5,97	1,40	0,15	0,04	15,96	6,32	13,08	3,70	1,76
2020.05	5,99	1,43	0,22	0,52	21,881	8,04	24,48	5,05	1,97
2020.06	5,76	0,79	0,09	0,76	7,76	3,47	9,74	3,43	1,02
2020.07	5,55	0,12	0,07	0,48	1,95	0,69	1,55	2,37	0,89
2020.08	5,84	0,41	0,09	0,04	2,50	1,43	5,41	1,90	0,77
2020.09	5,77	0,36	0,04	0,05	2,84	1,29	5,68	1,18	0,38
2020.10	5,64	0,46	0,03	0,86	6,84	1,99	10,53	2,02	0,79
2020.11	4,67	*	0,02	0,07	*	*	*	*	*
2020.12	5,14	*	0,12	0,18	*	*	*	*	*
vidutinė	5,19	0,48	0,09	0,20	5,03	2,03	2,89	0,97	0,39
<i>Atvira vieta</i>									
Metai, mėnuo	pH	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2020.01	5,54	*	0,36	0,25	*	*	*	*	*
2020.02	4,76	0,23	0,27	0,28	2,30	1,30	0,12	0,15	0,16
2020.03	4,88	0,34	0,50	0,61	2,90	1,60	0,16	0,25	0,22
2020.04	5,98	0,44	0,62	0,99	3,70	2,10	0,76	0,35	0,27
2020.05	5,77	0,65	0,72	0,58	2,60	1,50	0,52	0,82	0,32
2020.06	5,83	0,22	0,04	0,05	0,41	0,18	0,02	0,41	0,12
2020.07	5,18	0,10	0,09	0,08	0,41	0,11	0,02	0,39	0,18
2020.08	5,18	0,14	0,15	0,02	0,41	0,19	0,02	0,33	0,18
2020.09	**	0,14	***	0,02	0,82	0,51	0,10	2,00	0,42
2020.10	4,99	0,19	0,08	0,01	0,61	0,33	0,02	0,38	0,14
2020.11	4,23	*	0,36	0,20	*	*	*	*	*
2020.12	4,44	*	0,40	0,36	*	*	*	*	*
vidutinė	4,85	0,21	0,25	0,21	1,27	0,68	0,11	0,52	0,20

* – Nėra duomenų

** – Mėginys užterštas, laboratorijoje nustatyta NO₃-N koncentracija – 4,80 mg/l

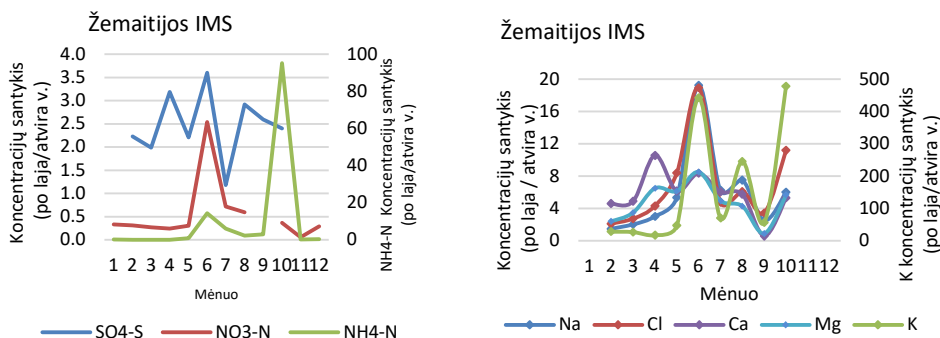
*** – Mėginys užterštas, laboratorijoje nustatyta pH 3,25

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
2020.01	127,7	*	15,3	9,8	*	*	*	*	*
2020.02	91,4	46,8	7,8	4,7	447,3	177,0	311,0	63,2	35,3
2020.03	30,6	20,7	4,1	3,2	242,3	99,3	131,0	37,5	23,5
2020.04	4,0	5,6	0,6	0,1	63,8	25,3	52,3	14,8	7,0
2020.05	2,4	3,4	0,5	1,2	51,6	19,0	57,8	11,9	4,6
2020.06	34,3	27,2	3,0	26,2	266,2	118,9	334,2	117,5	35,1
2020.07	54,9	6,5	3,7	26,4	106,8	37,6	84,9	130,1	48,9
2020.08	24,7	10,1	2,2	0,9	61,9	35,3	133,7	47,0	19,0
2020.09	26,9	9,8	1,1	1,4	76,6	34,8	153,1	31,9	10,2
2020.10	20,8	9,5	0,6	17,8	142,0	41,2	218,5	41,9	16,5
2020.11	65,1	*	1,3	4,5	*	*	*	*	*
2020.12	28,6	*	3,3	5,2	*	*	*	*	*
Metinis	511	139	44	101	1458	588	1476	496	200
<i>Atvira vieta</i>									
Metai, mėnuo	Krituliai, mm/mėn.	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2020.01	138,3	*	49,8	34,6	*	*	*	*	*
2020.02	115,8	26,6	31,3	32,4	266,3	150,5	13,9	17,4	18,5
2020.03	57,9	19,7	29,0	35,3	168	92,6	9,3	14,5	12,7
2020.04	27,7	12,2	17,2	27,4	102,5	58,2	21,1	9,7	7,5
2020.05	24,5	15,9	17,6	14,2	63,7	36,8	12,7	20,1	7,8
2020.06	80,6	17,7	2,8	4,3	33,0	14,5	1,8	33,0	9,7
2020.07	140,4	14,0	13,2	11,1	57,6	15,4	3,1	54,8	25,3
2020.08	58,9	8,2	8,8	0,9	24,1	11,2	1,3	19,4	10,6
2020.09	70,7	9,9	**	1,2	58	36,1	7,1	141,4	29,7
2020.10	61,7	11,7	4,8	0,6	38	20,4	1,4	23,4	8,6
2020.11	105,1	*	37,8	21,0	*	*	*	*	*
2020.12	42,7	*	17,1	15,4	*	*	*	*	*
Metinis	924	136	229	198	811	436	72	334	130

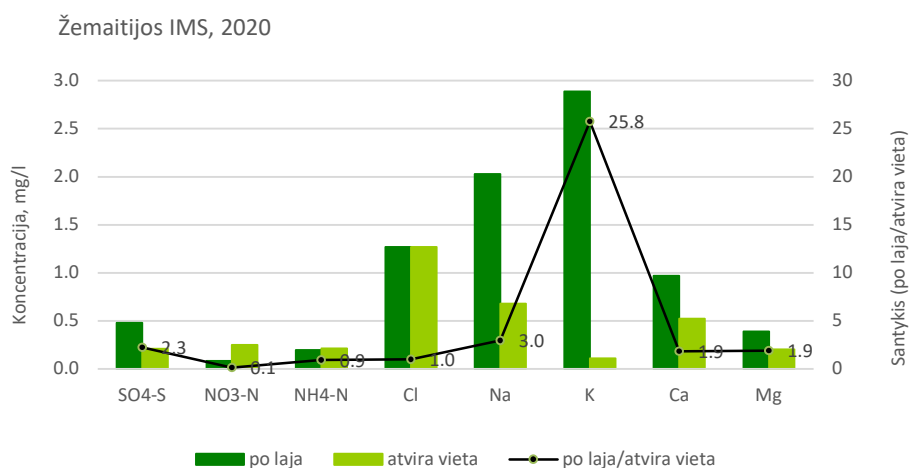
* – Nėra duomenų

** – Mėginys užterštas



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

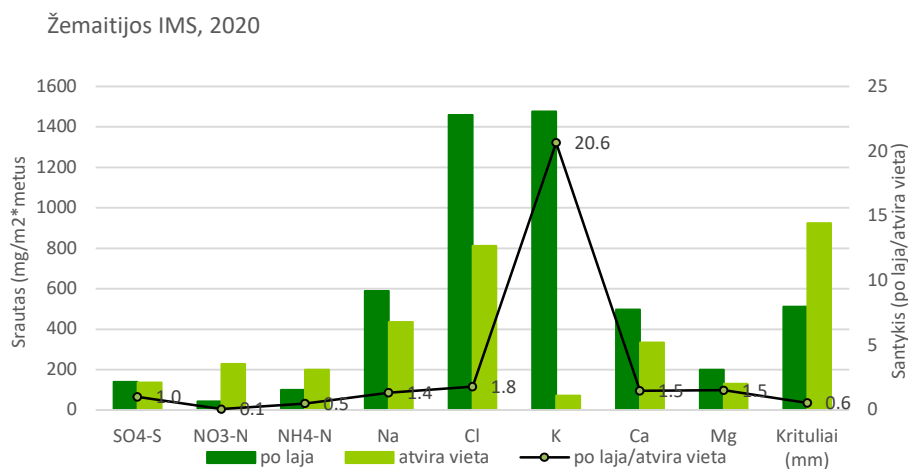
Tiriant azoto junginių koncentracijų kaitą, nustatyta, kad koncentracijų santykis (po laja/atvira vieta) nitratams kito nuo 0,05 iki 2,5 ir amoniui – nuo 0,04 iki 95. Birželio mėn. šio santykio vertės nitratams, o birželio – spalio mėn. – amoniui, didesnės nei 1,0 rodo, kad polajiniai krituliai Žemaitijoje buvo praturtinami nitratinio ir amonio azotu, juos nuplaunant nuo lajos arba iš jos išplaunant. Apibendrinant 2020 m. visų mėnesių duomenis (7 lentelė) gauta, kad į polajį nitratinio azoto metinis kiekis iškritose buvo 44 mgN/m^2 , o atviroje vietoje – 229 mgN/m^2 . Metinis amoniakinio azoto srautas po laja buvo 101 mgN/m^2 , o atviroje vietoje – 198 mgN/m^2 .



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

Stebimos kelis kartus 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 17 iki 478, Cl^- – nuo 2 iki 19, Mg^{2+} – nuo 1 iki 4,8, Ca^{2+} – nuo 1 iki 11 ir Na^+ – nuo 1,5 iki 19. Toks žymus šių komponentų koncentracijų padidėjimas polajiniuose krituliuose gali būti siejamas su šių elementų išplovimu iš lajos, o taip pat ir nuplovimu nuo lajos.

Pagrindinių cheminių priemaišų, išskyrus SO_4^{2-} , NH_4^+ ir NO_3^- metinės koncentracijos (24 pav.) po laja rinktuose krituliuose buvo kelis kartus didesnės nei krituliuose atviroje vietoje. Tyrimai rodo 3 kartus mažesnes nitratinio azoto koncentracijas polajiniuose krituliuose nei krituliuose atviroje vietoje. NH_4^+ koncentracija polajiniuose krituliuose tik nedaug mažesnė nei krituliuose atviroje vietoje. K^+ koncentracijų santykis po laja/atvira vieta yra didžiausias – 26. 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.



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

Duomenys, pateikti 25 pav., rodo, kad Žemaitijos IMS 2020 m. polajinių kritulių metinis kiekis mažesnis nei atviroje vietoje: po laja iškrito 511 mm, o atviroje vietoje – 924 mm. Taigi, šioje vietoje vyraujant eglėms, laja sulaikė apie 55 % metinio kritulių kiekio. Nustatyta, kad į miško paklotę Žemaitijoje iškrito 3 % daugiau sulfatinės sieros, 1,4 karto daugiau natrio, 1,5 karto – kalcio ir magnio ir 21 kartą daugiau kalio nei atviroje vietoje. Dėl azoto junginių absorbcijos laja, metinis amonio azoto srautas į miško paklotę gautas 49 %, o nitratinio azoto – 81 % mažesnis nei atviroje vietoje. Visumoje, 2020 m. į

miško paklotę pateko 145 mgN/m², tai yra 66 % azoto mažiau nei su krituliais atviroje vietoje (428 mgN/m²).

8 lentelė. pH ir pagrindinių cheminių priemaišų 2020 m. vidutinės koncentracijos, svertinės pagal kritulių kiekį, po laja ir atviroje vietoje IM stotyse

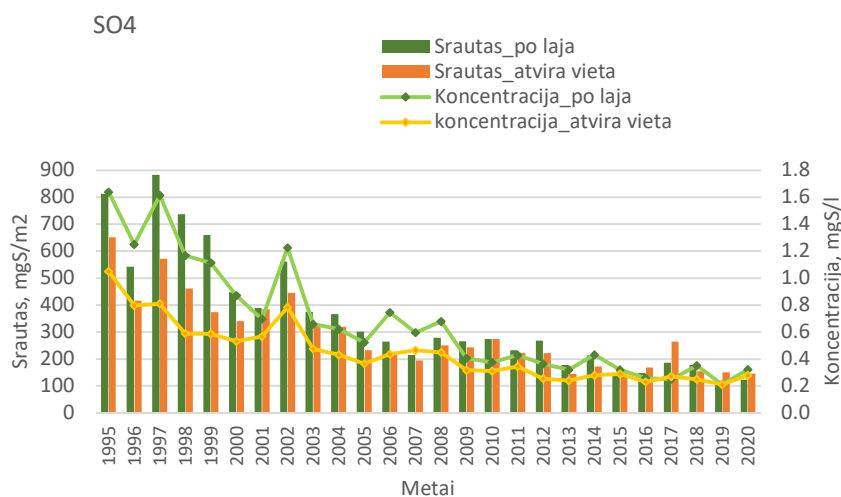
Komponentė	<i>Po laja</i>		<i>Atvira vieta</i>	
	Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS	Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS
pH	4,94	5,19	5,83	4,24
SO ₄ ²⁻ , mgS/l	0,32	0,48	0,28	0,21
NO ₃ ⁻ , mgN/l	0,16	0,09	0,25	0,62
NH ₄ ⁺ , mgN/l	0,09	0,20	0,25	0,21
Cl ⁻ , mg/l	1,33	1,27	0,48	1,27
Na ⁺ , mg/l	0,63	2,03	0,52	0,68
K ⁺ , mg/l	1,92	2,89	0,35	0,11
Ca ²⁺ , mg/l	1,04	0,97	0,25	0,52
Mg ²⁺ , mg/l	0,40	0,39	0,18	0,20

Iš apibendrintų 8 lentelėje duomenų matyti, kad Žemaitijoje SO₄²⁻, NH₄⁺, Na⁺, K⁺ koncentracijos polajiniuose krituliuose yra didesnės nei Aukštaitijoje. Vertinant abiejose stotyse teršalų kiekius iškritose į miško paklotę su polajiniais krituliais matome, kad jie pakito netolygiai kritulių kiekiui. Pateikti duomenys 9 lentelėje rodo, kad, esant 2% didesniai polajinių kritulių metiniam kiekiui Aukštaitijoje nei Žemaitijoje, į polajį Žemaitijoje šiais metais pateko apie 12% daugiau sieros, 58% daugiau amonio azoto, 23 % magnio, 20 % kalcio, apie 65% chloridų, 2,4 karto natrio, 2 kartus daugiau kalio. Palyginus iškritų rūgštingumą gauta, kad H⁺ metinis srautas į polajį buvo 43 % didesnis Aukštaitijoje nei Žemaitijoje ir tai gali būti siejama su didesniais kalcio, amonio bei magnio kiekiais iškritose Žemaitijoje. Šie stebimi pokyčių skirtumai tarp stočių LT01 ir LT03 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.

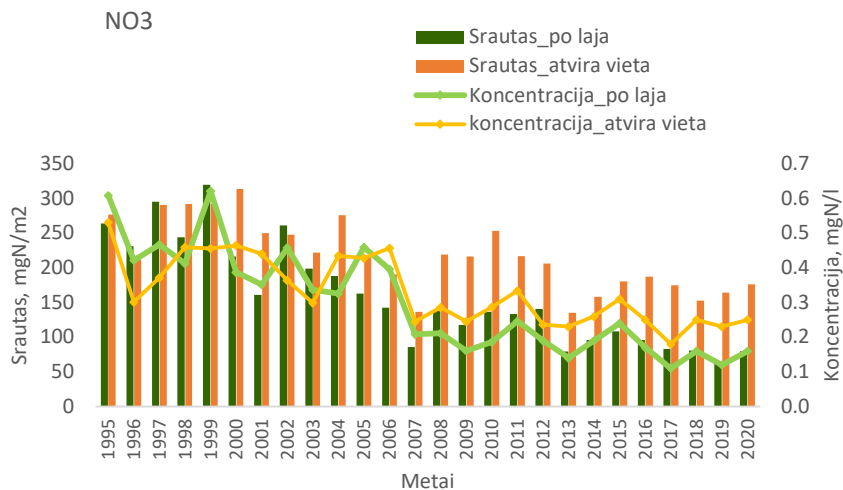
9 lentelė. Kritulių kiekis ir pagrindinių cheminių priemaišų metiniai srautai su krituliais po laja ir atviroje vietoje IM stotyje, 2020 m.

Komponentė	<i>Po laja</i>		<i>Atvira vieta</i>	
	Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS	Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS
Krituliai, mm	503	511	695	924
H ⁺ , ueq/m ²	5716	3278	1029	52809
SO ₄ ²⁻ , mgS/m ²	123	139	146	136
NO ₃ ⁻ , mgN/m ²	80	44	176	569
NH ₄ ⁺ , mgN/m ²	43	101	173	198
Cl ⁻ , mg/m ²	508	1458	250	811
Na ⁺ , mg/m ²	242	588	270	436
K ⁺ , mg/m ²	735	1476	180	72
Ca ²⁺ , mg/m ²	397	496	128	334
Mg ²⁺ , mg/m ²	154	200	92	130

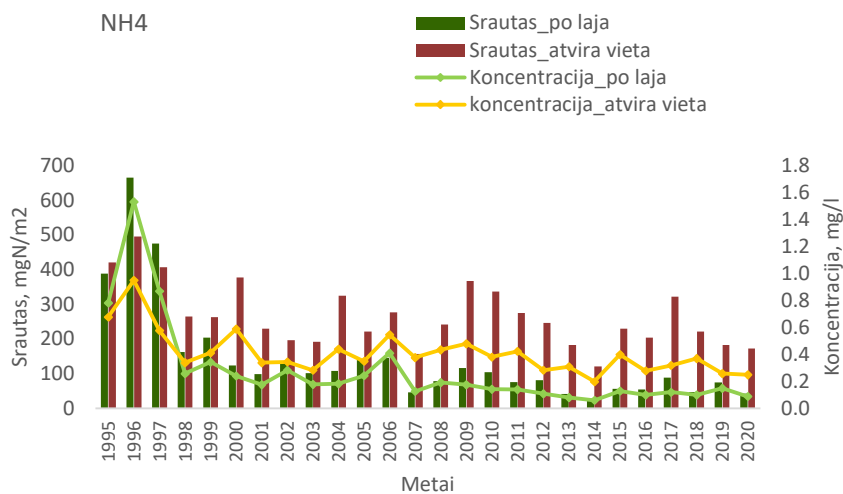
Apibendrinti 1995 – 2020 metų pagrindinių cheminių priemaišų tyrimų duomenys (26 – 28 pav.) krituliuose po miško laja ir miške atviroje vietoje Aukštaitijos IM stotyje rodo, kad didžiausi sieros ir azoto junginių (NO₃ ir NH₄) srautai į miško paklotę buvo nustatyti 1995 – 1998 m. laikotarpiu. Vėliau jie gerokai sumažėjo ir pastaruoju metu sieros srautas yra apie šešis kartus, o azoto junginių – apie tris 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 atitinkamai trylika ir keturis kartus mažesni nei 1995–1998 metais.



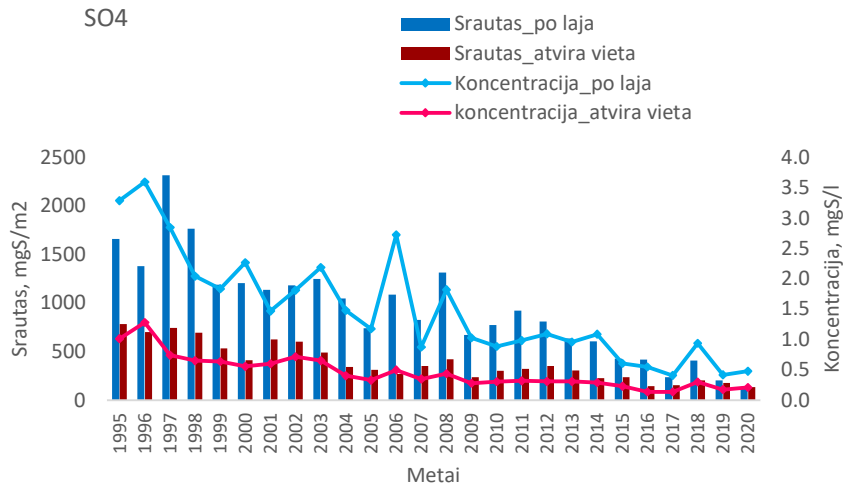
26 pav. Sulfatų srautų ir koncentracijų kaita atmosferos krituliuose atviroje vietoje ir po medžių lajomis Aukštaitijos IMS.



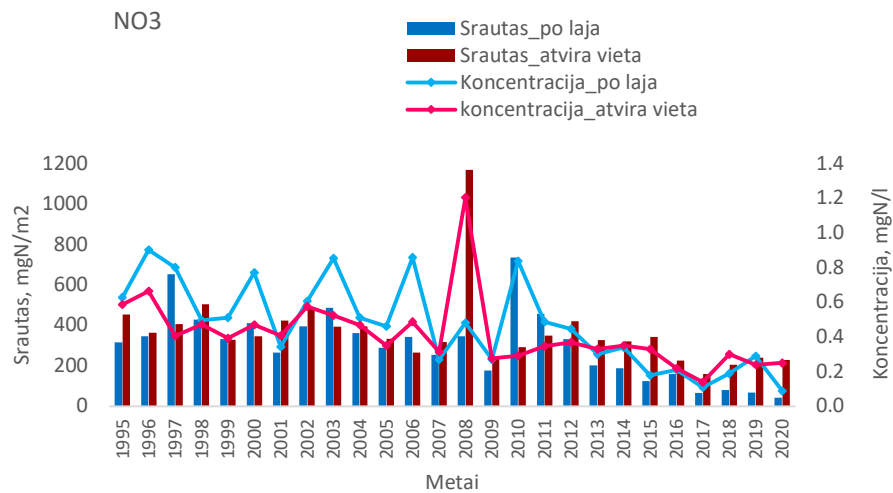
27 pav. Nitratų srautų ir koncentracijų kaita atmosferos krituliuose atviroje vietoje ir po medžių lajomis Aukštaitijos IMS.



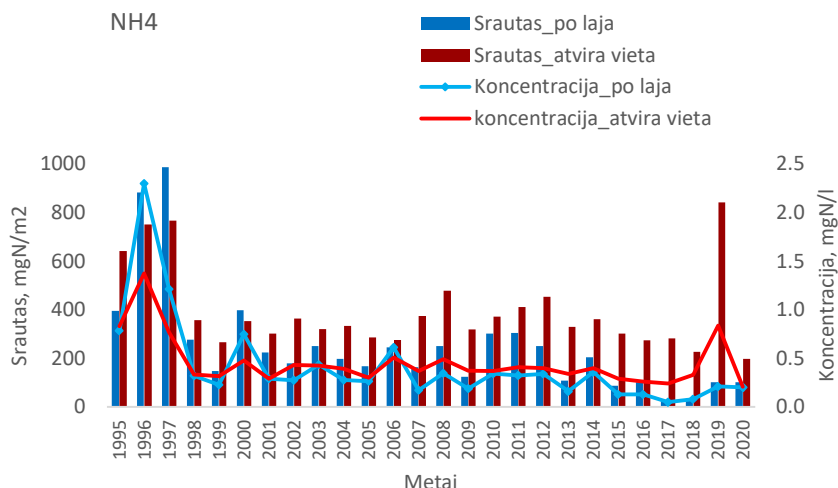
28 pav. Amonio srautų ir koncentracijų kaita atmosferos krituliuose atviroje vietoje ir po medžių lajomis Aukštaitijos IMS.



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

- Atmosferiniams krituliams krentant per medžių lają, cheminių priemaišų, išskyrus azoto junginius, koncentracijos ir jų kiekiai iškritose į polajį yra didesni nei atviroje vietoje.
- 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.
- Žemaitijoje SO_4^{2-} , NH_4^+ , Na^+ , K^+ koncentracijos polajiniuose krituliuose yra didesnės nei Aukštaitijoje. To priežastimi visais apykaitos tarp lajos ir atmosferinių kritulių atvejais yra tankesnė laja Žemaitijoje nei Aukštaitijoje.
- Pagrindinių cheminių priemaišų srautai į miško paklotę abiejose IM stotyse 2020 m. yra netolygūs kritulių kiekiui; esant 2% didesniai polajinių kritulių metiniam kiekiui Aukštaitijoje nei Žemaitijoje, į polajį Žemaitijoje šiais metais pateko apie 12% daugiau sieros, 58% daugiau amonio azoto, 23% magnio, 20% kalcio, apie 65% chloridų, 2,4 karto natrio, 2 kartus daugiau kalio. Palyginus iškritų rūgštingumą

gauta, kad H^+ metinis srautas į polajį buvo 1,7 karto didesnis Aukštaitijoje nei Žemaitijoje. 2020 metais azoto junginių (NO_3 ir NH_4) srautas į miško paklotę taip pat buvo apie 15 % didesnis Žemaitijoje nei Aukštaitijoje. Šie stebimi pokyčių skirtumai tarp stočių LT01 ir LT03 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.

3. PAŽEMINIO OZONO TYRIMAI PAGAL EMEP PROGRAMĄ

SANTRAUKA

Ataskaitoje pateikta ozono koncentracijos atmosferos pažemio sluoksnyje kaitos ir kitimo tendencijos EMEP stotyje Preiloje 2020 metais analizė.

Didžiausia ozono koncentracija ($135,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 2020 metais Preilos stotyje buvo išmatuota rugpjūčio 17 dieną. Pagal EURAD modelio prognozę tą dieną ozono koncentracija virš Baltijos jūros turėjo būti panašiam lygyje. Atgalinės oro masių pernašos trajektorijos rodo, kad Preilos stotį pasiekė lėtai judančios oro masės praėjusios kaip tik šį regioną.

Apskaičiuotos AOT40 vertės miškų apsaugai stotyje ($7319 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ ir $7456 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ perskaičiuotos) neviršijo 2002/3/EB direktyvos III priede pateikto leistino lygio, t.y., $20000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ ir buvo mažesnės nei 2019 metais.

Per 2020 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. Ilgalakis tikslas 2020 metais buvo pasiektas, t.y., neužregistruoti atvejai, kai paros didžiausias 8 valandų koncentracijos vidurkis viršija $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dažniausiai užterštos oro masės pasiekia Lietuvą iš pietinių-vakarinių Europos regionų, tačiau šiais metais dėl pandemijos suvaržymų tuose regionuose sumažėjo ozono pirmtakų emisijos. AOT60 reikšmė ($52 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$) 2020 metais neviršijo leistinos absoliučios $5800 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ ribos, tačiau viršijo žmonių sveikatai nustatytą kritinį lygį $\text{AOT } 60 = 0$.

Per pastaruosius 5 metus nustatyta didžiausios (pikinės) ozono koncentracijos svyravimai $120\text{-}165 \mu\text{g}/\text{m}^3$ intervale. Vertinant ozono koncentracijos pokyčius Preiloje ir kitose Europos regionuose per 2016-2020 metus didelių ($>160 \mu\text{g}/\text{m}^3$) koncentracijų didelio 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 priemonė 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 nuo 2010 metų (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. AOT40 (išreikštas $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ yra skirtumo tarp valandinių koncentracijų, didesnių už $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (= 40 ppb) 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 nuo gegužės iki liepos mėn.	$18000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$, imant penkerių metų vidurkį

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).

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 AOT60, kurio vertė yra didesnių nei 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (= 60 ppb) 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ (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). Be to, pažemio

ozono apkrova bet kuriame 150 km x 150 km plote neturi viršyti absoliučios 20000 µg/m³ x 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 2020 metų laikotarpį analizė ir palyginimas su 1993-2019 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 µg/m³),

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:

(2)

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

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.

Matavimų kokybės užtikrinimas ir kokybės kontrolė buvo vykdomas pagal LST EN ISO/IEC 17025:2005 55.6.2.2 skirsnyje nustatytus reikalavimus. Ozono analizatorius buvo kalibruotas 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 2020 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 2020 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 bei prietaisų gedimai.

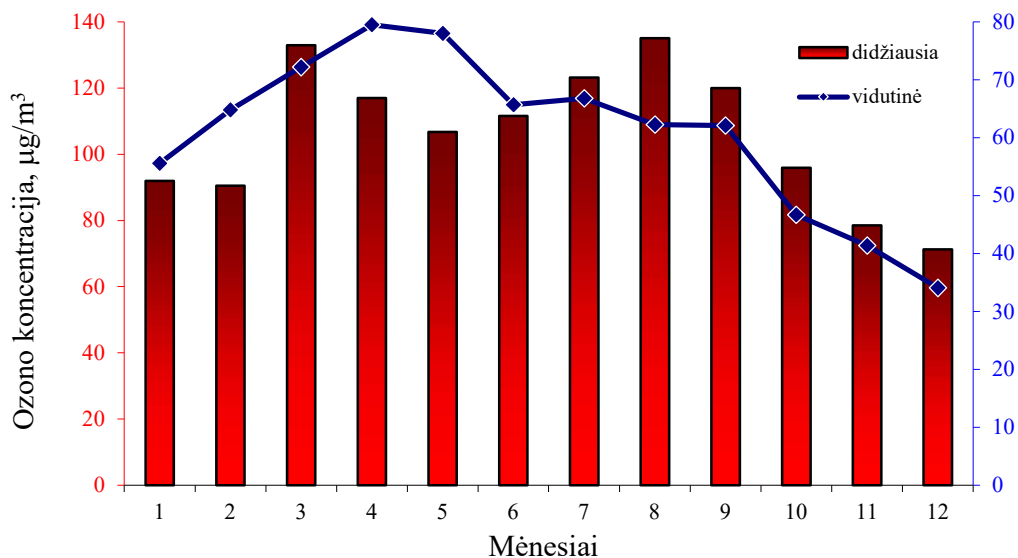
4 lentelė

Ozono koncentracijos patikimų duomenų kiekis (valandų skaičius ir procentai) Preilos stotyje 2020 metais

Mėnuo	Valandų skaičius	%
Sausis	744	100
Vasaris	659	94,7
Kovas	744	100
Balandis	675	93,8
Gegužė	744	100
Birželis	715	99,3
Liepa	719	96,6
Rugpjūtis	744	100
Rugsėjis	715	99,3
Spalis	744	100
Lapkritis	715	99,3
Gruodis	744	100

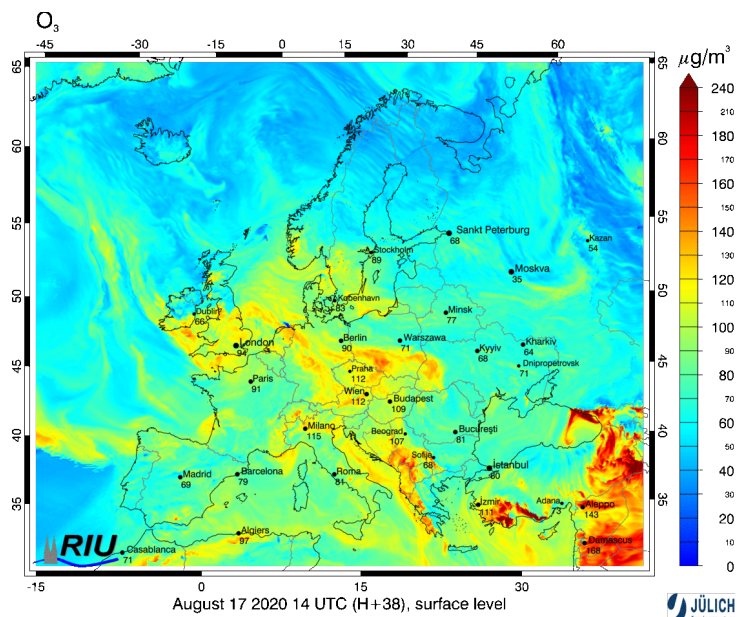
Vidutinių ir didžiausių ozono koncentracijų sezoninė eiga 2020 metais monitoringo stotyje pateikta 1 paveiksle. Vidutinės ozono koncentracijos sezoninė eiga stotyje pasižymi

aiškiu pavasariniu padidėjimu balandžio - gegužės mėnesiais, tačiau didžiausia valandinė reikšmė 135,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ užregistruota rugpjūčio mėnesį.



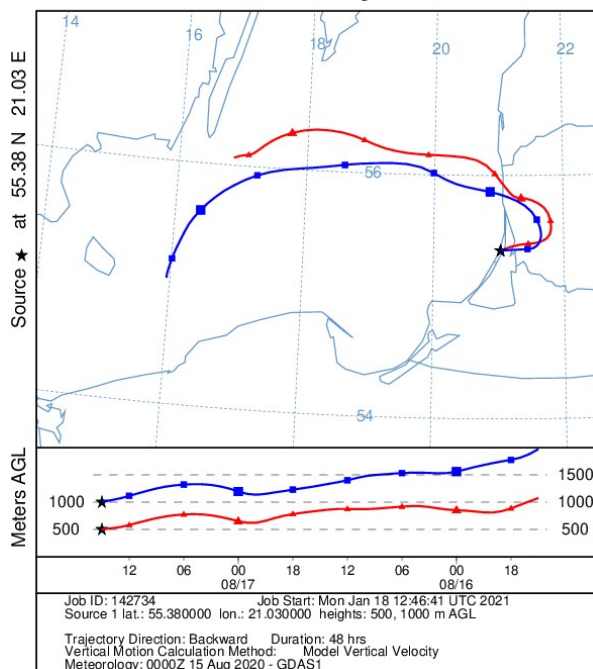
1 pav. Vidutinių ir didžiausių mėnesio ozono koncentracijų sezoninės eigos Preilos stotyje 2020 metais

2020 metais didelių ozono koncentracijų, t.y. viršijančių gyventojų informavimo slenkstį 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, monitoringo stotyje nebuvo užregistruota.



2 pav. Didžiausios valandinės ozono koncentracijos pasiskirstymas Europoje 2020 m. rugpjūčio 17 d. Šaltinis: <http://db.eurad.uni-koeln.de>

NOAA HYSPLIT MODEL
 Backward trajectories ending at 1500 UTC 17 Aug 20
 GDAS Meteorological Data

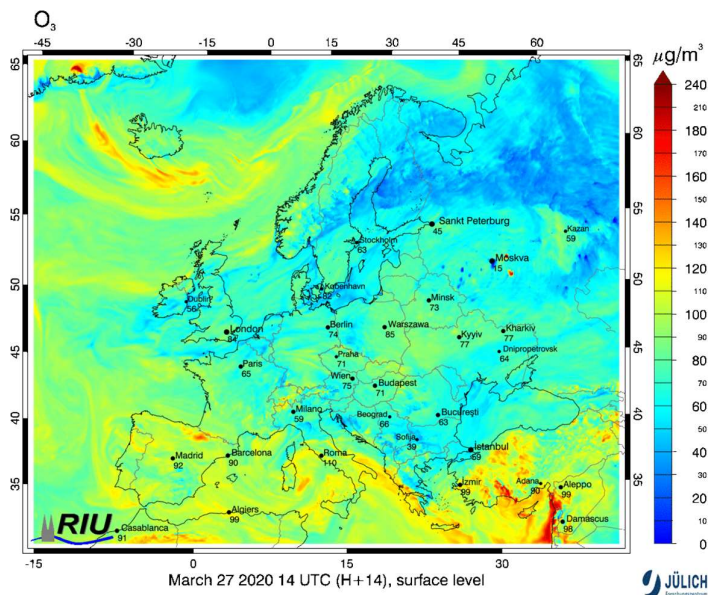


3 pav. Oro masių pernašos atgalinės trajektorijos 2020 m. rugpjūčio 17 d.

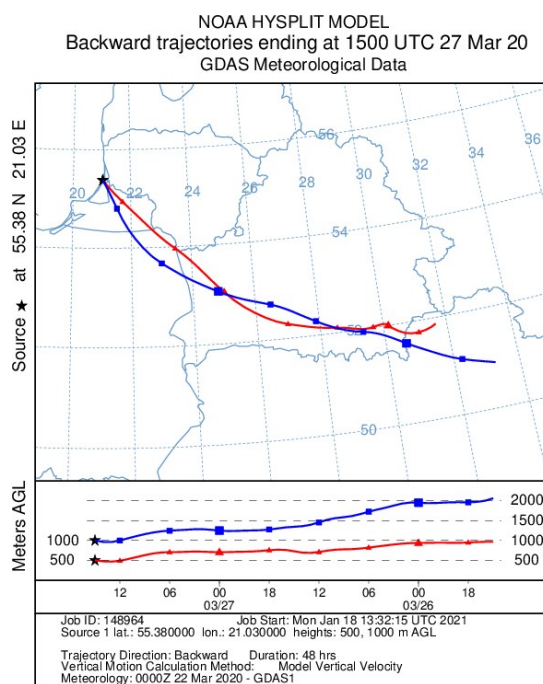
Šaltinis: http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php

Didžiausia ozono koncentracija ($135,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 2020 metais Preilos stotyje buvo išmatuota rugpjūčio 17 dieną. Pagal EURAD modelio prognozę tą dieną ozono koncentracija virš Baltijos jūros turėjo būti panašiam lygyje (2 pav.). Atgalinės oro masių pernašos trajektorijos rodo (3 pav.), kad Preilos stotį pasiekė lėtai judančios oro masės praėjusios kaip tik šį regioną.

Panaši ozono koncentracija ($132,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) buvo išmatuota ir kovo 27 dieną (4 pav.). Atgalinės oro masių pernašos trajektorijos rodo (5 pav.), kad Preilos stotį pasiekė oro masės iš pietinės dalies Baltarusijos teritorijos per Kaliningrado sritį, kur tuo metu buvo stebimi gaisrai.



4 pav. Didžiausios valandinės ozono koncentracijos pasiskirstymas Europoje 2020 m. kovo 27 d. Šaltinis: <http://db.eurad.uni-koeln.de>



5 pav. Oro masių pernašos atgalinės trajektorijos 2020 m. kovo 27 d. Šaltinis: http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php

5 lentelėje pateikiama ozono koncentracijos statistika Preilos stotyje už 2020 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).

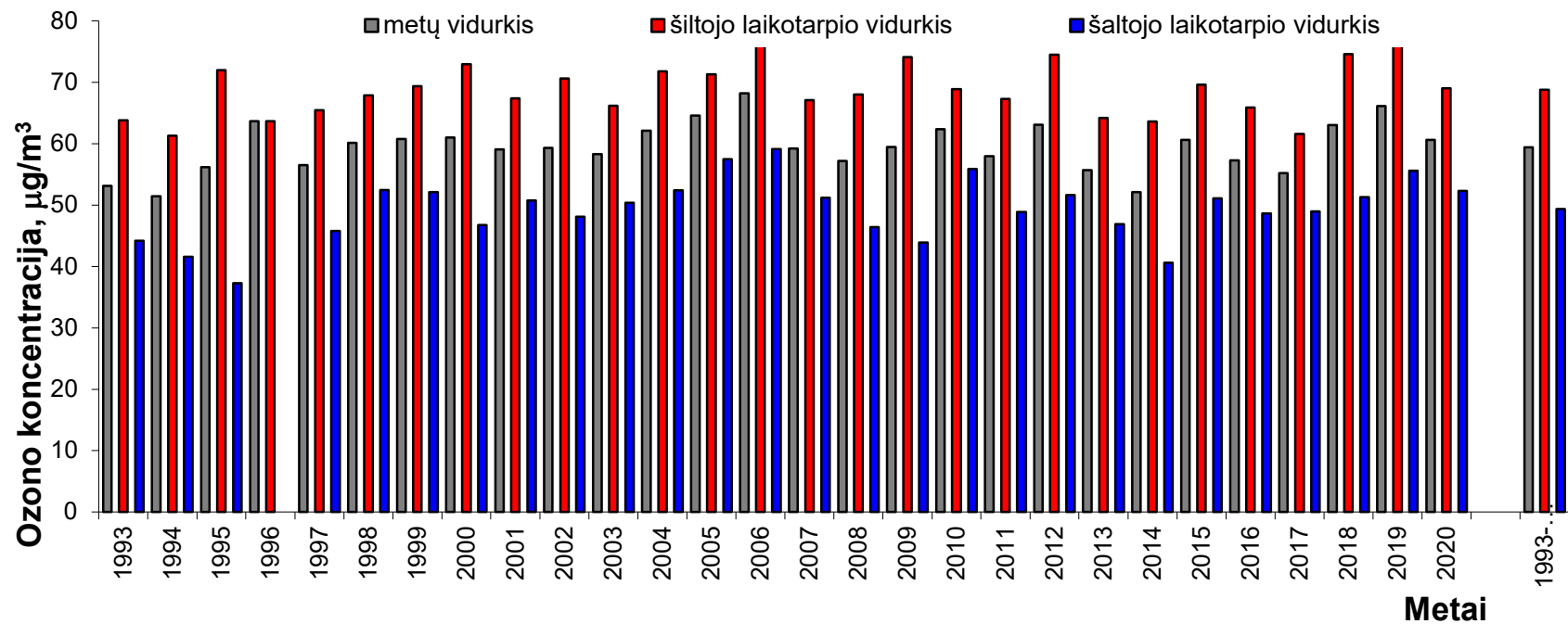
Vertinant ozono poveikį žmogaus sveikatai yra naudojami du indikatoriai: pagal 2008/50/EB direktyvą (3 lentelė) bei Pasaulio sveikatos organizacijos siūlomas bei direktyvoje 2001/81/EB priimtas AOT60. Remiantis pažemio ozono koncentracijos duomenimis nustatyta, kad pavojingas poveikis žmogaus sveikatai per 2020 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. Šiomet pirmą kartą buvo ilgalaikis tikslas, t.y., neužregistruoti atvejai, kai paros didžiausias 8 valandų vidurkis viršijo $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. AOT60 reikšmės ($52 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$) 2020 metais neviršijo leistinos absoliučios $5800 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ ribos, tačiau viršijo žmonių sveikatai nustatytą kritinį lygį $\text{AOT } 60 = 0$.

Pažemio ozono koncentracijos statistiniai parametrai Preilos monitoringo stotyje 2020 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	60,6	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		2008/50/EB	
Patikimų duomenų skaičius:					
kalendoriniai metai	8662 (98,6%)	valandų skaičius	sausis -gruodis	2008/50/EB	ne daugiau kaip 8784
vasaros metas	4312 (98,2 %)	valandų skaičius	balandis-rugsėjis	2008/50/EB	ne daugiau kaip 4392
žiemos metas	4350 (99,0 %)	valandų skaičius	sausis-kovas ir spalis-gruodis	2008/50/EB	ne daugiau kaip 4392
Didžiausia mėnesio reikšmė:					
balandis	117	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
gegužė	106,7	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
birželis	111,6	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
liepa	123,2	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
rugpjūtis	135,1	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
rugsėjis	120	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Žmonių sveikatos apsauga					
Maksimalus 8 valandų vidurkis $>120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	dienų skaičius	kalendoriniai metai	2008/50/EB	
Informavimo slenkstinės vertės - valandos vidurkis $>180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - viršijimas	0	valandų skaičius		2008/50/EB	

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Pavojaus slenkstinės vertės - valandos vidurkis >240 µg/m ³ - viršijimas	0	valandų skaičius		2008/50/EB	
AOT60	52	µg/m ³ x h	sausis-gruodis	2001/81/EB	ne daugiau kaip 5800
AOT40 miškų apsaugai	7319 (7456)	µg/m ³ x h	balandis-rugsėjis	2008/50/EB	Skiaustuose pateiktos reikšmės perskaičiuotos pagal 3 formulę
Patikimų duomenų skaičius	22165	valandų skaičius	balandis-rugsėjis, 8-20 val.		ne daugiau kaip 2196
AOT40 augmenijos apsaugai	3714 (3739)	µg/m ³ x h	gegužė-liepa	2001/81/EB 2008/50/EB	Skiaustuose pateiktos reikšmės perskaičiuotos pagal 3 formulę
Patikimų duomenų skaičius	1092	valandų skaičius	gegužė-liepa, 8-20 val.		ne daugiau kaip 1104



12 pav. Ozono koncentracijos vidutinių reikšmių kaita per 1993–2020 metus Preilos stotyje atskirais laikotarpiais: šiltuoju (balandis-rugsėjis), šaltuoju (spalis-kovas) ir kalendoriniais metais

OZONO KONCENTRACIJOS APŽVALGA SKIRTINGAIS METAIS IR PROGNOZĖ

Palyginus 2020 metų vidutinę metinę ozono koncentraciją ($60,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) su 2019 metų ($66,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) yra stebimas jos sumažėjimas. Vertinant atskirai šilto ir šalto laikotarpių koncentracijos lygius sumažėjimas nustatytas abiem laikotarpiais. Išmatuota didžiausia ozono valandinė reikšmė 2020 metais palyginus su 2019 metais buvo mažesnė, t.y., atitinkamai $135,1$ ir $164,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vidutinė metinė ozono koncentracija per 1993-2020 metų laikotarpį buvo artima 1993-2019 metų laikotarpiui. 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 (12 pav.).

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 (2016-2020) vidurkis buvo $6652 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$, t.y., ilgalaikis tikslas - $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ per šį laikotarpį 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, per 2018-2020 metų laikotarpį nebuvo viršyta. Ilgalaikis tikslas 2020 metais buvo pasiektas, t.y., neužregistruoti atvejai, kai paros didžiausias 8 valandų vidurkis viršija $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dažniausiai užterštos oro masės pasiekia Lietuvą iš pietinių-vakarinių Europos regionų, tačiau šiais metais dėl pandemijos suvaržymų tuose regionuose sumažėjo ozono pirmtakų emisijos [5]. Todėl, vertinant pernašų iš kitų šalių indėlį 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 labiausiai 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 2020 metais EMEP stotyje Preiloje buvo $60,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, t.y., mažesnė nei 2019 metais $66,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Didžiausia ozono koncentracija ($135,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 2020 metais Preilos stotyje buvo išmatuota rugpjūčio 17 dieną. Pagal EURAD modelio prognozę tą dieną ozono koncentracija virš Baltijos jūros turėjo būti panašiam lygyje. Atgalinės oro masių pernašos trajektorijos rodo, kad Preilos stotį pasiekė lėtai judančios oro masės praėjusios kaip tik šį regioną.

Apskaičiuotos AOT40 vertės miškų apsaugai stotyje ($7319 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ ir $7456 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ perskaičiuotos) neviršijo 2002/3/EB direktyvos III priede pateikto leistino lygio, t.y., $20000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ ir buvo mažesnės nei 2019 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 (2016-2020) vidurkis buvo $6252 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$, t.y., ilgalaikis tikslas - $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ per šį laikotarpį nebuvo pasiektas.

Per 2020 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. Ilgalaikis tikslas 2020 metais buvo pasiektas, t.y., neužregistruoti atvejai, kai paros didžiausias 8 valandų vidurkis viršija $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dažniausiai užterštos oro masės pasiekia Lietuvą iš pietinių-vakarinių Europos regionų, tačiau šiais metais dėl pandemijos suvaržymų tuose regionuose sumažėjo ozono pirmtakų emisijos. AOT60 reikšmė ($52 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$) 2020 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 2013-2020 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. Air quality in Europe — 2020 report. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>

4. SUNKIŲJŲ METALŲ IR POLICIKLINIŲ AROMATINIŲ ANGLIAVANDENILIŲ ATMOSFEROS IŠKRITOSE TYRIMAI

SANTRAUKA

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

Žemės paviršiaus apkrova Zn, Ni, Cd, As, Hg ir B(a)P buvo didesnė vakarinėje Lietuvos dalyje (Žemaitijos IMS) nei rytinėje Lietuvos dalyje (Aukštaitijos IMS). Aukštaitijos IM stotyje nustatytos didesnės, iškritusių su krituliais, Pb, Cr ir Cu kiekių vertės. Tai galima paaiškinti didele oro masių trajektorijų kaita bei kritulių nereguliarumu.

Lyginant Žemės paviršiaus apkrovą sunkiaisiais metalais 2006-2019 ir 2020 metais pastebėta bendra abiems stotims tolimesnė Pb mažėjimo tendencija. Pastebėtas žymus Ni, Cu bei Cd koncentracijos krituliuose bei sraute į žemės paviršių sumažėjimas Žemaitijos IMS. Aukštaitijos IMS nustatyta Cu koncentracijos krituliuose ir sraute į žemės paviršių didėjimo tendencija. Žemės paviršiaus apkrovos kitais elementais pokyčiai dėl didelio mėnesinių verčių išsibarstymo yra nereguliarūs.

Darbe nustatyta, kad benz(a)pireno srautas į žemės paviršių 2020 m. kito nuo 0,14 iki 0,70 $\mu\text{g m}^{-2}\text{mėn}^{-1}$ Aukštaitijos IMS ir nuo 0,36 $\mu\text{g m}^{-2}\text{mėn}^{-1}$ iki 1,35 $\mu\text{g m}^{-2}\text{mėn}^{-1}$ Žemaitijos IMS. Abejose stotyse benz(a)pireno srautas į žemės paviršių turėjo sezoninę eigą. 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 tiek sausu būdu, tiek ir yra išplaunami krituliais, todėl svarbūs ne vien tik jų sklidimo ir nusėdimo procesų tyrimai, bet taip pat svarbu nustatyti ir jų koncentraciją atmosferoje bei žemės paviršiaus apkrovos teršalais kiekius. Labai svarbu yra įvertinti jų kitimo tendencijas. Tarp labiausiai paplitusių aplinkoje toksinių teršalų, svarbią vietą užima sunkieji metalai ir policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAA).

Metalai į atmosferą patenka ir iš antropogeninių ir iš natūralių šaltinių. Daugelis metalų pasižymi toksinėmis savybėmis, todėl yra pavojingi žmogui ir gyvėjai gamtai. Iš bendro antropogeninės kilmės sunkiųjų metalų kiekio, nusėdusio Lietuvos teritorijoje ant 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 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 gyvsidabrij, atmosferoje būna aerolio dalelių sudėtyje. Didžioji gyvsidabrio dalis atmosferoje yra dujinėje būsenoje, ir tik apie 5÷10 % yra aerolio dalelių sudėtyje. Gyvsidabrio antropogeniniai šaltiniai sudaro daugiau nei 70% visų šaltinių, likusi dalis yra gamtinės kilmės [5]. Atmosferoje aptinkamos įvairios gyvsidabrio formos: elementinis gyvsidabris (Hg (0)), neorganiniai (HgCl₂) bei organiniai gyvsidabrio junginiai (CH₃Hg). 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 dėsningumų ir koncentracijų žinojimas įvairiuose biosferos objektuose padeda gyvų organizmų vėžinių susirgimų profilaktikai [6]. Benz(a)pireno koncentracijos nenutrūkstami tyrimai aplinkos tyrimo stotyje Preiloje nuo 1980 metų leido išnagrinti 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]. 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 2020 metų laikotarpyje. Aukštaitijos IM stotis yra rytų Lietuvoje Utenos rajono Rūgšteliškio kaime, 55°27'47.97" šiaurės platumos ir 26°00'14.79" rytų ilgumos. Žemaitijos IM stotis yra šiaurės vakarų Lietuvoje, Plungės rajono Plokštinės kaime, 56°00'30.52" šiaurės platumos ir 21°53'12.55" rytų ilgumos. 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 cm² ploto) piltuvėliai. Prieš naudojimą tiek piltuvėliai, tiek ir buteliai buvo pamerkti į 5 % HNO₃ vandeninį tirpalą ir laikomi tris paras, po to pamerkami į 1 % HNO₃ vandeninį tirpalą ir laikomi savaitę, po ko praplaunami dejonizuotu vandeniu. Po ekspozicijos rinktuvai laikikliuose buvo keičiami. Nuėmus rinktuvus, į juos buvo įpilama ypatingai švarios HNO₃ 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 pamerkiama į 5 % HNO₃ vandeninį tirpalą, po to trims paroms į 1 % HNO₃ vandeninį tirpalą, ir praplaunami dejonizuotu vandeniu. Sunkiųjų metalų analizės kokybė užtikrinama naudojant etaloninius “Merck” firmos standartus.

Sunkieji metalai kritulių bandiniuose buvo analizuojami induktyviai sužadintos 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 į žemės paviršių įvertinimui suminiai atmosferos krituliai (sausos iškritos, lietus bei sniegas) buvo renkami į 5 litrų talpos 0.024 m² 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 fazėse (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 fracionuojamas, o kiekybinė B(a)P analizė atlikta spektrofluorescenciniu 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 detalai aprašyta straipsnyje [8].

Benz(a)pireno analizei spektrofluorescenciniu metodu buvo naudotas spektrometras DFS-12, kuris buvo kalibruotas paruoštais standartiniais benz(a)pireno tirpalais 1ng 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 2020 m. Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stotyse yra pateiktos 1 lentelėje. Iš lentelės matyti, kad Cd, Ni, As ir Hg koncentracijų krituliuose vertės didesnės Žemaitijos IM stotyje, o Pb, Cu ir Cr didesnės koncentracijų krituliuose vertės buvo registruotos Aukštaitijos IM stotyje. Tai galima paaiškinti kritulių nereguliarumu bei skirtingu oro masių pasiskirstymu pagal kryptis rytinėje (Aukštaitijos IMS) ir vakarinėje (Žemaitijos IMS) Lietuvos dalyje.

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 iškritusių su krituliais Zn, Ni, Cd, As, Hg ir B(a)P kiekių vertės didesnės Žemaitijos IM stotyje. Aukštaitijos IM stotyje nustatyti didesni Pb, Cr ir Cu, iškritusių su krituliais, kiekiai į kvadratinį metrą per mėnesį. Tai iš dalies irgi galima paaiškinti kritulių nereguliarumu. Rytinėje Lietuvos dalyje, kuri toliau jūros, kritulių iškrito mažiau negu vakarinėje Lietuvos dalyje.

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									
2020 01	0,4360	7,549	0,3538	0,5413	1,832	0,0276	0,1873	0,0177	0,0107
2020 02	0,5252	12,39	0,3204	1,238	2,697	0,0283	0,1625	0,0138	0,0086
2020 03	0,4635	8,569	0,2667	0,735	2,049	0,0358	0,1714	0,0212	0,0116
2020 04	0,7502	12,04	0,3486	0,7075	3,537	0,0921	0,2792	0,0185	0,0156
2020 05	0,9997	36,16	0,6398	4,10	6,427	0,0996	0,1908	0,0232	-
2020 06	0,4693	23,98	0,2642	2,632	3,327	0,1119	0,2615	0,0245	0,0048
2020 07	0,3261	22,19	0,2583	0,7966	4,545	0,2084	0,1519	0,0161	0,0052
2020 08	0,4019	8,281	0,2679	0,9401	1,906	0,0240	0,3428	0,0162	0,0082
2020 09	0,6365	7,378	0,3255	0,8534	1,889	0,0334	1,3940	0,0161	0,0085
2020 10	0,5376	13,75	0,3061	1,394	2,412	0,0587	1,3251	0,0033	0,0123
2020 11	0,5971	14,515	0,3261	0,806	2,124	0,0584	1,2774	0,0027	0,0073
2020 12	0,8679	23,73	0,5287	1,989	5,335	0,0816	0,3675	0,0022	0,0273
Vidurkis*	0,514	14,68	0,3214	1,156	2,90	0,0755	0,4927	0,0145	0,0091
Aukštaitijos IM stotis									
2020 01	1,695	21,41	0,3025	0,8990	13,36	0,0469	0,1431	0,0046	0,0116
2020 02	0,772	8,015	0,2828	0,4815	4,010	0,0231	0,0724	0,0053	0,0145
2020 03	0,873	10,98	0,4313	0,7466	3,434	0,0399	0,1908	0,0067	0,0134
2020 04	1,792	14,29	0,6512	0,8780	4,541	0,0355	0,1449	0,0048	0,0142
2020 05	0,972	11,03	0,8909	0,6286	3,913	0,0210	0,0830	0,0038	0,0102
2020 06	0,939	10,14	0,8831	0,4446	3,529	0,0314	0,0848	0,0035	0,0030
2020 07	3,287	30,94	0,7924	0,7052	6,174	0,0347	0,1572	0,0042	0,0022
2020 08	1,358	14,67	0,7312	0,5704	5,435	0,0251	0,0919	0,0061	0,0049
2020 09	1,424	11,27	0,8802	1,717	7,491	0,0576	0,1572	0,0071	0,0043
2020 10	1,920	10,97	0,7913	0,3631	6,347	0,0309	0,1025	0,0109	0,0073
2020 11	1,201	5,46	0,8110	0,6689	4,925	0,0312	0,1184	0,0088	0,0058
2020 12	1,260	2,85	0,8096	0,6551	8,617	0,0425	0,1131	0,0182	0,0119
Vidurkis*	1,532	13,32	0,7097	0,7386	6,214	0,0353	0,1208	0,0069	0,0077

*vidurkiai skaičiuoti atsižvelgiant į kritulių kiekius.

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										
2020 01	125,61	54,76	948,2	44,45	67,99	230,1	3,46	23,52	2,221	1,348
2020 02	94,78	49,78	1174,1	30,37	117,36	255,6	2,68	15,41	1,306	0,8134
2020 03	59,50	27,58	509,8	15,87	43,72	121,9	2,13	10,20	1,262	0,6894
2020 04	24,44	18,34	294,3	8,52	17,29	86,5	2,25	6,82	0,452	0,3811
2020 05	20,41	20,41	738,3	13,06	83,69	131,2	2,03	3,90	0,474	-
2020 06	74,07	34,76	1776,5	19,57	194,94	246,4	8,29	19,37	1,818	0,3578
2020 07	125,85	41,04	2792,1	32,51	100,25	572,0	26,23	19,12	2,027	0,6574
2020 08	50,50	20,29	418,2	13,53	47,47	96,2	1,21	17,31	0,819	0,4131
2020 09	61,81	39,34	456,0	20,12	52,75	116,7	2,06	86,16	0,993	0,5258
2020 10	55,68	29,93	765,4	17,04	77,63	134,3	3,27	73,77	0,186	0,6838
2020 11	89,19	53,26	1294,5	29,09	71,91	189,4	5,21	113,93	0,242	0,6555
2020 12	34,49	29,93	818,4	18,23	68,58	184,0	2,81	12,67	0,078	0,9416
Σ=	816,3	419,4	11986	262,4	943,6	2364	61,63	402,2	11,88	7,466
Aukštaitijos IM stotis										
2020 01	60,40	102,39	1293,0	18,27	54,30	807,2	2,832	8,644	0,2808	0,6996
2020 02	37,86	29,22	303,5	10,71	18,23	151,8	0,874	2,743	0,2021	0,5491
2020 03	33,42	29,18	366,9	14,41	24,95	114,7	1,334	6,376	0,2236	0,4473
2020 04	23,73	42,51	339,0	15,45	20,83	107,8	0,841	3,438	0,1136	0,3364
2020 05	51,86	50,39	571,8	46,20	32,60	202,9	1,087	4,306	0,1970	0,5265
2020 06	52,82	49,59	535,4	46,65	23,48	186,4	1,659	4,480	0,1866	0,1576
2020 07	62,84	206,57	1944,3	49,80	44,32	387,9	2,180	9,881	0,2631	0,1381
2020 08	49,81	67,64	730,9	36,42	28,41	270,7	1,251	4,576	0,3051	0,2450
2020 09	65,06	92,64	734,3	57,26	111,72	487,4	3,747	10,231	0,4597	0,2776
2020 10	76,19	146,31	835,8	60,29	27,66	483,5	2,356	7,807	0,8269	0,5562
2020 11	61,99	74,46	338,6	50,27	41,46	305,3	1,933	7,338	0,5447	0,3590
2020 12	30,64	38,61	87,2	24,81	20,07	264,0	1,302	3,465	0,5582	0,3635
Σ=	606,6	929,5	8080	430,5	448,0	3769	21,40	73,28	4,161	4,656

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, išskritę ant žemės paviršiaus, į kvadratinį metrą per parą.

Metai, mėnuo	h, mm	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Hg	B(a)P
		Išskritęs kiekis, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\text{para}^{-1}$								
Žemaitijos IM stotis										
2020 01	4,052	1,766	30,59	1,434	2,193	7,421	0,1117	0,7588	0,0716	0,0435
2020 02	3,268	1,717	40,49	1,047	4,047	8,814	0,0926	0,5313	0,0450	0,0280
2020 03	1,919	0,890	16,45	0,512	1,410	3,932	0,0686	0,3289	0,0407	0,0222
2020 04	0,815	0,611	9,81	0,284	0,576	2,882	0,0750	0,2274	0,0151	0,0127
2020 05	0,659	0,658	23,81	0,421	2,700	4,232	0,0656	0,1257	0,0153	0,0000
2020 06	2,469	1,159	59,22	0,652	6,498	8,214	0,2762	0,6456	0,0606	0,0119
2020 07	4,060	1,324	90,07	1,049	3,234	18,452	0,8460	0,6168	0,0654	0,0212
2020 08	1,629	0,655	13,49	0,436	1,531	3,104	0,0391	0,5583	0,0264	0,0133
2020 09	2,060	1,311	15,20	0,671	1,758	3,891	0,0688	2,8720	0,0331	0,0175
2020 10	1,796	0,965	24,69	0,550	2,504	4,332	0,1053	2,3798	0,0060	0,0221
2020 11	2,973	1,775	43,15	0,970	2,397	6,314	0,1735	3,7976	0,0081	0,0219
2020 12	1,113	0,966	26,40	0,588	2,212	5,936	0,0908	0,4088	0,0025	0,0304
Vidurkis	2,234	1,150	32,78	0,718	2,588	6,460	0,1678	1,1043	0,0325	0,0204
Aukštaitijos IM stotis										
2020 01	1,948	3,303	41,709	0,5893	1,7516	26,038	0,0914	0,2788	0,0091	0,0226
2020 02	1,306	1,008	10,464	0,3692	0,6286	5,236	0,0301	0,0946	0,0070	0,0189
2020 03	1,078	0,941	11,835	0,4650	0,8048	3,701	0,0430	0,2057	0,0072	0,0144
2020 04	0,791	1,417	11,301	0,5151	0,6945	3,592	0,0280	0,1146	0,0038	0,0112
2020 05	1,673	1,625	18,446	1,4903	1,0516	6,545	0,0351	0,1389	0,0064	0,0170
2020 06	1,761	1,653	17,848	1,5549	0,7827	6,213	0,0553	0,1493	0,0062	0,0053
2020 07	2,027	6,664	62,720	1,6063	1,4296	12,514	0,0703	0,3187	0,0085	0,0045
2020 08	1,607	2,182	23,577	1,1747	0,9165	8,732	0,0403	0,1476	0,0098	0,0079
2020 09	2,169	3,088	24,476	1,9088	3,7240	16,246	0,1249	0,3410	0,0153	0,0093
2020 10	2,458	4,720	26,961	1,9448	0,8923	15,598	0,0760	0,2518	0,0267	0,0179
2020 11	2,066	2,482	11,288	1,6758	1,3821	10,177	0,0644	0,2446	0,0182	0,0120
2020 12	0,988	1,245	2,813	0,8003	0,6475	8,517	0,0420	0,1118	0,0180	0,0117
Vidurkis	1,656	2,527	21,95	1,175	1,225	10,26	0,0584	0,1998	0,0113	0,0127

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.

3 lentelė. Koreliacijos tarp mėnesinių kritulių kiekių ir vidutinės mėnesinės sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno koncentracijos krituliuose koeficientų vertės.

Elementas	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Hg	B(a)P
Žemaitijos IMS	-0,741	-0,283	-0,525	-0,479	-0,382	0,154	-0,070	-0,023	-0,584
Aukštaitijos IMS	0,375	0,303	0,333	0,086	0,283	0,097	-0,075	-0,119	-0,698

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

mėnesį koeficientų vertės pateiktos 4 lentelėje. Iš lentelės matyti, kad daugeliui elementų iškritę kiekiai didesni esant didesniems kritulių kiekiams.

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 mėnesį.

Elementas	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Hg	B(a)P
Žemaitijos IMS	0,846	0,680	0,923	0,343	0,731	0,584	0,188	0,754	0,500
Aukštaitijos IMS	0,728	0,590	0,810	0,513	0,677	0,736	0,748	0,544	0,031

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. Išplovimo intensyvumas priklauso nuo aerolio dalelių dydžio [11]. Metalai aerolio 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].

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	1,00	0,555	0,903	0,631	0,658	-0,013	0,061	-0,108	0,800
Zn		1,000	0,673	0,879	0,916	0,633	-0,279	0,128	0,182
Cr			1,000	0,716	0,761	0,054	-0,137	-0,061	0,897
Ni				1,000	0,744	0,252	-0,205	0,259	0,178
Cu					1,000	0,639	-0,396	0,094	0,516
Cd						1,000	-0,271	0,140	-0,124
As							1,000	-0,584	-0,078
Hg								1,000	-0,474
B(a)P									1,000
Aukštaitijos IMS									
	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Hg	B(a)P
Pb	1,000	0,809	0,176	0,093	0,313	0,180	0,377	-0,083	-0,406
Zn		1,000	-	0,119	0,289	0,103	0,392	-0,548	-0,317
Cr			1,000	0,087	-0,248	-0,027	-0,178	0,204	-0,674
Ni				1,000	0,339	0,806	0,576	-0,069	-0,100
Cu					1,000	0,605	0,233	0,265	0,043
Cd						1,000	0,700	0,249	-0,056
As							1,000	-0,023	0,063
Hg								1,000	0,152
B(a)P									1,000

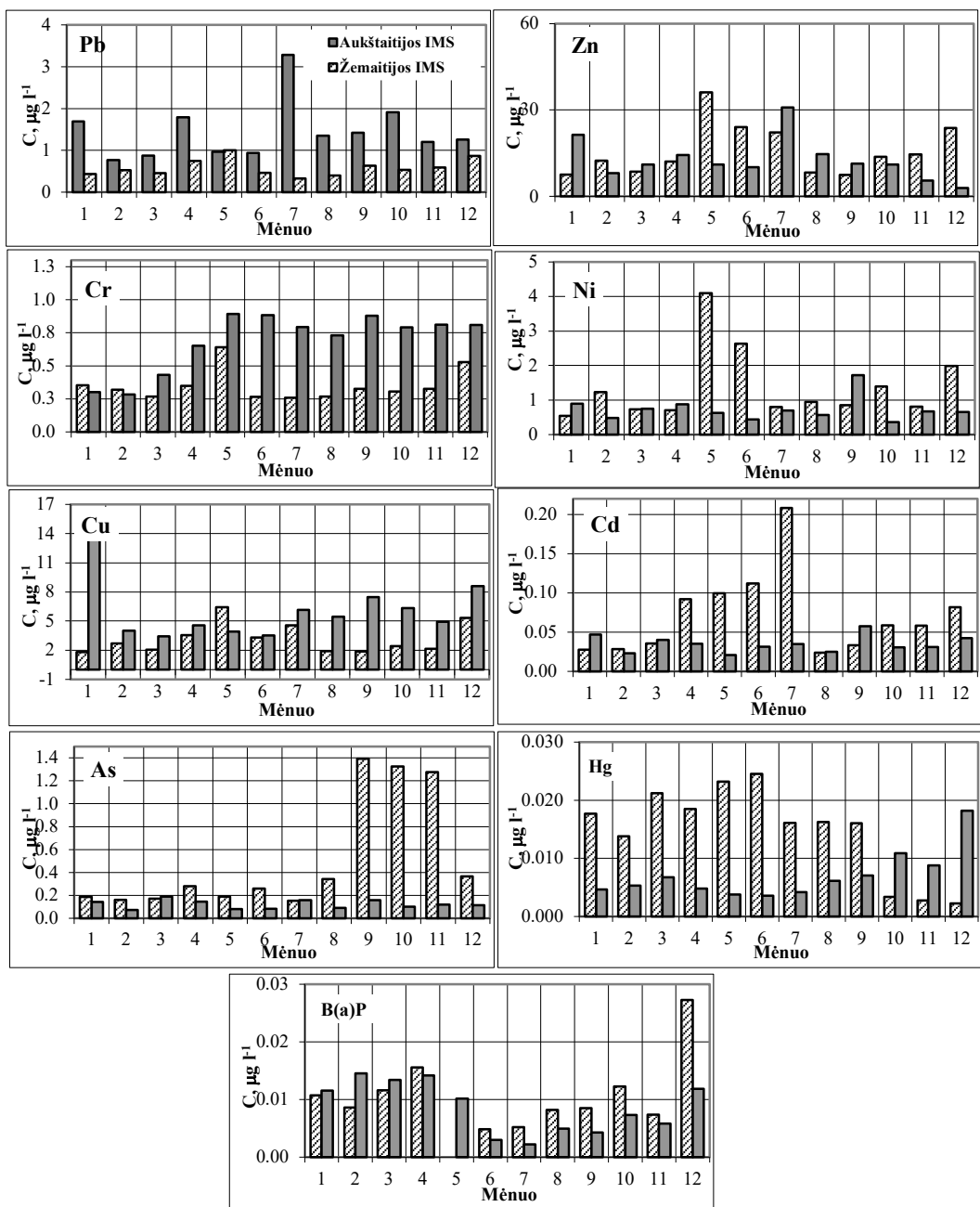
6 lentelė. Koreliacijos koeficientų tarp kritulių, iškritusių su krituliais sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno kiekių vertės.

Žemaitijos IMS										
	h	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Hg	B(a)P
h	1,000	0,846	0,680	0,923	0,343	0,731	0,584	0,188	0,754	0,500
Pb		1,000	0,453	0,915	0,306	0,458	0,246	0,456	0,449	0,597
Zn			1,000	0,529	0,651	0,949	0,917	-0,009	0,539	0,042
Cr				1,000	0,262	0,600	0,384	0,186	0,632	0,743
Ni					1,000	0,464	0,361	-0,082	0,431	-0,089
Cu						1,000	0,941	-0,120	0,601	0,189
Cd							1,000	-0,061	0,500	-0,058
As								1,000	-0,310	-0,071
Hg									1,000	0,257
B(a)P										1,000
Aukštaitijos IMS										
	h	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Hg	B(a)P
h	1,000	0,728	0,590	0,810	0,513	0,677	0,736	0,748	0,544	0,031
Pb		1,000	0,889	0,576	0,339	0,589	0,568	0,767	0,356	-0,181
Zn			1,000	0,333	0,340	0,605	0,499	0,707	-0,041	-0,135
Cr				1,000	0,442	0,264	0,536	0,536	0,538	-0,372
Ni					1,000	0,567	0,878	0,750	0,179	-0,105
Cu						1,000	0,801	0,715	0,399	0,363
Cd							1,000	0,888	0,436	-0,001
As								1,000	0,357	-0,068
Hg									1,000	0,155
B(a)P										1,000

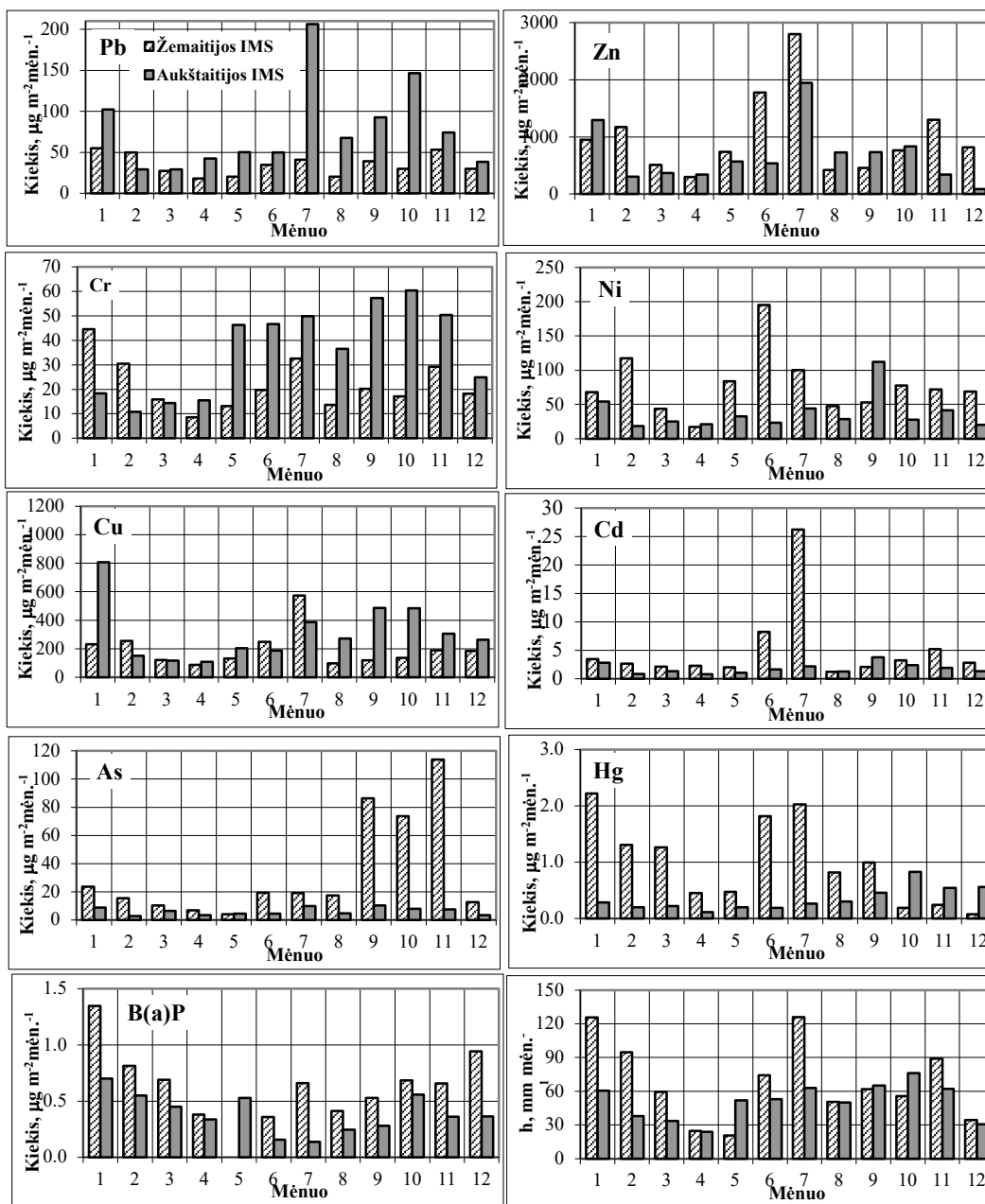
Tamsiau pažymėtos vertės lentelėse rodo patikimesnį nei 95% koreliacinį ryšį.

Paveiksle 1 pateikta sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno koncentracijos krituliuose metinė eiga, o paveiksle 2 pateikta sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno kiekių $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 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 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ per mėnesį yra šiek tiek mažesnis. Lemiamą įtaką žemės paviršiaus apkrovai sunkiaisiais metalais turi krituliai, o tai rodo ir darbo [13] duomenys.



Pav.1. Vidutinė mėnesinė Pb, Zn, Cr, Ni, Cu, Cd, As, Hg ir B(a)P koncentracija ($C, \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) krituliuose Žemaitijos ir Aukštaitijos integruoto monitorinio stotyse 2020 m.



Pav. 2. Iškritę Pb, Zn, Cr, Ni, Cu, Cd, As, Hg ir B(a)P mėnesiniai kiekiai bei kritulių kiekiai (mm) į žemės paviršiaus kvadratinį metrą Žemaitijos ir Aukštaitijos integruoto monitorinio stotyse 2020 m.

Kaip matoma iš atliktų tyrimų rezultatų benz(a)pireno koncentracija krituliuose kito intervale nuo 0,0022 µg l⁻¹ iki 0,0145 µg l⁻¹ Aukštaitijos IMS ir nuo 0,0048 µg l⁻¹ iki 0,0273 µg l⁻¹ Žemaitijos IMS. Benz(a)pireno srautas į žemės paviršių 2020 m. kito nuo 0,14 µg m⁻² mėn.⁻¹ iki 0,70 µg m⁻² mėn.⁻¹ Aukštaitijos IMS ir nuo 0,36 µg m⁻² mėn.⁻¹ iki 1,35 µg m⁻² mėn.⁻¹ Žemaitijos IMS.

Abejose 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 (PAA) taršos šaltinių suintensyvėjimu kūrenimo sezono metu. Benz(a)pireno srauto į žemės paviršių kaita priklausomai nuo sezoniškumo yra pateikta 7 lentelėje. Matoma, kad Žemaitijos IMS benz(a)pireno mėnesinis srautas, o tuo pačiu ir žemės paviršiaus apkrova dėl namų šildymo šalto sezono metu yra padidėjusi apie 61 %, o Aukštaitijos IMS tik apie 76 %. Žemaitijos IMS buvo užfilsuotas didesnis benz(a)pireno srautas į žemės paviršių tiek šiltuoju, tiek šaltuoju periodu. Tai rodo stočių neadekvatų išsidėstymą policikliniu aromatinių angliavandenilių taršos šaltinių atžvilgiu.

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

Šaltas periodas (spalis- balandis)		Šiltas periodas (gegužė-rugsėjis)	
Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS	Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS
0,473±0,13,4	0.787±0,30	0,269±0,155	0,488±0,133

Nagrinėjant benz(a)pireno išsivalymo iš atmosferos dėsnį, reikia pabrėžti, kad PAA yra aerozoliniai, atmosferoje susiję su dalelėmis mažesnėmis nei $1\mu\text{m}$, be to, aerozoliniai PAA yra praktiškai netirpūs vandenyje. Atliktas B(a)P iškirtų tyrimas Preilos foninių tyrimų stotyje parodė, kad atmosferos kritulių kiekis neturi esminės įtakos benz(a)pireno srauto į žemės paviršių intensyvumui, išskyrus liūtinį lietu ir sniegą [10].

Ankstesnių 2006-2019 m. ir 2020 m. tyrimo duomenų palyginimas pateiktas 8 lentelėje. Lyginant Žemės paviršiaus apkrovą benz(a)pirenu ir sunkiaisiais metalais 2006-2019 ir 2020 metais, pastebėta bendra abiem stotims tolimesnė Pb mažėjimo tendencija. Pastebėtas žymus Ni, Cu bei Cd koncentracijos kritulių vandenyje bei sraute į žemės paviršių sumažėjimas Žemaitijos IMS. Aukštaitijos IMS nustatyta Cu koncentracijų kritulių vandenyje ir sraute į žemės paviršių didėjimo tendencija. Žemės paviršiaus apkrovos kitais elementais pokyčiai nereguliarūs – panašūs arba kiekvienai stočiai 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.

8 lentelė. 2006-2019 m. ir 2020 m. tyrimo duomenų palyginimas.

	Vidutinė koncentracija krituliuose, $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$				Vidutiniai mėnesiniai iškritę kiekiai $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mėn}^{-1}$			
	Žemaitijos IMS		Aukštaitijos IMS		Žemaitijos IMS		Aukštaitijos IMS	
	2006/19 m.	2020 m.	2006/19m.	2020 m.	2006/19 m.	2020 m.	2006/19 m.	2020 m.
Pb	4,24	0,514	2,344	1,532	364,2	34,95	122,9	77,46
Zn	34,62	14,68	27,436	13,32	2993,8	998,8	1502,3	673,4
Cr	0,508	0,3214	0,361	0,7097	42,6	21,86	18,911	35,88
Ni	3,27	1,156	0,809	0,7386	280,36	78,63	43,36	37,34
Cu	5,93	2,90	3,626	6,214	512,9	197,0	197,1	314,1
Cd	0,137	0,076	0,096	0,0353	11,73	5,136	5,10	1,783
As	0,640	0,4927	0,293	0,1208	52,84	33,52	15,98	6,11
Hg	0,009	0,0145	0,010	0,0069	0,709	0,9898	0,564	0,347
B(a)P	0,013	0,0091	0,013	0,0077	0,639	0,6788	0,341	0,388

IŠVADOS

Žemės paviršiaus apkrova Zn, Ni, Cd, As, Hg ir B(a)P buvo didesnė vakarinėje Lietuvos dalyje (Žemaitijos IMS) nei rytinėje Lietuvos dalyje (Aukštaitijos IMS). Rytinėje Lietuvos dalyje 2020 m. nustatyti didesni Pb, Cr ir Cu, iškritusių su krituliais, kiekiai į kvadratinį metrą per mėnesį. Pagrindinė priežastis – didelė oro masių trajektorijų kaita bei kritulių nereguliarumas.

Tyrimo metu nustatyta, kad benz(a)pireno srautas į žemės paviršių 2020 m. kito nuo $0,14 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ iki $0,70 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ Aukštaitijos IMS ir nuo $0,36 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ iki $1,35 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ Žemaitijos IMS. Abejose stotyse benz(a)pireno srautui į žemės paviršių būdinga sezoninė eiga. 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 2006-2019 ir 2020 metais pastebėta bendra abiemis stotims tolimesnė Pb mažėjimo tendencija. Pastebėtas ir žymus Ni, Cu bei Cd koncentracijos kritulių vandenyje bei sraute į žemės paviršių sumažėjimas Žemaitijos IMS. Aukštaitijos IMS nustatyta Cu koncentracijų kritulių vandenyje ir sraute į žemės paviršių didėjimo tendencija. Žemės paviršiaus apkrovos kitais elementais pokyčiai nereguliarūs.

REKOMENDACIJA

Atsižvelgiant į sunkiųjų metalų ir benz(a)pireno atliktus tyrimus Žemaitijos ir Aukštaitijos integruoto monitoringo stotyse 2006-2020 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. Griciute, 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. Mikelinšienė, 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.