



LIETUVOS ŽEMĖS ŪKIO UNIVERSITETAS
Miškų monitoringo laboratorija

**MIŠKO EKOSISTEMŲ SUMEDĖJUSIOS
AUGMENIJOS TYRIMAS PAGAL
ICP IM PROGRAMA**

Sutarties Nr. 4F09-64

Kaunas 2010 m.

LIETUVOS ŽEMĖS ŪKIO UNIVERSITETAS

**MIŠKO EKOSISTEMŲ SUMEDĖJUSIOS AUGMENIJOS TYRIMAS
PAGAL ICP IM PROGRAMĄ**

Sutarties Nr. 4F09-64

**Apibendinta visų vykdytojų
A T A S K A I T A**

Programos koordinatorius: Dr. Algirdas Augustaitis

Kaunas 2010 m.

Santrauka

Šiaurės šalių Ministrų Taryba 1992 metais pasiūlė visoms trims nepriklausomybę atkūrusioms Baltijos valstybėms prisijungti prie Tarptautinės kompleksiško (integruoto) monitoringo (toliau KM) programos ir skyrė tam reikalingą finansinę bei metodinę paramą. 1993 m. tuometinis Aplinkos apsaugos departamentas iniciavo šią programą Lietuvoje.

Nuo pat pirmųjų KM programos įgyvendinimo metų joje aktyviai dalyvavo specialistai iš Aplinkos apsaugos agentūros buvęs Aplinkos ministerijos Jungtinis tyrimų centras (upelių hidrocheminis monitoringas, nuokritų cheminis monitoringas, duomenų kaupimas ir iki 2003 m. programos koordinavimas) ir mokslininkai iš Botanikos instituto (žolinės augalijos ir iki 2003 m. toksinių medžiagų susikaupimo indikatorinėse rūšyse monitoringas); Fizikos instituto (oro ir kritulių užterštumo monitoringas); Geologijos ir geografijos instituto (dirvožemio, dirvožemio vandens ir gruntinio vandens bei upelio vandens monitoringas); Ekologijos instituto (smulkiųjų žinduolių, dirvožemio mikroartropodų bei upelio makrobentosos rūšinės įvairovės bei gausumo monitoringas) bei Lietuvos žemės ūkio universiteto Miškų monitoringo laboratorijos (medynų inventorizacija bei jų biomasės, būklės, vystymosi procesų, medžių pažeidimų, epifitinių kerpių, žaliadumblių, fotosintetiškai aktyvios saulės spinduliuotės po augalijos danga ir nuokritų monitoringas bei nuo 2004 m. programos koordinavimas).

Pateiktoje ataskaitoje apibendrinti 2008 m. sąlygiškai natūralių miško ekosistemų tyrimo rezultatai bei pateikti aplinkos foninio užterštumo sieros, azoto junginiais, sunkiaisiais metalais ir ozonu, jų kaitos tendencijų tyrimo rezultatai bei įvertintas jų, kartu su aplinkos natūraliais veiksniais, kompleksiškas poveikis miško ekosistemoms.

Ataskaitą sudaro keturi pagrindiniai skyriai. Pirmajame skyriuje pateikti meteorologinių sąlygų įvertinimas, jų poveikis geosistemoms, taip pat saulės fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės bei pažemio ozono tyrimų rezultatai. Skyriaus pabaigoje pateikiamas gautų rezultatų apibendrinimas.

Antras skyrius skirtas oro teršalų, šlapiųjų iškritų ir jų transformacijų bei kaupimosi miško ekosistemose tyrimų rezultatams apibendrinti. Išanalizuotas kritulių poveikis gyvajai ir negyvajai (nukritusiai) medžių lapijai. Išaiškintos pagrindinės tirtų pagrindinių elementų transformacijos geosistemoje. Skyriaus pabaigoje pateikiamas gautų rezultatų apibendrinimas.

Trečiajame skyriuje pateikiama informacija apie aplinkos užterštumą sunkiaisiais metalais, jų pagrindines kitimo tendencijas bei transformacijas lapijoje bei geosistemoje. Išaiškinti regioniniai sunkiųjų metalų koncentracijų skirtumai. Skyriaus pabaigoje pateikiamas gautų rezultatų apibendrinimas.

Ketvirtajame skyriuje pateikta informacija apie biotos pokyčius: KMS teritorijose augančių miškų būklę, pagrindines, vizualiai nustatytas medžių pažeidimo priežastis bei apie jų poveikio medžių lajų būklei ypatumus. Pateikiami žolinės augalijos rūšinės sudėties ir padengimo intensyvumo tyrimo rezultatai, o taip pat epifitinių kerpių, oro užterštumo sieros oksidais bioindikatorių, rūšinės įvairovės, būklės ir gausumo, žaliadumblių, indikuojančių aplinkos užterštumą azoto junginiais, gausumo ant eglių spyglių tyrimo rezultatai. Pateikiama informacija ir apie upelio makrobentosos rūšinę įvairovę ir gausumą. Išaiškintas aplinkos veiksnių poveikis tirtiems biotos komponentams.

Turinys

	Psl.
ĮVADAS	7
I KLIMATINIŲ VEIKSNIŲ IR SAULĖS FOTOSINTETIŠKAI AKTYVIOS SPINDULIUOTĖS TYRIMAI KMS TERITORIJOSE	8
1.1 Klimatinių veiksnių kaita 1993-2008 m laikotarpiu	9
1.1.1. <i>Kritulių kiekio dinamika KM stočių teritorijose</i>	9
1.1.2. <i>Vidutinės oro temperatūros kaita KM stočių teritorijose</i>	11
IŠVADOS	12
1.2 Vandens balansas pagrindinėse geosistemos grandyse.	13
1.2.1. <i>Dirvožemio vanduo</i>	13
1.2.2. <i>Gruntinis vanduo</i>	19
1.2.3. <i>Paviršinis vanduo</i>	24
IŠVADOS	30
1.3 Fotosintetiškai aktyvios saulės spinduliuotės po augalijos dangą tyrimai KMS teritorijose	31
1.3.1. <i>Aukštaitijos KMS teritorijoje</i>	32
1.3.2. <i>Žemaitijos KMS teritorijoje</i>	34
IŠVADOS	35
1.4 Pažemio ozono koncentracijų tyrimai	36
1.4.1. <i>Preilos EMEP stoties teritorijoje.</i>	41
1.4.2. <i>Kompleksiško monitoringo stočių teritorijose</i>	54
IŠVADOS	56
1.5 Tyrimo rezultatų apibendrinimas	58
II ORO TERŠALŲ, ŠLAPIŲJŲ IŠKRITŲ IR JŲ TRANSFORMACIJŲ BEI KAUPIMOSI MIŠKO EKOSISTEMOSE TYRIMAI KMS TERITORIJOSE	60
2.1 Dujinių ir aerosolinių priemaišų ore tyrimai pagal EMEP ir ICP IM programas.	60
IŠVADOS	74
2.2 Pagrindinių cheminių priemaišų foninių koncentracijų bei fizinių parametrų atmosferos iškritose ir polajiniuose krituliuose tyrimai pagal EMEP ir ICP IM programas.	76
IŠVADOS	90
2.3 Pagrindinių cheminių priemaišų bei fizinių parametrų polajiniuose krituliuose tyrimų pagal ICP IM programą rezultatai	91
2.3.1 <i>Aukštaitijos KMS stotis</i>	91
2.3.2. <i>Žemaitijos KMS stotis</i>	96
IŠVADOS	102

	Psl.
2.4	Gruntinio, dirvožemio bei paviršinio vandens ir dirvožemio monitoringas pagal ICP IM programą 102
2.4.1.	<i>Dirvožemio vandens savybių kitimas</i> 105
2.4.2.	<i>Gruntinio vandens savybių kitimas</i> 111
2.4.3.	<i>Upelio vanduo ir medžiagų išnešimas iš ekosistemos</i> 118
2.5	<i>Medžiagų balansas KMS teritorijose</i> 122
2.5.1.	<i>Azoto, fosforo ir sieros išnešimas iš dirvožemio</i> 122
2.5.2.	<i>Azoto, fosforo ir sieros išnešimas gruntinio vandens sistemoje</i> . . . 126
2.5.3.	<i>Medžiagų išnešimas upeli</i> 129
	<i>IŠVADOS</i> 131
2.6	Pagrindinių maistinių elementų koncentracijų lapijoje ir nuokritose tyrimų pagal ICP IM programą rezultatai. 132
2.6.1	<i>Aukštaitijos KMS stotis</i> 134
2.6.2.	<i>Žemaitijos KMS stotis</i> 140
2.6.3.	<i>Pagrindinių elementų transformacijų krituliuose ir lapijoje ypatumai</i> 146
	<i>IŠVADOS</i> 148
2.7	Oro teršalų, šlapiųjų iškritų ir jų transformacijų bei kaupimosi miško ekosistemose tyrimo rezultatų apibendrinimas. 149
	LITERATŪRA 153
III	SUNKIŪJŲ METALŲ SRAUTAI, JŲ KAUPIMASIS EKOSISTEMOSE IR IŠPLOVIMAS 161
3.1	Sunkiųjų metalų ir policiklinių aromatinių angliavandenilių ore bei atmosferos iškritose tyrimai 162
	<i>IŠVADOS</i> 167
3.2	Sunkieji metalai geosistemoje 168
3.2.1.	Sunkieji metalai dirvožemio vandenyje. 168
3.2.2.	Sunkieji metalai gruntiniame vandenyje. 171
3.2.3.	Sunkieji metalai paviršiniame (upelio) vandenyje. 173
	<i>IŠVADOS</i> 174
3.3	Nuokritų ir su jomis į dirvožemį patenkančių metalų sezoninė dinamika . . 175
3.3.1.	<i>Aukštaitijos KMS nuokritų sezoninė dinamika</i> 175
3.3.2.	<i>Žemaitijos KMS nuokritų sezoninė dinamika</i> 180
3.3.3.	Metinių metalų srautų su nuokritomis palyginimas tarp KMS . . . 185
	<i>IŠVADOS</i> 188
3.4	Sunkiųjų metalų srautų miško ekosistemose tyrimo rezultatų apibendrinimas 189
	LITERATŪRA 191

	Psl.
IV MIŠKO EKOSISTEMŲ MONITORINGAS IM TERITORIJOSE	192
4.1. Miškų būklės dinamika integruoto monitoringo stočių teritorijose	192
4.1.1. <i>Aukštaitijos KMS medynų būklė.</i>	192
4.1.2. <i>Žemaitijos KMS medynų būklė</i>	194
<i>IŠVADOS</i>	196
4.2. Medynų būklė augalijos tyrimų stacionaruose.	197
4.2.1. <i>Medynų būklė Aukštaitijos KMS stacionaruose</i>	198
4.2.2. <i>Medynų būklė Žemaitijos KMS stacionaruose.</i>	201
<i>IŠVADOS</i>	203
4.3. Medžių pažeidimai KMS teritorijose	204
4.3.1. <i>Aukštaitijos KMS medžių pažeidimai ir pagrindinės priežastys</i>	205
4.3.2. <i>Žemaitijos KMS medžių pažeidimai ir pagrindinės priežastys</i>	207
<i>IŠVADOS</i>	208
4.4. Žaliųjų oro dumblių gausa	209
<i>IŠVADOS</i>	210
4.5. Epifitinių kerpių rūšinė įvairovė ir gausumas	211
4.5.1. <i>Aukštaitijos KMS kerpių tyrimo stotyje</i>	213
4.5.2. <i>Žemaitijos KMS kerpių tyrimo stotyje</i>	214
<i>IŠVADOS</i>	214
4.6. Žolinės augmenijos tyrimai pagal ICP IM programą	215
4.6.1 <i>Aukštaitijos KMS LT_01_100.</i>	215
4.6.2 <i>Aukštaitijos KMS LT_01_102</i>	218
4.6.3 <i>Žemaitijos KMS LT_03_100</i>	219
<i>IŠVADOS</i>	221
<i>PRIEDAI</i>	222
4.7. Miško ekosistemų biotos komponentų tyrimo rezultatų apibendrinimas.	226
V TARPTAUTINĖS PUBLIKACIJOS	230
Impact of climate changes on forest responses to acid deposition and ozone in Lithuania	230
Literatūra.	
V SANTRAUKA	252

IVADAS

Aštuntajame dešimtmetyje vis didėjantis aplinkos užterštumas privertė žmoniją suprasti, kad be objektyvios, pakankamai unifikuotos ir laiku pateiktos informacijos apie gamtinės aplinkos būklę ir pagrindinių jos komponentų antropogeninių pokyčių tendencijas, neįmanoma sukurti efektyvios aplinkos kokybės valdymo sistemos ir racionaliai naudoti gamtos išteklius. Todėl 1979 m. Europos sandraugos valstybės pasirašė "Konvenciją dėl tolimų atmosferos teršalų pernašų" ("Convention on Long-range Transboundary Air Pollution" – CLRTAP), tapusią vienu pagrindinių įrankių, saugant ekosistemas nuo oro teršalų Europoje bei Šiaurės Amerikoje.

Šiaurės šalių Ministrų Taryba 1992 metais pasiūlė visoms trims nepriklausomybę atkūrusioms Baltijos valstybėms prisijungti prie Tarptautinės kompleksinio (integruoto) monitoringo programos ir skyrė tam reikalingą finansinę bei metodinę paramą. 1993 metais ekologinio monitoringo kompleksiško principui įgyvendinti pagrindiniuose Lietuvos kraštovaizdžiuose buvo įsteigtos 3 kompleksiško monitoringo stotys (KMS) minimalaus antropogeninio poveikio vietose, derinant jas prie nacionalinių parkų infrastruktūros. Stebėjimai šiuose stotyse traktuojami kaip globalinis foninis monitoringas (Lietuvos gamtinė aplinka, 1994). 1993 metais buvo įsteigtos Aukštaitijos ir Dzūkijos KM stotys, o 1994 m. - trečioji - Žemaitijos KM stotis. Visos šios stotys įsteigtos minėtų NP rezervacinėse zonose. Šiose stotyse kompleksiskai stebimi praktiškai visi gamtinės aplinkos komponentai ir juos jungiantys medžiagų srautai, kas sudaro galimybę įvertinti ne tik jų poveikį biotai, bet ir nustatyti tiriamų nedidelių upelių baseinų įvairių medžiagų balansą.

Pagrindinis Kompleksiško ekosistemų monitoringo tikslas - nustatyti, vertinti ir prognozuoti sąlygiškai natūralių ekosistemų būklę bei jos ilgalaikius pokyčius, įvertinus tolimųjų oro teršalų (ypač sieros ir azoto junginių) pernašų, ozono ir sunkiųjų metalų kaitą bei poveikį procesams vykstantiems ekosistemose, atsižvelgiant į regioninius ypatumus ir klimato pokyčius. Stebėjimų metodika ir stebimi parametrai sudaro galimybes panaudoti kaupiamą informaciją regioninių ir globalinių procesų pasekmėms vertinti bei modeliuoti ekosistemų lygmenyje. Visą tai turi užtikrinti mokslinės ir statistiškai patikimos, nuoseklios ir ilgalaikės aplinkos veiksnių duomenų sekos.

Sąlygiškai natūralių ekosistemų KM programos visapusiškas įgyvendinimas įgalina spręsti uždavinius susijusius ne tik su Tolimų oro teršalų pernašų konvencijos ir jos protokolų reikalavimais, bet ir su Tarpvalstybinių vandentakių ir ežerų apsaugos bei naudojimo konvencijos, Jungtinių Tautų klimato kaitos konvencijos ir Kioto protokolo, Biologinės įvairovės konvencijos bei Vienos konvencijos dėl ozono sluoksnio apsaugos reikalavimais. Todėl 10 metų Lietuvoje funkcionuojančiai KM programai turėtų būt sutelktas išskirtinis dėmesys.

Šioje ataskaitoje pateikti medynų būklės duomenys Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS baseinų teritorijoje, medynų struktūriniai pokyčiai ir jų vystymosi dinamika augalijos tyrimų stacionaruose, nuokritų sezoninė dinamika bei fotosintetiškai aktyvios saulės spinduliuotės tyrimai Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS teritorijose. Apibendrinimas atliktas pagal sukurtą principinę schemą.

I. KLIMATINIŲ VEIKSNIŲ IR SAULĖS FOTOSINTETIŠKAI AKTYVIOS SPINDULIUOTĖS TYRIMAI KMS TERITORIJOSE

Kiekvienoje ekosistemoje yra saviti ryšiai tarp abiotinių ir biotinių jos komponentų. Tačiau pagrindiniai procesai būdingi visoms ekosistemoms yra energijos srautas, kurio šaltinis yra saulės spindulių energija ir ciklinė maisto medžiagų apytaka. Šių procesų metu fizinė-cheminė aplinka sąveikauja su biotinė, taip sudarydama ekosistemų dinamikos pagrindą.

Klimato kaitos ir jos poveikio ekosistemoms tyrimai pastaruoju laikotarpiu tampa viena iš prioritetinių tyrimų sričių. Šis poveikis nevienareikšmis. Ekosistemos, kisdamos dėl klimato atšilimo keliamų veiksnių, turi grįžtamąjį poveikį pačiam klimatui per anglies kaupimosi ekosistemoje pokyčius, taip pažeisdamos bendrą anglies balansą. CO₂, susikaupęs miško ekosistemose dėl augalų fotosintezės, augalams kvėpuojant ir vykstant organinių medžiagų irimo procesui dirvožemyje, grįžta atgal į atmosferą. Nuo šių procesų intensyvumo priklauso anglies koncentracijos ore ir anglies kiekio sausumos ekosistemoje santykis. Šiuos procesus ypač veikia temperatūrų ir drėgmės režimai, vegetacinio laikotarpio pradžia ir trukmė bei daugelis kitų meteorologinių veiksnių, sąlygojamų klimato kaitos. Pateikti IPCC, kaip ir USGCRP dokumentai ir išvados, byloja, kad pastovūs ir greiti klimato pokyčiai gali ypač sutrikdyti nusistovėjusį konkurencinį rūšių balansą miškuose. Tai gali būti miškų degradacijos, o kai kuriuose rajonuose net jų žūtis priežastis. Miškų džiūvimas savo ruožtu pakeistų anglies absorbcijos ir išmetimų teritorinį balansą. Tačiau foninės CO₂ koncentracijos ore Lietuvoje dar iki šiol netiriamos, nors tai yra viena iš aktualiausių pastarojo laikotarpio pasaulinių problemų. Miško ekosistemų, taršos ir meteorologiniai duomenys, papildyti CO₂ koncentracijų ore tyrimų rezultatais, sudarytų galimybę pradėti CO₂ poveikio miško ekosistemoms efektyvumo bendrame aplinkos natūralių ir antropogeninių veiksnių poveikyje tyrimus, taip pat ir sąlygiškai natūralių miško ekosistemų anglies balanso tyrimus kintančiomis klimato sąlygomis.

Dėl vegetacijos laikotarpio terminų kaitos vis aktualesni tampa ir priežemio ozono fitotoksinio poveikio augalijai tyrimai. Tai vienas pagrindinių fitotoksikantų, turinčių reikšmingą įtaką fotosintezei vykti, augalams kvėpuoti, medžiagoms pasiskirstyti ir galiausiai fitomasė kiekiui bei produktyvumui. Ženklią įtaką priežemio ozonas turi ir dirvožemio faunai, ypač jos rūšių įvairovei, o būtent jos rūšinė sudėtis ir gausa lemia organinių medžiagų irimo greitį, t.y. CO₂ kiekio grįžimą į atmosferą. Todėl ozonas, sąlygodamas visas pagrindines anglies balansą formuojančias funkcijas, išlieka pagrindinis miško ekosistemų ir klimato kaitos tyrimų objektas.

Tolimosios užteršto oro pernašos, lemiančios aplinkos rūgštėjimo procesą, o kartu ir

visos ekosistemos kaitą, neprarado savo aktualumo net ir įgyvendinus Geteborgo protokolo ir kitų tarptautinių įsipareigojimų reikalavimus. KM stočių oro teršalų ir iškritų iš oro duomenys įgalina vykdyti oro foninės taršos kaitos analizę ir atskleisti su klimato kaita susijusių rodiklių, tokių kaip kritulių kiekio, temperatūros bei skirtingos kilmės oro masių įtaką foninei taršai.

1.1 Klimatinių veiksnių kaita 1994-2009 m laikotarpiu

Lietuvos Hidrometeorologijos tarnybos pateikti duomenys rodo, kad per pastaruosius 2 šimtmečius (http://www.meteo.lt/klim_lt) stebėti ir klimato šaltėjimai, ir šiltėjimai. Tačiau, palyginus pastarojo laikotarpio ir praėjusio šimtmečio vidurio klimatinės normas, nustatytas temperatūros padidėjimo 0,8°C per dešimtmetį tempas. Ypač pašiltėjo žiema ir pirmoji pavasario pusė, tačiau atvėso ruduo. Išryškėjo ir regioniniai skirtumai, pvz., žiema šiltėja Rytų, pavasaris Vakarų ir Pietvakarių, o ruduo vėsta Rytų Lietuvoje. Kritulių kiekio metinė norma Lietuvoje praktiškai nepakito, tačiau kiek pasikeitė jų kiekis tam tikrais laikotarpiais – padaugėjo žiemą, o sumažėjo vasarą. Teritorinių požiūriu ryškesnių dėsningumų nepastebėta. Šie stebėti regioniniai meteorologinių veiksnių pokyčiai gali tapti pagrindiniais veiksniais miško ekosistemų kaitos pagrindinėms tendencijoms ir regioniniams ypatumams nustatyti. Tačiau šiuos skirtumus tik iš dalies patvirtina meteorologiniai duomenys, surinkti KMS teritorijose (mišku apaugusiame plote).

1.1.1. Kritulių kiekio dinamika KM stočių teritorijose

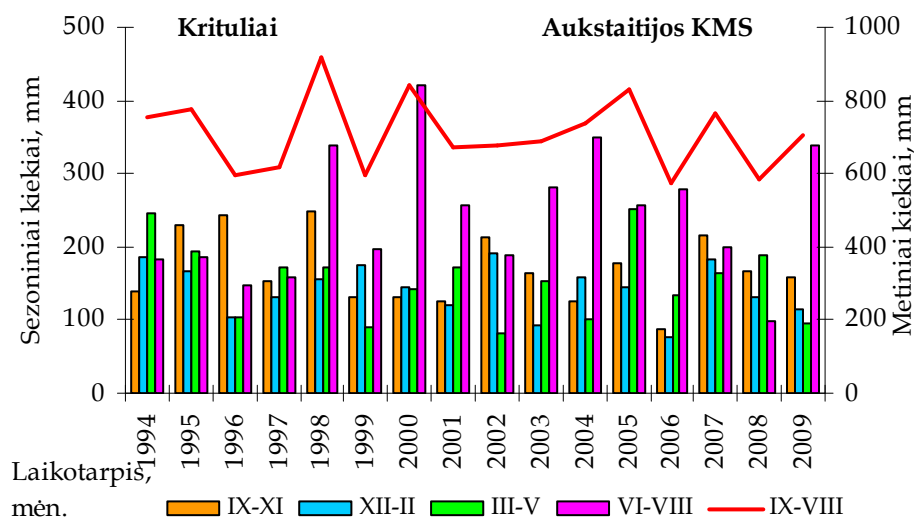
1994–2009 metais kritulių kiekis ir Aukštaitijos, ir Žemaitijos monitoringo stotyse klimatinę normą (daugiametį 1961-1951 m. vidurkį) ir viršija, ir nesiekia vienodą metų skaičių (1 pav.). Tačiau klimatinė norma viršijama didesne dalimi, negu nepasiekiamą. Didžiausias klimatinės normos viršijimas buvo +32% (LT01, 2009 m.) ir +55% (LT03, 2007 m.), o trūkumas -22% (LT01, 1996 ir 2008 m.) ir -37% (LT03, 1994 m.). Palyginti su klimatinės normos periodu (1961-1990) stebėjimo periodas (1994-2009) yra drėgnesnis.

Palyginti su 1985–1990 metų šlapmečiu, stebėsenos laikotarpis yra sausesnis, bet šlapiais metais, klimatinė norma viršijama didesne dalimi, negu sausaisiais, t.y., sausros, palyginti su stebėjimo laikotarpio pradžia, yra mažesnės.

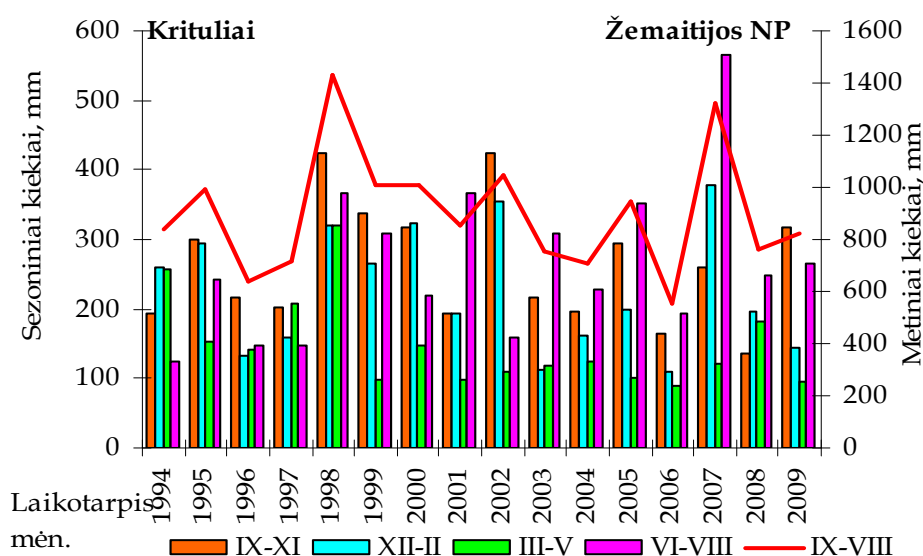
2009 m. Aukštaitijoje iškrito daugiausiai kritulių per visą stebėjimų laikotarpį, 33% daugiau, negu stebėjimo laikotarpio vidurkis.

Žemaitijos stebėjimų stotyje 2009 metais iškrito vidutinis kritulių kiekis 2% mažiau, negu klimatinė norma ir 5% mažiau už stebėjimo laikotarpio vidurkį.

Metinis kritulių kiekis per 16 m. laikotarpį Aukštaitijos KM stotyje mažėjo -3,0 mm per metus, o Žemaitijos KM stotyje -2,9 mm per metus.



1.1 pav. Įvairių sezonų ir metinių kritulių kiekio kaita Aukštaitijos KMS 1994-2009 m.

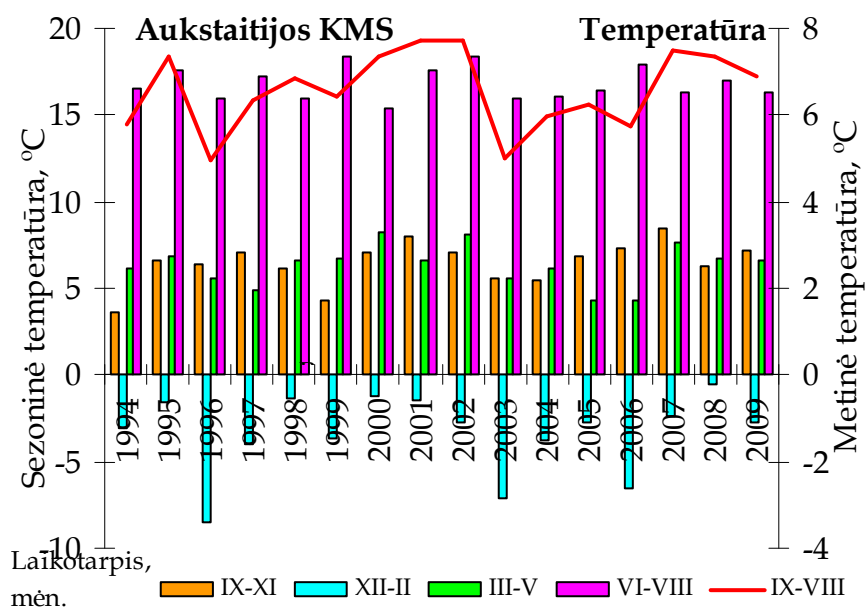


1.2 pav. Įvairių sezonų ir metinių kritulių kiekio kaita Žemaitijos KMS 1995-2009 m.

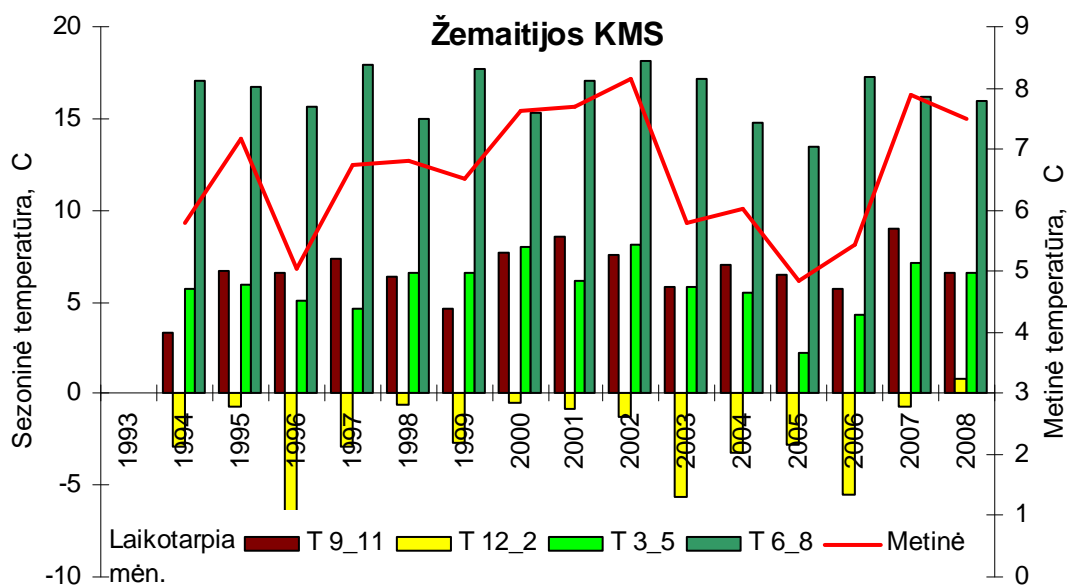
Atskirais sezonais kritulių kiekis KM stotyse kito analogiškai, tik nežymiai skyrėsi kaitos intensyvumas. Per tiriamąjį laikotarpį (1994-2009) kritulių kiekis mažėjo rudenį (rugsėjo – lapkričio mėn.) -2,6 mm/m. ir -2.8mm/m. atitinkamai AIM ir ŽIM stotyse. Mažėjimo intensyvumas buvo žemesnis žiemą (gruodžio-vasario mėn.) -1,8 ir -3.9 mm/m., o pavasarį ŽIM stotyje kritulių kiekis mažėjo net -7,0 mm/m., kai AIM stotyje tik -2,1 mm/m. Intensyvios vegetacijos laikotarpiu, t.y. nuo birželio iki rugpjūčio mėnesio, kritulių kiekis didėjo abiejose stotyse: AIM stotyje po 3,0 mm/m. ir net 10 mm/m. ŽIM stotyje.

1.1.2. Vidutinės oro temperatūros kaita KM stočių teritorijose

Klimato atšilimas ir jo poveikio aplinkai vertinimas - pastarojo laikotarpio problema. Artimiausių tiriamoms teritorijoms meteorologinių stočių (MS) duomenų analizė parodė, kad per paskutinįjį 50 m. laikotarpį Aukštaitijoje oro temperatūra vidutiniškai didėjo 0,031°C (Utenos MS), Dzūkijoje – 0,026°C (Varėnos MS) ir Žemaitijoje – 0,035°C per metus (Plungės, Tauragės MS). Šie gauti rezultatai gerai sutampa su prognozuojamais globalinės temperatūros kilimo rezultatais, pagal kuriuos net ir sumažinus „šiltnamio efektą“ sukeliančių dujų emisijas, apie 2030 m. vidutinė oro temperatūra turėtų būti 1°C aukštesnė nei XX a. pabaigoje, t.y. didėti po 0,033°C per metus (Bukantis ir kt., 2001).



1.3 pav. Įvairių sezonų ir metinės vidutinės temperatūros kaita Aukštaitijos KMS 1994-2009m.



1.4 pav. Įvairių sezonų ir metinės vidutinės temperatūros kaita Žemaitijos KMS 1995-2008 m.

Tiriamuoju laikotarpiu vidutinės temperatūros kaita KMS teritorijose nebuvo tokia ženkli. Vidutinė metinė oro temperatūra Aukštaitijos KMS didėjo tik $0,039^{\circ}\text{C}$ per metus, o Žemaitijos KMS dar mažiau, tik $0,026^{\circ}\text{C}$ per metus. Ar tai yra tarptautinės bendrijos pastangų mažinant šiltnamio efektą sukeliančių teršalų išmetimą, rezultatas parodys ateities tyrimai.

Atskirais metų sezonais vidutinė temperatūra kito skirtingai, tačiau analogiškai abiejose KM stočių teritorijose. Reikšmingiausiai didėjo rudens mėnesių vidutinė temperatūra, apie $0,12^{\circ}\text{C}$ per metus abiejose stotyse (AIMS $+1,22^{\circ}\text{C}$ ir ŽIMS $+1,16^{\circ}\text{C}$ per 10 m.). Žiemos mėnesiais temperatūra didėjo kiek silpniau (AIMS $+0,37^{\circ}\text{C}$ ir ŽIMS $+0,74^{\circ}\text{C}$ per 10 m.), o pavasarį temperatūra turėjo mažėjimo tendenciją (AIMS $-0,02^{\circ}\text{C}$ ir ŽIMS $-0,16^{\circ}\text{C}$ per 10 m.). Intensyvios vegetacijos laikotarpiu oro temperatūra Aukštaitijos KM stotyje taip pat palaipsniui mažėjo, t.y. po $-0,1^{\circ}\text{C}$ per 10 m., ką, matyt, sąlygojo didėjantis kritulių kiekis per šį laikotarpį. Žemaitijos KM stotyje oro temperatūra vegetacijos laikotarpiu pakankamai ženkliai mažėjo, po $-0,07^{\circ}\text{C}$ per metus. Taigi, gauti rezultatai rodo, kad rudens ir žiemos laikotarpiu vyksta oro temperatūros didėjimas, o pavasarį ir intensyvaus augimo laikotarpiu temperatūra arba stabili ar turi mažėjimo tendenciją.

IŠVADOS

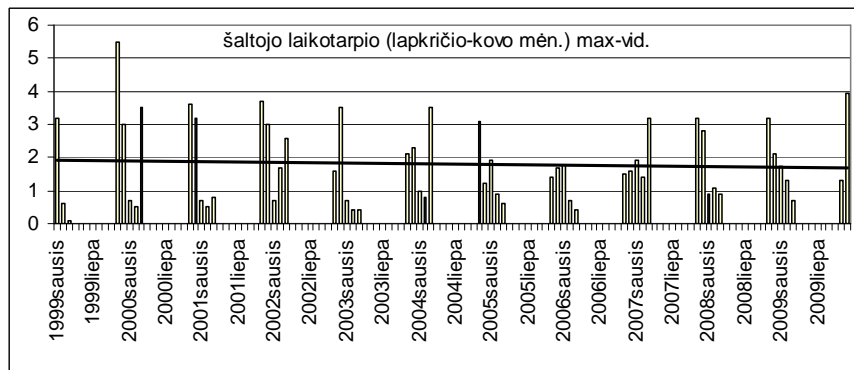
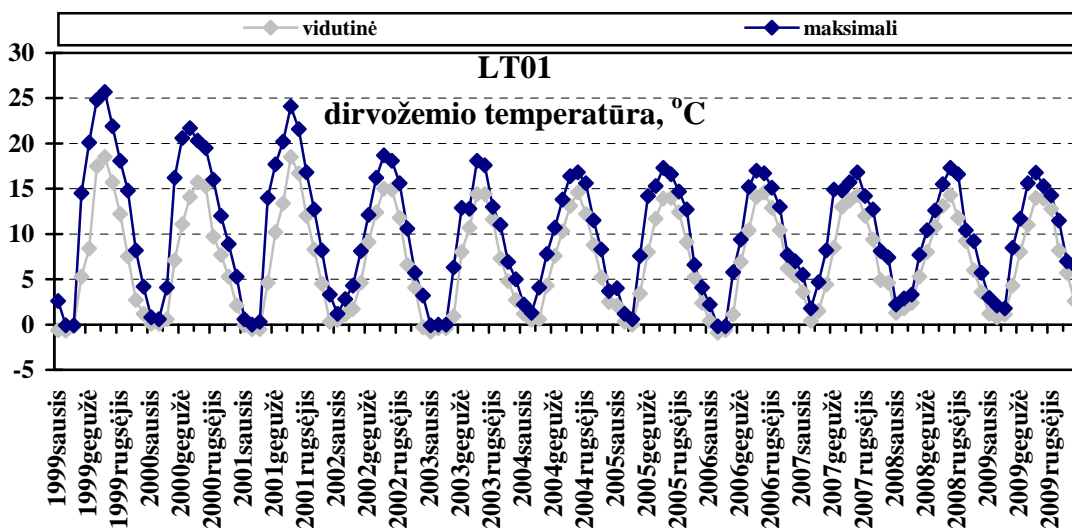
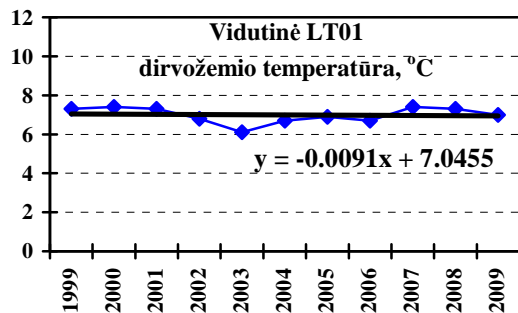
Metinis kritulių kiekis per tiriamąjį laikotarpį turi tendenciją mažėti abiejose KM stotyse. Reikšmingiausiai kritulių mažėjo rudenį (rugsėjo-lapkričio mėn.) ir žiemą (gruodžio-vasario mėnesiais), o didėjo intensyvios vegetacijos mėnesiais, kas turėtų ateityje teigiamai sąlygoti visos miško ekosistemos būklę.

Vidutinė metinė oro temperatūra Aukštaitijos KMS didėjo $0,03-0,04^{\circ}\text{C}$ per metus. Reikšmingiausiai didėjo rudens mėnesių vidutinė temperatūra, apie $0,12^{\circ}\text{C}$ per metus abiejose stotyse, o mažėjo pavasarį, apie $-0,01^{\circ}\text{C}$ per metus. Intensyvios vegetacijos laikotarpiu (birželio-rugpjūčio mėnesiais) Žemaitijos KM stotyje temperatūra mažėjo po $-0,07^{\circ}\text{C}$ per metus, o Aukštaitijos KM stotyje išliko praktiškai stabili.

1.2. Vandens balansas pagrindinėse geosistemos grandyse

1.2.1 Dirvožemio vanduo

Aukštaitijos KMS per vienuolika metų (1999-2009 m.) dirvožemio temperatūros (5, 10 ir 20 cm gyliuose) vidutinė reikšmė buvo 7,04 °C ir svyravo nuo 6,1 iki 7,4 °C. Vidutinės dirvožemio temperatūros kitimo amplitudė buvo 1,3 °C. Didžiausia vidutinės temperatūros reikšmė, 7,3-7,4 °C, pasikartojo kas 7 metus (2000 ir 2007 m.) – tai atitinka saulės aktyvumo ciklo trukmę. 2009 metais vidutinė dirvožemio temperatūra buvo 6,96°C, t.y., 0,8°C mažesnė už stebėjimo laikotarpio vidurkį. Temperatūros kitimo tendencija per 11 stebėjimo metų yra nereikšminga: lyginant su svyravimo amplitude, vidutinė temperatūra sumažėjo 0,7% (1.5 pav.).

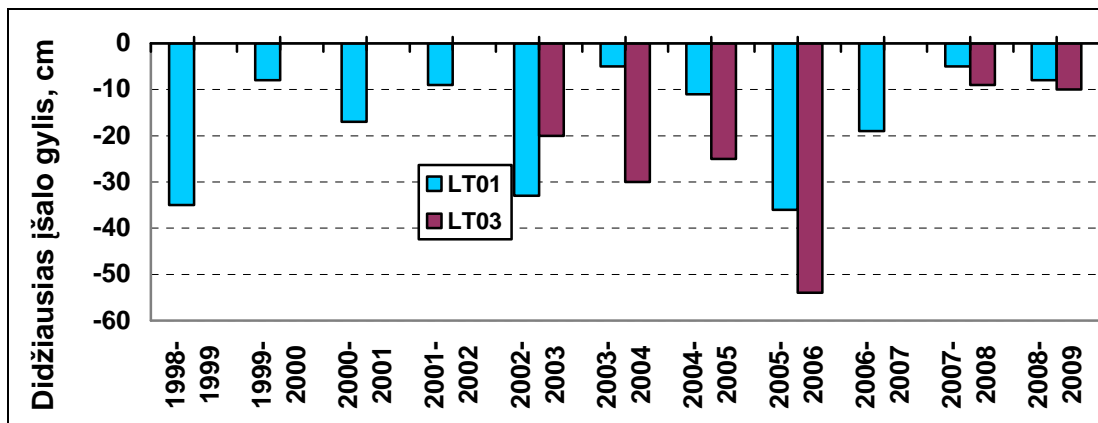


1.5 pav. Aukštaitijos KMS dirvožemio temperatūra (5, 10 ir 20 cm gyliuose).

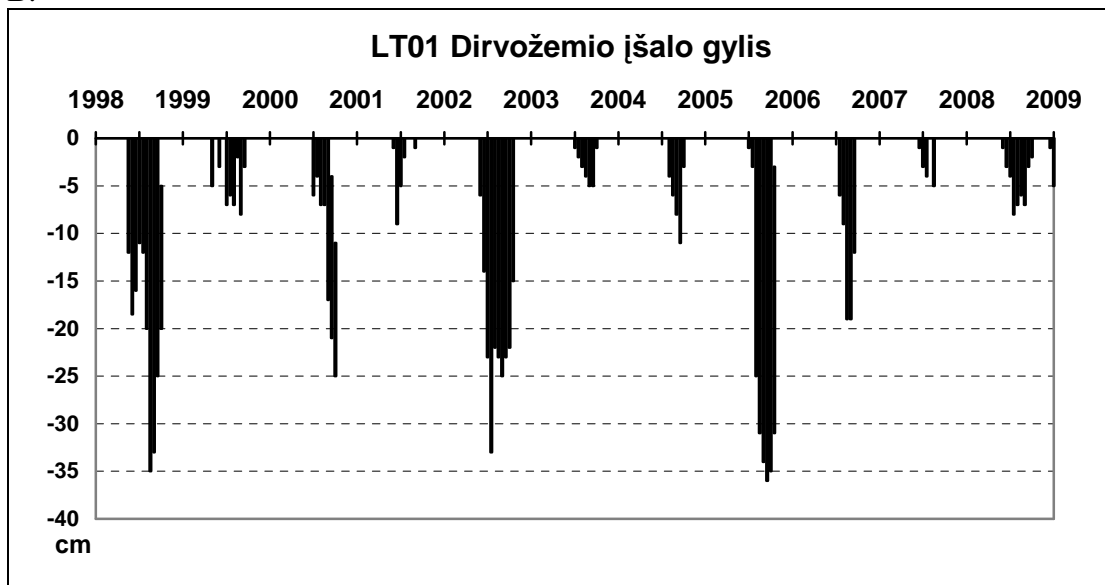
Ryškesnės dirvožemio temperatūros tendencijos matyti analizuojant svyravimo amplitudes: maksimalios temperatūros ir mėnesio vidurkio skirtumas 1999–2001 metais, buvo didžiausias, o 2002–2009 metais sumažėjo, bet šaltuoju laikotarpiu, kuriam būdingas mažiausias dirvožemio temperatūros svyravimas, tendencija atvirkštinė.

Šaltojo periodo pradžioje (lapkritį ir gruodį) skirtumas tarp didžiausios ir mažiausios temperatūrų mažėja, kaip ir šiltojo laikotarpio, bet sausį–vasarį pastaruosius 3 metus (2007–2009 m.) skirtumas tarp didžiausios ir vidutinės dirvožemio temperatūros padidėjo ir būna beveik 1°C ir didesnis.

A.



B.

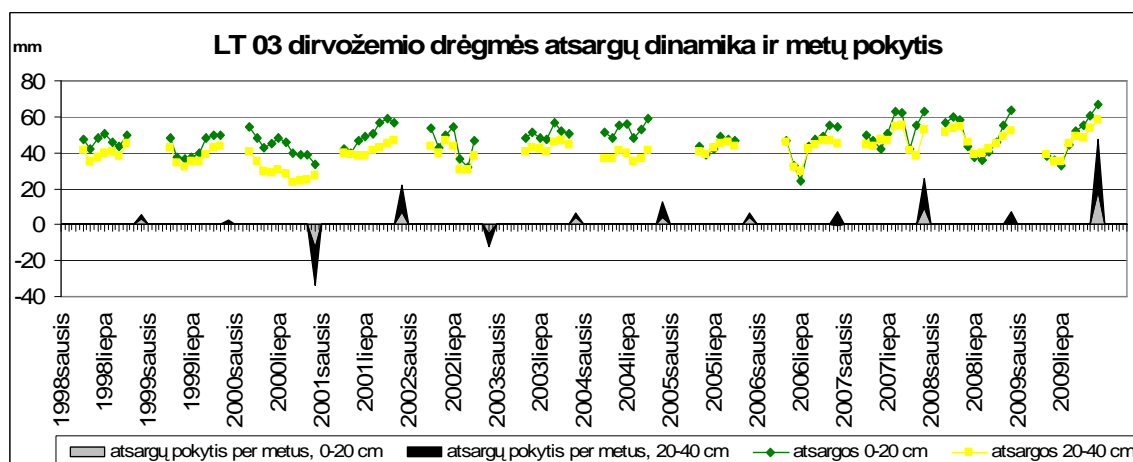
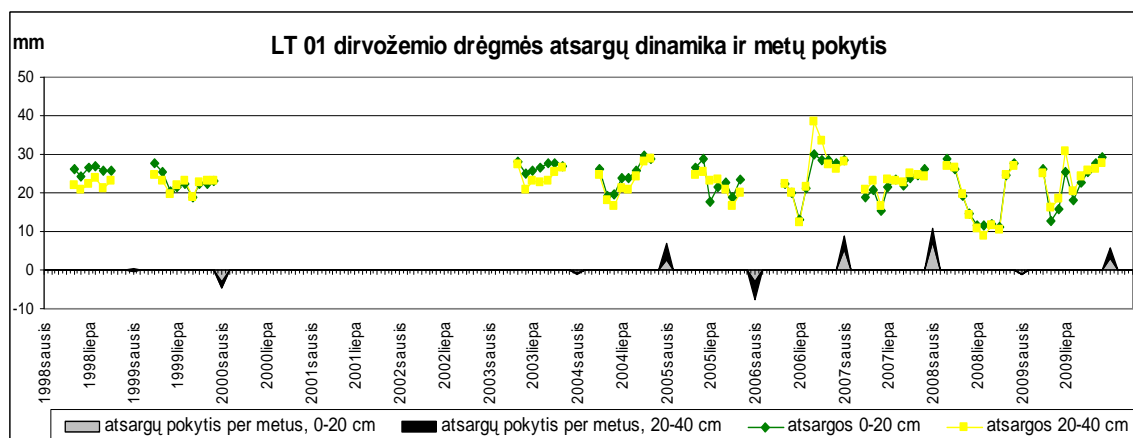
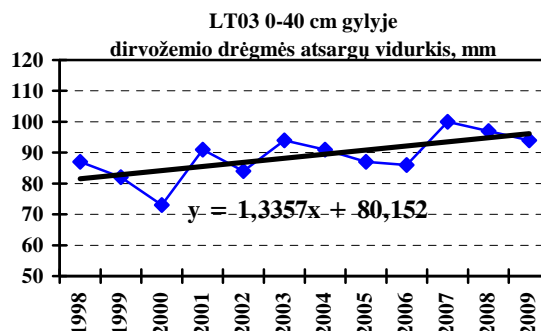
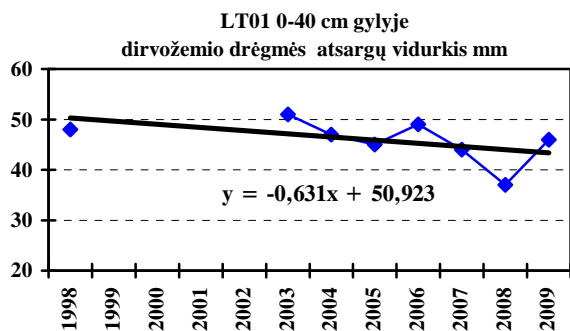


1.6 pav. Didžiausias dirvožemio įšalo gylis (A) ir dirvožemio įšalo gylio kaita Aukštaitijos KMS šalia pirmojo gręžinio (B).

Dirvožemio temperatūros kaitos priežastys – drėgmės ir oro temperatūros režimo pokyčiai, kurie taip pat lemia įšalo gylio, dirvožemio vandens filtracijos ir drėgnumo kaitą.

Nuo 1998 m. kas 3–4 metus Aukštaitijos stotyje kartojasi šaltos žiemos, kai dirvožemis įšala giliau, negu 25 cm. Šaltomis žiemomis 1998–1999 m. ir 2002–2003 m. įšalas laikėsi 4,5 mėn., o 2005–2006 m. žiemą trumpiau – 3,5 mėn., bet pasiekė rekordinį 36 cm gylį. Šiltomis žiemomis (1999–2000, 2001–2002, 2003–2004, 2005 m.) dirvožemis būdavo įšalęs mažiausiai 2,5 mėnesio. 2008–2009 metų žiema buvo vidutinė: giliausias įšalas tebuvo 8 cm (kaip šiltą žiemą), bet laikėsi palyginus ilgai, daugiau kaip 4 mėnesius, taip kaip šaltą žiemą (1.6 pav.).

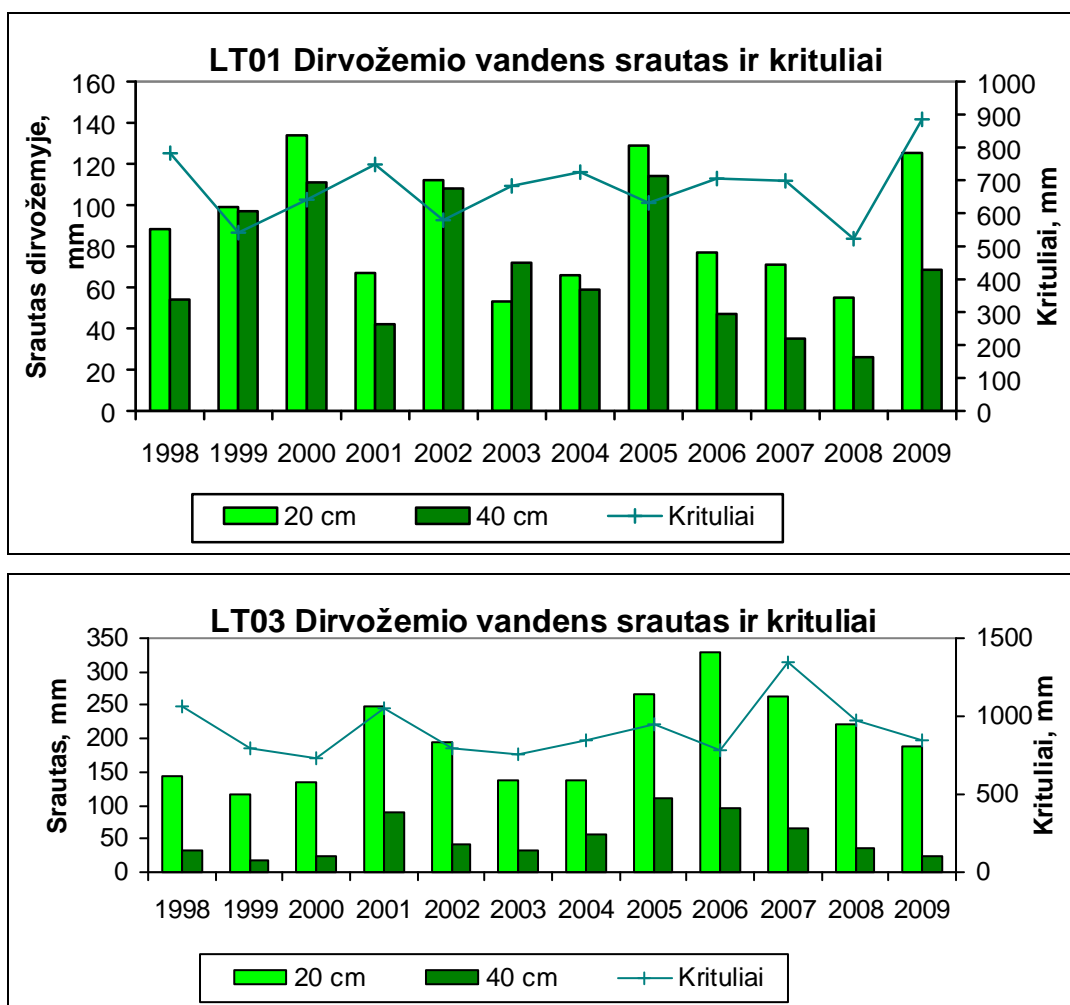
Dirvožemio drėgmė vegetacijos laikotarpiu sutampa su dirvožemio išalimo intensyvumu: seklaus ir trumpo išalimo metais, 2004, 2005, 2007–2008 dirvožemis 0–40 cm gylyje kaupė vidutiniškai 37–47 mm vandens (2008 m. mažiausiai, 37 mm), tai gilaus išalimo 2003 ir 2006 – 49–51 mm (1.6 ir 1.7 pav., LT01).



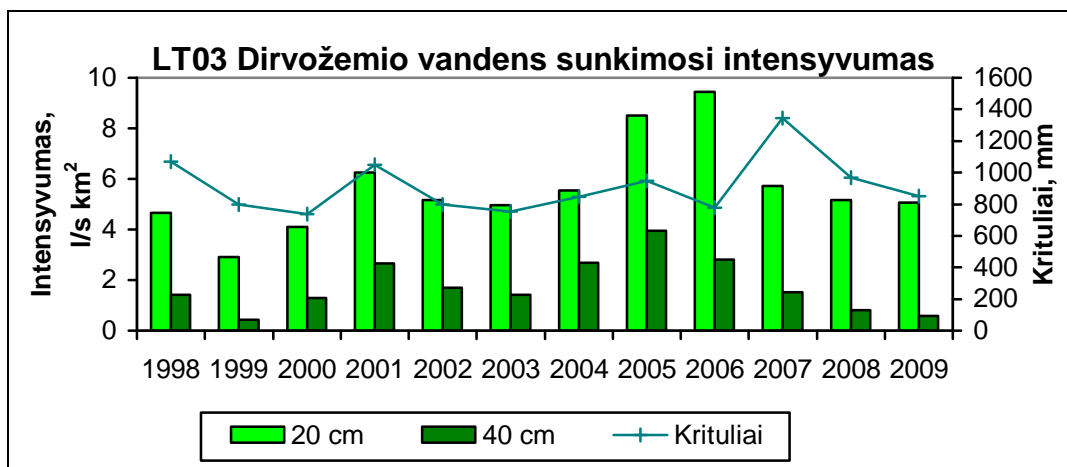
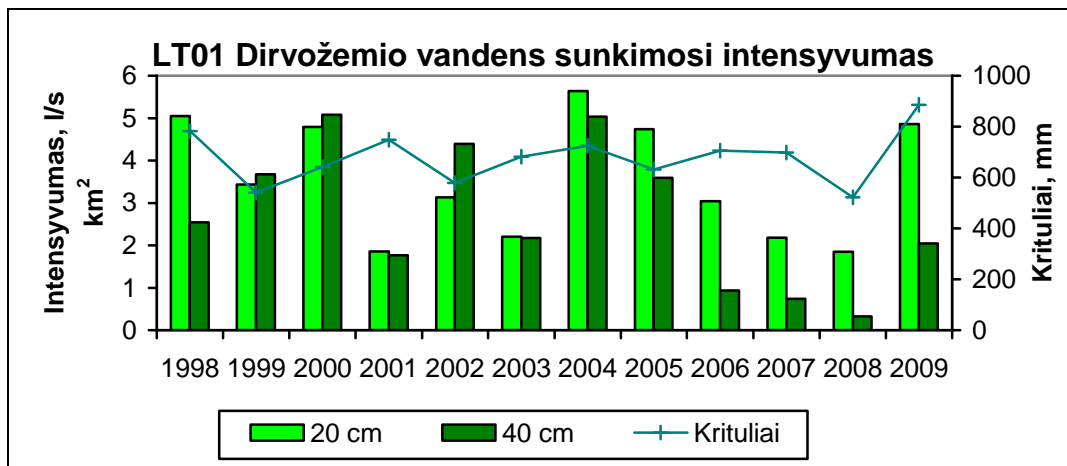
1.7 pav. Vandens atsargų dinamika vegetacijos laikotarpiu. Iki 2003 metų LT01 KMS vandens atsargos LT 01 dirvožemyje nustatytos gravimetrijos metodu, vėliau – barometrijos. LT–03 KMS naudotas tik gravimetrijos metodas.

Aukštaitijos KMS 2009 metais, kai dirvožemis išalo negiliai, bet, palyginti, ilgai, 0–40 cm gylyje per metus susikauptė vidutiniškai 45 mm dirvožemio vandens – tai lygu stebėjimų laikotarpio vidurkiui, to ir reikėjo tikėtis atsižvelgiant į vidutinius išalo parametrus, o 2009 m. didžiausias kritulių kiekis per stebėjimų laikotarpį dirvožemio drėgmei tiesioginės įtakos nepadarė. Didžiausią vandens kiekį dirvožemis buvo sukaupęs 2003 metais, kai kritulių kiekis buvo artimas klimatinei normai, o išalo gylis ir trukmė vieni iš didesnių perstebėjimo laikotarpių.

Žemaitijos monitoringo stotyje pastaruosius trejus metus dirvožemio vandens atsargos didesnės nei vidutinės (1.7 pav., LT03). Didelis drėgmės kaupimasis dirvožemyje 1998, 2001 ir 2007–2009 sutampa su metiniu kritulių kiekiu, viršijančiu klimatinę normą, bet 2003 metais dirvožemis sukaupė didelį vandens kiekį, nors kritulių buvo mažai. Žemaitijos monitoringo stotyje duomenys reguliariai nerenkami, fiksuojamas tik giliausias išalas ir susidarymo bei ištirpimo data. 2002-2003 metų žiemą išalo gylis nebuvo didžiausias per stebėjimo laikotarpį, o 2006-2007 m. – visai nesusidarė, bet dirvožemis buvo drėgnesnis nei vidutiniškai. Taigi dirvožemio drėgmės atsargos nei su krituliais, nei su išalu tiesiogiai nesusijęs.



1.8 pav. Dirvožemio vandens srautai.



1.9 pav. Dirvožemio vandens sunkimosi intensyvumas.

2009 metais Aukštaitijos IMS dirvožemio vandens srautas jo intensyvumas 0–20 cm gylyje buvo trečias pagal dydį per stebėjimų laikotarpį, o 20–40 cm gylyje - vidutiniai, nors kritulių Aukštaitijos IMS buvo rekordinis kiekis (1.8, 1.9 pav., LT01).

Žemaitijos KMS tarp dirvožemio vandens srauto ir kritulių kiekio buvo tiesioginis ryšys, 2006 metais ryšys tapo atvirkštiniu, o 2008-2009 m. vėl tapo tiesioginiu (5 pav., LT03). 2006 m. ypatingi tuo, kad jų pradžioje buvo užfiksuotas rekordinis dirvožemio išalo gylis. Ekstremalus išalo gylis dirvožemio drėgmės atsargoms nepadarė įtakos, bet dirvožemio vandens srautą ir jo intensyvumą padidino (1.8, 1.9 pav., LT03).

Vertinant medžiagų migraciją geosistemoje neužtenka meteorologinės informacijos apie kritulius, nuotėkį, drėgmės atsargas (ekosistemos vandens balanso sudedamąsias). Su elementariais vandens balanso lygties dėmenimis medžiagų srautai nėra susiję. Medžiagų migraciją dirvožemyje tiesiogiai veikia veiksnių kompleksas dirvožemio srautas, jo intensyvumas, dirvožemio temperatūra ir jos amplitudė (Baužienė, Bauža, Pivoras, 2009).

1 lentelė. Medžiagų išplovimo iš dirvožemio veiksmų vertinimas Aukštaitijos IMS (LT01).

Metai	Gylis, cm:	Srautas		Intensyvumas		Dirvožemio temperatūros vidurkis	Temperatūros amplitudė	Įšalas (kliūtis srautui)
		0-20	20-40	0-20	20-40			
1998		6	8	2	6	N. d.	N. d.	N. d.
1999		5	4	6	4	7	11	9
2000		1	2	4	1	10	10	4
2001		9	10	11	9	7	9	7
2002		4	3	7	3	4	8	5
2003		12	5	9	7	1	4	10
2004		10	7	1	2	2	2	1
2005		2	1	5	5	5	6	6
2006		7	9	8	10	2	3	11
2007		8	11	10	11	10	7	8
2008		11	12	12	12	7	1	2
2009		3	6	3	8	6	5	3

Pastabos: *Sunkimasis*: mažiausi rangai reiškia didžiausią srautą ir didžiausią filtracijos intensyvumą. *Šiluminės sąlygos*. Temperatūros rodiklis vertinant medžiagų išplovimą yra nevienareikšmis. Santykinai žema temperatūra (mažos reikšmės lentelėje) gali būti palankesnė koloidinių medžiagų transformacijai, o aukšta – paprastų druskų tirpimui. Maža temperatūrų amplitudė (mažos reikšmės) palaiko biocheminius procesus. Didelė išalo rango reikšmė reiškia gilų ir ilgai trukusį dirvožemio iššalimą, trukdžiusį išplovimui.

Žemaitijos IMS (2 lentelėje) vandens judėjimo rodikliai, srautas ir jo intensyvumas susigrupavo vienodai. Išryškėjo, kad 2001 ir 2005–2006 m. laikotarpiai buvo palankiausi medžiagų išplovimui, ir pagal srautą, ir pagal jo intensyvumą. 2009 m. palankesni medžiagų išplovimui už praėjusiuosius, bet mažiau palankūs nei 2007 m.

2 lentelė. Medžiagų išplovimo iš dirvožemio veiksnų vertinimas (rangavimas) Žemaitijos IMS (LT03).

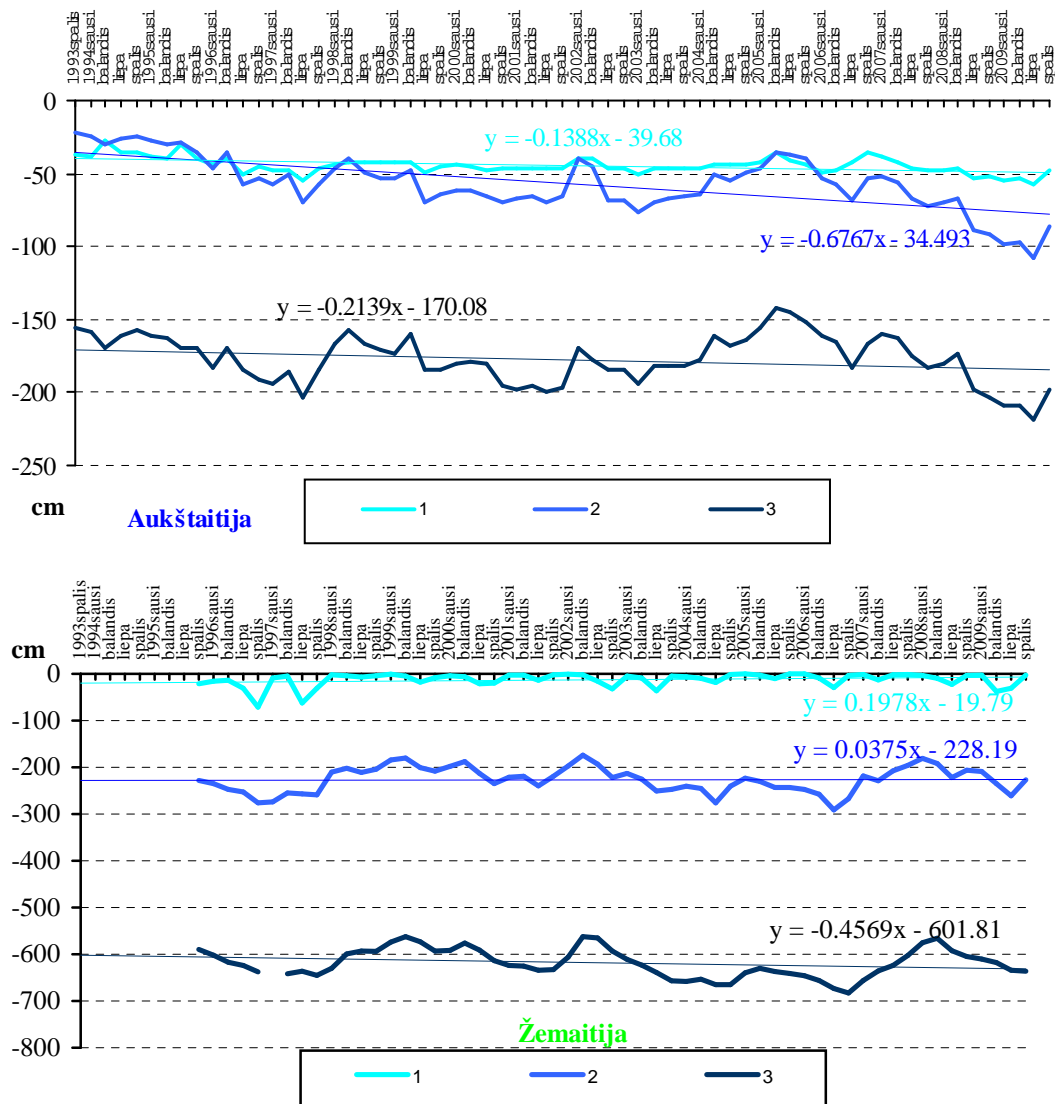
Metai	Gylis, cm:	Srautas		Koncentravimas (filtravimo intensyvumas)	
		0-20	20-40	0-20	20-40
1998		8	9	9	7
1999		12	12	12	12
2000		11	10	11	9
2001		4	3	3	4
2002		6	6	6	5
2003		10	8	7	8
2004		9	5	5	3
2005		2	1	2	1
2006		1	2	1	2
2007		3	4	4	6
2008		5	7	10	11
2009		7	11	8	10

Aukštaitijos IMS, situacija sudėtingesnė. Pagal dirvožemio vandens srauto tūrį palankiausi išplovimui buvo 2000 ir 2005 m., o pagal intensyvumą – 1998, 2000 ir 2004 m. Įšalo rodiklis rodo, kad palankiausios sąlygos išplovimui buvo 2004 ir 2008 m.

Kiekvienas veiksnys turi skirtingą svorį įvairių medžiagų atžvilgiu.

1.2.2. Gruntinis vanduo

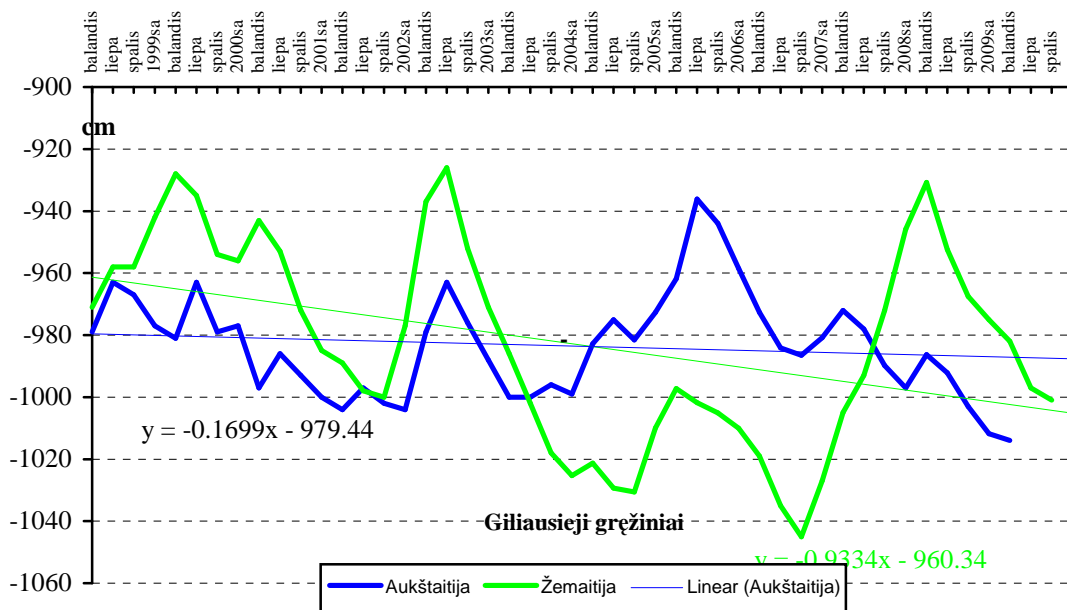
2009 metais Aukštaitijoje iškrito ekstremaliai daug kritulių, bet gruntinio vandens lygis visuose sekliuosiuose gręžiniuose nukrito iki žemiausio lygio per visą stebėjimų laikotarpį, o gilusis gręžinys visai išdžiūvo. Visuose gręžiniuose gruntinio vandens lygio tendencija yra neigiama (1.10-11 pav.).



1.10 pav. Vidutinis gruntinio vandens lygis sekliuosiuose gręžiniuose Nr. 1, 2, 3.

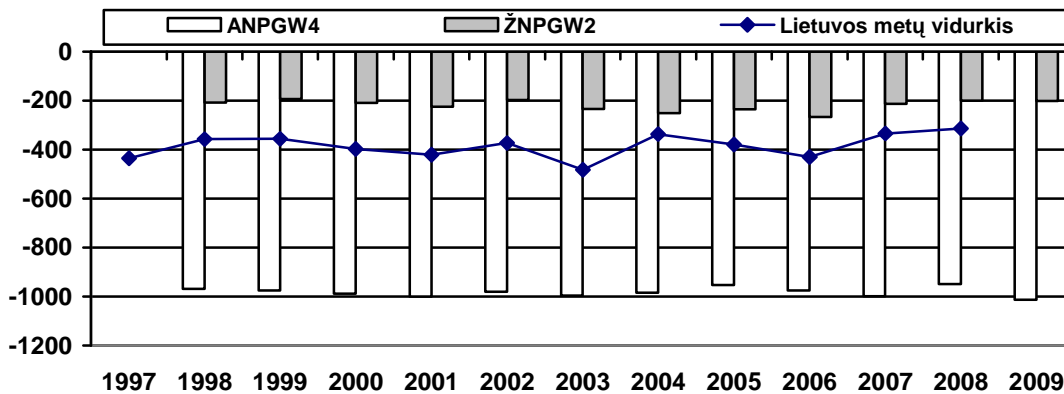
Žemaitijoje 2009 metais kritulių kiekis atitiko klimatinę normą, be to praėjusieji, 2008 ir 2007 m., buvo drėgnesni už normą ir gruntinio vandens lygis giliausiame gręžinyje buvo pakilęs aukščiausiai per stebėjimo laikotarpį, bet visus 2009 metus lygis krito. 1 ir 2 gręžiniuose nuo 1996 metų gruntinio vandens lygio tendencija yra teigiama, 3 gręžinyje, nors ir tendencija neigiama, bet pastaruosius trejus metus lygis artimas vidutiniam (1.10-11 pav.).

Santykinai natūralių ekosistemų gruntinio vandens lygio kitimo tendencijos yra tokios pačios kaip ir visos Lietuvos, gruntinio vandens lygio balansas yra neigiamas, lygio žemėjimas ilgai trunkantis (Aplinkos būklė 2008, 2009).

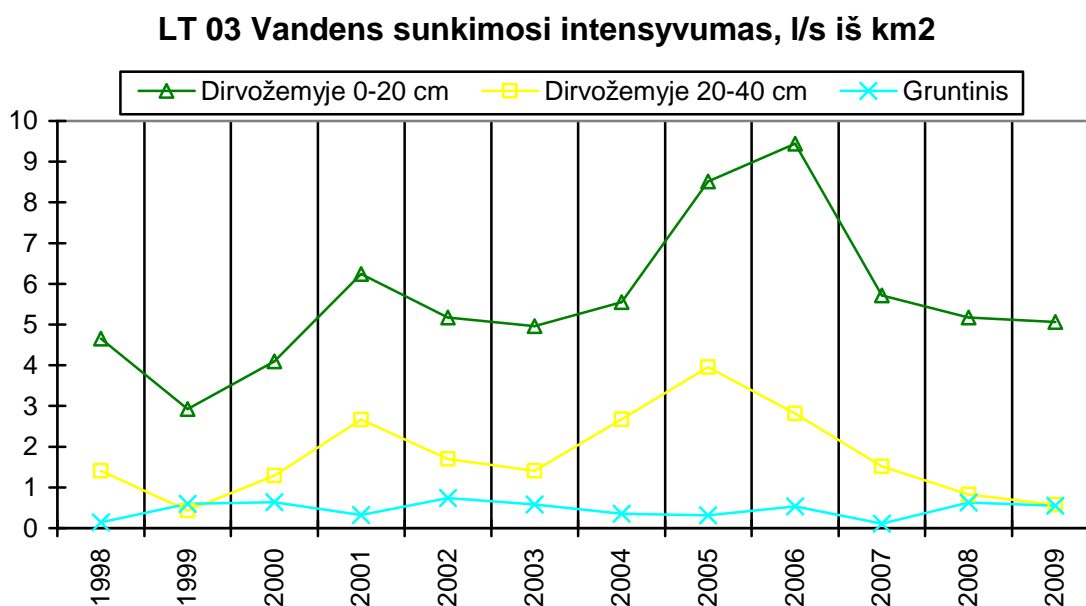
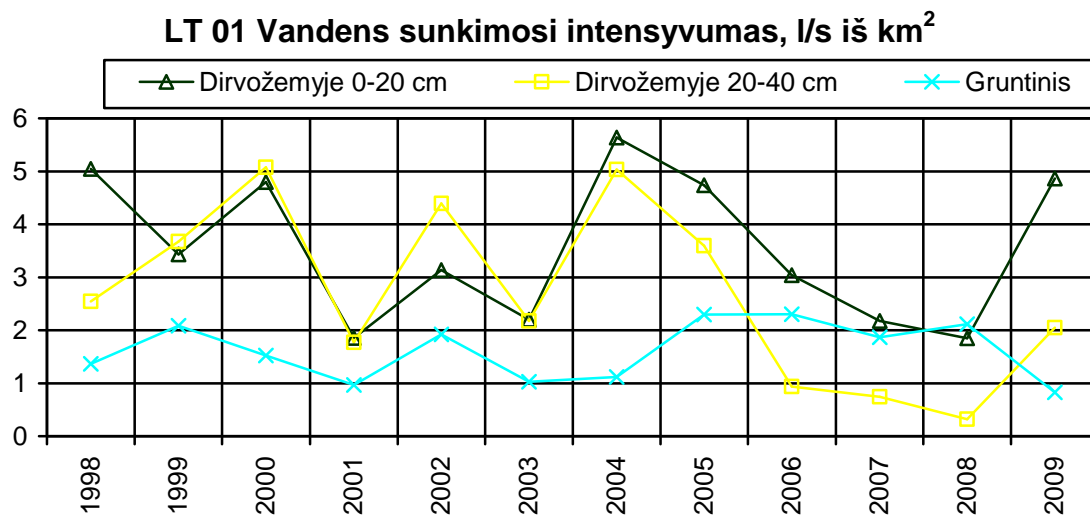


1.11 pav. Gruntinio vandens lygis giliausiuose gręžiniuose.

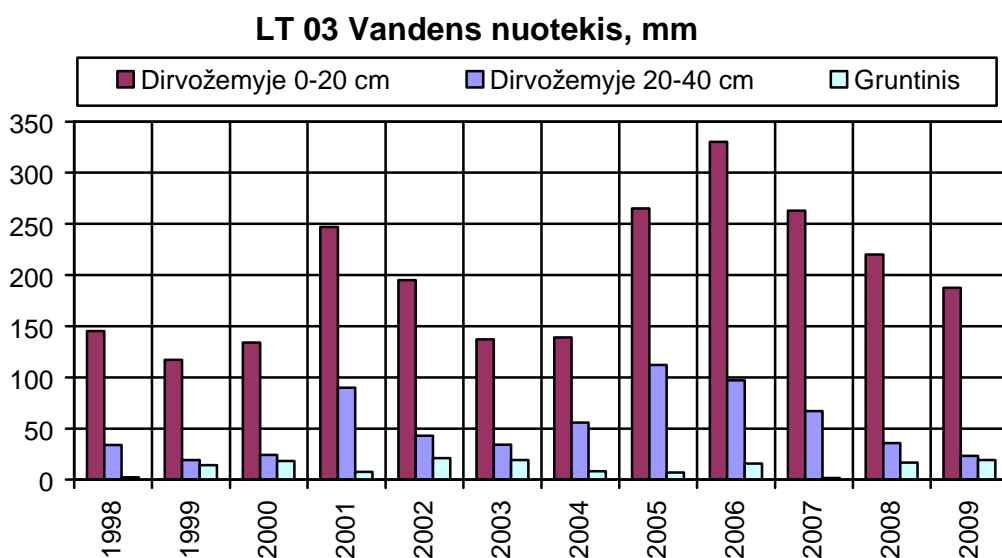
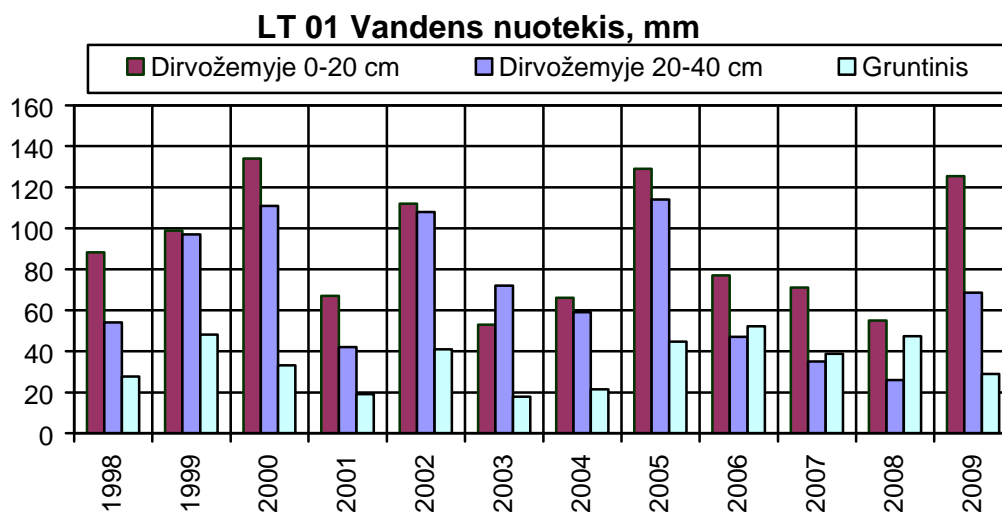
Palyginus vidutinius gruntinio vandens gylių pokyčius monitoringo stotyse su visos Lietuvos, didžiausi koreliacijos koeficientai (0,45-0,46) būdingi ketvirtajam (giliausiajam) Aukštaitijos ir antrajam Žemaitijos stočių gręžiniams, Aukštaitijoje gruntinio vandens lygis pasiekia ekstremumus metais vėliau, negu Žemaitijoje (1.12 pav.). Tai reiškia, kad santykinai natūralių ekosistemų gruntinio vandens sfera atspindi visos Lietuvos tendencijas.



1.12 pav. Gruntinio vandens lygio pokyčių santykinai natūralių ekosistemų gręžiniuose palyginimas su vidutiniu visos Lietuvos (Aplinkos būklė 2008, 2009).



1.13 pav. Gruntinio vandens nuotekio intensyvumas.



1.14 pav. Gruntinio vandens nuotekis.

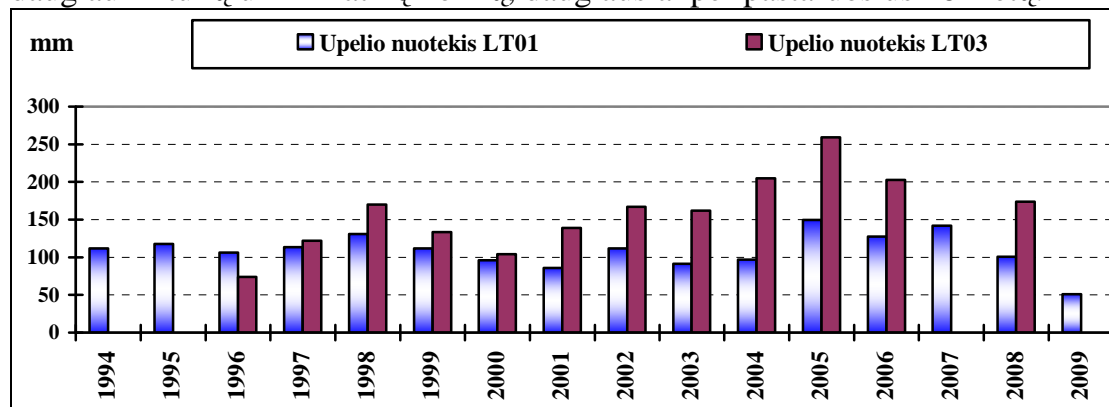
Naudojantis gruntinio vandens nuotekio srautų ir jų intensyvumo charakteristikomis (113.-14 pav.), sudaryta 3 lentelė, kuria naudojantis nustatomos medžiagų koncentracijų ir srautų gruntiniame vandenyje kitimo natūralios priežastys (2.3.2 ir 2.4 skyriai).

3 lentelė. Medžiagų išplovimo gruntiniu vandeniu hidrologinių veiksnių vertinimas (rangavimas).

Metai	Srautas (nuotekis)		Nuotėkio intensyvumas (vidutinis debitas)	
	LT01	LT03	LT01	LT03
1998	9	11	8	2
1999	2	7	4	6
2000	7	4	7	9
2001	11	9	11	4
2002	5	1	5	12
2003	12	2	10	11
2004	10	8	9	5
2005	4	10	2	3
2006	1	6	1	7
2007	6	12	6	1
2008	3	5	3	8
2009	8	3	12	10

1.2.3 Paviršiaus vanduo

2009 m. upelio nuotėkis Aukštaitijos IMS buvo ekstremaliai mažas 55 % mažesnis, už stebėjimų laikotarpio vidurkį ir mažiausias per pastaruosius 16 metų (1.15 pav.). Upelio nuotekis nesusijęs su metų kritulių kiekiu, nes Aukštaitijoje iškrito daugiau kritulių už klimatinę normą, daugiausiai per pastaruosius 16 metų.

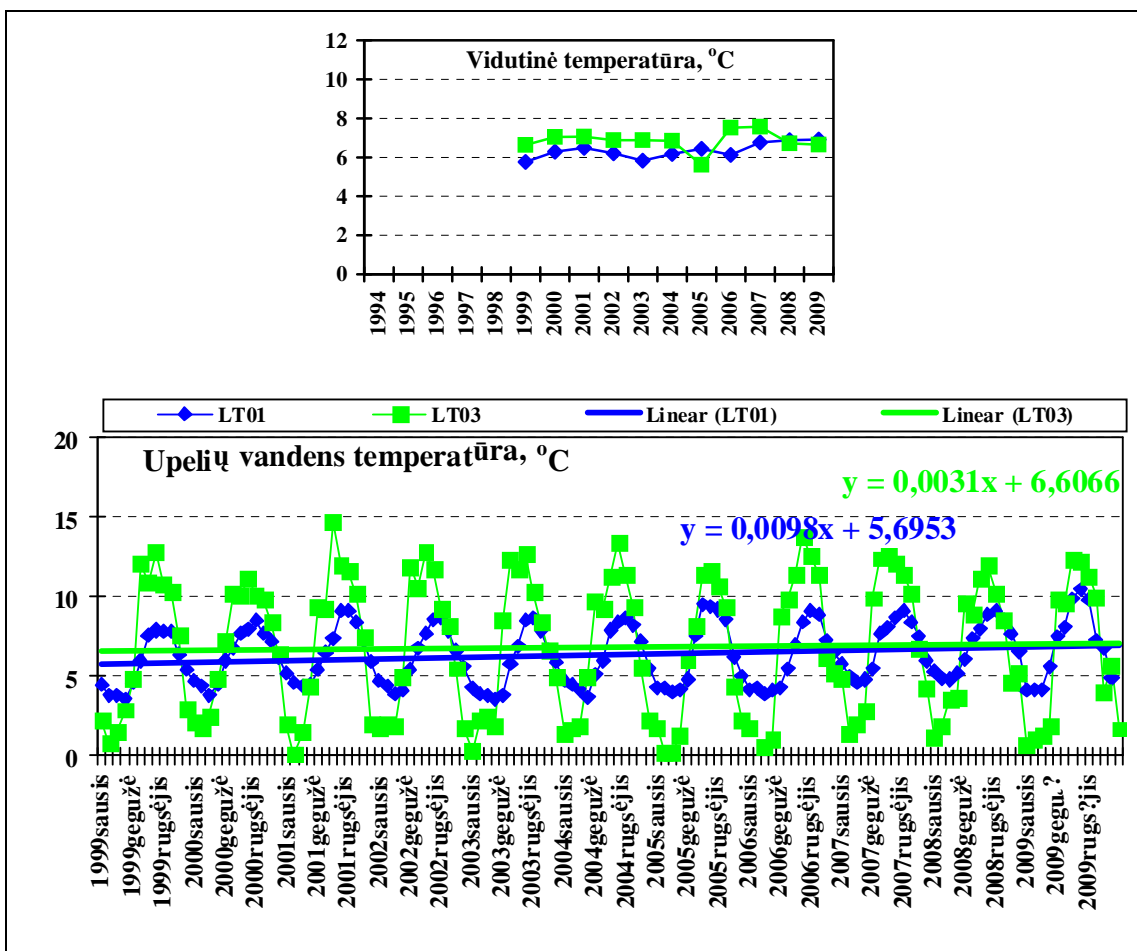


1.15 pav. Upelių nuotėkio modulis. Žemaitijos stotyje nuotekis nebuvo išmatuotas, nes sulūžo įranga.

1999–2009 m. periodo upelio vandens vidutinė temperatūra buvo: Aukštaitijos KMS 6,35 °C, o Žemaitijoje 6,85 °C. 2009 m. upelio vandens vidutinė temperatūra buvo aukštesnė už 1999–2008 m. vidurkį Aukštaitijos IMS 0,6 °C, o Žemaitijos KMS – žemesnė 0,2 °C. Temperatūros kaitos trendas abiejose stotyse yra teigiamas, LT01 temperatūra kyla vidutiniškai 0,12°C per metus, o LT03 – triskart lėčiau, vidutiniškai 0,04°C per metus (1.16 pav.).

Aukštaitijos stotyje 2009 m. rugpjūtį upelio vandens temperatūra buvo didžiausia per visą matavimų periodą, 10,5 °C.

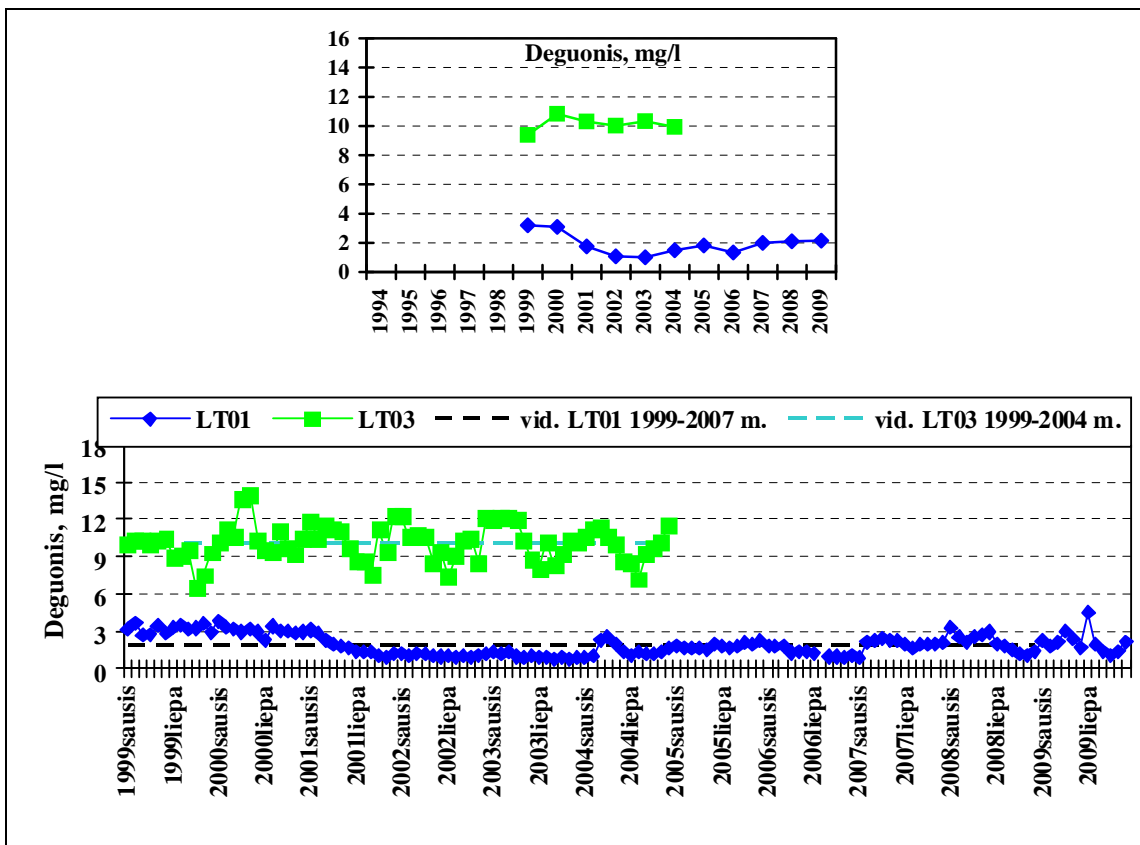
Žemaitijos stotyje 2009 m. upelio vanduo buvo šaltesnis, negu vidutiniškai. 2004–2005 ir 2008–2009 m. metais aukštesnė negu 10 °C vandens temperatūra laikėsi tik 3 mėnesius – tai minimali reikšmė per stebėjimo laikotarpį.



1.16 pav. Upelių vandens temperatūra

Ištirpusio deguonies kiekis Aukštaitijos stoties upelio vandenyje jau trečius metus didesnis už vidutinę reikšmę (1999-2008 m. vidurkis 1,89 mg/l). Mažiausiai deguonies upelio vandenyje buvo 2002–2003 m. (1.17 pav.).

2004–2005 ir 2007–2009 metais ištirpusio deguonies kiekis buvo didesnis dėl upelio temperatūros dydžio ir režimo.

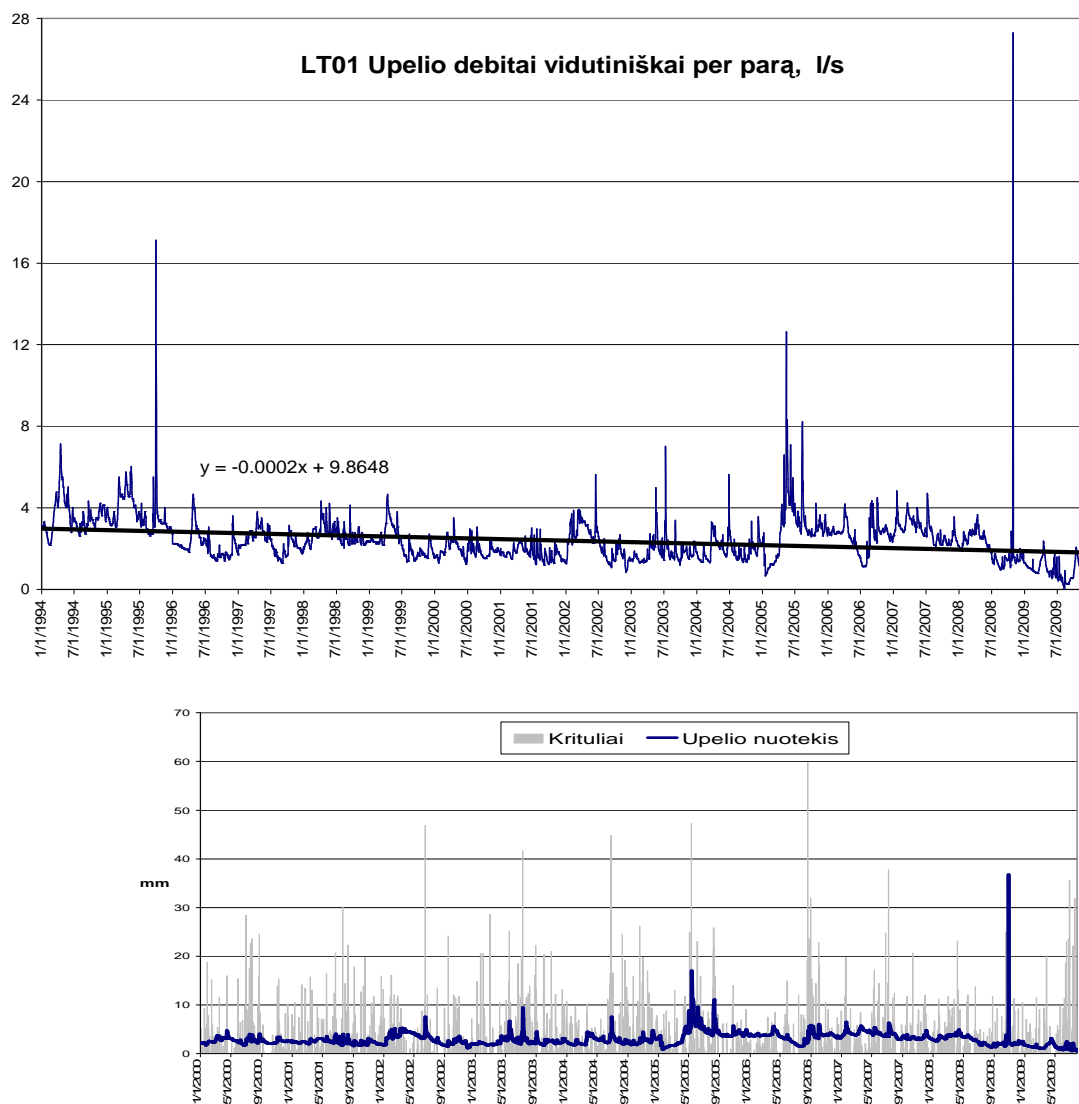


1.17 pav. Upelio vandenyje ištirpęs deguonis (dėl techninių kliūčių LT03 nuo 2005 m. nebematuojamas).

Aukštaitijos KMS 1999–2000 ir 2005–2009 m. mažesnė, negu 5 °C upelio vandens temperatūra (vandens augalų vegetacijos laikotarpis) vidutiniškai laikosi 4–5 mėnesius, o 2001 m. tesilaikė 3 mėnesius, tai sutampa su laikotarpiu, kai deguonies upelio vandenyje sumažėjo, pradžia (1.16, 1.17 pav.). 2007 m. upelio vanduo buvo rekordiškai šiltas, mažesnė, negu 5 °C upelio vandens temperatūra buvo tik 2 mėnesius, tačiau, palyginti su 2001–2005 m. upelio poplūdžių vasarą buvo nedaug, o išaugęs nuotekis nebesudarė sąlygų sumažėti ištirpusio deguonies koncentracijai.

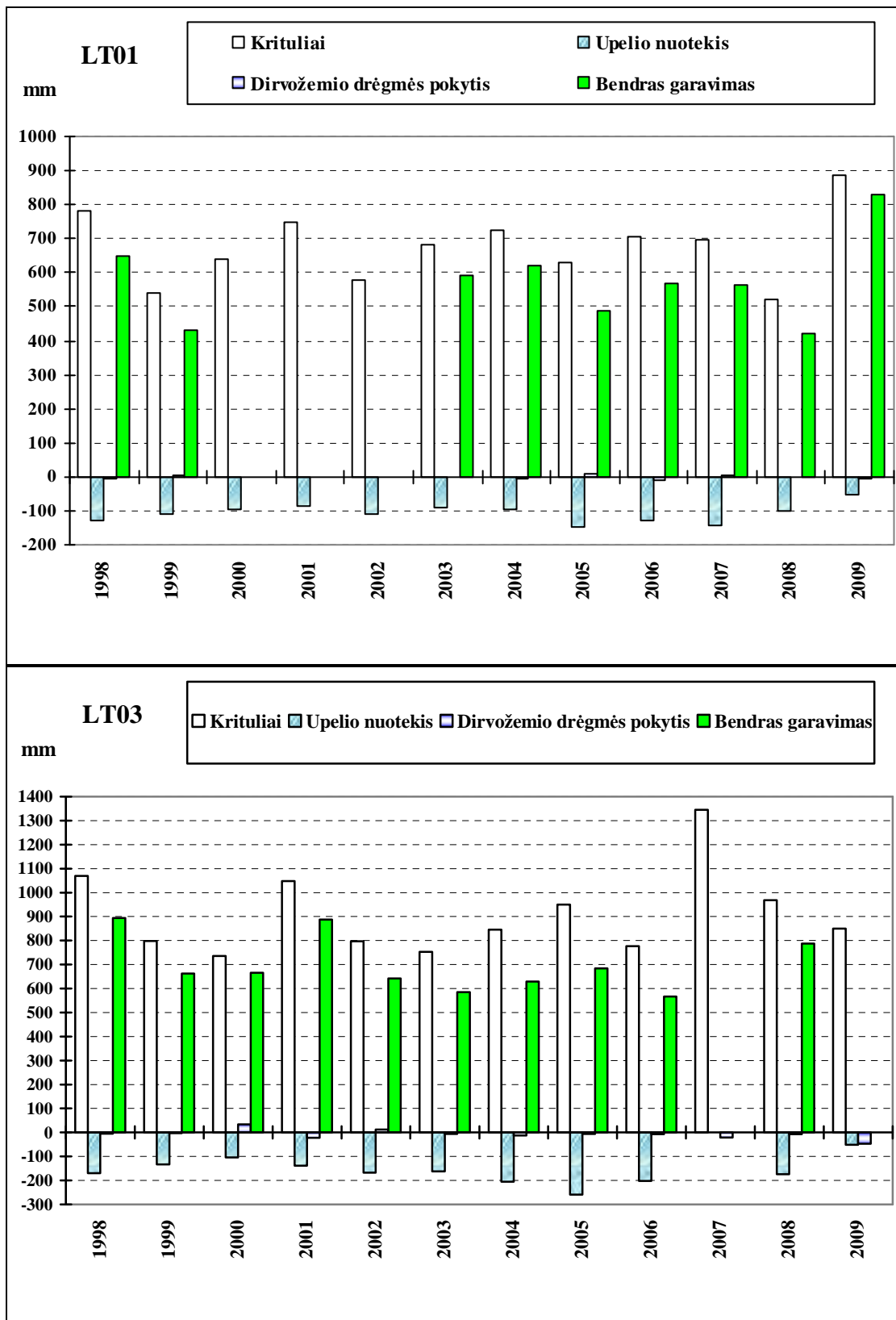
Deguonies koncentracijos svyravimą lėmė nuotekio, kritulių ir temperatūros veiksnių sąveika ir režimas. 2008 m. pradžioje, deguonies koncentracija ir nuotekis laikėsi aukštame lygyje, o temperatūra 2008 m. balandį pakilo virš 5 °C, pirmą kartą per stebėjimo laikotarpį jau balandį susidarė sąlygos vandens augalų vegetacijai. 2008 m. vasaros viduryje ir pabaigoje, buvo mažai kritulių, sumažėjo nuotekis, sumažėjo ir deguonies koncentracija. 2009 metais veiksnių režimai buvo panašūs į 2008 m.: 2009 metų balandį vandens temperatūra pakilo virš 5 °C, bet, nors 2009 vasara buvo gerokai lietingesnė, nuotekis sumažėjo ypač stipriai – stipriausiai per stebėjimų laikotarpį (1.16, 1.17, 1.18 pav.). Išvada: krituliai nėra vienintelis

veiksnyms lemiantis upelio nuotėkį Aukštaitijos KMS upelio mitybai labai svarbus gruntinio vandens režimas.



1.18 pav. Aukštaitijos KMS upelio vandens paros nuotekio kaita 1994-2009 metais ir palyginimas su kritulių intensyvumu, 2000–2006–2009 m.

Turint duomenis apie upelio nuotėkį, dirvožemio drėgmės pokyčius (0-40 cm gylyje) ir kritulius pagal elementarią vandens balanso lygtį (Ruseckas, 2008) apskaičiuotas bendras garavimas (1.19 pav.). Bendro garavimo reikšmės pagal šį skaičiavimą nėra tikslios, nes sudarytos pagal metų sumas ir remiasi keliomis nepatikrintomis prielaidomis: upelių baseinų plotas yra nustatytas pakankamai tiksliai ir jų mityba vyksta tik iš atmosferinių vandens, vandens atsargų pokytis nuo 40 cm gylio iki gruntinio vandens lygio yra lygus nuliui, vandens atsargos šaltuoju laikotarpiu kinta tolygiai. Pagal šį, supaprastintą skaičiavimą bendro garavimo reikšmė sudaro vidutiniškai LT01 83%, o LT03 – 80%, skaičiuojant nuo viso kritulių kiekio.



1.19 pav. Vandens balanso sudedamųjų dinamika.

Ateityje vandens balanso sudedamųjų skaičiavimas galėtų būti tikslinamas, o duomenų eilės nevientisumas pildomas naudojant įvairius modelius, gretimų meteorologinių postų duomenis bei skaičiuojant inertiškų medžiagų balansą.

4 lentelėje upelio upelių vandens fizikiniai duomenys apibendrinti ir naudoti medžiagų koncentracijų ir išplovimo dinamikos interpretacijai. Pavyzdžiui, palankiausi medžiagų išplovimui pagal nuotėkį ir debitą buvo Aukštaitijoje 2005, 2007 m., o Žemaitijoje 2004-2006 m. Aukšta vidutinė temperatūra (žemas rangas) derinyje su maža svyravimo amplitude (aukštas rangas) taip pat sudaro sąlygas didesniai išplovimui. Abiejose stotyse šiluminės sąlygos buvo palankiausios 2007-2008 m. (3 lentelė).

Aukštaitijos KMS 2009 m. medžiagų išplovimui buvo palankūs dėl šiluminių sąlygų, o sąlygos medžiagų išnešimui, kuri lemia nuotekio modulis ir debitas buvo pačios blogiausios per visą stebėjimų laikotarpį.

Žemaitijos KMS 2009 m. šiluminės sąlygos medžiagų išnešimui buvo nepalankios, o apie nuotėkį ir debitą informacijos neturime.

4 lentelė. Medžiagų išplovimo veiksnių upelio vandeniui vertinimas (rangavimas).

Metai	Nuotekis		Vidutinis debitas		Temperatūros vidurkis		Temperatūros amplitudė	
	LT01	LT03	LT01	LT03	LT01	LT03	LT01	LT03
1994	7	N. d.	4	N. d.	N. d.	N. d.	N. d.	N. d.
1995	5	N. d.	3	N. d.	N. d.	N. d.	N. d.	N. d.
1996	10	12	10	12	N. d.	N. d.	N. d.	N. d.
1997	6	10	7	10	N. d.	N. d.	N. d.	N. d.
1998	3	5	6	5	N. d.	N. d.	N. d.	N. d.
1999	9	9	9	9	11	10	10	4
2000	13	11	13	11	6	4	7	11
2001	15	8	15	8	4	3	7	1
2002	8	6	8	6	7	6	6	9
2003	14	7	14	7	10	5	4	3
2004	12	2	12	2	8	7	5	4
2005	1	1	1	1	5	11	2	7
2006	4	3	2	3	9	2	3	2
2007	2	N. d.	5	N. d.	3	1	9	8
2008	11	4	11	4	2	8	10	10
2009	16	N. d.	16	N. d.	1	9	1	6

IŠVADOS

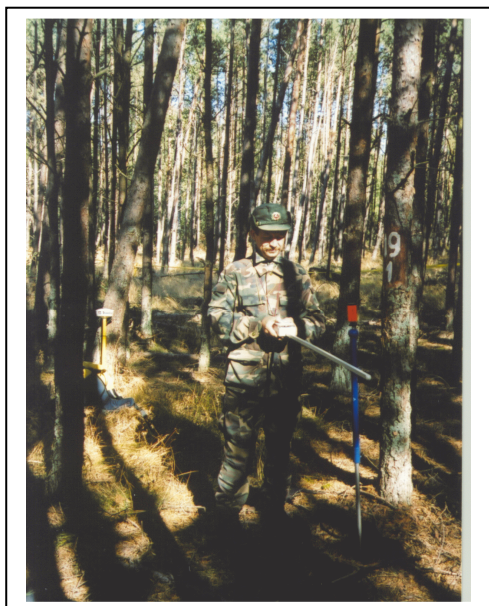
1. 2009 m. Aukštaitijoje iškrito daugiausiai kritulių per visą stebėjimų laikotarpį, Žemaitijos stebėjimų stotyje – vidutinis kritulių kiekis. Stebėsenos laikotarpis (1994–2009) monitoringo stotyse, palyginti su 1985–1990 metų laikotarpiu, yra sausesnis, vidutinis kritulių kiekis artimas klimatinei normai (1961–1990). Pastebima tendencija, kad sausros, palyginti su stebėjimo laikotarpio pradžia, yra mažesnės.
2. Aukštaitijos stotyje 2009 metais vidutinė dirvožemio temperatūra buvo 6,96°C, t.y., 0,8°C mažesnė už stebėjimo laikotarpio vidurkį. Temperatūros kitimo tendencija per 11 stebėjimo metų yra nereikšminga. Pagal įšalo gylį ir trukmę 2008–2009 metų žiema buvo vidutinė.
3. Vandens atsargos dirvožemyje Aukštaitijoje mažėja nuo 2003 m., o Žemaitijoje didėjo (nuo 1999 m.) 2009 m. dirvožemio srauto tūris Aukštaitijoje buvo trečias pagal dydį, o intensyvumas – vidutinis. Žemaitijoje dirvožemio vandens srautas buvo vidutinis, o intensyvumas vienas iš mažesnių.
4. Aukštaitijoje 2009 m. gruntinio vandens srautas ir debitas mažas (dėl 2008 m. kritulių deficito), o Žemaitijoje 2008–2009 m. nežymus.
5. Aukštaitijos KMS 2009 m. medžiagų išplovimui upeliu buvo palankūs dėl šiluminių sąlygų, o sąlygos medžiagų išnešimui, kurį lemia nuotekio modulis ir debitas buvo pačios blogiausios per visą stebėjimų laikotarpį. Žemaitijos KMS 2009 m. šiluminės sąlygos medžiagų išnešimui buvo nepalankios, o apie nuotėkį ir debitą informacijos neturime, nes neveikė upelio limnografas.

1.3. Fotosintetiškai aktyvios saulės spinduliuotės tyrimai KMS teritorijose

FAR matavimas yra sumedėjusios augalijos produktyvumo ir jos funkcijų interpretavimo pagrindas. Pagal sugertą FAR kiekį po augalijos dangą nustatomas lapijos paviršiaus ploto indeksas – augalijos dangos būklės indikatorius. Šį rodiklį papildžius medžių dendrometrinėmis charakteristikomis, kurios yra nustatomos vykdant biomasės ir bioelementų paprogramę bei medžių būklės duomenimis, kurie yra gaunami vykdant miško pažeidimų paprogramę atsiranda galimybė nustatyti medžių augimo efektyvumą – kaip viena pagrindinių miškų kokybinių parametru.

Fotosintetiškai aktyvi saulės spinduliuotė – tai saulės spinduliuotės dalis, kurių bangų ilgis kinta nuo 300 iki 750 nm ir atitinkamomis sąlygomis sukelti augalų fotosintezę. Tačiau dažniausiai tiriant FAS po augalijos dangą kalbama apie saulės spinduliuotės spektrinę dalį nuo 400 iki 700 nm. Tai vienas pagrindinių ekologinių veiksnių nulemiančių produkcinio proceso vyksmą ir bioklimatinių sąlygų formavimąsi miškų ekosistemose. Iš kitos pusės šviesos FAS intensyvumą po medyno dangą lemia medyno fitoelementų, kurių didžiąją dalį sudaro asimiliaciniai organai, kiekis ir erdvinis pasiskirstymas. Tokiu būdu FAS medyne tam tikru laipsniu atspindi ne tik medyno biomasę, jo produktyvumą, bet ir būklę (Stakėnas, 2003). Todėl FAS tyrimai Kompleksiško monitoringo stotyse, kuriuose pagrindiniu mokslinių tyrimų tikslu reikėtų laikyti pagrindinių bioelementų balanso tyrimus, turėtų tapti perspektyvia ateities tyrimų kryptimi.

Pagrindinis darbo tikslas – nustatyti medynų sugertos FAS dalį ir pagal ją įvertinti augalų lapijos paviršiaus ploto indeksą. Gautus duomenis naudoti medynų biomasės bei būklės tyrimuose.



Darbo metodika

FAS matavimai atlikti JAV gamybos septometro (SUNFLECK PAR Septometer) SF-80 modeliu. Šio prietaiso 80 tarpusavyje nepriklausomų daviklių išdėstyta 1 m ilgio specialioje liniuotėje, kiekvieno matavimo metu duoda vidutinę 80 taškų FAS reikšmę, išreikštą μmol į kvadratinį metrą per sekundę ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$).

Kiekviename tyrimo plotelyje FAS buvo matuota 7 taškuose, centre bei 7 m atstumu nuo centro kas 60° pradėdant nuo Šiaurės krypties.

Taip pat šiuo prietaisu kiekvieną kartą prieš pradėdant matavimus tyrimo plotelyje buvo matuojamas atviros vietos FAS bei aukštimačių nustatomas saulės aukštis (kampas) bei pažymimas tikslus laikas.

Lapijos paviršiaus ploto indeksas paskaičiuotas pagal šią formulę (Norman, Jarvis, 1974):

$$L = \frac{\left[\left(1 - \frac{1}{2k} \right) fb - 1 \right] \ln \tau}{A(1 - 0,47 fb)},$$

Čia: k – medyno ekstinkcijos koeficientas;
 Fb – tiesioginių saulės spindulių dalis bendrame FAR sraute;
 A – lapijos absorbcijos koeficientas;
 τ – FAR praleidimo po lajomis koeficientas.

Ekstinkcijos koeficientas skaičiuojamas pagal šią formulę (Campbell, 1986):

$$k = \frac{1}{2 \cos \theta}$$

Čia: θ - saulės zenito kampas ir kuris nustatomas taip: θ = 90 - α, kur α - saulės aukštis (kampas);

Koeficientas A, remiantis literatūros duomenimis prilygintas 0,86.

Darbo rezultatai

1.3.1. Aukštaitijos KMS teritorija

2008 m. fotosintetiškai aktyvios saulės spinduliuotės matavimai atlikti 46 Aukštaitijos KMS tyrimo ploteliuose. Likusiuose 4-se ploteliuose, dėl suardytos medyno struktūros vykdyti šiuo laikotarpiu FAS matavimus netikslinga, kadangi didelę įtaką gautiems rezultatams turėtų kylantis pomiškis, kuris dar neįtrauktas į medžių apskaitos sąrašus. Tyrimų metu nustatytos šios originalios FAS reikšmės: minimali reikšmė, maksimali, 7 reikšmių vidurkis bei standartinis nukrypimas. Antrą grupę parametų sudarė taip vadinami koeficientai, kurie išreiškė medyno glaudumą (atviros vietos FAS reikšmės santykis su FAS reikšme po medyno danga), struktūrą (FAS po medyno danga maksimalios ir minimalios reikšmės santykis), FAS praleidimo po lajomis koeficientas bei lapijos paviršiaus indeksas (LAI). Gauti rezultatai pateikti 6.1 lentelėje.

6.1 lentelė. FAR pagrindinių komponentų reikšmės Aukštaitijos KMS 2009m.

Plotelio numeris	FAR reikšmės, ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$)				FAR koeficientai				
	Vid	Max	Min	St.nuokr.	Glaudumas	Struktūra	FAR_kof	k	LAI
A_01	93	123	57	25,3	2,2	2,2	0,463	0,658	1,217
A_02	387	953	113	331,9	1,6	8,4	0,645	0,622	0,728
A_03	31	54	23	11,4	3,2	2,3	0,313	0,660	1,830
A_04	41	55	23	10,4	3,7	2,4	0,273	0,662	2,038
A_05	246	723	23	243,7	5,6	31,4	0,179	0,663	2,701
A_06	88	112	63	18,2	2,3	1,8	0,439	0,661	1,297
A_07	55	91	31	25,5	3,6	2,9	0,276	0,662	2,019
A_08	212	577	45	184,6	4,6	12,8	0,218	0,640	2,467
A_09	41	84	17	22,6	23,9	4,9	0,042	0,636	5,169
A_10	72	267	14	96,0	13,5	19,1	0,074	0,633	4,258
A_11	114	391	43	128,5	12,1	9,1	0,083	0,665	3,904
A_12	118	371	35	115,3	8,4	10,6	0,118	0,656	3,380
A_13	323	557	53	188,7	3,7	10,5	0,269	0,659	2,072
A_14	134	527	32	176,0	8,9	16,5	0,112	0,661	3,447
A_15	43	65	13	17,8	4,7	5,0	0,214	0,659	2,437
A_16	60	94	14	32,0	3,3	6,7	0,302	0,665	1,874
A_17	54	91	42	17,1	3,7	2,2	0,271	0,669	2,035
A_18	24	39	13	9,0	6,4	3,0	0,157	0,674	2,864
A_19	27	147	3	53,2	36,5	49,0	0,027	0,629	5,909
A_21	64	111	25	34,5	2,3	4,4	0,426	0,640	1,383
A_22	19	31	5	9,8	15,6	6,2	0,064	0,637	4,460
A_23	56	79	42	11,2	17,9	1,9	0,056	0,663	4,523
A_24	42	57	33	9,0	4,8	1,7	0,209	0,644	2,517
A_25	200	593	65	184,4	5,5	9,1	0,182	0,666	2,664
A_26	250	555	55	219,6	5,2	10,1	0,192	0,667	2,574
A_27	118	353	33	111,2	10,1	10,7	0,099	0,674	3,581
A_28	229	493	75	164,6	5,7	6,6	0,176	0,674	2,686
A_29	48	123	15	43,9	26,8	8,2	0,037	0,674	5,092
A_30	46	103	17	29,0	21,9	6,1	0,046	0,630	5,061
A_31	40	92	5	30,6	24,9	18,4	0,040	0,634	5,249
A_32	36	53	23	9,5	5,6	2,3	0,179	0,674	2,658
A_33	74	101	51	21,9	4,0	2,0	0,247	0,641	2,259
A_34									
A_35									
A_36	267	715	25	292,5	4,5	28,6	0,223	0,674	2,321
A_37	279	914	41	370,4	4,3	22,3	0,233	0,674	2,254
A_38	17	37	5	10,3	11,7	7,4	0,086	0,626	4,055
A_39	6	13	1	4,1	35,0	13,0	0,029	0,604	6,054
A_40	156	375	53	105,5	1,9	7,1	0,519		
A_41	64	112	33	30,5	4,7	3,4	0,212	0,638	2,517
A_42	68	104	37	24,5	2,9	2,8	0,341	0,626	1,773
A_43	171	537	22	198,4	5,8	24,4	0,171	0,606	2,996
A_44	105	143	63	27,8	1,9	2,3	0,527	0,601	1,095
A_45	70	125	34	35,4	4,3	3,7	0,233	0,597	2,505
A_46	158	723	32	250,2	6,3	22,6	0,158	0,674	2,855
A_47									
A_48	56	63	47	6,6	4,5	1,3	0,224	0,634	2,441
A_49	70	97	51	19,0	3,6	1,9	0,279	0,631	2,093
A_50	38	54	13	16,0	19,7	4,2	0,051	0,669	4,640
Vidut.	107	263	34	86,5	9,0	9,4	0,21	0,65	2,98

6.2 lentelė. FAR pagrindinių komponentų reikšmės Žemaitijos KMS 2008m.

Plotelio numeris	FAR reikšmės, ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$)				FAR koeficientai				
	Vid	Max	Min	St.nuokr.	Glaudumas	Struktūra	FAR_kof	k	LAI
Ž_02	232,3	799	57	267,8	4,3	14,0	0,23	0,565	2,64
Ž_03	21,9	34	13	7,8	52,5	2,6	0,02	0,561	7,20
Ž_04	21,0	57	3	18,7	45,6	19,0	0,02	0,607	6,48
Ž_05	49,4	65	33	10,4	5,1	2,0	0,20	0,604	2,76
Ž_06	115,6	207	35	74,4	9,1	5,9	0,11	0,600	3,78
Ž_07	173,1	453	55	134,7	2,9	8,2	0,35	0,585	1,86
Ž_08	103,4	204	17	75,3	11,2	12,0	0,09	0,626	3,99
Ž_09	23,9	44	5	15,1	41,9	8,8	0,02	0,614	6,27
Ž_10									
Ž_11	18,0	27	12	5,4	33,3	2,3	0,03	0,526	6,75
Ž_12	74,7	127	45	28,0	2,9	2,8	0,34	0,623	1,79
Ž_13	36,7	47	33	4,8	5,4	1,4	0,18	0,597	2,92
Ž_14	105,6	175	53	36,3	2,1	3,3	0,48	0,593	1,27
Ž_15	123,9	354	25	137,3	8,9	14,2	0,11	0,631	3,58
Ž_16	33,9	113	12	37,0	17,7	9,4	0,06	0,514	5,65
Ž_17	15,7	19	12	2,8	38,2	1,6	0,03	0,513	7,17
Ž_18	10,7	17	5	4,9	14,0	3,4	0,07	0,510	5,23
Ž_19	13,1	17	3	5,1	11,4	5,7	0,09	0,509	4,83
Ž_20	72,3	91	55	11,6	3,0	1,7	0,33	0,627	1,83
Ž_21									
Ž_22									
Ž_23	35,4	69	3	21,8	33,9	23,0	0,03	0,655	5,59
Ž_24	11,4	43	1	14,7	35,0	43,0	0,03	0,512	7,02
Ž_25	32,0	47	17	12,4	7,8	2,8	0,13	0,511	4,07
Ž_26	53,0	93	33	22,6	2,8	2,8	0,35	0,660	1,64
Ž_27	145,7	273	5	82,5	3,5	54,6	0,29	0,500	2,50
Ž_28	116,1	199	51	47,2	4,3	3,9	0,23	0,638	2,38
Ž_29									
Ž_30	286,6	1271	42	441,5	4,4	30,3	0,23	0,500	3,00
Ž_31	119,7	301	51	86,7	12,5	5,9	0,08	0,662	3,97
Ž_32									
Ž_34	38,1	99	3	30,0	2,9	33,0	0,35	0,667	1,65
Ž_35	128,6	177	93	31,2	2,3	1,9	0,43	0,668	1,32
Ž_36	32,1	52	12	15,1	7,0	4,3	0,14	0,671	3,02
Ž_37	253,3	997	33	340,5	4,7	30,2	0,21	0,671	2,42
Vidut.	83,2	216	27	67,4	14,4	11,8	0,18	0,591	3,82

1.3.2. Žemaitijos KMS teritorija

Fotosintetiškai aktyvios saulės spinduliuotės matavimai atlikti 32 Aukštaitijos KMS tyrimo ploteliuose. Likusiuose 3-se ploteliuose, dėl suardytos medyno struktūros vykdyti šiuo laikotarpiu FAS matavimus netikslinga. FAS praleidimo po lajomis koeficientas bei lapijos paviršiaus indeksas (LAI) pateikti 4.2 lentelėje.

Ankstesnių tyrimų rezultatai parodė, kad tarp lapijos paviršiaus ploto indekso ir medyno produktyvumo bei būklės parametrų ryšys daugelyje atveju yra patikimas, tačiau nežymiai silpnesnis už ryšį tarp originalių FAS išmatuotų reikšmių ir tokių medyno parametrų, kaip medžių skaičius ir skerspločių suma. Patikimi ryšiai nustatyti tarp gyvų medžių skaičiaus, lapijos masės bei medyno biomasės ir FAS parametrų. Lapijos

paviršiaus ploto indeksui didėjant bei FAS po medyno dangą mažėjant, medžių bei lapijos biomasė kartu su medyno lajų glaudumu bei medžių skerspločių suma didėja.

2008 m. Aukštaitijos KMS baseine, skirtingai nei ankstesniais metais, vėl padidėjo medžių glaudumas bei LAI, kas rodo apie bendros lapijos masės padidėjimą. Žemaitijos KMS baseine tirti rodikliai padidėjo žymiai reikšmingiau negu Aukštaitijos KMS ir LAI pirmą kartą viršijo Aukštaitijos KMS medynų LAI.

2009 m. Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS baseinuose augančių medžių lapijos indeksas, nustatytas pagal sugertos FAR spinduliuotės kiekį, mažėjo. Palyginus Gautus indeksus tarp stočių, nustatyta, kad Žemaitijos KMS baseine augančių medžių lapijos indeksas didesnis negu Aukštaitijos KMS, ką patvirtina ir medžių lajų defoliacijos duomenys. Paskutiniaisiais metais, kada lapijos indeksas Žemaitijos KMS pradėjo viršyti lapijos indeksą medžių augančių Aukštaitijos KMS, jų lajų būklė taip pat tapo geresnė. Todėl būtų galima teigti, kad FAR matavimai atspindi tirtų miškų būklę ir produktyvumą.

6.3 lentelė. FAR pagrindinių komponentų reikšmių palyginimas.

Metai	KMS	Vid	Max	Min	Std dev.	Glaudumas	Struktūra	FAR_kof	LAI
2003	LT-01	65	159	15	55	35,9	19,9	0,06	3,72
2004	LT-01	56	105	24	30	6,3	5,5	0,24	1,88
2005	LT-01	90	220	27	71	15,8	12,4	0,16	3,43
2006	LT-01	105	253	29	84	18,2	13,8	0,11	4,22
2007	LT-01	76	136	39	36	7,1	3,9	0,20	2,20
2008	LT-01	111	287	26	99	12,7	13,2	0,14	3,59
2009	LT-01	107	263	34	86,5	9,0	9,4	0,21	2,98
2002	LT-03	169,3	346	58	108	11,3	9,3	0,17	2,49
2004	LT-03	76,0	125	44	29	4,4	4,8	0,29	1,58
2005	LT-03	121,7	291	45	91,0	8,3	11,3	0,25	2,89
2006	LT-03	95,2	150	54	34,5	5,5	3,4	0,27	2,62
2007	LT-03	105,6	205	51	56,1	6,7	4,4	0,25	2,19
2008	LT-03	142,7	393	27	140,1	21,6	17,1	0,13	4,45
2009	LT-03	83,2	216	27	67,4	14,4	11,8	0,18	3,82

IŠVADA

2009 m. Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS baseinuose augančių medžių lapijos indeksas, nustatytas pagal sugertos FAR spinduliuotės kiekį, mažėjo. Palyginus Gautus indeksus tarp stočių, nustatyta, kad Žemaitijos KMS baseine augančių medžių lapijos indeksas didesnis negu Aukštaitijos KMS, ką patvirtina ir medžių lajų defoliacijos duomenys. Paskutiniaisiais metais, kada lapijos indeksas Žemaitijos KMS pradėjo viršyti lapijos indeksą medžių augančių Aukštaitijos KMS, jų lajų būklė taip pat tapo geresnė. Todėl būtų galima teigti, kad FAR matavimai atspindi tirtų miškų būklę ir produktyvumą.

1.4 Pažemio ozono koncentracijų tyrimai

Ozonas yra stiprus fotocheminis oksidantas, 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. Šiandien ozono koncentracija oro masėse virš jūros, kurios pasiekia Europą iš vakarų, yra 60-70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Fotocheminiai vyksmai virš vakarų ir centrinės Europos padidina šį lygį 30-40% vasarą ir sumažina apie 10% žiemos metu. Europoje labai didelės - virš 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - ozono koncentracijos pastebimos fotocheminių epizodų metu. Per paskutiniuosius 20 praėjusio šimtmečio metus ozono koncentracija didėjo Šiaurės pusrutulio vidutinių platumų troposferoje 1-3 % per metus. Tačiau po 2000 metų situacija daugelyje Europos šalių pasikeitė, vidutinė metinė ozono koncentracija nustojo didėjusi arba net pradėjo mažėti [1]. Pastebimai sumažėjo didžiausios ozono koncentracijos dydis, tačiau padidėjo mažesnių koncentracijų lygis, t.y., sumažėjo ozono sezoninė amplitudė. Tai yra siejama su pagrindinių ozono pirmtakų emisijos sumažėjimu daugelyje Vakarų Europos šalių.

Ozonas troposferoje yra taip pat labai svarbus daugelyje atmosferos vyksmų: oksidacijoje, aplinkos rūgštėjime, "šiltnamio" efekte, aerozolio susidaryme ir panašiai. Ozonas yra natūraliai egzistuojanti atmosferos priemaiša ir turi du pagrindinius šaltinius. Pirmasis yra natūralus - stratosfera, kurio indėlis į ozono kiekį troposferoje metai iš metų mažai kinta ir yra glaudžiai susijęs su atmosferos dinamika. Ozono srautas iš stratosferos į troposferą yra apie 10^{10} - 10^{11} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Antrasis antropogeninis fotocheminis šaltinis yra pačioje troposferoje, kuris labai kinta priklausomai nuo ozono pirmtakų (pagrindiniai yra lakūs organiniai junginiai ir azoto oksidai) koncentracijos lygio, saulės ultravioletinės spinduliuotės intensyvumo, sinoptinės situacijos, oro masių pernašos bei vietinių meteorologinių sąlygų. Todėl bendra ozono koncentracija atmosferos pažemio sluoksnyje metai iš metų labai kinta. Fotocheminis ozono susidarymas troposferoje tampa didele problema, kadangi jis gali padidinti ozono koncentraciją keletą kartų. Tokiu būdu ozono lygis gali pasiekti jau pavojingą ribą. Didelė ozono koncentracija atmosferoje ardo daugelį medžiagų bei yra žalinga augmenijai, gyvūnų ir žmogaus sveikatai. 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. Jeigu daugumos atmosferos teršalų fiksuojama paros vidutinė koncentracija, tai ozono koncentracija matuojama nenutrūkstamai, vėliau ją vidurkinant pagal reikalavimus, pvz., 30 minučių ar vienos valandos vidurkis ir panašiai.

Šiuo metu ozono koncentracijos aplinkos ore normas Lietuvoje reglamentuoja Europos parlamento ir Tarybos direktyvos 2002/3/EB [2], dar žinoma kaip trečioji Tarybos direktyvos 96/62/EB [3] dėl aplinkos oro kokybės vertinimo ir valdymo dukterinė direktyva, ir 2001/81/EB [4] dėl tam tikrų į atmosferą išmetamų teršalų nacionalinių limitų bei Lietuvos Respublikos aplinkos ministro ir sveikatos apsaugos ministro 2002 10 17 įsakymas Nr. 544/508 [5] ir Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2003 09 25 įsakymas Nr 468 [6].

2002/3/EB direktyvos tikslas:

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

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

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

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

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

Direktyvoje nurodytos siektinos ozono koncentracijos ir AOT40 vertės aplinkos ore 2010 metams (1.7 lentelė) bei ilgalaikiai tikslai (2 lentelė). Ilgalaikiai tikslai turi būti keičiami, atskaitos tašku imant 2020 m. bei atsižvelgiant į pažangą, padarytą siekiant sumažinti nacionalinius išmetamųjų teršalų kiekius. AOT 40 (išreikštas $\mu\text{g}/\text{m}^3$) x valandų) yra skirtumo tarp valandinių koncentracijų, didesnių už $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (= 40 dalių vienam milijardui) ir $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ suma per nustatytą laikotarpį, naudojant tik vienos valandos vertes, matuotas nuo 8:00 iki 20:00 val. Vidurio Europos laiku kiekvieną dieną.

1.7 lentelė. Siektinos vertės

	Parametrai	2010 m. siektina vertė
1. Siektina vertė nustatyta žmonių sveikatos apsaugai	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
2. Siektina vertė nustatyta augmenijos apsaugai	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

1.8 lentelė. Ozono ilgalaikiai tikslai

	Parametrai	Ilgalaikius tikslus atitinkanti vertė
1. Ilgalaikiai tikslai nustatyti žmonių sveikatos apsaugai	Didžiausias paros 8 valandų vidurkis per kalendorinius metus	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2. Ilgalaikiai tikslai nustatyti augmenijos apsaugai	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 (1.9 lentelė).

1.9 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

Remiantis 2001/81/EB Direktyva bei LR Aplinkos ministro įsakymu Nr. 468, yra nustatytas pažemio ozono kritinis lygis žmonių sveikatai. Šis lygis nusakomas indikatoriumi AOT 60, 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. Pagal tarpinius aplinkosaugos tikslus apibrėžtus šioje Direktyvoje pažemio ozono apkrova, didesnė negu žmonių sveikatai nustatytas kritinis lygis (AOT 60 = 0), 2010 metais palyginti su 1990, turi būti sumažinta dviem trečdaliais. Be to, pažemio ozono apkrova bet kuriame $150 \text{ km} \times 150 \text{ km}$ plote neturi viršyti absoliučios $5800 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ (2,9 ppm x h) ribos. Pagal tuos pačius dokumentus pažemio ozono apkrova, didesnė negu pasėliams ir natūraliai augančiai augmenijai nustatytas (1.8 lentelė) kritinis lygis AOT 40 = $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ (3 ppm x h), 2010 metais palyginti su 1990, turi būti sumažintas taip pat dviem trečdaliais. Be to, pažemio ozono apkrova bet kuriame $150 \text{ km} \times 150 \text{ km}$ plote neturi viršyti absoliučios $20000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ (10 ppm x h) ribos.

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

Pagrindinis darbo tikslas – atmosferos pažemio sluoksnyje ozono koncentracijos matavimo pagal EMEP programą ir ES direktyvų 96/62/EB ir 2002/3/EB reikalavimus duomenų, gautų Preilos foninio monitoringo stotyse, įvertinimas, jų apdorojimas ir analizė, didžiausių ozono koncentracijų atsikartojimo dažnio, šaltinio ir galimo ozono poveikio Lietuvos ekosistemoms įvertinimas. Indikatorių AOT40 ir AOT60 verčių apskaičiavimas ir įvertinimas.

Įsigaliojančioje naujoje Europos Parlamento ir Tarybos direktyvoje 2008/50/EB dėl aplinkos oro kokybės ir švaresnio oro Europoje esminių pakitimų ozono klausimais nėra, išlieka tie patys reikalavimai [7].

METODIKA

Ozono koncentracija atmosferos pažemio sluoksnyje Lietuvoje pagal EMEP (Oro taršos tolimųjų pernašų Europoje monitoringo ir įvertinimo kooperatyvinė programa) programos reikalavimus [8] matuojama Preilos foninėje stotyje LT15 Neringos nacionaliniame parke. Ozono koncentracija matuojama nenutrūkstamai. Matavimams naudojami komerciniai UV absorbcijos ozono analizatoriai.

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

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

čia

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

a = absorbcijos koeficientas,

l = optinio kelio ilgis, cm

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

P = pavyzdžio slėgis, tor

L = ozono nuostoliai prietaise.

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

AOT40 reikšmės apskaičiuojamos pagal formulę:

(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 nustatytą 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) internetiniuose puslapiuose.

REZULTATAI

1.4.1 Preilos EMEP stoties teritorijoje

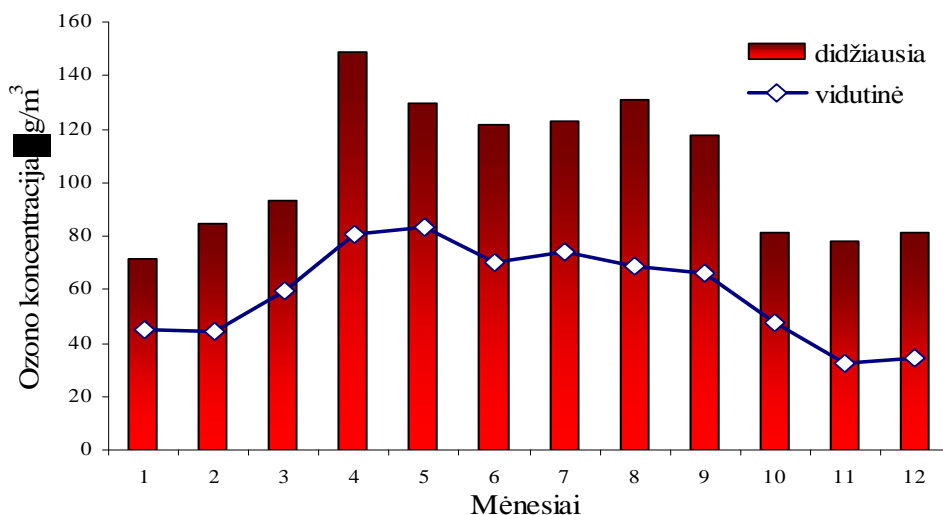
Lietuvoje šiuo metu yra viena monitoringo stotis, kuri veikia pagal EMEP programos reikalavimus – tai Preilos foninio monitoringo stotis. Ozono koncentracija stotyje buvo matuota nenutrūkstamai. Vienok, dėl įvairių priežasčių, pavyzdžiui, elektros energijos sutrikimai, aparatūros gedimai ir kt., dalies duomenų nėra. 4 lentelėje pateikiamas gautų patikimų ozono valandinių duomenų kiekio 2009 metais monitoringo stotyje įvertinimas.

Vienas iš pagrindinių monitoringo reikalavimų yra duomenų patikimumas bei jų visuma. Pagal galiojantį Aplinkos ministro 2002-10-17 įsakymą Nr.544/508 "Dėl ozono aplinkos normų ir vertinimo taisyklių nustatymo" bei naujos ES direktyvos 2002/3/EC, kuri įsigaliojo nuo 2003 m. rugsėjo 9 dienos, buvo sugriežtinti reikalavimai duomenų pilnumui ir patikimumui. Ozono koncentracijos matavimai turi būti nenutrūkstami, minimalus ozono duomenų kiekis privalo būti nemažesnis kaip 75% visų galimų žiemą ir 90% vasarą. Šie reikalavimai 2009 metais buvo išpildyti. Šiais kaip ir ankstesniais metais pagrindinė priežastis duomenų nebuvimo buvo elektros tinklo trikdžiai pajūrio krašte dėl labai stiprių vėjų ir kitų ekstremalių situacijų.

Vidutinių ir didžiausių ozono koncentracijų sezoninė eiga 2009 metais monitoringo stotyje pateikta 1.20 paveiksle. Vidutinių ozono koncentracijos sezoninė eiga stotyje pasižymi ryškiu padidėjimu pavasario mėnesiais (balandis – gegužė). Didžiausios ozono valandinės koncentracijos užregistruotos balandžio mėnesį ir vasaros laikotarpiu rugpjūčio mėnesį.

Ozono koncentracijos patikimų duomenų kiekis (valandų skaičius ir procentai) Preilos stotyje 2009 metais

Mėnuo	Val. sk.	%
Sausis	688	92,5
Vasaris	672	100
Kovas	642	86,3
Balandis	718	99,7
Gegužė	744	100
Birželis	720	100
Liepa	670	90,1
Rugpjūtis	710	95,4
Rugsėjis	670	93,1
Spalis	675	90,7
Lapkritis	621	86,3
Gruodis	676	90,9

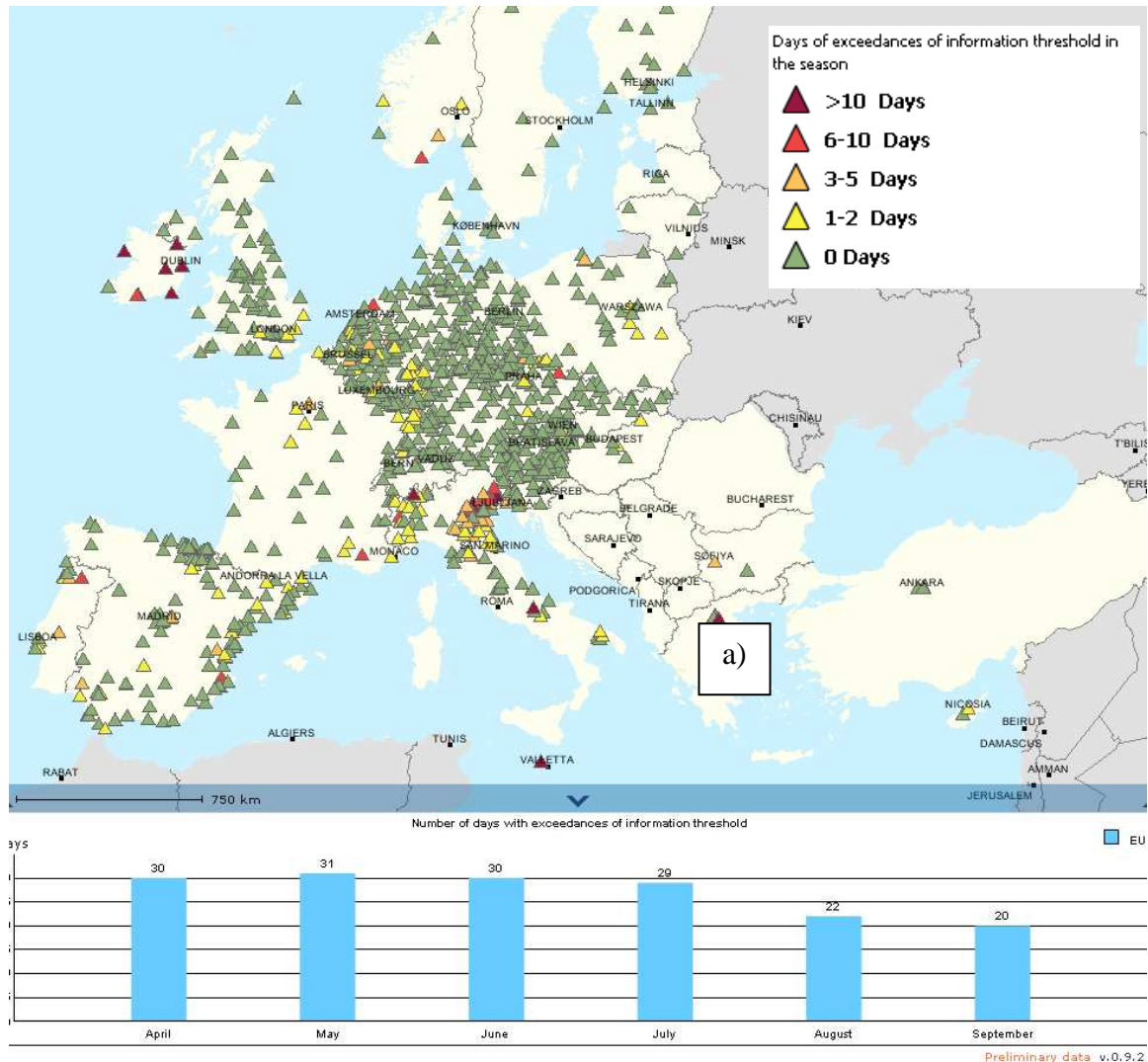


1.20 pav. Vidutinių ir didžiausių mėnesio ozono koncentracijų sezoninės eigos

Preilos stotyje 2009 metais

2009 metais didelių, t.y. viršijančių gyventojų informavimo slenkstį $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ozono koncentracijų, monitoringo stotyje nebuvo užregistruota. Preliminarūs duomenys rodo, kad analogiška situacija, t.y., ozono koncentracijos nesiekė $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, buvo stebėta ir

kaimyninėse šalyse (1.21 pav.). Artimiausias regionas, kur buvo viršytas šis lygis yra Lenkijos pietiniai rajonai. Apskritai ozono lygis Europoje 2009 metais buvo žemas.



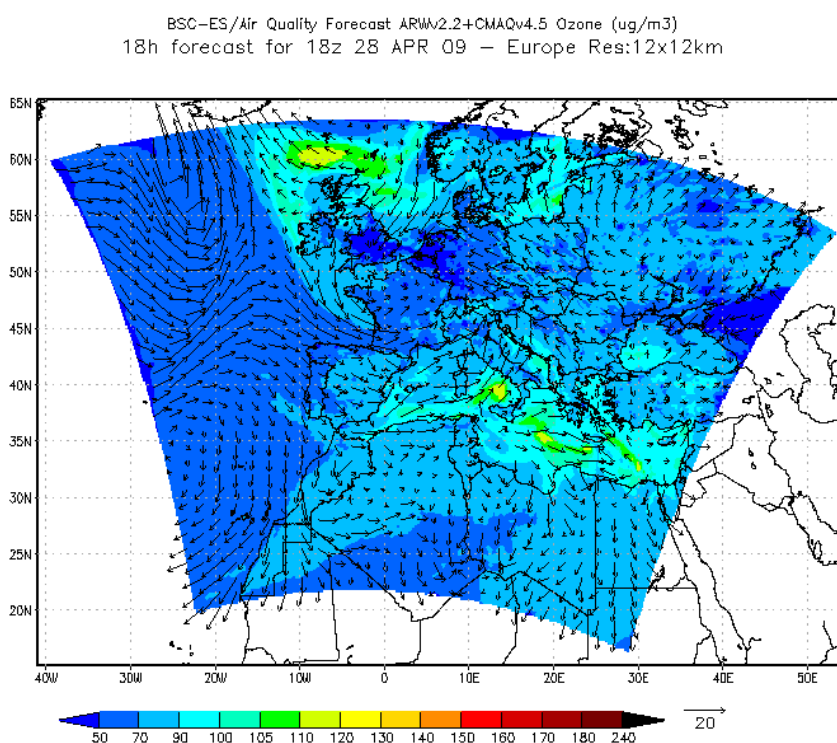
1.21 pav. Ozono koncentracijų virš $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pasiskirstymas Europoje 2009 metų balandžio - rugsėjo mėnesiais.

Šaltinis: <http://www.eea.europa.eu/maps/ozone/compare/snapshot>

Ozono koncentracijos didesnės $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ paprastai stebimos Europos pietiniuose regionuose. Lietuvoje ir kitose šiaurės šalyse tokios koncentracijos praktiškai neregistruojamos jau daugelį metų .

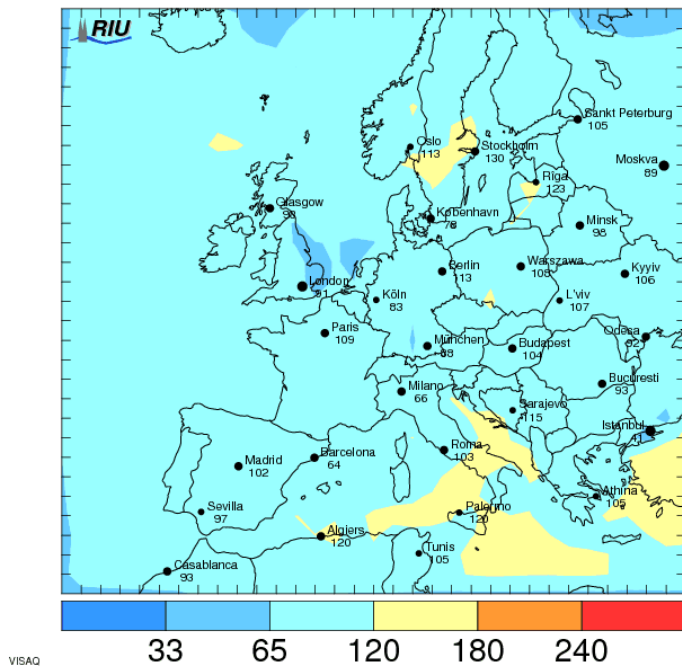
Didžiausia ozono koncentracija ($149,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 2009 metais Preilos stotyje buvo išmatuota balandžio 28 dieną. Pagal dviejų institucijų prognozę tą dieną ozono koncentracija turėjo būti panašiam lygyje (1.22-23 pav.). Apskritai, ozono koncentracijų

prognozė rodė tik labai lokalų padidintą ozono lygį. Tai lėmė vietinės meteorologinės sąlygos ir sinoptinė situacija. Tuo metu Lietuvoje buvo palyginus aukšta oro temperatūra (viršijo tomis dienomis $+20^{\circ}\text{C}$, o naktimis buvo virš $+10^{\circ}\text{C}$), mažas vėjo greitis $< 3 \text{ m/s}$ ir vyravo pietryčių krypties vėjai. Meteorologinės sąlygos buvo palankios ir vietiniam fotocheminiam ozono susidarymui. Atgalinės oro masių trajektorijos rodo (1.24 pav.), kad Lietuvą pasiekė oro masės iš pietryčių, praeidamos užterštus Europos regionus, Lenkiją, kur tuo metu galėjo susidaryti ir nemažos ozono koncentracijos. Reikia pažymėti, kad didelės ozono koncentracijos balandžio mėnesio paskutiniuosius dienas yra stebimos beveik kiekvienais metais.



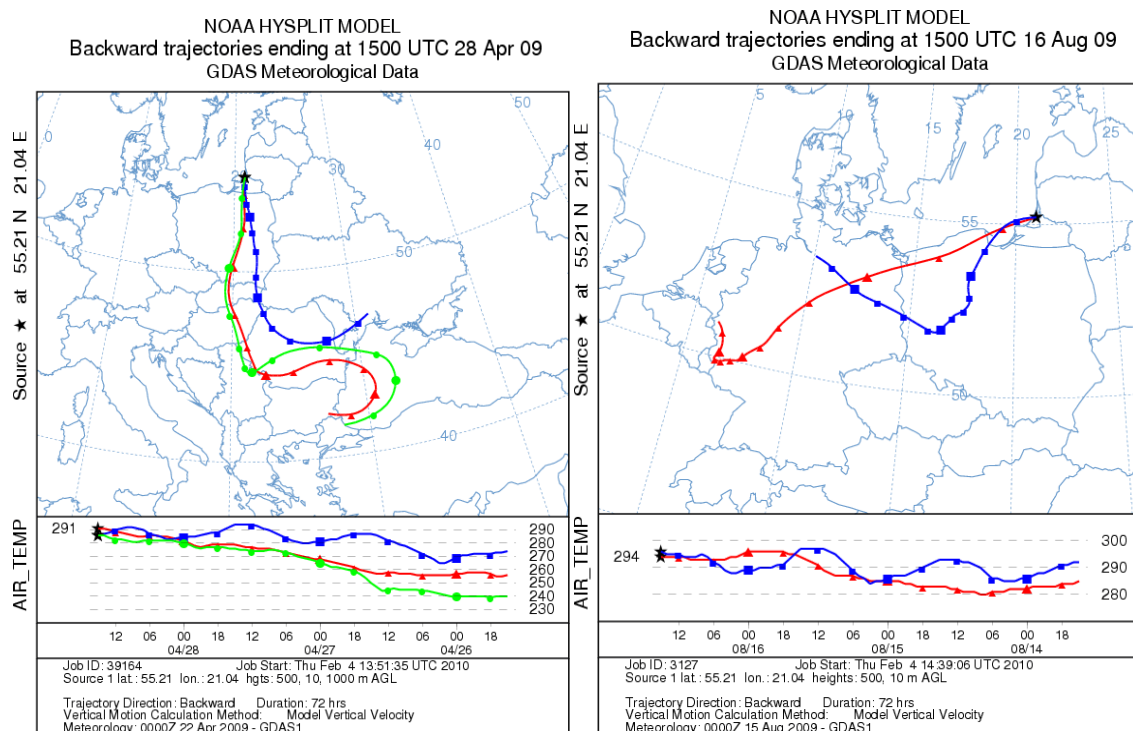
1.22 pav. Ozono koncentracijos prognozė 2009-04-28.

Šaltinis: <http://www.bsc.es/caliope/?q=node/20>



1.23 pav. Didžiausių valandinių ozono koncentracijų prognozė 2009-04-28.

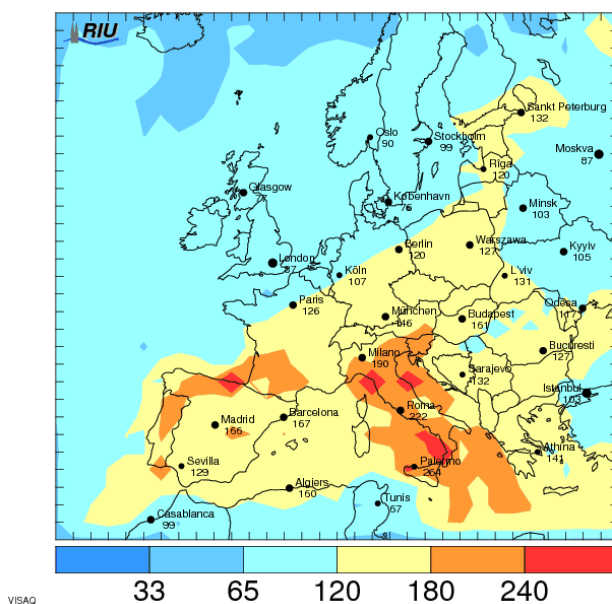
Šaltinis: http://www.eurad.uni-koeln.de/index_e.html



1.24 pav. Oro masių pernašos atgalinės trajektorijos, 2009 metų balandžio 28 ir rugpjūčio 16 dieną. Šaltinis: <http://ready.arl.noaa.gov/hysplitout>

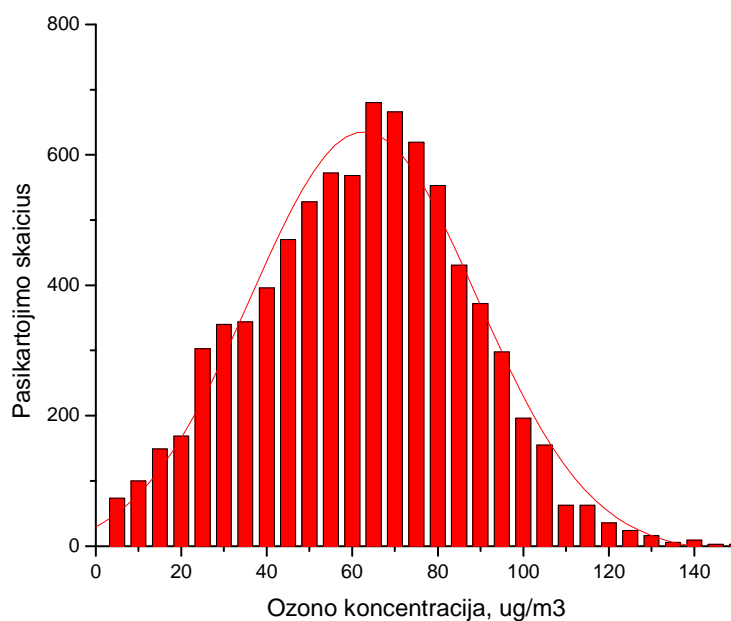
Panaši situacija buvo susiklosčiusi ir 16 rugpjūčio, tačiau ozono koncentracija buvo pasiekusi tik $131 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tą dieną Preilos stotį pasiekė oro masės irgi praėjusios Vokietiją, Lenkiją (1.24 pav.). Reikia pažymėti, kad prognozė rodė panašias koncentracijas ir šis lygis apėmė plačią Europos teritoriją (1.25 pav.). Apskritai, 2009, kaip ir 2008 bei 2007, metai pasižymėjo nedidelėmis pikinėmis ozono koncentracijomis vasaros metu.

Ozone $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Level 1 16.08.2009 Daily Maximum



1.25 pav. Didžiausių ozono koncentracijų prognozė 2009 metų rugpjūčio 19 dienai.

Šaltinis: http://www.eurad.uni-koeln.de/index_e.html?/index_home_e.html



1.26 pav. Ozono valandinių koncentracijų dažnio pasiskirstymas Preilos stotyje

Buvo išanalizuotas visų ozono valandinių duomenų dažninis pasiskirstymas stotyje, kuris gali būti aprašytas Gauso pasiskirstymu (1.26 pav.).

Ozono valandinių koncentracijų dažnio pasiskirstymas stotyse parodė, kad dažniausiai registruojamos reikšmės stotyje tame pačiame intervale kaip pernai, t.y. 65-75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ozono koncentracijų virš 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ atsikartojimas stotyje buvo labai mažas.

5 ir 6 lentelėse pateikiama ozono koncentracijos statistika Preilos stotyje už 2009 metus. Apskaičiuotos AOT40 vertės miškų apsaugai (5 lentelė) stotyje neviršijo 2002/3/EB direktyvos III priede pateikto leistino lygio, t.y., 20000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$., tuo pačiu ir 5-ių metų vidurkis neviršijo šio lygio.

AOT40 siektina vertė (18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$, imant penkerių metų vidurkį), nustatyta augalijos apsaugai Lietuvoje irgi nebuvo pasiekta. Šis reikalavimas įsigalios tik nuo 2010 metų. Ilgalaikis tikslas - 6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$, kurios atskaitos laikas bus 2020 metai, per 2009 metų laikotarpį nebuvo pasiektas (5 lentelė).

Vertinant ozono poveikį žmogaus sveikatai yra naudojami du indikatoriai: pagal 2002/3/EB direktyvą (2 lentelė) bei Pasaulio sveikatos organizacijos siūlomas bei direktyvoje 2001/81/EB priimtas AOT 60. Remiantis stotyje pažemio ozono koncentracijos duomenimis nustatyta, kad pavojingas poveikis žmogaus sveikatai per 2009 metus nebuvo stebėtas.

Pažemio ozono koncentracijos statistiniai parametrai Preilos monitoringo stotyje

Parametras	<i>Vertė</i>	<i>Vienetai</i>	Laikotarpis	Direktyva	Pastabos
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Metinis vidurkis	59,5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		2002/3/EB	
Patikimų duomenų skaičius:					
kalendoriniai metai	8206 (93,7%)	valandų skaičius	sausis -gruodis	2002/3/EB	ne daugiau kaip 8760
vasaros metas	4232 (96,4%)	valandų skaičius	balandis-rugsėjis	2002/3/EB	ne daugiau kaip 4392
žiemos metas	3974 (91,0%)	valandų skaičius	sausis-kovas ir spalio-gruodis	2002/3/EB	ne daugiau kaip 4368
Didžiausia mėnesio reikšmė:					
balandis	149,1	μ/m^3			
gegužė	129,7	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
birželis	121,8	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
liepa	123,2	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
rugpjūtis	131,0	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
rugsėjis	117,8	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
8 valandų vidurkis $>120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	7*	dienų skaičius	kalendoriniai metai	2002/3/EB	* plačiau 6 lentelėje
Informavimo slenkstinės vertės - valandos vidurkis $>180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - viršijimas	0	valandų skaičius		2002/3/EB	

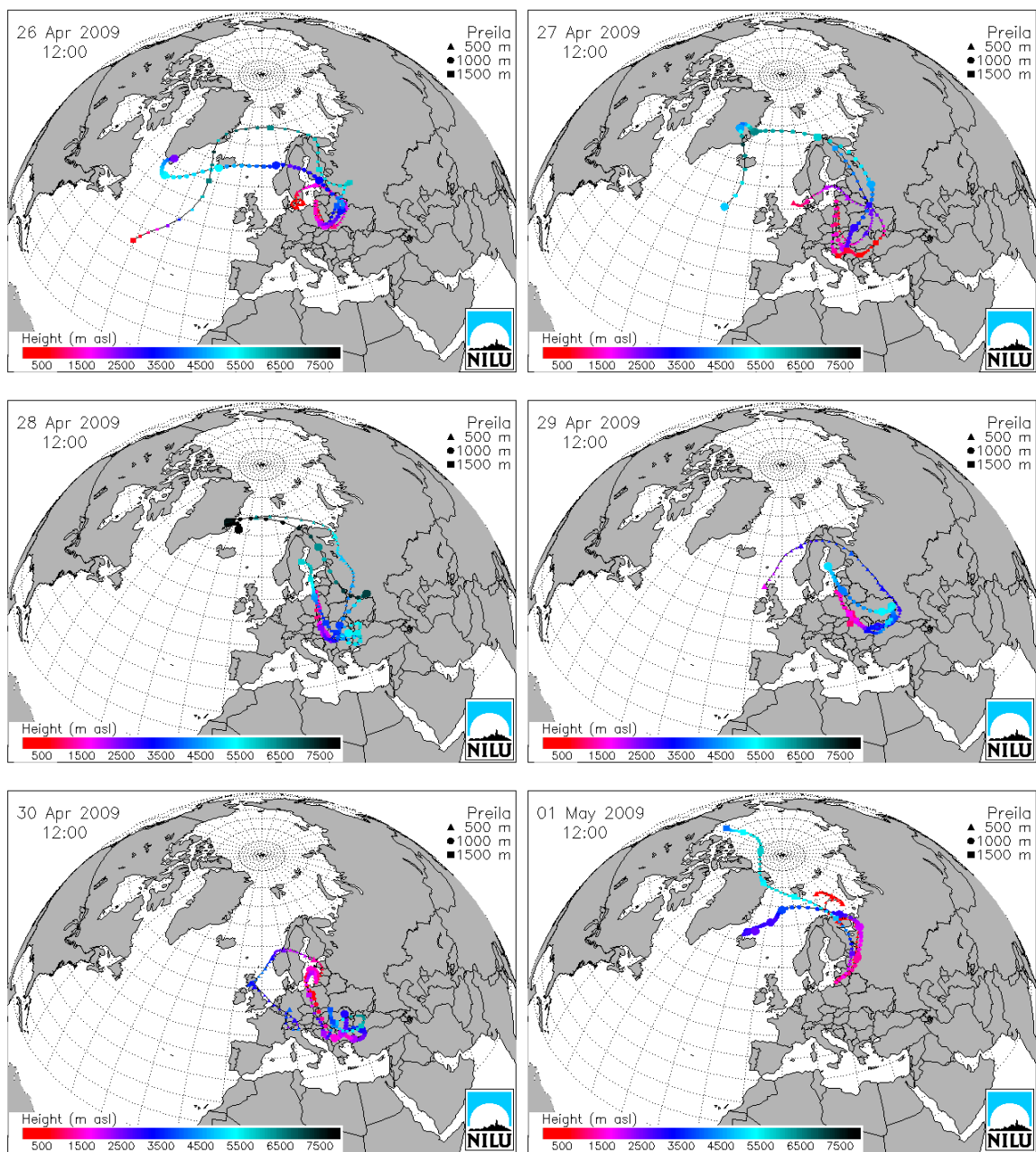
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Pavojaus slenkstinės vertės - valandos vidurkis >240 □g/m ³ - viršijimas	0	valandų skaičius		2002/3/EB	
<i>AOT40 miškų apsaugai</i>	16150 (16521)	μg/m ³ x h	balandis-rugsėjis	2002/3/EB	Skliaustuose pateiktos reikšmės perskaičiuotos pagal 3 formulę
Patikimų duomenų skaičius	2121	valandų skaičius	balandis-rugsėjis, 8-20 val.		ne daugiau kaip 2196
AOT40 augmenijos apsaugai	8443 (8692)	μg/m ³ x h	gegužė-liepa	2001/81/EB 2002/3/EB	Skliaustuose pateiktos reikšmės perskaičiuotos pagal 3 formulę
Patikimų duomenų skaičius	1054	valandų skaičius	gegužė-liepa, 8- 20 val.		ne daugiau kaip 1104
AOT60 žmonių sveikatos apsaugai	538	μg/m ³ x h	sausis-gruodis	2001/81/EB	ne daugiau kaip 5800

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

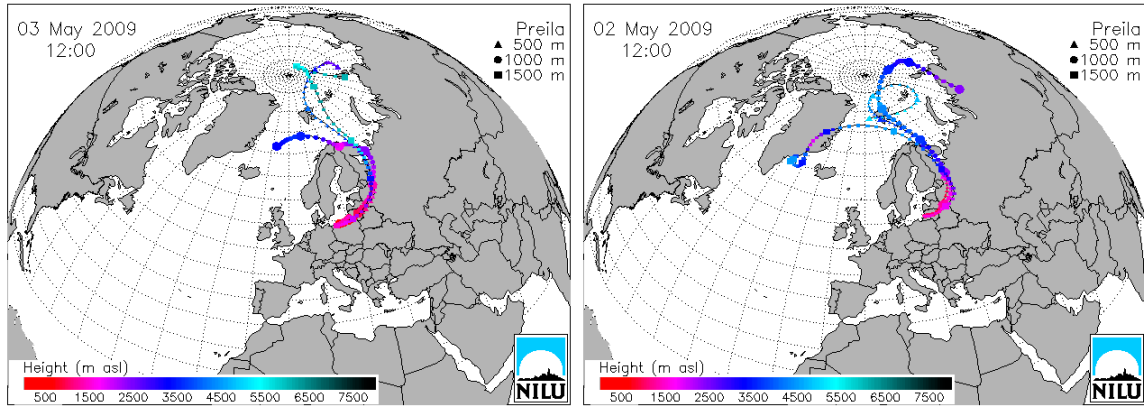
Stotis	Mėnuo ir diena	Didžiausia paros 8 h vidutinė ozono koncentracija, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Preila	Balandžio 26	136
	Balandžio 27	126
	Balandžio 28	140
	Balandžio 29	132
	Balandžio 30	132
	Gegužės 3	122
	Rugpjūčio 16	121

Galimi šių padidintų ozono koncentracijų šaltiniai buvo tiriami pasinaudojant atgalinių oro masių pernašų trajektorijų metodu. Išanalizavus oro masių pernašas, nustatyta, kad pagrindinis jų šaltinis buvo užteršto oro pernaša iš vakarinės Europos dalies (1.27 pav.). Pasikeitus oro pernašos kryptiai gegužės 01 d. ozono koncentracija sumažėjo iki $104 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Šią dieną stoties rajoną pasiekė oro masės atėjusios šiaurės per Latviją. Gegužės antrą dieną buvo ta pati situacija (1.28 pav.), o trečią gegužės dieną, oro masės užgriebė tiek ir šiaurinę Lenkijos trajektoriją, todėl stotyje buvo išmatuotos vėl didesnės koncentracijos (6 lentelė). Analogiška situacija buvo stebima ir rugpjūčio mėnesį, kai oro masių trajektorijos,ėjusios per Baltijos jūrą, rugpjūčio 16 dieną pasisuko ir užgriebė šiaurinę Lenkijos dalį (12 pav.).

Gyventojų informavimo slenkstis ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) slenkstis nebuvo viršytas. Siektina žmonių sveikatos apsaugai vertė, t.y., kad didžiausias paros 8 valandų vidurkis $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nebūtų viršijamas daugiau nei 25 paras per kalendorinius metus, imant trejų metų vidurkį, taip pat nebuvo viršytas. Tačiau ilgalaikiai tikslai (2010 m.) dar nėra pasiekti, t.y., užregistruoti atvejai, kai paros didžiausias 8 valandų vidurkis viršijo $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Visi atvejai, kai stotyje buvo viršytas šis lygis pateikti 6 lentelėje. AOT 60 reikšmės 2009 metais neviršijo leistinos absoliučios $5800 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ ribos, tačiau viršijo žmonių sveikatai nustatytą kritinį lygį AOT 60 = 0.

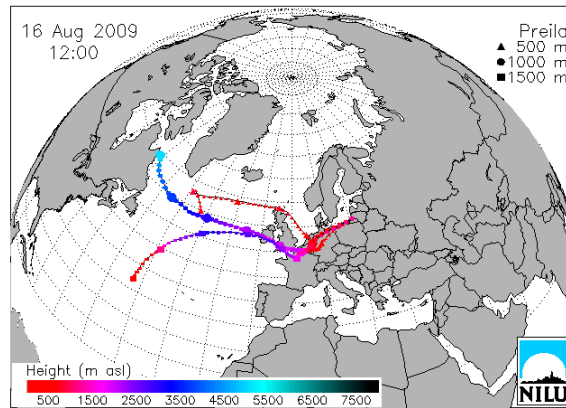


1.27 pav. Atgalinės 3D oro masių pernašų trajektorijos padidintų ozono koncentracijos laikotarpiu (2009 m. balandžio 26-30 d.) ir 2009 m. gegužės 01 d.



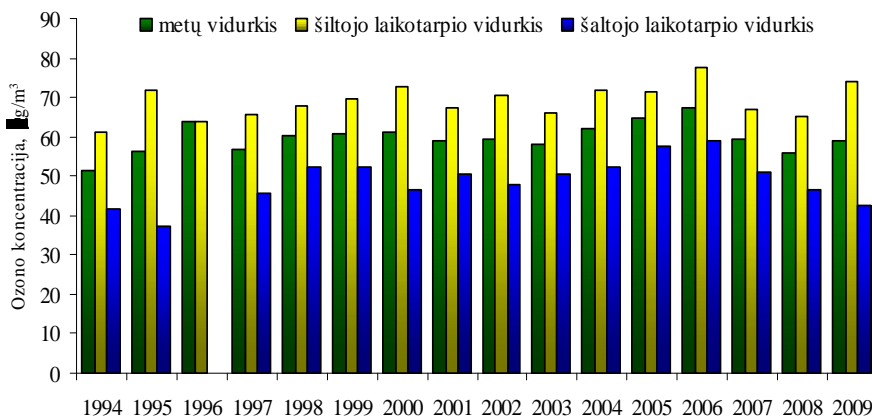
1.28 pav. Atgalinės 3D oro masių pernašų trajektorijos 2009 m. gegužės 02 ir 03 dienomis.

Šaltinis: <http://www.emep.int/>



1.29 pav. Atgalinės 3D oro masių pernašų trajektorijos 2009 m. rugpjūčio 16 dieną.

Šaltinis: <http://www.emep.int/>



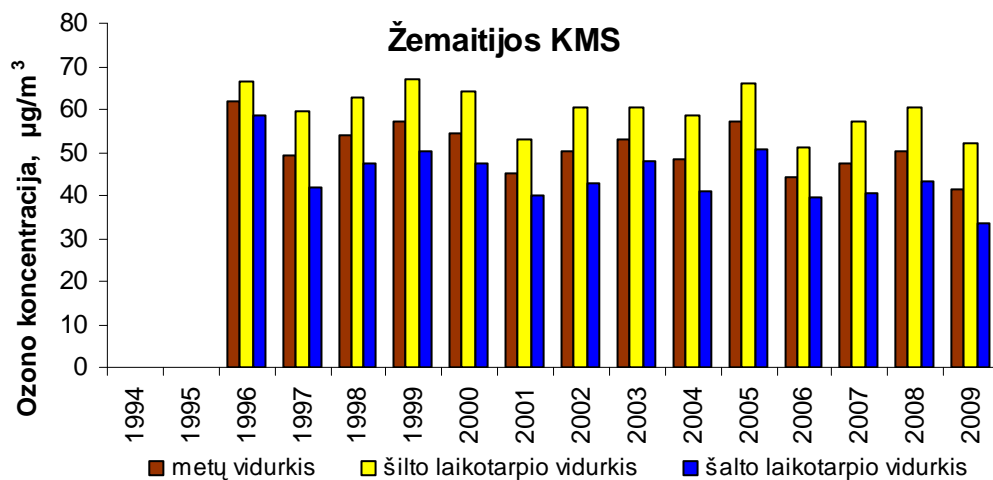
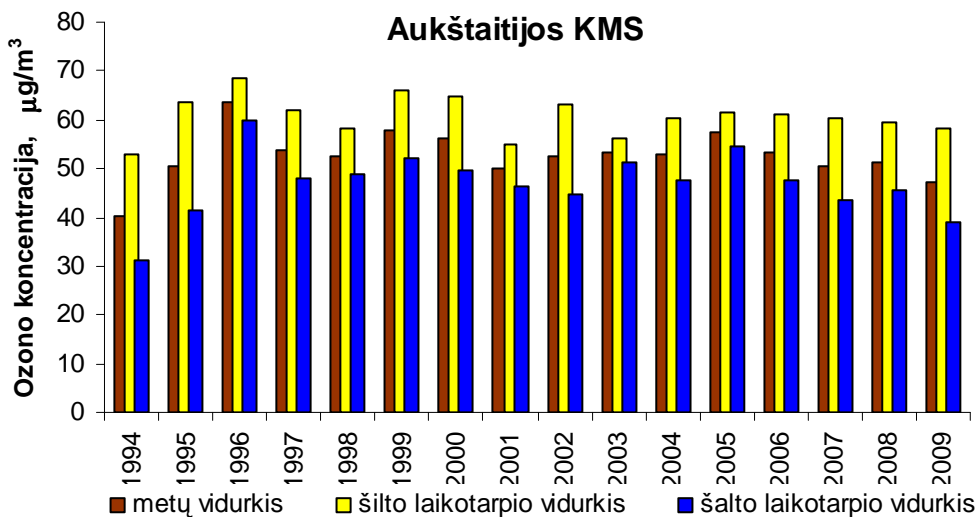
1.30 pav. Ozono koncentracijos vidutinių reikšmių kaita per 1994–2009 metus Preilos stotyje atskirais laikotarpiais: šiltuoju (balandis-rugsėjis), šaltuoju (spalis-kovas) ir kalendoriniais metais

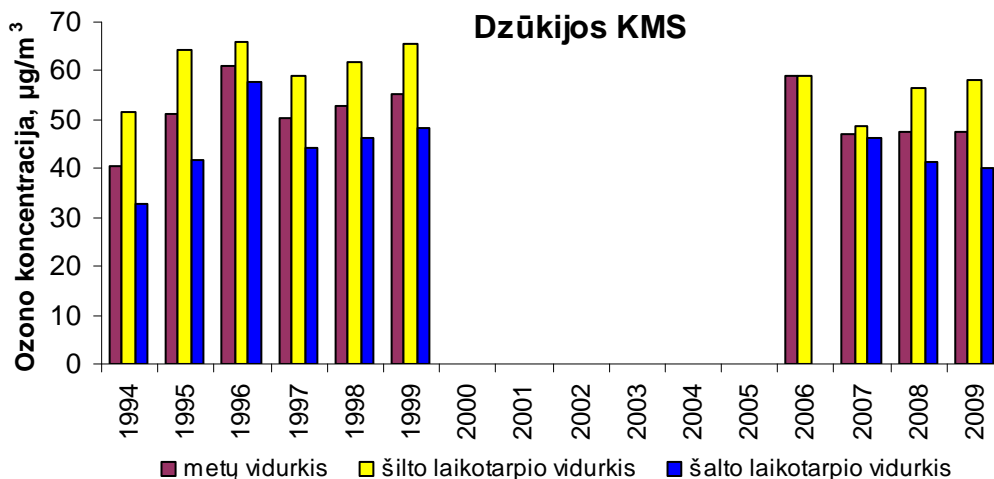
Ozono koncentracijos lygio kaita nuo 1994 metų, t.y. nuo tada kai pradėta vykdyti Integruoto monitoringo programa Lietuvos stotyse, pateikta 1.30 paveiksle. Preilos stotyje stebėtas nedidelis teigiamas vidutinių metinių koncentracijų trendas iki 2006 metų, nors jis buvo ir statistiškai nežymus. Šiais 2009 metais užregistruota ozono koncentracijos lygio sumažėjimas tik šaltuoju metų laikotarpiu. Vidutinė metinė ozono koncentracija stotyje šiais metais yra didesnė už 2008 metų vidurkį: 59,5 ir 55,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, atitinkamai. Jeigu 2007 ir 2008 metais buvo stebėtas žemas ozono lygis šiltuoju metų laikotarpiu, tai šiais 2009 metais, jis vėl ženkliai pakilo iki 74,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Remiantis Valstybinės aplinkos monitoringo 2005-2010 metų programos [9] dalies, nurodančios minimalias pažeminio ozono monitoringo apimtis, reikalavimais ir atsižvelgus į 2005-2009 m. tyrimų rezultatus reikia pažymėti, kad ozono koncentracijos didėjimo nebuvo fiksuota Lietuvos foninėse stotyse per šį laikotarpį. Vertinant pernašų iš kitų šalių indėlių į bendrą Lietuvos oro baseino užterštumo lygį nustatyta, kad per šį laikotarpį ilgalaikis tikslas (2010 m.) dėl ozono didžiausios koncentracijos, kuris privalo būti, t.y., neviršijama dėl žmonių sveikatos apsaugos, dar nėra pasiektas, t.y., užregistruoti atvejai, kai paros didžiausias 8 valandų vidurkis viršijo 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dažniausiai šie atvejai buvo stebėti, kai užterštos oro masės pasiekdavo Lietuvą iš pietinių-vakarinių Europos regionų. Todėl, vertinant pernašų iš kitų šalių indėlių į bendrą Lietuvos oro baseino užterštumo lygį yra būtina nuolatinei matuoti ozono koncentraciją Lietuvoje stotyse, esančiose neužterštose vietovėse ir kuriose yra vykdomos plačios kitų teršalų monitoringo programos. Būtina užtikrinti jose duomenų patikimumą. Norint sumažinti duomenų praradimą dėl aparatūros gedimų reikėtų sudaryti galimybę stočių operatoriams operatyviai laikinai, kol bus sutaisyti stotyse naudojami prietaisai, pakeisti sugedusį analizatorių į atsarginius. Šie atsarginiai prietaisai galėtų būti saugomi Vilniuje, tačiau, sugedus stočių aparatūrai, operatoriai turėtų turėti pirmumo teisę pasinaudoti šiais prietaisais. Senus ozono analizatorius būtina pakeisti naujesniais. Labai svarbus yra Vilniaus Lazdynų stotelės punktas, kuriame matuojama ozono koncentracija atspindi Vilniaus bendrą foną, todėl būtina šiuos matavimus tęsti. Abejonių kelia būtinumas

matuoti ozono koncentracijas prie gatvių sankryžų ir mažai užterštuose miestuose. Lietuva nėra tas regionas, kuriame gali vykti intensyvus fotocheminis ozono susidarymas.

1.4.2 Ozono koncentracijų kaita kompleksiško monitoringo stočių teritorijose.



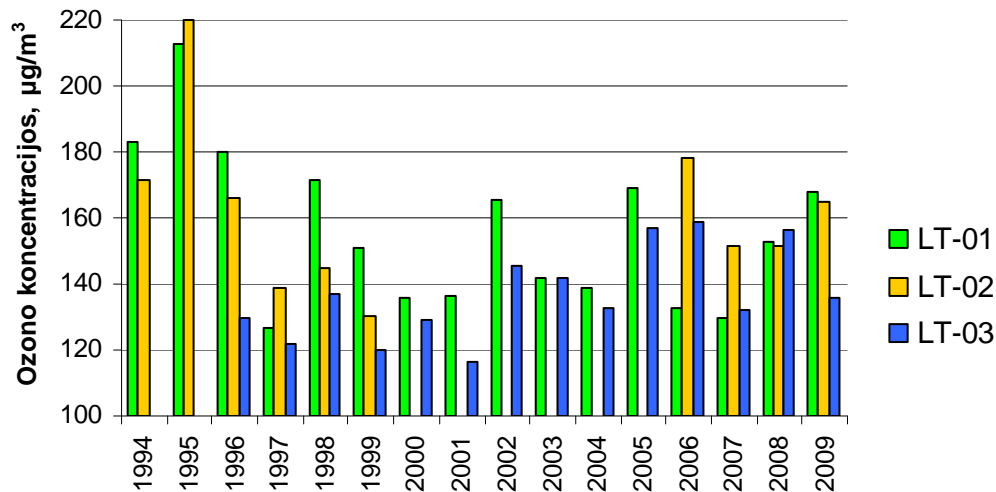


1.31 pav. Ozono koncentracijos vidutinių reikšmių kaita per 1994–2009 metus kompleksiško monitoringo stotyse.

Laikotarpiai: šiltasis (balandis-rugpjūtis), šaltasis (rugsėjis-kovas) ir metai (rugsėjis-rugpjūtis)

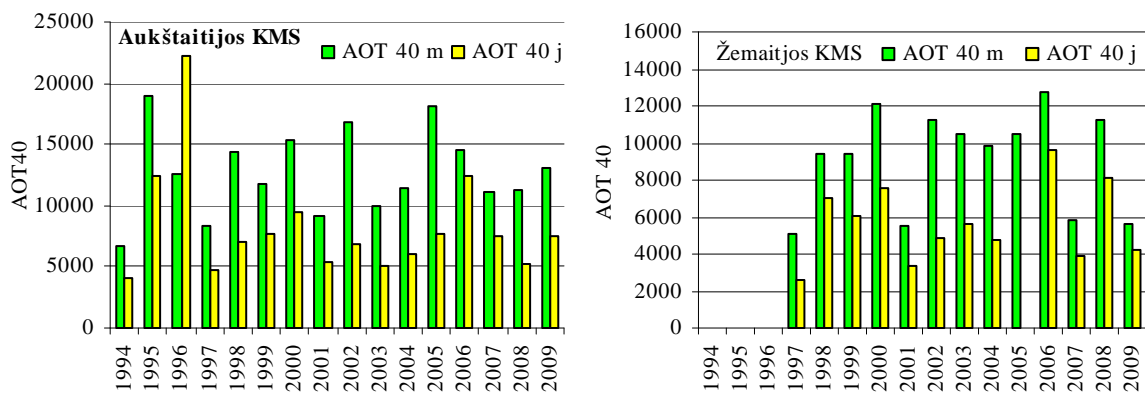
Kompleksiško monitoringo stotyse, Preiloje išaiškintas ozono kaitos trendas nepasitvirtino. Nuo 1995 m. šiose stotyse stebimas ozono vidutinių koncentracijų mažėjimo tendencija. Ypač ženkliai ozono koncentracijos mažėja Žemaitijos KMS. Pastaruoju laikotarpiu ši tendencija tampa reikšminga, ypač šaltuoju laikotarpiu, kai vidutinė koncentracija mažėja po $0,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus. Mažėjimo tendencija šioje stotyje nustatyta ir šiltuoju laikotarpiu, kai siekė po $0,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus. Toks mažėjimas lėmė ir vidutinių metinių ozono koncentracijų mažėjimą po $0,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus, kuris taip pat priartėjo prie statistiškai reikšmingo.

Aukštaitijos ir Dzūkijos KM stotyse ozono kaitoje mažėjimo tendencijos buvo išaiškintos tik šiltuoju laikotarpiu, kai siekė po $0,14$ ir $0,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus atitinkamai. Šaltuoju laikotarpiu koncentracijos praktiškai buvo stabilios. Tai lėmė, kad metinės koncentracijos šiose stotyse turėjo labai nežymią tendenciją mažėti.



1.32 pav. Ozono maksimalių koncentracijų kaita kompleksiško monitoringo stotyse.

Palyginus maksimalių koncentracijų kaitą tarp kompleksiško monitoringo stočių (1.32 pav.), nustatyta, kad daugelį metų reikšmingai mažėjančios maksimalios ozono koncentracijos maždaug nuo 2000-2001 metų vėl pradėjo didėti. Manome, kad tolimesni tyrimai leis atskleisti šios tendencijos pagrindines priežastis.



AOT 40 reikšmių kaitoje išaiškintos ozono koncentracijų tendencijos nepasitvirtino. Kodėl taip atsitiko paaiškinti yra pakankamai problematiška. Manome, kad ateities tyrimai įgalins atsakyti ir į šį klausimą.

IŠVADOS

Ozono koncentracija 2009 metais EMEP stotyje Preiloje vidutinė metinė koncentracijos buvo $59,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, t.y., žymiai didesnė nei 2008 metais bei KMS stotyse, kur ozono koncentracija siekė $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Aukštaitijos ir Dzūkijos KMS) bei $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Žemaitijos KMS).

Didžiausios koncentracijos stotyje 2009 metais buvo išmatuotos balandžio 28 dieną: $149,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kurios kilmė yra sietina su tolimąja oro masių pernaša bei galimu vietiniu fotocheminiu susidarymu. Jau kitą dieną Aukštaitijos KMS buvo registruojama net $167 \mu\text{g}/\text{m}^3$ koncentracija, o Dzūkijos KMS $164,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Žemaitijos KMS ozono matuoklis laikinai nedirbo, nors 04.29 dieną užregistruota koncentracija siekė $136,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Apskaičiuotos AOT40 vertės miškų apsaugai Preilos stotyje neviršijo ($16150 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ ir $16521 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ perskaičiuotasis) 2002/3/EB direktyvos III priede pateikto leistiną lygį, t.y., $20000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$, tačiau jos yra beveik du kartus didesnės nei 2008 metais.

Preiloje per 2009 metus gyventojų informavimo ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nebuvo viršytas ir pavojaus ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) slenkstis nebuvo pasiektas. Siektina žmonių sveikatos apsaugai vertė, t.y., kad didžiausias paros 8 valandų vidurkis $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nebūtų viršijamas daugiau nei 25 paras per kalendorinius metus, imant trejų metų vidurkį, stotyje nebuvo viršytas. Tačiau ilgalaikiai tikslai (2010m.) dar nėra pasiekti, t.y., užregistruotas atvejis, kai paros didžiausias 8 valandų vidurkis viršijo $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Kompleksiško monitoringo stotyse, Preiloje išaiškintas ozono kaitos trendas ir toliau nepasitvirtina. Nuo 1995 m. šiose stotyse stebimas šiltojo laikotarpio ozono vidutinių koncentracijų mažėjimo tendencija. Pradedama mažėti ir šaltojo laikotarpio ozono koncentracijos, kas sąlygoja metinių ozono koncentracijų mažėjimą visuose KMS stotyse.

Palyginus maksimalių koncentracijų kaitą tarp kompleksiško monitoringo stočių, nustatyta, kad daugelį metų reikšmingai mažėjančios maksimalios ozono koncentracijos maždaug nuo 200-2001 metų vėl pradėjo didėti. Manome, kad tolimesni tyrimai leis atskleisti šios tendencijos pagrindines priežastis.

LITERATŪRA

1. Solberg, S., Derwent, R. G., Hov, O., Langner, J. and Lindskog, A.: 2005, 'European Abatement of Surface Ozone in a Global Perspective', *Ambio*, 34, 47-53
2. Europos Parlamento ir Tarybos Direktyva 2002/3/EB dėl ozono aplinkos ore. *Official Journal L 067, 09/03/2002 P. 0014 – 0030.* <http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0003:LT:HTML>
3. TARYBOS DIREKTYVA dėl aplinkos oro kokybės vertinimo ir valdymo 96/62/EB, <http://www3.lrs.lt/c-bin/eu/preps2?Condition1=20746&Condition2=>

4. Europos Parlamento ir Tarybos Direktyva 2001/81/EB dėl tam tikrų atmosferos teršalų išmetimo nacionalinių ribų. *Official Journal L 309, 27/11/2001 P. 0022 - 0030.* <http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32001L0081:LT:HTML>
5. Sveikatos apsaugos ministro įsakymas Nr. 544/508 “Dėl ozono aplinkos ore normų ir vertinimo taisyklių nustatymo”. Valstybės žinios, 2002 Nr.105-4726
6. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas Nr. 468 “Dėl sieros dioksido, azoto oksidų, lakiųjų organinių junginių ir amoniako nacionalinių limitų patvirtinimo”. Valstybės žinios, 2003, Nr.99-4465
7. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2008/50/EB dėl aplinkos oro kokybės ir švaresnio oro Europoje <http://lt.vlex.com/vid/38714879>.
8. Environment Data Centre (1993) Manual for Integrated Monitoring, Helsinki

1.5. Tyrimo rezultatų apibendrinimas

Vidutinė metinė oro temperatūra Aukštaitijos KMS didėjo 0,03-0,04°C per metus. Reikšmingiausiai didėjo rudens mėnesių vidutinė temperatūra, apie 0,12°C per metus abiejose stotyse, o mažėjo pavasarį, apie -0,01°C per metus. Intensyvios vegetacijos laikotarpiu (birželio-rugpjūčio mėnesiais) Žemaitijos KM stotyje temperatūra mažėjo po -0,07°C per metus, o Aukštaitijos KM stotyje oro vidutinė temperatūra išliko praktiškai stabili.

Aukštaitijos KMS dešimt metų (1999-2008) stebint dirvožemio temperatūrą (5, 10 ir 20 cm gyliuose) nustatyta, kad vidutinė reikšmės buvo stabilios, o pagrindinis pokytis buvo temperatūros amplitudės mažėjimas. 2009 metais vidutinė dirvožemio temperatūra buvo 6,96°C, t.y., 0,8°C mažesnė už stebėjimo laikotarpio vidurkį. Temperatūros kitimo tendencija per 11 stebėjimo metų yra nereikšminga. Pagal išalo gylį ir trukmę 2008–2009 metų žiema buvo vidutinė.

1999–2009 m. upelio vandens vidutinė temperatūra buvo: Aukštaitijos KMS 6,3 °C, o Žemaitijoje 6,9 °C. Temperatūros kaitos trendas abiejose stotyse yra teigiamas, LT01 temperatūra kyla vidutiniškai 0,0097°C per mėnesį, o LT03 – truputį lėčiau, vidutiniškai 0,007°C per mėnesį. Kaip ir oro temperatūra, intensyviausiai didėjo šaltojo laikotarpio vandens temperatūra. Tai šiltėjančio klimato padarinys.

Metinis kritulių kiekis per tiriamąjį laikotarpį turi tendenciją mažėti abiejose KM stotyse. Reikšmingiausiai kritulių mažėjo rudenį (rugsėjo-lapkričio mėn.) ir žiemą (gruodžio-vasario mėnesiais), o didėjo intensyvios vegetacijos mėnesiais, kas turėtų ateityje teigiamai sąlygoti miškų būklę. Tačiau tokios išaiškintos kritulių kiekio kaitos tendencijos sąlygojo skirtingą gruntinio vandens lygio kaitą. Jei Aukštaitijos KMS teritorijoje gruntinio vandens lygis turėjo tendenciją mažėti, tai Žemaitijos KMS – priešingai, gruntinio vandens lygis augo ir ypač giliausiojo grėžinio.

Vandens atsargos dirvožemyje Aukštaitijoje mažėja nuo 2003 m., o Žemaitijoje didėjo (nuo 1999 m.) 2009 m. dirvožemio srauto tūris Aukštaitijoje buvo trečias pagal dydį, o intensyvumas – vidutinis. Žemaitijoje dirvožemio vandens srautas buvo vidutinis, o intensyvumas vienas iš mažesnių.

Aukštaitijoje 2009 m. gruntinio vandens srautas ir debitas mažas (dėl 2008 m. kritulių deficito), o Žemaitijoje 2008-2009 m. nežymus

Aukštaitijos KMS 2009 m. medžiagų išplovimui upeliu buvo palankūs dėl šiluminių sąlygų, o sąlygos medžiagų išnešimui, kurį lemia nuotekio modulis ir debitas buvo pačios

blogiausios per visą stebėjimų laikotarpį. Žemaitijos KMS 2009 m. šiluminės sąlygos medžiagų išnešimui buvo nepalankios, o apie nuotėkį ir debitą informacijos neturime, nes neveikė upelio limnografas.

Paskutiniu metu laikotarpiu m. Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS baseinuose didėjo medynų glaudumas bei lapijos paviršiaus indeksas, nustatytas pagal sugertos saulės fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės kiekį. Tai gerėjančios medynų būklės rodiklis. Žemaitijos KMS baseine tirti rodikliai padidėjo žymiai reikšmingiau negu Aukštaitijos KMS ir LAI pirmą kartą viršijo Aukštaitijos KMS medynų LAI. Paskutiniųjų metų medžių lapijos indekso kaita gerai atspindi lajų būklės kaitą. Detalesnei analizei reiktų pradėti analizuoti ir atviros vietos saulės spinduliuotės kaitą, kas ir yra vykdoma KM stotyse, o gautus rezultatus bandyti sieti su oro vidutine temperatūra ir kritulių kiekiu. Tik 2009 m. Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS baseinuose augančių medžių lapijos indeksas, nustatytas pagal sugertos FAR spinduliuotės kiekį, sumažėjo. Palyginus Gautus indeksus tarp stočių, nustatyta, kad Žemaitijos KMS baseine augančių medžių lapijos indeksas didesnis negu Aukštaitijos KMS, ką patvirtina ir medžių lajų defoliacijos duomenys. Paskutiniaisiais metais, kada lapijos indeksas Žemaitijos KMS pradėjo viršyti lapijos indeksą medžių augančių Aukštaitijos KMS, jų lajų būklė taip pat tapo geresnė. Todėl būtų galima teigti, kad FAR matavimai atspindi tirtų miškų būklę ir produktyvumą.

Kompleksiško monitoringo stotyse, Preiloje išaiškintas ozono kaitos trendas nepasitvirtino. Nuo 1995 m. šiose stotyse stebimas šiltojo laikotarpio ozono vidutinių koncentracijų mažėjimo tendencija. Šaltuoju metu laikotarpiu ozono koncentracijos išlieka stabilios. Daugelį metų reikšmingai mažėjančios maksimalios ozono koncentracijos maždaug nuo 2000-2001 metų vėl pradėjo didėti. Manome, kad tolimesni tyrimai leis atskleisti šios tendencijos pagrindines priežastis.

II. ORO TERŠALŲ, ŠLAPIŲJŲ IŠKRITŲ IR JŲ TRANSFORMACIJŲ BEI KAUPIMOSI MIŠKO EKOSISTEMOSE TYRIMAI KMS TERITORIJOSE

Atmosferos užterštumo lygį sieros ir azoto junginiais virš Lietuvos lemia šių teršalų emisijos iš vietinių taršos šaltinių, o taip pat dėl tolimų oro teršalų pernašų iš Vakarų bei Pietų Europos valstybių. Dėl atmosferos dinamiškumo ir nuolat vykstančių atmosferos valymosi nuo teršalų procesų (šlapiojo ir sausojo), dujinių ir aerozolinių priemaišų koncentracijos atmosferoje kinta. Be to, jų koncentracijos atmosferoje kinta ir laike, ir erdvėje dėl dujinių ir aerozolinių teršalų nevienodos atmosferoje buvimo trukmės, kurią nulemia fizinės bei cheminės teršalų savybės.

Atmosferos teršalų koncentracijų tyrimams skiriamas ypatingas dėmesys, nes jų koncentracijos atspindi ne tik oro užterštumą regione, bet naudojamos teršalų sausųjų srautų iš atmosferos į žemės ekosistemas įvertinimui. 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.

Antropogeniniai veiksniai, tarp kurių savo poveikio aplinkai pobūdžiu išsiskiria taršos komponentai bei jų junginiai, gali turėti esminę įtaką pagrindiniams procesams vykstantiems ekosistemose. Dėl šios priežasties sąlygiškai natūralių ekosistemų KM programoje išskirtinis dėmesys skirtas dujinių ir aerozolinių priemaišų ore koncentracijoms bei jų srautų kaitos tendencijoms nustatyti bei pažemio ozono koncentracijoms ore ir jų kaitai analizuoti. Šių tyrimų, kaip ir sunkiųjų metalų koncentracijų ir jų pagrindinių tendencijų, o taip pat šių veiksnių sąlygojamų geocheminių procesų dirvožemyje bei jo vandenyse analizės rezultatai yra būtini tiriant miško ekosistemų pagrindinių biotos komponentų būklę bei kaitos pagrindines tendencijas bei jas sąlygojančias priežastis.

2.1 Dujinių ir aerozolinių priemaišų ore tyrimai pagal EMEP ir ICP IM programas

Atmosferos užterštumo lygį sieros ir azoto junginiais virš Lietuvos lemia šių teršalų emisijos iš vietinių taršos šaltinių, o taip pat daugiausia ir iš Vakarų bei Pietų Europos valstybių. Be to, esant dujinių ir aerozolinių teršalų buvimo atmosferoje nevienodai trukmei, kurią nulemia fizinės bei cheminės teršalų savybės, jų koncentracijos atmosferoje kinta ir laike, ir erdvėje. Dujinių ir aerozolinių priemaišų koncentracijos atmosferoje kinta ir dėl atmosferos

dinamiškumo, ir nuolat vykstančių atmosferos valymosi nuo teršalų procesų (šlapiojo ir sausojo).

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

Atmosferos teršalų koncentracijų tyrimai dviejose integruoto monitoringo stotyse (IMS): Aukštaitijoje (LT01), Žemaitijoje (LT03) ir atmosferos užterštumų tyrimo stotyje Preiloje, kurios kodas Europos monitoringo tinkle yra LT15, buvo tęsiami per 2009 m.

Darbo metodika

Remiantis darbo užduotimi, IM stotyse (LT01 ir LT03) rinkti savaitės atmosferos bandiniai, o Preiloje (EMEP tinkle kodas – LT15) – paros bandiniai tokių teršalų: sieros dioksidas (SO_2 , dujos), azoto dioksidas (NO_2 , dujos), sulfatai (SO_4^{2-} , aerzolinės dalelės), suma nitratų (HNO_3 , dujinė azoto rūgštis ir NO_3^- , aerzolinės nitratų dalelės) ir suma amonio (NH_3 , dujinis amoniakas ir NH_4^+ , aerzolinės amonio dalelės).

Teršalų koncentravimui iš atmosferos oro naudoti celiulioziniai filtrai “Whatman 40” ir rinktuvai su specialiai gaminamais stiklo filtrais. Filtrų paruošimas ekspozicijai ir surinktų ant jų teršalų cheminė analizė atliekama vadovaujantis EMEP paruoštomis rekomendacijomis. Naudojant dviejų pakopų NILU sistemos filtrų laikiklius, aerzolinis sulfatas (aerSO_4) renkamas ant pirmoje pakopoje esančio “Whatman 40” filtro, kuris yra atviras atmosferai, o antroje filtro laikiklio pakopoje yra šarmu impregnuotas “Whatman 40” filtras sieros dioksido koncentravimui. Sumos nitratų (sumNO_3) ir sumos amonio (sumNH_4) junginių koncentravimui iš atmosferos “Whatman 40” filtrai prieš juos eksponuojant impregnuojami rūgštimi amonio junginiais ir šarmu - nitratams. Kiekvienam teršalui impregnuoti filtrai dedami į vienos pakopos NILU sistemos filtrų laikiklius. Azoto dioksido koncentravimui stiklo filtrai paruošiami juos impregnuojant šarminiu natrio jodido tirpalu. Visi filtrų impregnavimo darbai atliekami cheminėje laboratorijoje specialioje išvalyto atmosferos oro kameroje.

Dujinių ir aerzolinių teršalų bandiniai iš stočių LT01 ir LT03 gražinti į Aplinkos apsaugos agentūros aplinkos tyrimų departamentą ir, atlikus cheminę oro bandinių analizę, tyrimų rezultatai kas mėnesį persiunčiami Fizikos institutui.

Oro bandiniai iš Preilos buvo analizuojami Fizikos institute, ekstrahuojant 24 valandas 20-30 ml dejonizuotu vandeniu, kurio varža $>15 \text{ M}\Omega/\text{cm}$. Jonų mainų chromatografas "DIONEX 2010I" (kolonėlės AG4A-SC ir AS4A-SC) naudojamas sulfatų ir nitratų jonų koncentracijų tyrimams vandeniniuose tirpaluose iš tokių atmosferos oro bandinių: SO_2 , SO_4^{2-} ir sumNO_3^- . Analitinė nenutrūkstamo srauto sistema "CONTIFLO" naudojama spektrofotometriniam amonio jonų koncentracijų tyrimui indofenoliniu metodu vandeniniuose atmosferos sumNH_4^+ bandinių vandeniniuose tirpaluose. Azoto dioksido koncentracijų trietanolamino vandeniniame tirpale tyrimui naudojamas spektrofotometrinis metodas su Griess reagentu. Siekiant įvertinti naudojamų teršalų koncentravimui iš atmosferos filtrų ir impregnavimui bei analizei naudojamų reagentų užterštumą tiriamaisiais komponentais, kiekvieną mėnesį visoms IM stotims, o taip pat ir Preilai, ruošiami ir analizuojami "tušti" filtrai. Teršalų atmosferoje radimo ribos yra tokios: $\text{SO}_2 - 0.02 \text{ }\mu\text{gS}/\text{m}^3$, $\text{NO}_2 - 0.08 \text{ }\mu\text{gN}/\text{m}^3$, $\text{SO}_4^{2-} - 0.02 \text{ }\mu\text{gS}/\text{m}^3$, $\text{sumNO}_3^- - 0.014 \text{ }\mu\text{gN}/\text{m}^3$ ir $\text{sumNH}_4^+ - 0.027 \text{ }\mu\text{gN}/\text{m}^3$. Visų tiriamų teršalų cheminės analizės paklaidos yra mažesnės nei 10 %.

Tyrimų rezultatai

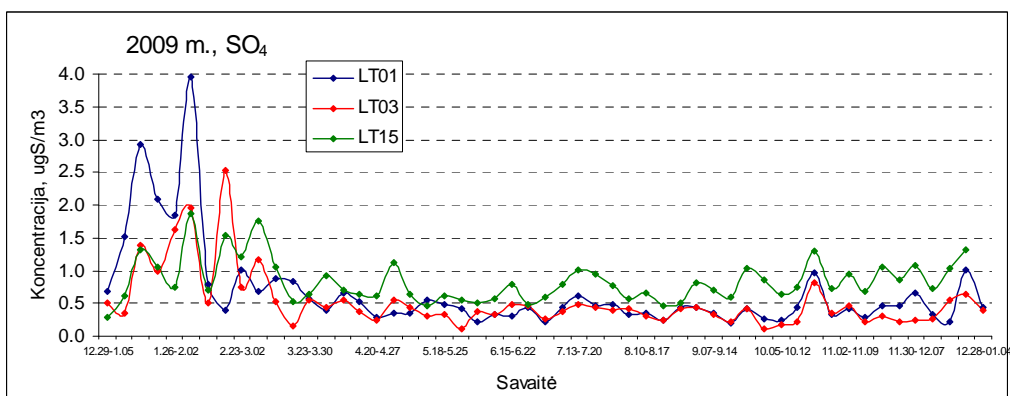
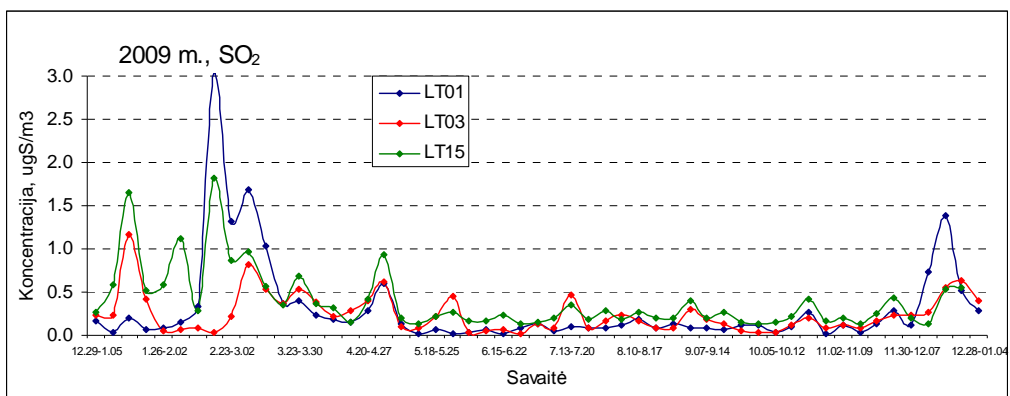
Pateikti 2.1 lentelėje tyrimų duomenys rodo visų tirtų teršalų koncentracijų didelius kaitos intervalus IM stotyse ir Preiloje: SO_2 nuo 0.01 iki $3.03 \text{ }\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (LT 01), nuo 0.02 iki $1.17 \text{ }\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (LT 03) ir Preiloje nuo 0.13 iki $1.82 \text{ }\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (savaitės vidutinės), nuo 0.04 iki $5.70 \text{ }\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (paros); NO_2 nuo 0.08 iki $1.97 \text{ }\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (LT 01), nuo 0.34 iki $2.55 \text{ }\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (LT 03) ir Preiloje nuo 0.34 iki $1.54 \text{ }\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (savaitės vidutinės), nuo 0.14 iki $3.74 \text{ }\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (paros); sulfatai nuo 0.20 iki $3.96 \text{ }\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (LT 01), nuo 0.10 iki $2.524 \text{ }\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (LT 03) ir Preiloje nuo 0.29 iki $1.87 \text{ }\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (savaitės vidutinės), nuo 0.02 iki $3.33 \text{ }\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (paros); sumNO_3 nuo 0.02 iki $1.23 \text{ }\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (LT 01), nuo 0.09 iki $1.16 \text{ }\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (LT 03) ir nuo 0.03 iki $3.41 \text{ }\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (Preiloje, paros); sumNH_4 nuo 0.03 iki $1.84 \text{ }\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (LT 01), nuo 0.16 iki $1.70 \text{ }\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (LT 03) ir nuo 0.16 iki $7.93 \text{ }\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (Preiloje, paros). Ypatingai dideli variacijos koeficientai gauti SO_2 koncentracijoms: 91 –170.4 %.

Tyrimų duomenys rodo (1, 2 ir 3 pav.), kad sieros ir azoto junginių koncentracijos nuo gegužės iki lapkričio mėn., kurios buvo mažesnės nei 2009 m. vidutinės, galėjo būti dėl gan lietingo periodo. Visose stotyse nuo birželio 1 d. iki spalio 19 d. iškrito daugiau nei 55 % metinio kritulių kiekio. Be to, mažesnės šio laikotarpio koncentracijos galima aiškinti ypatingai SO_2 emisijų sezoniškumu.

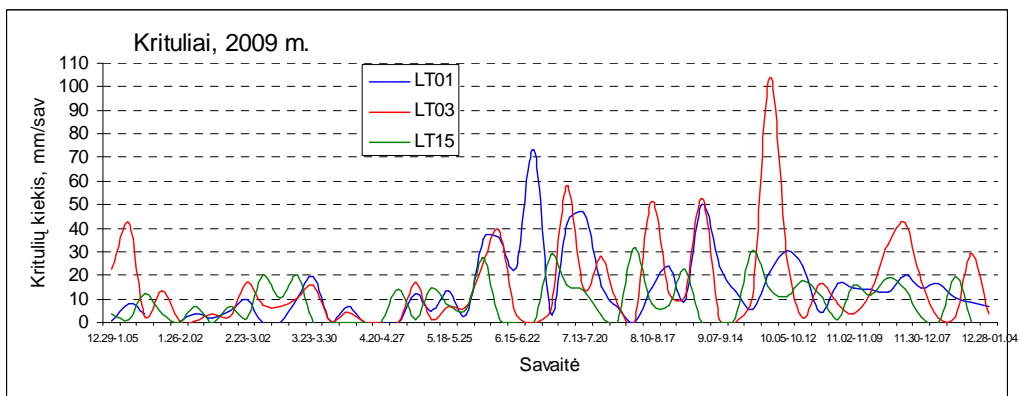
1 lentelė. Dujinių ir aerosolinių teršalų koncentracijų ore statistinės vertės (savaitės bandinių) IM stotyse ir Preiloje (savaitės ir paros bandinių) 2009 m.

Komponentė, matavimo vienetas	Vertė	Vieta			
		LT01	LT03	PREILA	
				savaitė	para
SO₂ μgS/m ³	min	0.02	0.02	0.13	0.04
	max	3.03	1.17	1.82	5.70
	vidut. met.	0.31	0.24	0.39	0.39
	standart. nuokrypis	0.52	0.23	0.36	0.59
	variacijos. koef. %	170.4	92.0	91.0	149.0
NO₂ μgN/m ³	min	0.08	0.34	0.34	0.14
	max	1.97	2.55	1.54	3.74
	vidut. met.	0.59	0.86	0.84	0.84
	standart. nuokrypis	0.45	0.48	0.31	0.53
	variacijos. koef. %	76.0	56.9	37.6	63.0
aerSO₄²⁻ μgS/m ³	min	0.20	0.10	0.29	0.02
	max	3.96	2.52	1.87	3.13
	vidut. met.	0.65	0.53	0.83	0.83
	standart. nuokrypis	0.68	0.45	0.33	0.51
	variacijos. koef. %	102.8	86.1	40.0	62.0
sumNO₃ μgN/m ³	min	0.02	0.09	0.13	0.03
	max	1.23	1.16	1.94	3.41
	vidut. met.	0.36	0.38	0.56	0.56
	standart. nuokrypis	0.21	0.21	0.32	0.45
	variacijos. koef. %	57.4	54.2	58.0	81.1
sumNH₄ μgN/m ³	min	0.03	0.16	0.34	0.16
	max	1.84	1.70	4.61	7.93
	vidut. met.	0.88	0.81	1.52	1.52
	standart. nuokrypis	0.38	0.37	0.91	1.22
	variacijos. koef. %	43.1	45.0	59.3	80.6

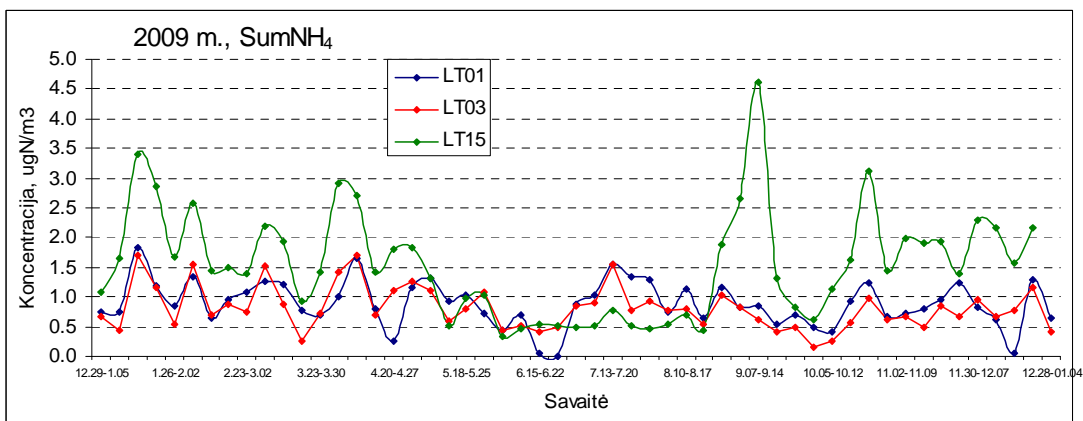
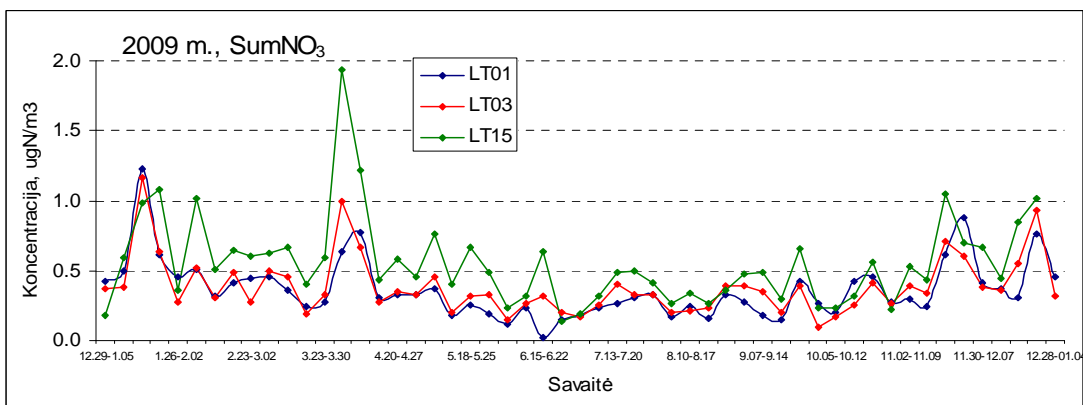
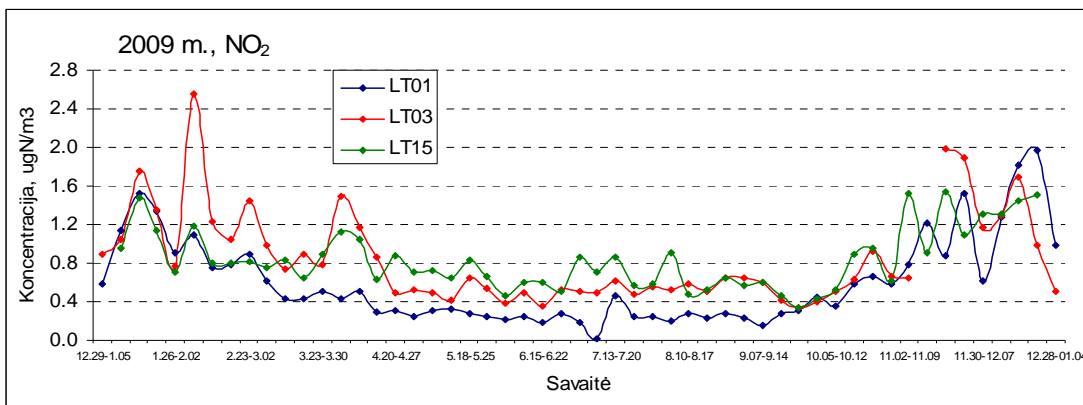
Dujinių ir aerosolinių teršalų savaitės vidutinių koncentracijų ir kritulių kiekio dinamiką IM stotyse ir Preiloje per 2009 m. iliustruoja 2.1- 2 - 3 paveikslai.



2.1 pav. Sieros junginių savaitės vidutinių koncentracijų dinamika Aukštaitijoje (LT01), Žemaitijoje (LT03) ir Preiloje (LT15)



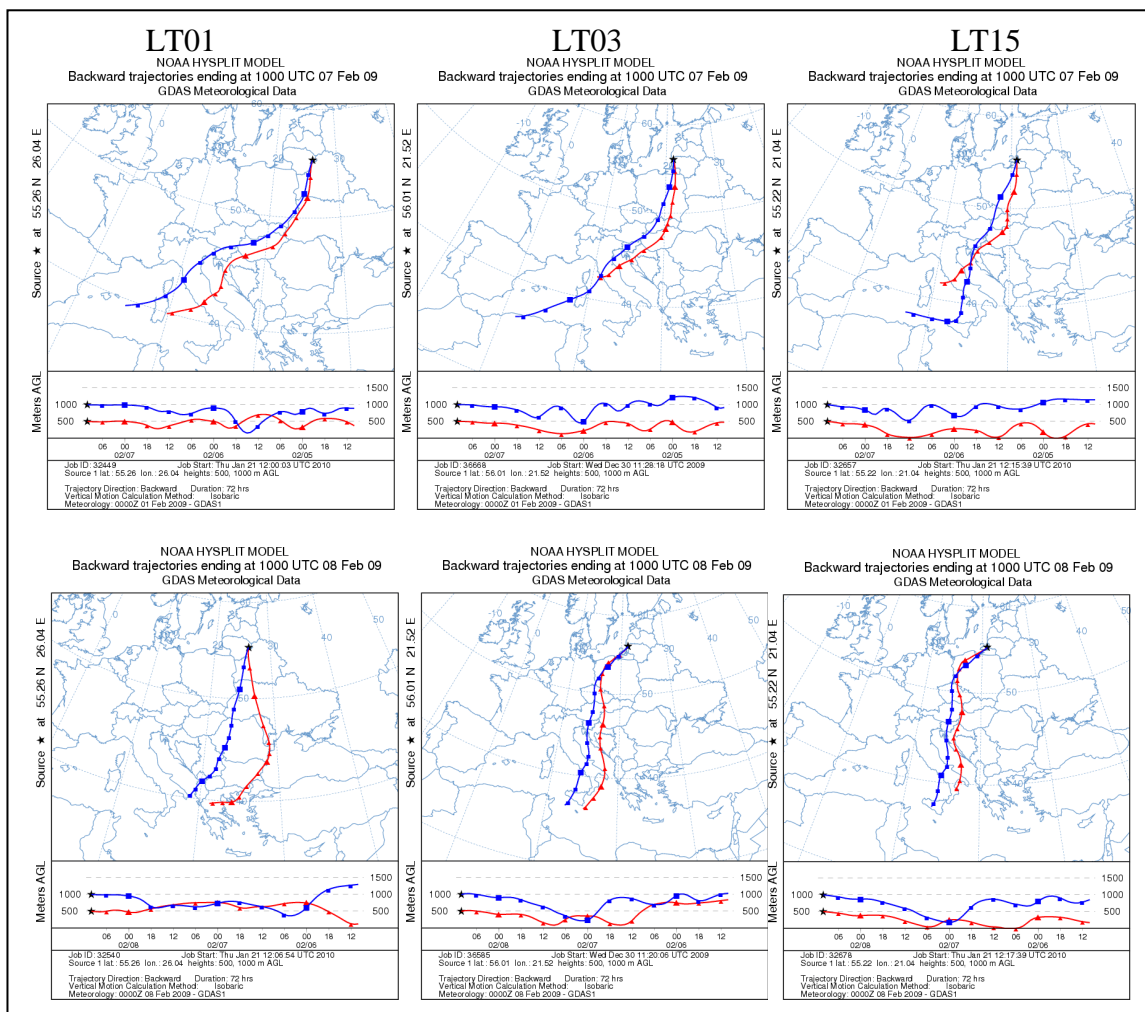
2.2 pav. Savaitės kritulių kiekio dinamika Aukštaitijoje (LT01), Žemaitijoje (LT03) ir Preiloje (LT15)



2.3 pav. Azoto junginių savaitės vidutinių koncentracijų dinamika Aukštaitijoje (LT01), Žemaitijoje (LT03) ir Preiloje (LT15)

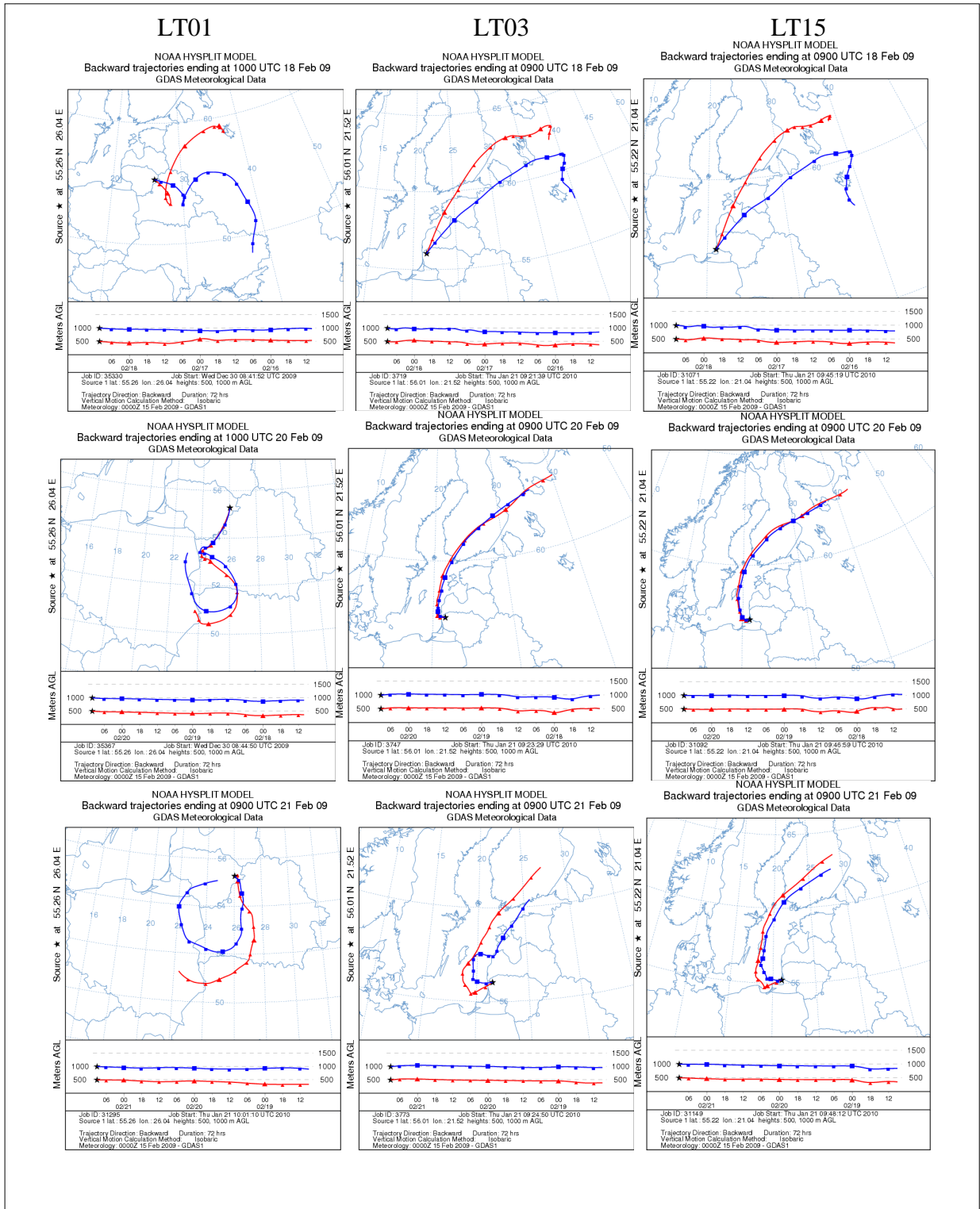
Koncentracijų kaitos dinamikoje stebimi kelis kartus didesnių nei 2009 metų vidutinės (1 lentelė) SO_2 , SO_4 , NO_2 , SumNO_3 ir SumNH_4 koncentracijų epizodai. Vyraavusios oro masių pernašos į Lietuvą iš pietvakarinių Europos rajonų vasario 7–8 dienomis (4 pav.) ir esant nedideliam kritulių kiekiui (LT01 –3.6 mm, LT03 – 0.33 mm ir LT15 – 6.5 mm), lėmė dideles teršalų koncentracijas Lietuvoje. Savaitės vidutinės NO_2 koncentracijos buvo: LT01 – 1.09 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, LT03 –2.55 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ ir LT15 – 1.18 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, SumNO_3 – LT01 – 0.51 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, LT03 –

0.52 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ ir LT15 – 1.02 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, SumNH_4 – LT01 – 1.34 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, LT03 – 1.54 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ ir LT15 – 2.59 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$,



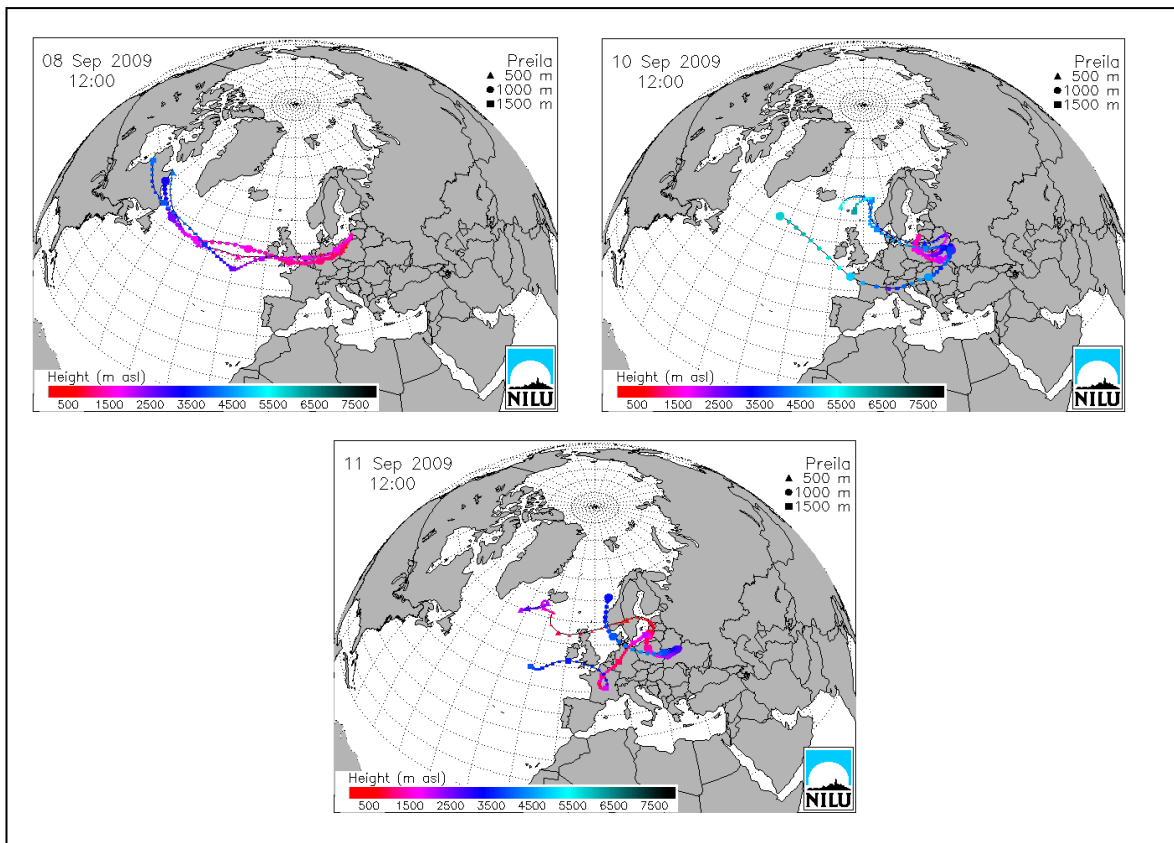
2.4 pav. Oro masių judėjimo į Lietuvos IM stotis ir Preilą atgalinės 72 val. trajektorijos 2009 m. vasario mėn. 7-8 d.d.

Vasario mėnesio savaitės (16–23 d.d.) teršalų koncentracijų epizodą su skirtingomis ypač SO_2 koncentracijomis (LT01 – 3.03 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$, LT03 – 0.3 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ ir LT15 – 1.82 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$), matyt, lėmė tai, kad link Aukštaitijos stoties oro masės judėjo nuo pietrytinių – pietinių Europos rajonų, o į LT03 ir LT15 – iš šiaurės rytinių (per Baltijos jūrą)(5 paveikslas).



2.5 pav. Oro masių judėjimo į Lietuvos IM stotis ir Preilą atgalinės 72 val. trajektorijos 2009 m. vasario mėn. 18-21 d.d.

Rugsėjo mėn. 8 –11 d.d., judant oro masėms į Preilą virš Centrinės Europos rajonų (6 pav.) ir nesant kritulių, koncentracijos didėjo NO₂ nuo 0.58 iki 1.17 μgN/m³, SumNH₄ nuo 3.10 iki 7.90 μgN/m³. Tuo metu Aukštaitijoje ir Žemaitijoje šių teršalų koncentracijos buvo: NO₂ – 0.16 (LT01) ir 0.60 (LT03) μgN/m³, SumNH₄ – 0.86 (LT01) ir 0.63 (LT03) μgN/m³.



2.6 pav. Oro masių judėjimo atgalinės 72 val. trajektorijos į Preilą rugsėjo mėn. 8-11 d.d.

2 lentelė. Vidutinės mėnesio teršalų koncentracijos ore Aukštaitijos IMS

Metai, mėnuo	SO ₂	aer.SO ₄ ²⁻	NO ₂	SumNO ₃	SumNH ₄
	μgS/m ³		μgN/m ³		
2009.01	0.11	1.81	1.10	0.64	1.08
2009.02	1.21	1.54	0.88	0.42	1.01
2009.03	0.87	0.75	0.50	0.33	0.99
2009.04	0.29	0.44	0.36	0.47	0.97
2009.05	0.06	0.45	0.29	0.25	1.00
2009.06	0.05	0.32	0.23	0.13	0.30
2009.07	0.09	0.44	0.23	0.26	1.21
2009.08	0.13	0.35	0.25	0.23	0.92
2009.09	0.09	0.35	0.24	0.26	0.73
2009.10	0.11	0.45	0.53	0.32	0.74
2009.11	0.14	0.41	1.10	0.51	0.93
2009.12	0.61	0.53	1.33	0.46	0.68

Vidutinė	0.31	0.65	0.59	0.36	0.88
-----------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

3 lentelė. Vidutinės mėnesio teršalų koncentracijos ore Žemaitijos IMS

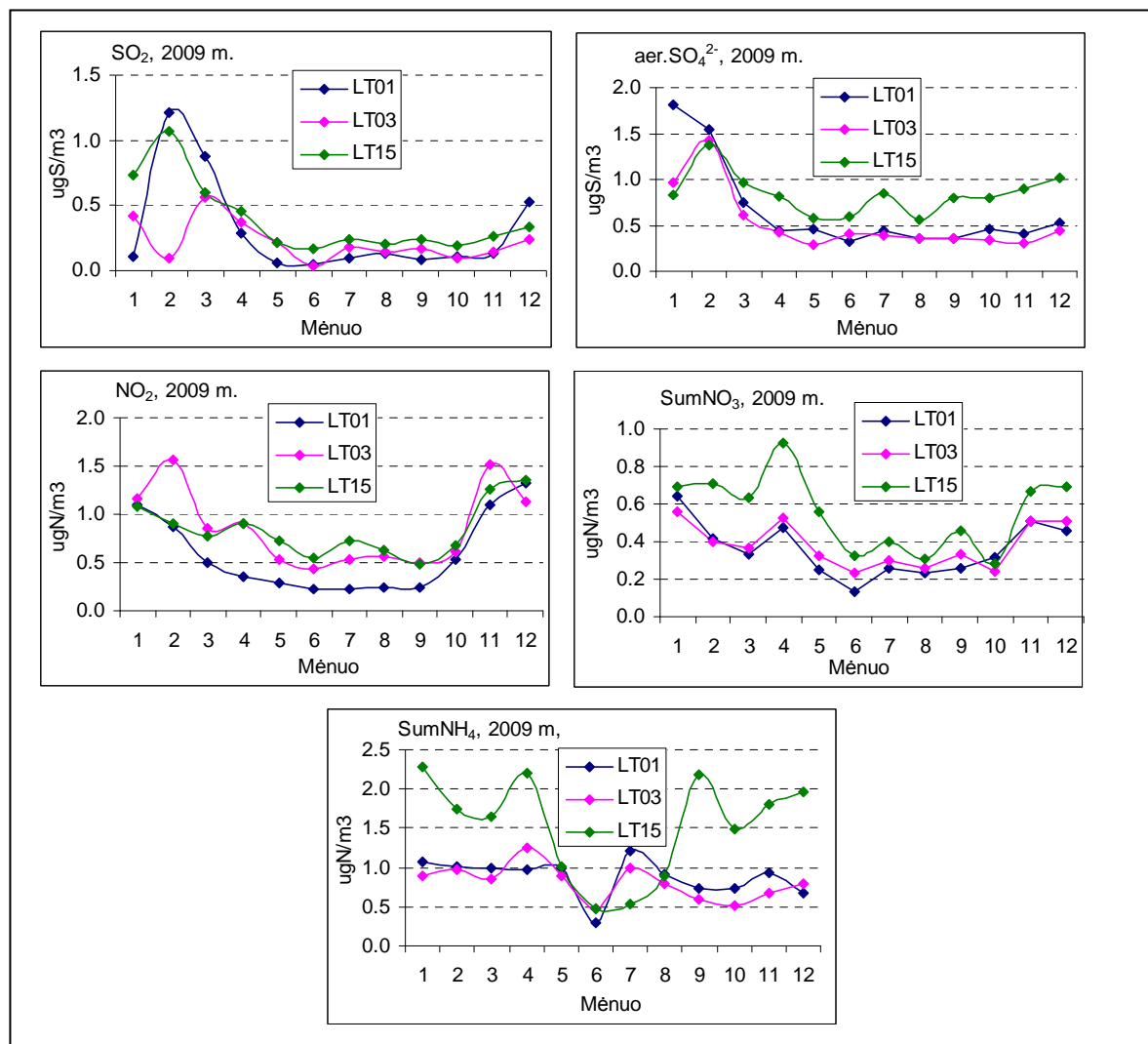
Metai, mėnuo	SO ₂	aer.SO ₄ ²⁻	NO ₂	SumNO ₃	SumNH ₄
	μgS/m ³		μgN/m ³		
2009.01	0.42	0.97	1.16	0.56	0.90
2009.02	0.10	1.43	1.57	0.40	0.97
2009.03	0.57	0.61	0.85	0.37	0.85
2009.04	0.38	0.43	0.91	0.52	1.24
2009.05	0.22	0.30	0.53	0.33	0.89
2009.06	0.04	0.41	0.44	0.23	0.47
2009.07	0.19	0.39	0.53	0.30	1.00
2009.08	0.15	0.35	0.57	0.26	0.79
2009.09	0.17	0.36	0.50	0.33	0.59
2009.10	0.10	0.34	0.62	0.24	0.52
2009.11	0.15	0.30	1.51	0.51	0.67
2009.12	0.42	0.44	1.13	0.51	0.79
Vidutinė	0.24	0.53	0.86	0.38	0.81

4 lentelė. Vidutinės mėnesio teršalų koncentracijos ore Preiloje (EMEP stotis)

Metai, mėnuo	SO ₂	aer.SO ₄ ²⁻	NO ₂	SumNO ₃	SumNH ₄
	μgS/m ³		μgN/m ³		
2009.01	0.74	0.83	1.08	0.69	2.27
2009.02	1.07	1.38	0.90	0.71	1.75
2009.03	0.60	0.97	0.77	0.64	1.65
2009.04	0.46	0.81	0.91	0.92	2.20
2009.05	0.21	0.58	0.72	0.56	1.01
2009.06	0.17	0.59	0.55	0.32	0.48
2009.07	0.24	0.84	0.73	0.40	0.53
2009.08	0.21	0.56	0.63	0.31	0.89
2009.09	0.24	0.79	0.48	0.46	2.18
2009.10	0.19	0.79	0.68	0.28	1.49
2009.11	0.26	0.89	1.26	0.67	1.81
2009.12	0.34	1.01	1.35	0.69	1.96
Vidutinė	0.39	0.83	0.84	0.56	1.52

Teršalų dinamiką rodo pateikti duomenys 2–4 lentelėse ir 7 paveiksle. Didžiausios SO₂ koncentracijos 1.21 ir 1.07 μgS/m³ atitinkamai LT01 ir LT15 gautos vasario mėn., o LT03 kovo mėn. – 0.57 μgS/m³. SO₂ koncentracijos buvo ryškiai mažesnės (0.10–0.24 μgS/m³) visose tyrimo vietose nuo birželio iki spalio mėn. Tai galėjo būti dėl mažesnės SO₂ emisijos per vasaros mėn. ir gan lietingo, palyginti su pavasario mėnesiais, laikotarpio. Aerozolinių sulfatų mėnesio vidutinės koncentracijos IM stotyse mažesnės nei 2009 m. vidutinės koncentracijos, 0.65 ir 0.53 μgS/m³, atitinkamai LT01 ir LT03 stotyse, gautos per gegužės –

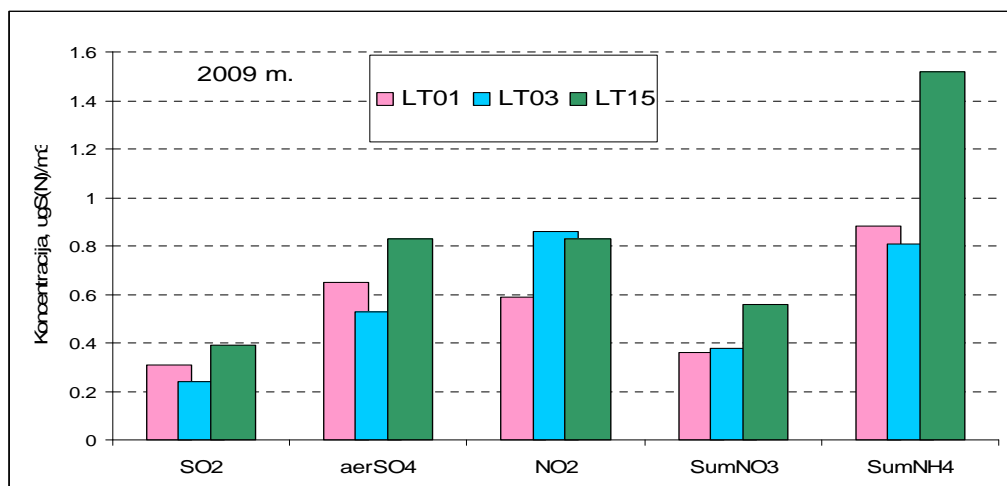
gruodžio mėnesius, o Preiloje – nuo balandžio iki spalio mėn. Preiloje sulfatų vidutinės mėnesio koncentracijos nuo kovo mėn. iki metų pabaigos buvo didesnės nei IM stotyse.



2.7 pav. Vidutinės mėnesio dujinių ir aerozolinių teršalų koncentracijos ore Aukštaitijos (LT01, Žemaitijos (LT03) ir Preilos (LT15) stotyse

Akivaizdi NO₂ koncentracijų metinė eiga: kelis kartus didesnės koncentracijos nei vidutinės 2009 m. vertės per žiemos mėnesius ir mažesnės per gegužės – spalio mėnesius. Tokią NO₂ mėnesio koncentracijų kaitą gali lemti spartesnė NO₂ fotocheminė oksidacija per pavasario ir vasaros mėnesius. Preiloje didesnės NO₂ koncentracijos nei IM stotyse, galima sieti su emisija NO_x iš laivų Baltijos jūroje ir didesniu autotransporto srautu Neringoje nei IM stočių aplinkoje. Sumos nitratų mėnesio vidutinių koncentracijų metinėje kaitoje matomas staigus koncentracijų mažėjimas nuo balandžio iki spalio mėn.: IM stotyse ir Preiloje vasaros mėnesių koncentracijos yra kelis kartus mažesnės nei sausio mėnesį. Sumos amonio mėnesio

vidutinių koncentracijų kaitoje nėra ryškios sezoninės eigos, tačiau stebimos mažesnės koncentracijos per lietingesnį laikotarpį.

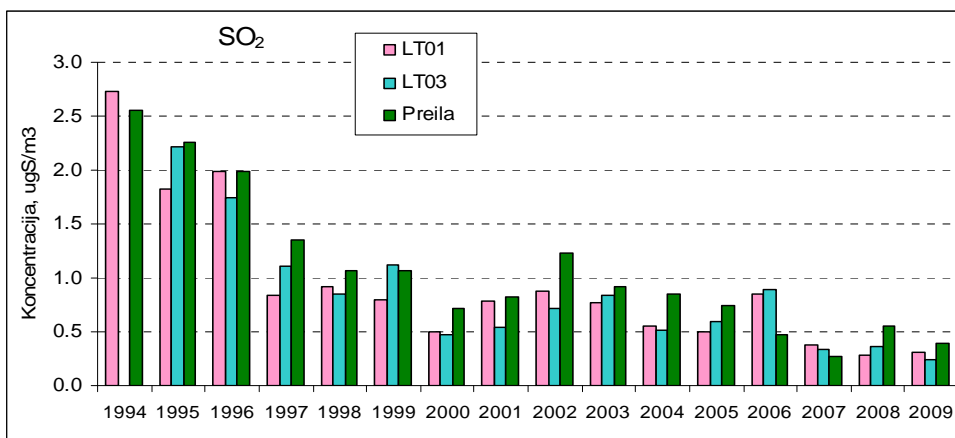


2.8 pav. Atmosferos teršalų 2009 m. vidutinės koncentracijos IM ir LT15 stotyse.

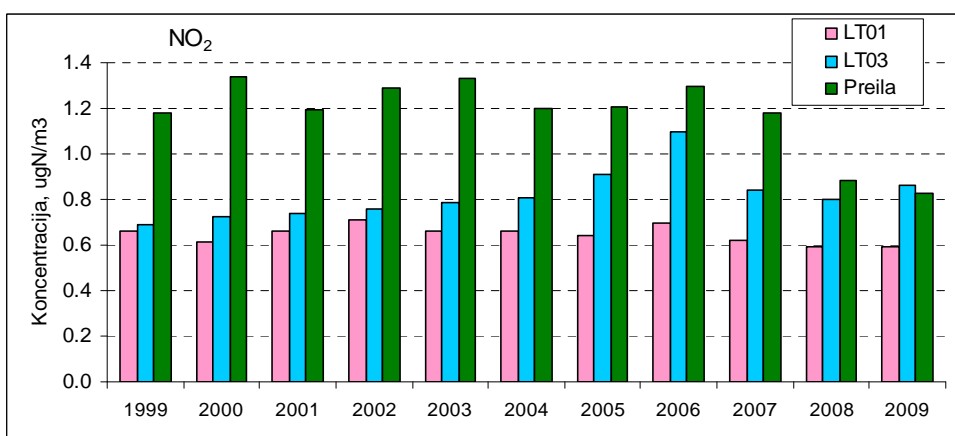
Palyginus atmosferos teršalų metines vidutines 2009 m. koncentracijas trijose vietose (8 pav.) matyti, kad Preiloje visų teršalų metinės koncentracijos yra ženkliai didesnės (nuo 26 % SO₂ iki 73 % SumNH₄) nei Aukštaitijos stotyje, taip pat ir Žemaitijos stotyje (nuo 47 % SumNO₃ iki 88 % SumNH₄), išskyrus NO₂. Azoto dioksido vidutinė metinė koncentracija Preiloje yra pusantro karto didesnė nei LT01 ir nežymiai (< 5 %) mažesnė nei LT03. Beveik dvigubai mažesni metinių kritulių kiekiai Preiloje nei Žemaitijoje ir Aukštaitijoje, matyt, galima laikyti teršalų didesnių koncentracijų priežastimi. Sieros dioksido, aerolinių sulfatų ir sumos amonio metinės koncentracijos Žemaitijos stotyje (LT03) yra mažesnės nei Aukštaitijos stotyje (LT01), atitinkamai 29%, 23% ir 9 %.

Sieros dioksido, azoto dioksido, aerolinių sulfatų, sumos nitratų ir sumos amonio metinių koncentracijų ore kaita nuo 1994 m. iki 2009 m. IM stotyse ir Preiloje pateikiama 9, 10, 10, 12 ir 13 paveiksluose.

Sieros dioksido (2.9 pav.) metų koncentracijos Preiloje sumažėjo nuo 2.55 (1994 m.) iki 0.39 µgS·m⁻³ (2009 m.), Aukštaitijoje – nuo 2.73 (1994 m.) iki 0.31 µgS·m⁻³ (2009 m.), o Žemaitijoje – nuo 2.22 (1995 m.) iki 0.24 µgS·m⁻³ (2009 m.). Analizuojant SO₂ metinių koncentracijų dinamiką per tiriamąjį laikotarpį, galima pastebėti jų ryškų mažėjimą iki 1997 m., o per pastaruosius 3 metus SO₂ koncentracijos kito gan nedideliame intervale.

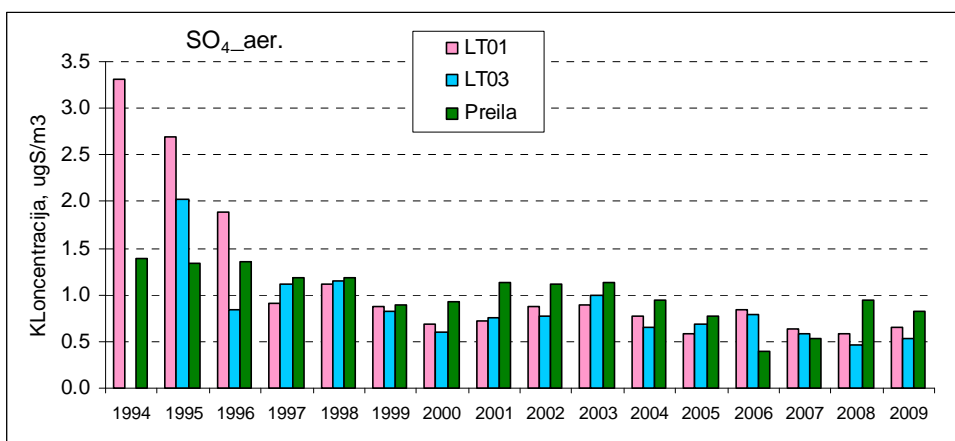


2.9 pav. SO₂ metinių koncentracijų atmosferos ore kaita IM stotyse ir Preiloje



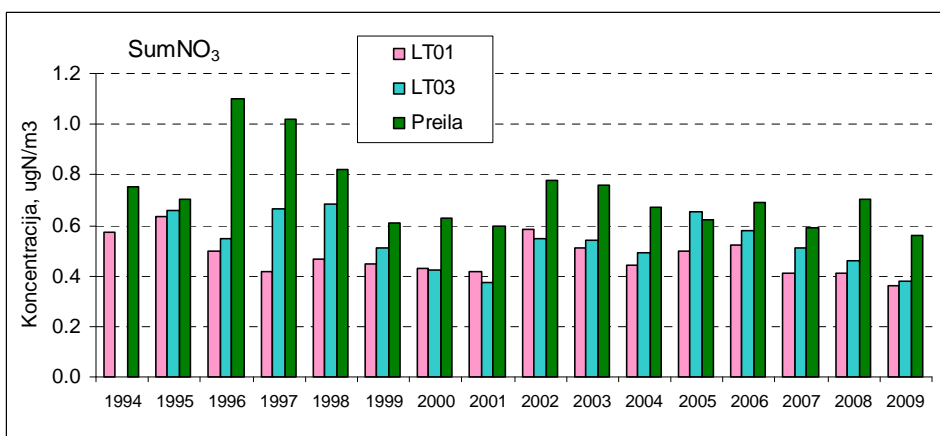
2.10 pav. NO₂ metinių koncentracijų atmosferos ore kaita IM stotyse ir Preiloje

Azoto dioksido metinės koncentracijos (2.10 pav.) Aukštaitijoje 1999 – 2009 m. kito nuo 0.66 iki 0.59 $\mu\text{gN/m}^3$ be aiškios koncentracijų didėjimo ar mažėjimo tendencijos. Žemaitijoje matomas vidutinių metinių koncentracijų didėjimas nuo 0.69 $\mu\text{gN/m}^3$ (1999 m.) iki 1.10 $\mu\text{gN/m}^3$ (2006 m.) ir sumažėjimas per pastaruosius trejus metus. Preiloje azoto dioksido metinių koncentracijų kaitoje nėra vienareikšmės tendencijos iki 2006 m. ir mažėjimas nuo 2007 m.



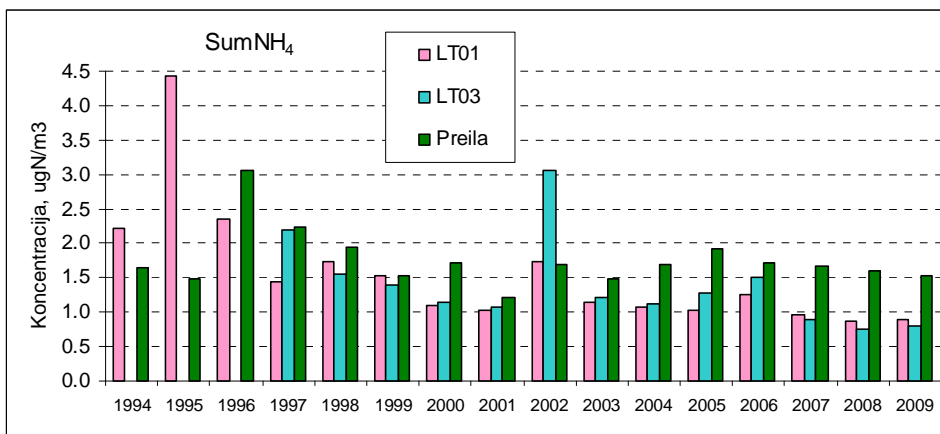
2.11 pav. aerSO₄ metinių koncentracijų atmosferos ore kaita IM stotyse ir Preiloje

Aerozolinių sulfatų metinių koncentracijų kaita rodo (2.11 pav.) jų sumažėjimą nuo 3.32 iki 0.65 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ Aukštaitijoje ir nuo 2.03 iki 0.53 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ Žemaitijoje. Preiloje aerozolinių sulfatų metinių koncentracijų kaita per šį 16 metų laikotarpį yra mažesnė: nuo 1.39 iki 0.83 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$.



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

Pateikti duomenys 2.12 paveiksle rodo nevienareikšmę sumos nitratų metinių koncentracijų kaitos tendenciją Aukštaitijos bei Žemaitijos stotyse ir Preiloje. Per 16 metų laikotarpį vidutinės metų sumNO₃ koncentracijos Aukštaitijoje sumažėjo nuo 0.57 iki 0.36 $\mu\text{gN}\cdot\text{m}^{-3}$, Žemaitijoje nuo 0.66 iki 0.38 $\mu\text{gN}\cdot\text{m}^{-3}$ ir Preiloje kito nuo 1.10 iki 0.56 $\mu\text{gN}\cdot\text{m}^{-3}$.



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

SumNH₄ koncentracijų ore kaitos tendencija (13 pav.) panaši į aerosolinių sulfatų. Vidutinė metinė koncentracija kito Aukštaitijoje nuo 2.23 iki 0.88 µgN/m³, Žemaitijoje nuo 2.20 iki 0.81 µgN/m³, Preiloje – nuo 3.07 iki 1.52µgN/m³.

Visose stotyse stebima SumNO₃ ir SumNH₄ metinių koncentracijų mažėjimo tendencija per pastaruosius keturis metus (2006–2009 m.).

Išvados

Vertinant atmosferos oro taršos tyrimų duomenis IM stotyse ir Preiloje 2009 m., daromos tokios išvados:

- Dideli koncentracijų kaitos intervalai yra būdingi visiems tirtiems atmosferos ore sieros ir azoto junginiams. Tai rodo variacijos koeficientų vertės (1 lentelė).
- Sezoninė koncentracijų kaita labiausiai ryški NO₂ ir sumNO₃: jų koncentracijos atmosferos ore matuotos didesnės per šaltąjį metų laikotarpį, (sausio, vasario, lapkričio ir gruodžio mėn.), nei per šiltąjį (balandžio – rugsėjo mėn.).
- Teršalų koncentracijoms atmosferos ore IM stotyse ir Preiloje didžiausią poveikį daro emisijos šaltiniai, kurie yra centrinėje, pietinėje ir pietrytinėje Europoje.
- Visų teršalų, išskyrus NO₂, vidutinės 2009 m. koncentracijos Preiloje yra didesnės nei Žemaitijoje ir Aukštaitijoje.
- Visose stotyse stebima azoto junginių (NO₂, SumNO₃ ir SumNH₄) metinių koncentracijų mažėjimo tendencija per 2006–2009 m. metus.

- Dujinių ir aerosolinių sieros ir azoto junginių koncentracijų tyrimų 2005–2009 m. apimty (tiriami parametrai ir stebėjimo dažnis) IM stotyse (LT01 ir LT03) ir EMEP stotyje (LT15) tik minimaliai atitinka keliamus programų reikalavimus. Tenkinant Europos monitoringo paruoštos strategijos 2010–2019 m., EMEP stotyse papildomai į programą turi būti įtraukti dujinių amoniako, azoto ir druskos rūgšties ore tyrimai, taip pat Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} koncentracijų tyrimai aerosolio dalelėse ir aerosolio dalelių (PM10 ir PM2.5) masės koncentracija. Jų stebėjimo dažnis turi būti nedidesnis nei 24 valandos. 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

- EMEP Manual for Sampling and Chemical Analysis, EMEP/CCC-Report 1/95, Norwegian Institute for Air Research; Kjeller, 1996, pp. 4-1, 4-48 and 5-1 – 6-7.
- 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.
- Rolph, G.D., 2003. Real-time Environmental Applications and Display sYstem (READY) Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready.php>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
- FLEXTRA trajectories (www.nilu.no/trajectories)
- Stohl, A., and P. Seibert (1998): Accuracy of trajectories as determined from the conservation of meteorological tracers. *Q. J. Roy. Met. Soc.* 124, 1465-1484.
- Stohl, A. (1998): Computation, accuracy and applications of trajectories - a review and bibliography. *Atmos. Environ.* 32, 947-966.

2.2 Pagrindinių cheminių priemaišų foninių koncentracijų bei fizinių parametru atmosferos iškritose tyrimai pagal EMEP ir ICP IM programas

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

Pagrindiniai atmosferos kritulių cheminės sudėties tyrimo tikslai Lietuvoje yra tokie: gauti informaciją apie teršalų koncentracijas krituliuose, nustatyti erdvinis ir laikinius teršalų koncentracijų pokyčius, teršalų atmosferinius srautus į sąlygiškai natūralias ekosistemas ir miško paklotę. Atmosferos kritulių tyrimai Lietuvoje 2009 metais vykdyti dviejose integruoto monitoringo stotyse (IMS): Aukštaitijoje (LT01), Žemaitijoje (LT03) ir atmosferos užterštumų tyrimo stotyje Preiloje (kodas EMEP tinkle - 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+}) ir kalcio (Ca^{2+}). Matuotas kritulių savitasis laidumas ir pH. Vandeniilio (H^+) jonų koncentracija skaičiuota iš matuotų pH verčių.

Darbo metodika

Siekiant sumažinti teršalų sausųjų iškritų iš atmosferos patekimą į kritulių rinktuvą, IM stotyse ir Preiloje krituliai rinkti į rinktuvus su dangčiais, kurie automatiškai atsidaro prasidėjus lietui ar sniegui ir užsidaro, krituliams pasibaigus.

IM stotyse (LT01 ir LT03) rinkti per savaitę iškritę krituliai, o Preiloje (LT15) – per parą. Vykdamas atmosferos iškritų tyrimus dviejose IM stotyse per 2009 m. surinkta po 52 atmosferos kritulių savaitinius bandinius ir Preiloje - 132 atmosferos kritulių paros bandiniai.

Polajinių kritulių monitoringas Lietuvoje vykdytas dviejose IM stotyse: Aukštaitijoje (LT01) ir Žemaitijoje (LT03). 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 2009 m. stotyje LT01 buvo surinkti 72 kritulių bandiniai, t.y. 60 po laja ir 12 atviroje vietoje. Tiek pat bandinių surinkta ir stotyje LT03.

Atmosferos iškritų ir polajinių kritulių bandiniai, kurie rinkti 2009 m. IM stotyse LT01 ir LT03, buvo pristatomi į Aplinkos apsaugos agentūros aplinkos tyrimų departamentą, kuris, atlikus cheminę kritulių bandinių analizę, tyrimų rezultatus kas mėnesį persiurdavo Fizikos institutui.

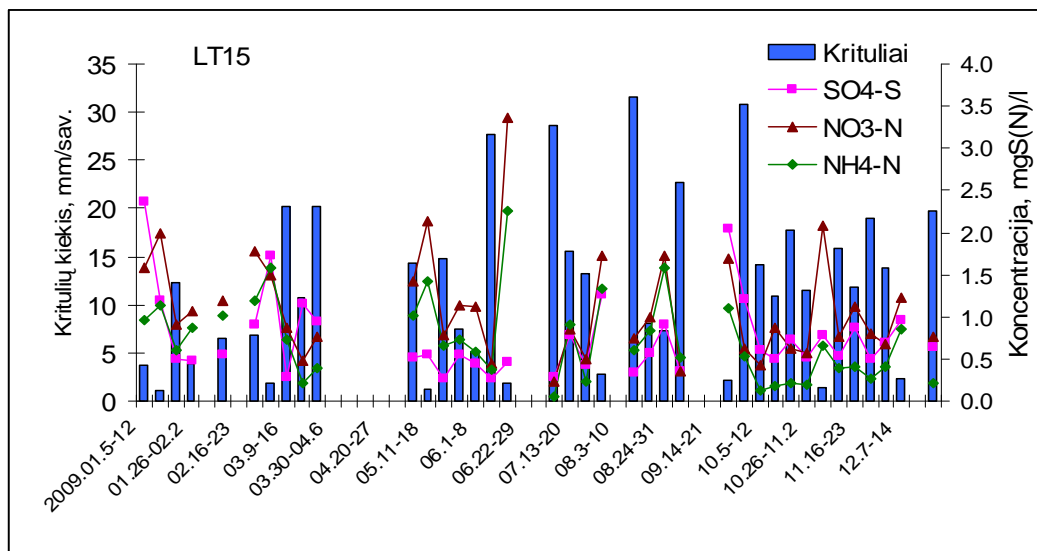
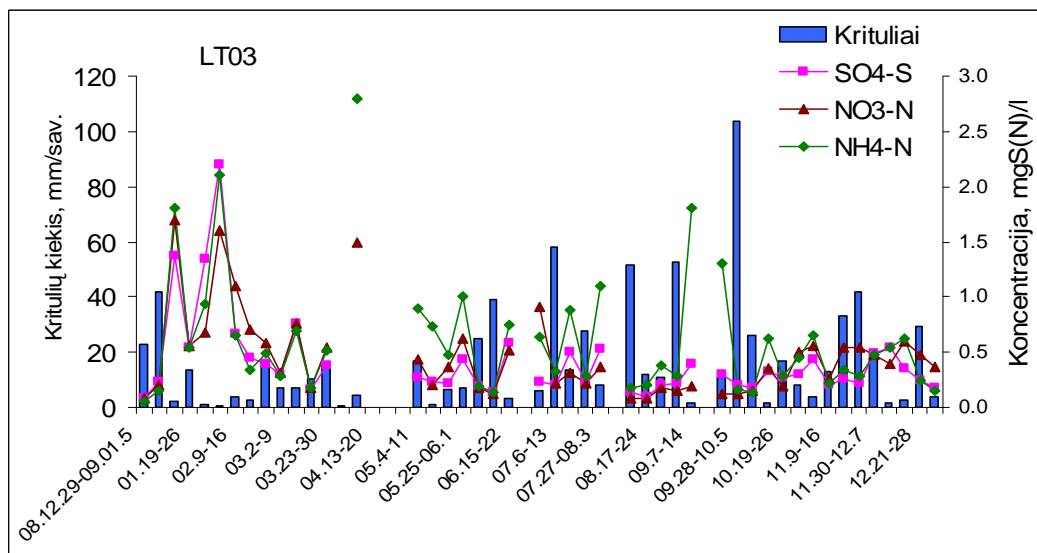
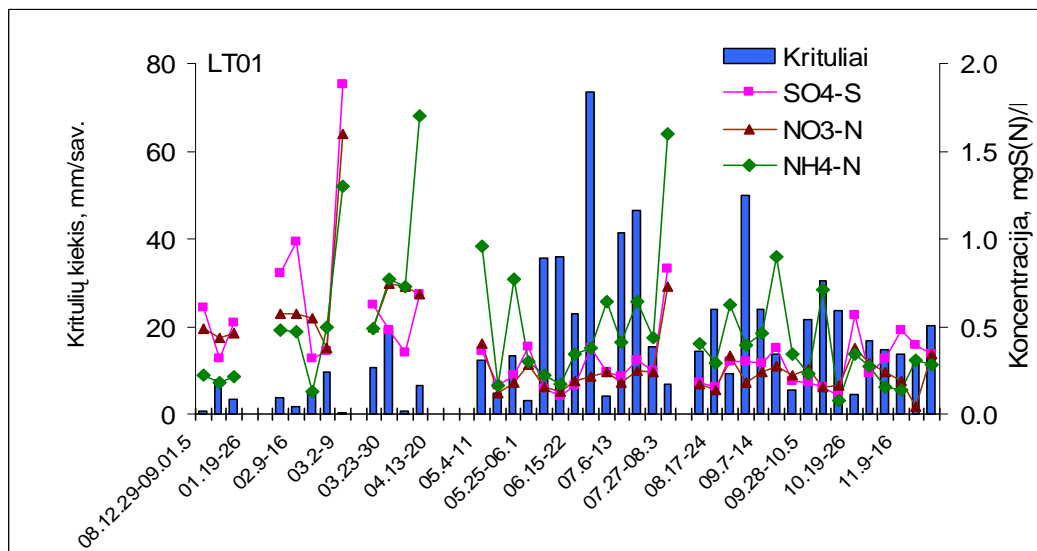
Krituliai, kurie buvo renkami Preiloje (LT15), analizuoti Fizikos institute. Jonų mainų chromatografas "DIONEX 2010I" (kolonėlės AG4A-SC ir AS4A-SC) naudotas anijonų (sulfatų, nitratų ir chloridų) koncentracijų matavimui. Amonio koncentracijų tyrimui indofenoliniu metodu naudota spektrofotometrinė analitinė nenutrūkstamo srauto sistema (CONTIFLO). Laboratorinis skaitmeninis pH-metras OP-211/1 su kombinuotu sidabro elektrodu "CORNING", jį kalibruojant su "Merck" standartais pH = 4.0 ir pH = 7.0, naudotas pH matavimams. Natrio, kalio ir kalcio koncentracijų tyrimui naudotas liepsnos fotometras PAŽ 2.

Teršalų radimo ribos atmosferos krituliuose yra tokios: SO_4^{2-} – 0.02 mgS/l, NO_3^- – 0.013 mgN/l, Cl^- – 0.01 mg/l, NH_4^+ – 0.04 mgN/l, Na^+ – 0.02 mg/l, K^+ – 0.02 mg/l, Ca^{2+} – 0.02 mg/l. Atmosferos kritulių bandiniai rinkti ir pagrindinių cheminių teršalų koncentracijos juose tirtos pagal EMEP bei WMO/GAW rekomendacijas. Analizuojant sintetinį lietų (EMEP ir WMO tinklo standartai) su žinomomis cheminių komponentių koncentracijomis, buvo įvertintas kiekvienos tiriamos krituliuose komponentės koncentracijos matavimo patikimumas ir tikslumas. Analizuojamų komponentių koncentracijų nuokrypis nuo tikrosios jų vertės neviršijo 10%. Kiekvieno bandinio cheminės analizės kokybę įvertinta pagal teigiamų ir neigiamų jonų koncentracijų ($\mu\text{ekv/l}$) balansą.

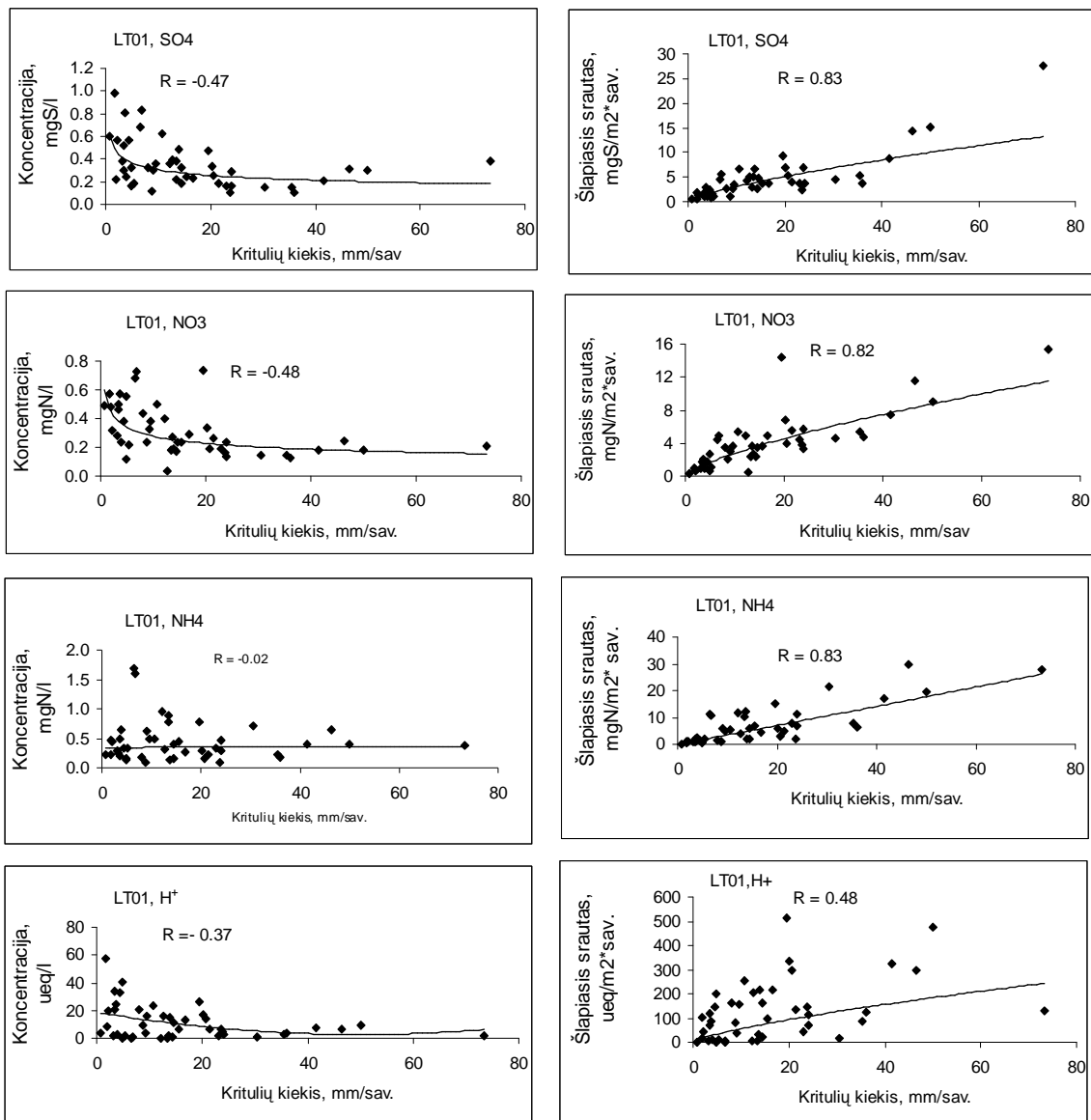
Nagrinėjant SO_4^{2-} koncentracijas Preiloje buvo įvertinamas šio teršalo įnašas iš Baltijos jūros. Jūrinės kilmės sulfatų kiekis krituliuose skaičiuojamas naudojant atitinkamus koeficientus pagal Na^+ arba Cl^- koncentracijas kritulių bandinyje. Atėmus jūrinės kilmės SO_4^{2-} – S_{sea} kiekį iš matuoto 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 2009 m. metinės koncentracijos, įvertinant metinį kritulių kiekį.

Darbo rezultatai.

Didelę įtaką priemaišų koncentracijoms krituliuose daro kritulių kiekis bei jų pobūdis. Pateikti 1 pav. duomenys rodo, kad Aukštaitijos monitoringo stotyje (LT01) sulfatų jonų koncentracija kito nuo 0.10 iki 1.88 mgS/l, nitratų jonų – nuo 0.04 iki 1.60 mgN/l ir amonio jonų – nuo 0.08 iki 1.70 mgN/l. Gan didelis koncentracijų kaitos intervalas gautas ir Žemaitijos monitoringo stotyje (LT03), o taip pat ir Preiloje (LT15 –EMEP stotyje). Žemaitijoje sulfatų jonų koncentracija kito nuo 0.10 iki 2.20 mgS/l, nitratų jonų – nuo 0.08 iki 1.70 mgN/l ir amonio jonų – nuo 0.05 iki 2.80 mgN/l, o Preiloje – sulfatų jonų koncentracija kito nuo 0.26 iki 2.36 mgS/l, nitratų jonų – nuo 0.23 iki 3.37 mgN/l ir amonio jonų – nuo 0.05 iki 2.26 mgN/l. Šią gan ryškia pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų kaitą per 2009 m. daugiausia lėmė kritulių kiekis. Aukštaitijoje, esant kritulių kiekiui 0.27 mm/sav. (03.2-9), matuotos 2009 m. didžiausios sulfatų ir nitratų jonų koncentracijos. Žemaitijoje –šių cheminių priemaišų didžiausios koncentracijos buvo vasario mėn. 2-9 d., esant kritulių kiekiui 0.8 mm/sav., Preiloje, esant kritulių kiekiui < 4.0 mm/sav., per sausio, birželio ir spalio mėn. Ir priešingai, esant lietingoms savaitėms per birželio ir liepos mėn., šių pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos buvo mažesnės, palyginti su ankstesniu 2009 m. metų laikotarpiu. Duomenų analizė (2.14-16 paveikslai) parodė, kad cheminių priemaišų koncentracijas ir jų šlapiąsias iškritas statistiškai reikšmingai sąlygojo kritulių kiekis ir ši priklausomybė gali būti aprašoma laipsninio lygties kreive. Matomas atvirkštinis koncentracijų ir kritulių kiekio ryšys, t.y. didesnis kritulių kiekis lėmė mažesnes priemaišų koncentracijas. Pirmosios kritulių porcijos efektyviai surenka ore esančius vandenyje tirpius sulfatų, nitratų jonus ir su jais susietą vandenilio joną, o taip pat amonio joną. Pateikti duomenys rodo, kad IM stotyse, kuriose renkami krituliai per savaitę, cheminių priemaišų koncentracijoms didžiausią įtaką daro iškritęs 15–20 mm kritulių kiekis, o Preiloje, kur renkami krituliai per parą, jų poveikis stebimas esant kiekiui iki 5 mm.

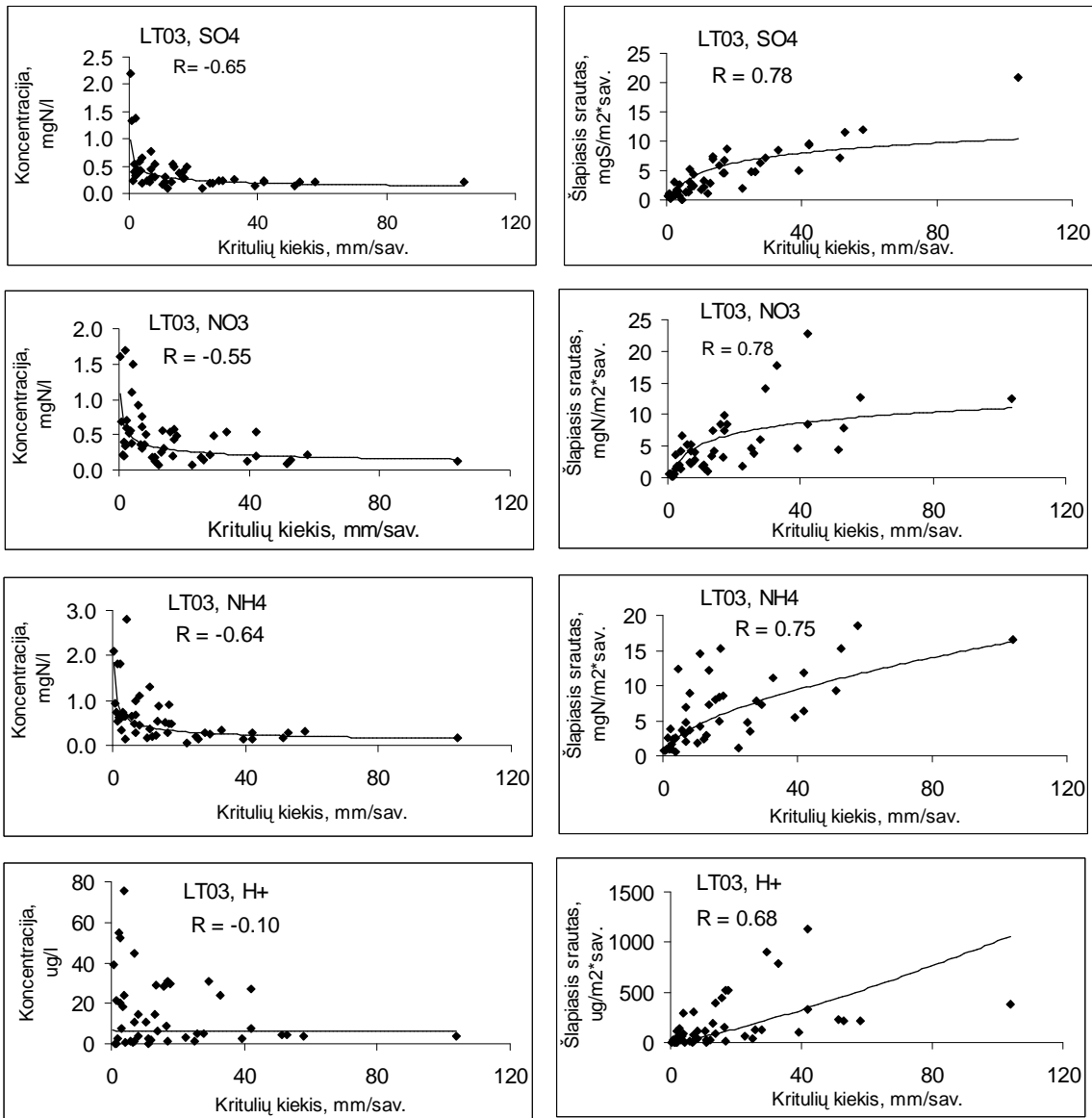


2.14 pav. Pagrindinių cheminių komponentų koncentracijų ir kritulių kiekio kaita Aukštaitijoje (LT01), Žemaitijoje (LT03) ir Preiloje (LT15)

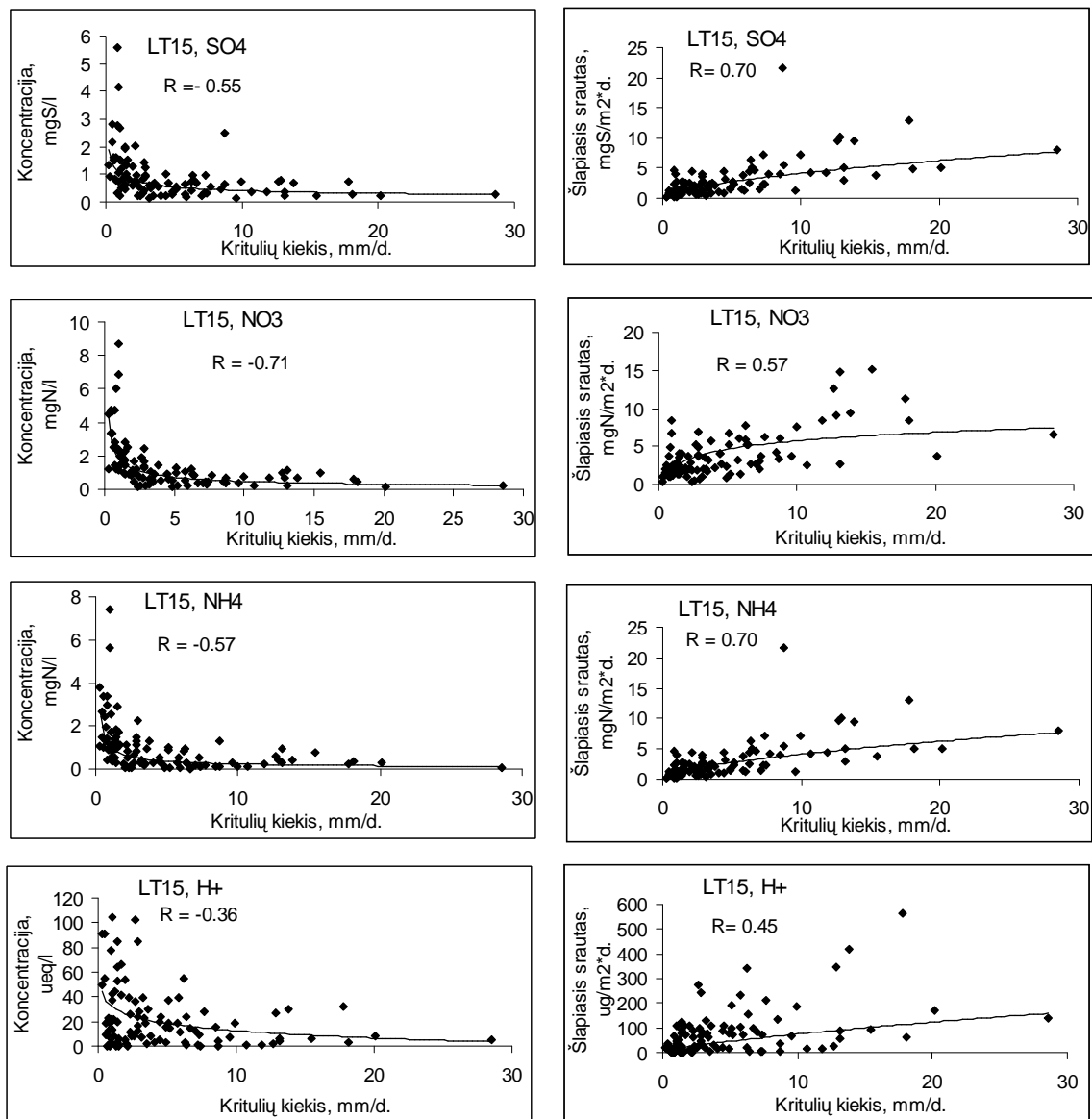


2.15 pav. Pagrindinių cheminių komponentų koncentracijų ir šlapiųjų iškritų priklausomybė nuo kritulių kiekio Aukštaitijoje (LT01)

Tyrimų duomenys taip pat rodo, kad, esant nedideliems kritulių kiekiams, cheminių komponentų koncentracijos kinta gan dideliame intervale: sulfatai – 0.1-1.0 mgS/l (LT01), 0.2-2.2 mgS/l (LT03) ir 0.3-5.6 mgS/l (LT15); nitratai – 0.2-0.8 mgN/l (LT01), 0.1-1.7 mgN/l (LT03) ir 0.15-8.7 mgN/l (LT15); amonis – 0.1-1.7 mgN/l (LT01), 0.2-2.8 mgN/l (LT03) ir 0.42-7.4 mgN/l (LT15). Tai rodo, kad cheminių komponentų koncentracijas, o taip pat ir jų šlapiąsias iškritis, dar sąlygoja ir cheminių komponentų koncentracijos ore, kurios daugiausia priklauso nuo oro masės kilmės ir metų sezono, ir kritulių pobūdis.



2.16 pav. Pagrindinių cheminių komponentų koncentracijų ir šlapiųjų iškritų priklausomybė nuo kritulių kiekio Žemaitijoje (LT03)



2.17 pav. Pagrindinių cheminių komponentų koncentracijų ir šlapiųjų iškritų priklausomybė nuo kritulių kiekio Preiloje (LT15)

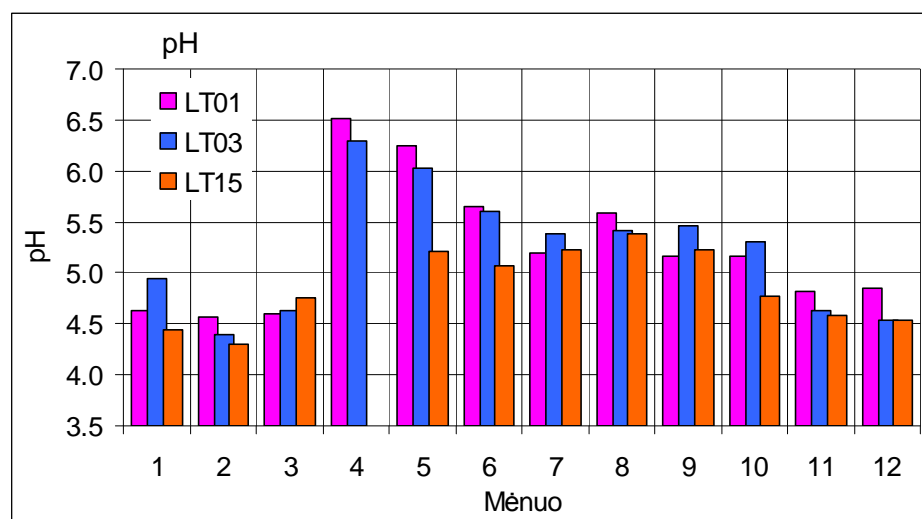
1 lentelėje tamsiau pažymėtos koeficientų vertės rodo patikimesnį nei 99% koreliacinį ryšį: t.y. $R > 0.372$, kai $n = 50$ (LT01 ir LT03) ir $R > 0.250$, kai $n=100$ (LT15).

Neigiamas koreliacinis ryšys tarp kritulių kiekio ir pagrindinių priemaišų koncentracijų krituliuose rodo, kad, esant didesniai kritulių kiekiui, pagrindinių priemaišų koncentracija krituliuose mažėja daugiausia dėl praskiedimo. Tačiau kritulių kiekis daro didelę įtaką teršalų patekimui iš atmosferos ant žemės paviršiaus. Tai rodo gan didelės koreliacijos koeficientų vertės.

1 Lentelė. Koreliacijos koeficientų vertės tarp kritulių kiekio per savaitę ir pagrindinių priemaišų koncentracijų krituliuose ir šių priemaišų šlapiųjų iškritų (LT01, LT03); LT15 – tarp paros kritulių kiekio, pagrindinių priemaišų koncentracijų krituliuose ir pagrindinių priemaišų šlapiųjų iškritų.

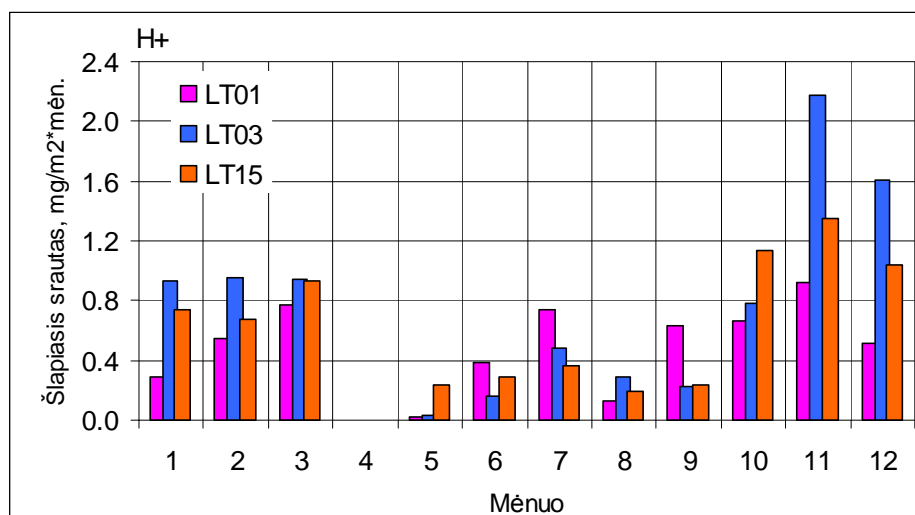
Elementas	H ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Kritulių kiekio koreliacija su pagrindinių priemaišų koncentracija krituliuose									
LT01	-0.37	-0.47	-0.48	-0.02	-0.41	-0.30	-0.35	-0.21	-0.31
LT03	-0.10	-0.65	-0.55	-0.64	-0.44	-0.45	-0.36	-0.36	-0.23
LT15	-0.36	-0.55	-0.71	-0.57	-0.22	-0.13	-0.27	-0.32	
Kritulių kiekio koreliacija su pagrindinių priemaišų šlapiosiomis iškritomis									
LT01	0.48	0.83	0.82	0.83	0.63	0.38	0.44	0.68	0.82
LT03	0.68	0.78	0.78	0.75	0.77	0.74	0.75	0.83	0.82
LT15	0.45	0.70	0.57	0.70	0.29	0.33	0.56	0.65	

Pagrindinių priemaišų koncentracijų ir jų atmosferinių iškritų į sąlygiškai natūralias ekosistemas erdviųjų ir laikinių pokyčių vertinimui, skaičiavome svertines pagal kritulių kiekį kiekvieno mėnesio vidutines koncentracijas.



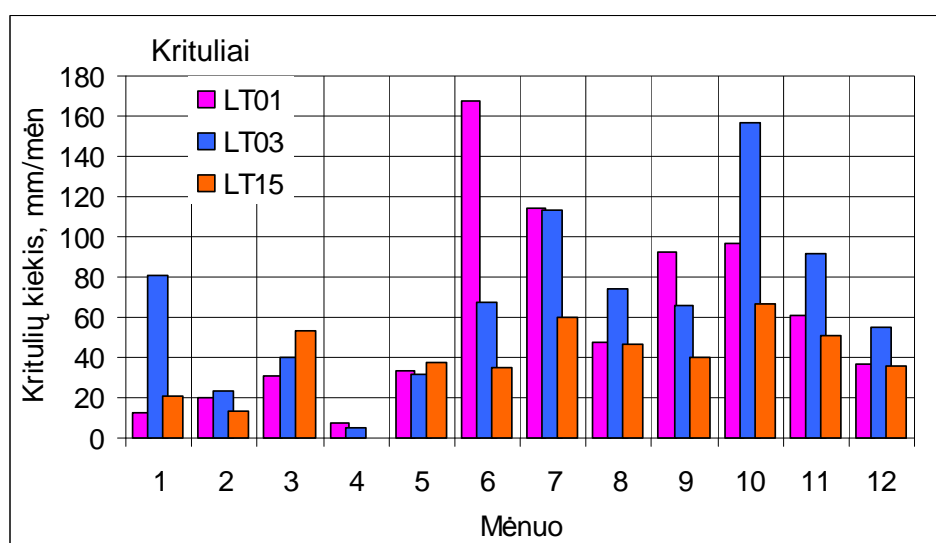
2.18 pav. Kritulių pH sezoninė kaita Aukštaitijoje (LT01), Žemaitijoje (LT03) ir Preiloje (LT15) per 2009 m.

Rūgštūs krituliai (pH < 5.0) vyraavo per sausio – kovo ir lapkričio – gruodžio mėnesius: LT01 – nuo 4.60 iki 4.86, LT03 – nuo 4.40 iki 4.94, LT15 – nuo 4.30 iki 4.77. Per likusius metų mėnesius krituliai buvo silpnai rūgštūs, kintant kritulių pH nuo 5.16 iki 6.51 (2.18 paveikslas).



2.19 pav. H⁺ šlapiųjų iškritų sezoninė kaita Aukštaitijoje (LT01), Žemaitijoje (LT03) ir Preiloje (LT15) per 2009 m.

Nagrinėjant H⁺ šlapiųjų iškritų dinamiką (2.19 paveikslas) matyti, kad labiausiai rūgščios jos buvo per tuos mėnesius, kai kritulių pH vertė buvo mažesnė nei 5.0, esant gan nedideliame kritulių kiekiui (2.20 paveikslas).

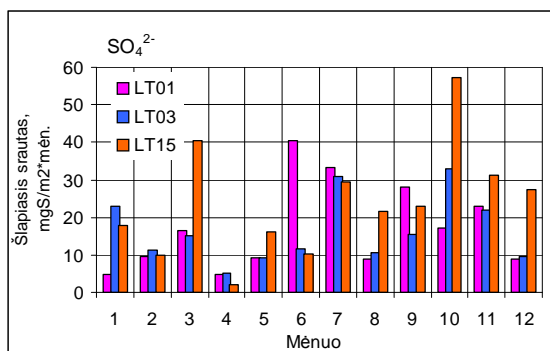
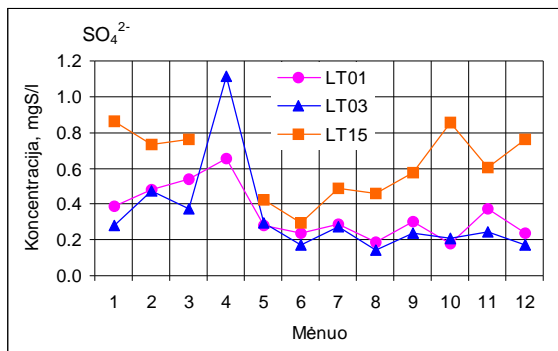


2.20 pav. Kritulių kiekio sezoninė kaita Aukštaitijoje (LT01), Žemaitijoje (LT03) ir Preiloje (LT15) per 2009 m.

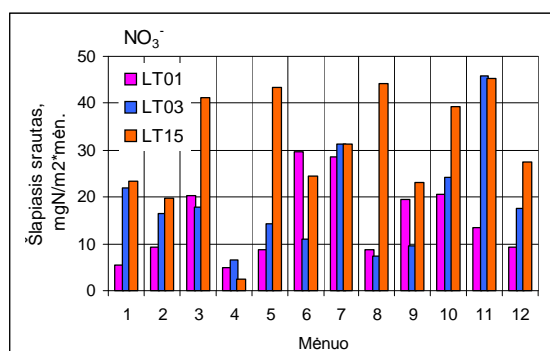
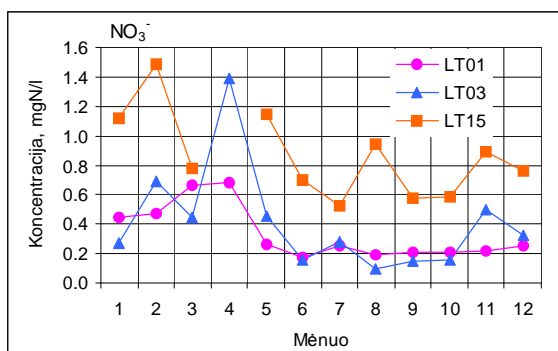
2.20 paveiksle pateikiami duomenys rodo, kad kritulių kiekio pasiskirstymo tendencija IM stotyse 2009 m. yra tokia: nuo sausio mėn. iki birželio mėn. iškrito mažiau nei 23 % metinio kritulių kiekio, Preiloje –35 %. LT01 stotyje metinis kritulių kiekis buvo 720.7 mm, daugiausiai (168 mm/mėn.) kritulių iškrito per birželio mėn. ir mažiausiai (7.2 mm/mėn.) –

balandžio mėn. LT03 per 2009 metus iškrito 805.7 mm kritulių, esant jų didžiausiam (156.5 mm/mėn.) kiekiui spalio mėn. ir mažesniam kiekiui – 113.4 mm/mėn. per liepos mėn., o mažiausiai kritulių buvo per balandžio mėn. – 4.7 mm. LT15 metinis kritulių kiekis buvo 461.4 mm, esant 67mm per spalio mėn. ir tik 0.2 mm per balandžio mėn.

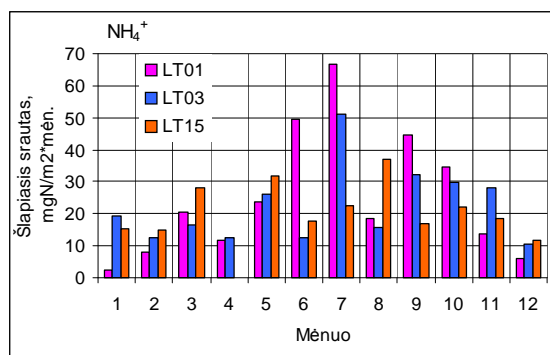
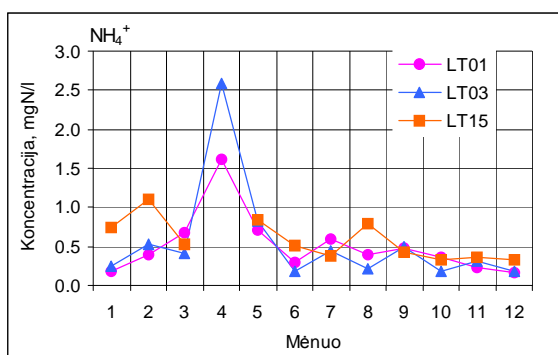
Cheminių komponentių kiekvieno mėnesio vidutinės svartinės pagal kritulių kiekį koncentracijos ir šlapiosios iškritos pateikiamos 8-14 paveiksluose. Sulfatų koncentracijos (2.21 pav.), didesnės nei 2009 m. vidutinė 0.28 mgS/l (LT01) ir 0.25 mgS/l (LT03), matuotos per sausio-balandžio mėnesius. Per sekančius mėnesius jos mažai skyrėsi nuo metų vidutinių koncentracijų. Balandžio mėn. didžiausias sulfatų koncentracijas lėmė mažas kritulių kiekis per šį mėnesį. Preiloje šios komponentės didžiausia koncentracija (0.86 mgS/l) gauta sausio ir spalio mėn., o per kitus mėnesius kito nuo 0.30 iki 0.76 mgS/l., esant metų vidutinei koncentracijai – 0.61 mgS/l. Cheminių priemaišų kiekiai šlapiose iškritose skaičiuoti įvertinant matuotas priemaišų koncentracijas krituliuose ir kritulių kiekius. Todėl, šių iškritų dydžių kaitą lemia ir cheminių priemaišų koncentracijos krituliuose, ir kritulių kiekis. Šlapiųjų atmosferinių sieros srautų į sąlygiškai natūralias ekosistemas laikinis pasiskirstymas yra analogiškas kritulių pasiskirstymui: mažiau nei 35 procentai metinio sieros srauto iškrito per pirmąjį metų pusmetį. Didžiausias sulfatų šlapiasis srautas LT01 buvo 40.37 mgS/m² birželio mėn., LT03 – 33.01 mgS/m² ir LT15 – 57.39 mgS/m² per spalio mėn. Juos lėmė didelis kritulių kiekis. Nedidelis kritulių kiekis per balandžio mėn. lėmė mažiausius per šiuos metus sulfatų šlapiuosius srautus. Nitratinio azoto koncentracijų sezoninėje kaitoje (2.22 pav.) didesnės nei 2009 m. vidutinės koncentracijos gautos per sausio – balandžio mėnesius Aukštaitijoje ir Žemaitijoje. Per sekančius mėnesius NO₃⁻ koncentracijos buvo mažesnės už metinę vidutinę: LT01 – 0.25 mgN/l ir LT03 – 0.29 mgN/l. 2009 m. vidutinė nitratų koncentracija Preiloje yra 0.79 mgN/l ir sezoninėje kaitoje didesnės už vidutinę koncentraciją gautos sausio-gegužės ir rugpjūčio bei lapkričio mėnesiais. Duomenis 9 pav. rodo, kad 27-42 % metinio nitratinio azoto kiekio iškrito per žiemos ir pavasario mėn. Per visus 2009 metus į ekosistemas pateko Aukštaitijoje 179.0 mgN/m², Žemaitijoje – 224.0 mgN/m² ir Preiloje – 365.6 mgN/m². Kaip ir sulfatų atveju, didžiausius NO₃⁻ srautus per mėnesį lėmė kritulių kiekis.



2.21 pav. SO₄²⁻ koncentracijų ir šlapiųjų iškritų kaita Aukštaitijoje (LT01), Žemaitijoje (LT03) ir Preiloje (LT15) per 2009 m.

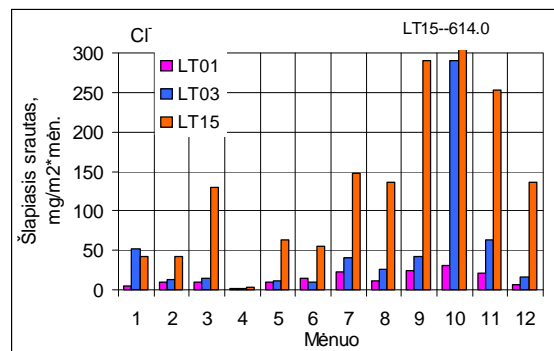
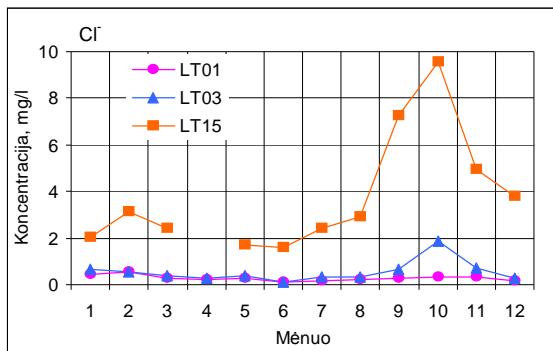


2.22 pav. NO₃⁻ koncentracijų ir šlapiųjų iškritų kaita Aukštaitijoje (LT01), Žemaitijoje (LT03) ir Preiloje (LT15) per 2009 m.

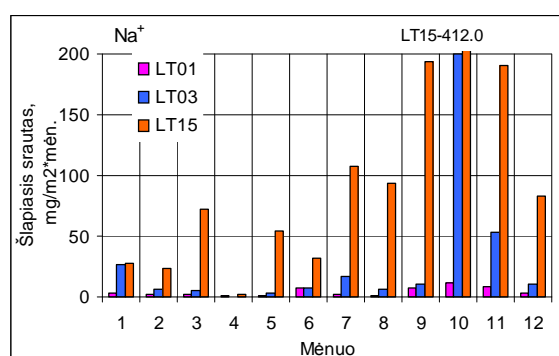
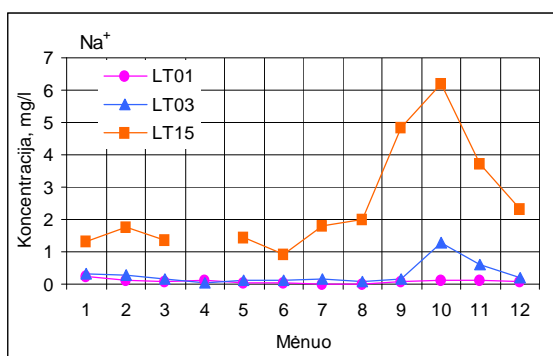


2.23 pav. NH₄⁺ koncentracijų ir šlapiųjų iškritų kaita Aukštaitijoje (LT01), Žemaitijoje (LT03) ir Preiloje (LT15) per 2009 m.

Amoniakinio azoto mėnesio vidutinių koncentracijų krituliuose kaitos intervalai (2.23 pav.) gauti tokie: LT01 nuo 0.17 iki 1.62 mgN/l, LT03 nuo 0.19 iki 2.59 mgN/l ir LT15 nuo 0.33 iki 1.11 mgN/l. Didžiausias amoniakinio azoto šlapiasis srautas LT01 buvo 66.9 mgN/m² ir LT03 – 51.0 mgN/m² per liepos mėnesį, o LT15 – 37.0 mgN/m² per rugpjūčio mėn.

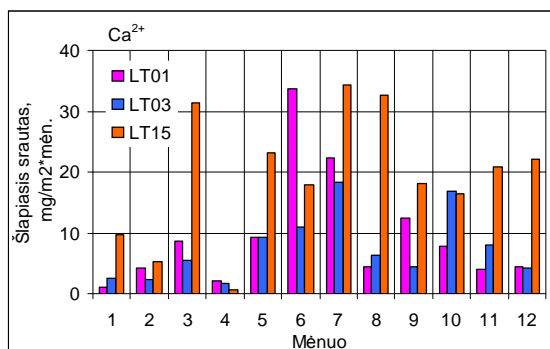
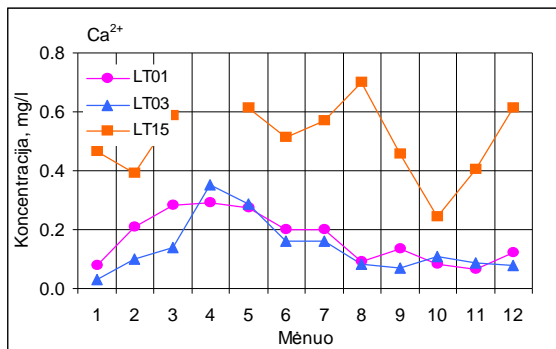


2.24 pav. Cl⁻ koncentracijų ir šlapiųjų iškritų kaita Aukštaitijoje (LT01), Žemaitijoje (LT03) ir Preiloje (LT15) per 2009 m.

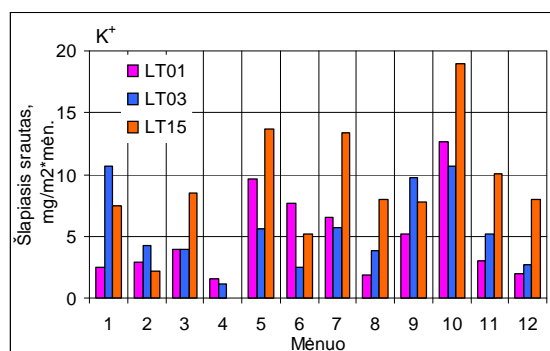
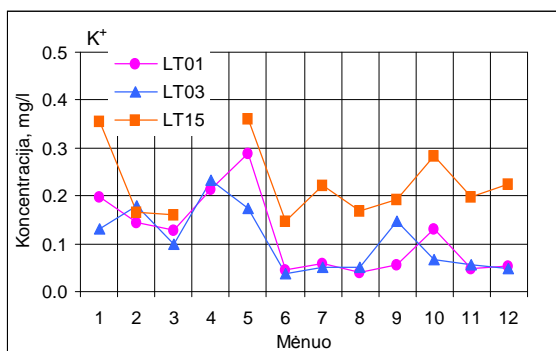


2.25 pav. Na⁺ koncentracijų ir šlapiųjų iškritų kaita Aukštaitijoje (LT01), Žemaitijoje (LT03) ir Preiloje (LT15) per 2009 m.

Na⁺ ir Cl⁻ mėnesio vidutinių koncentracijų sezoninėje kaitoje (2.24-25 pav.) didesnės nei 2009 m. vidutinės gautos per žiemos ir rudens mėnesius. Didžiausios jos buvo per spalio mėn. ir jos buvo apie du kartus didesnės nei 2009 metų vidutinės. 2009 m. vidutinės koncentracijos Na⁺ ir Cl⁻ gautos tokios: LT01 – 0.07 ir 0.23 mg/l, LT03 – 0.45 ir 0.73 mg/l, LT15 – 2.81 ir 4.20 mg/l. Šių dviejų cheminių komponentių didesnes koncentracijas krituliuose LT03 ir ypač LT15 lėmė jų išnešimas į atmosferą iš Baltijos jūros. Dėl nevienodų šių cheminių komponentių koncentracijų krituliuose, ženkliai skiriasi ir jų metinės šlapiosios iškritos, kurios gautos tokios: Na⁺ ir Cl⁻: LT01 – 51.4 ir 167.1 mg/m², LT03 – 349.0 ir 577.9 mg/m², LT15 – 1294.2 ir 1939.4 mg/m².

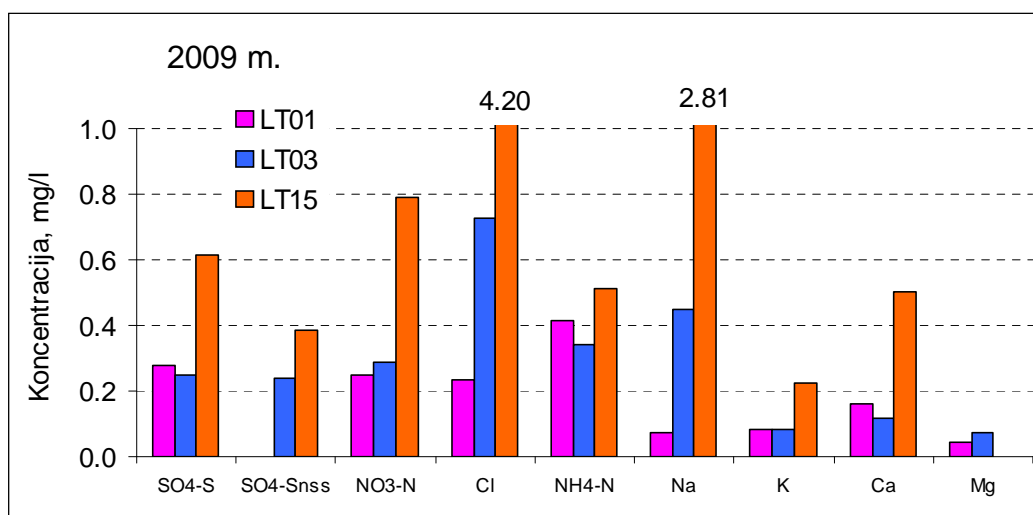


2.26 pav. Ca^{2+} koncentracijų ir šlapiųjų iškritų kaita Aukštaitijoje (LT01), Žemaitijoje (LT03) ir Preiloje (LT15) per 2009 m.



2.27 pav. K^{+} koncentracijų ir šlapiųjų iškritų kaita Aukštaitijoje (LT01), Žemaitijoje (LT03) ir Preiloje (LT15) per 2009 m.

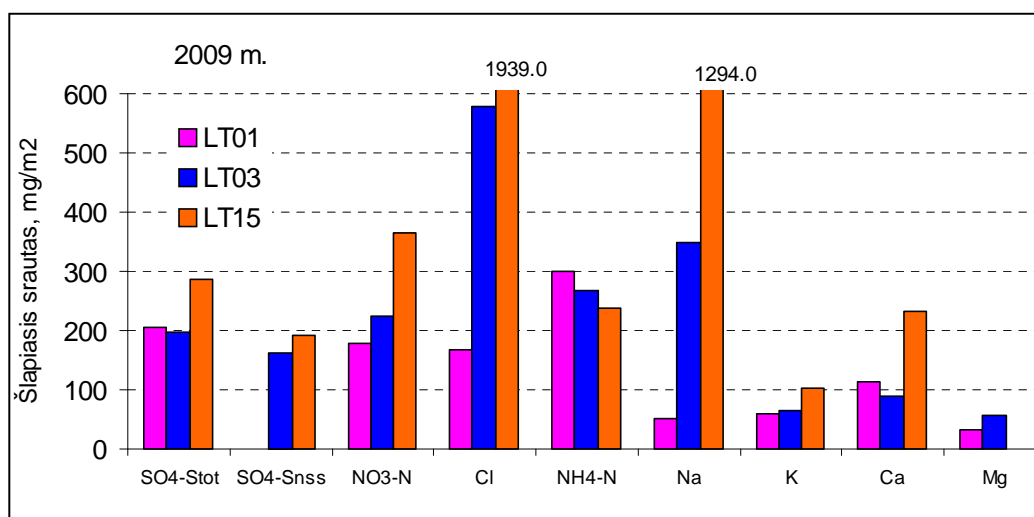
Kalcio ir kalio jonų koncentracijų ir šlapiųjų iškritų kaitoje (2.26-27 pav.), stebima koreliacija su kritulių kiekiu, nors ir silpnesnė nei kitų cheminių priemonių.



2.28 pav. Pagrindinių cheminių komponentų 2009 m. vidutinių metinių svertinių pagal kritulių kiekį koncentracijų erdvinė kaita Lietuvoje

Sulfatų ($\text{SO}_4\text{-S}$ ir $\text{SO}_4\text{-S}_{\text{Nss}}$) ir amonio (NH_4^+) jonų koncentracijos Aukštaitijoje gautos didesnės nei Žemaitijoje, o Preiloje $\text{SO}_4\text{-S}_{\text{tot}}$ – apie 3 kartus didesnė nei IM stotyse. Tačiau, įvertinus jūrinės kilmės sulfatus, kurių metinis įnašas Preiloje gautas apie 31 %, $\text{SO}_4\text{-S}_{\text{Nss}}$ koncentracija yra apie 2 kartus didesnė nei IM stotyse. Mažėjimo tendencija rytų kryptimi matoma nitratų (NO_3^-) jonų koncentracijų erdvinėje kaitoje, t.y. 0.79 mgN/l (Preiloje), 0.29 mgN/l (LT03) ir 0.25 mgN/l (LT01). Ypač ryškūs skirtumas metinių koncentracijų erdvinėje kaitoje matomas natrio (Na^+) ir chloro (Cl^-) jonams. Kalcio (Ca^{2+}) jonų metinė koncentracija Preiloje gauta didesnė nei Aukštaitijoje ir Žemaitijoje dėl galimo jo dalies patekimo iš Baltijos jūros.

Rūgščiausi krituliai 2009 m. buvo Preiloje. Tai rodo metinės pH kritulių vertės: Preiloje – 4.81, LT03 – 4.97 ir LT01 – 5.11.



2.29 pav. Pagrindinių cheminių komponentų 2009 m. šlapiųjų iškritų erdvinė kaita

Nagrinėjant pagrindinių teršalų šlapiųjų iškritų metinius kiekius, kurie suskaičiuoti naudojant teršalų koncentracijas krituliuose ir kritulių kiekius, erdvinę kaitą (2.29 pav.) akivaizdu, kad skirtumai tarp pagrindinių cheminių komponentų šlapiųjų srautų, išskyrus Na^+ ir Cl^- , yra nedideli. Neįjūrinės kilmės sulfatams Žemaitijoje tenka – 96 % ir Preiloje – 67.0 %.

Išvados

Vertinant cheminių priemaišų foninių koncentracijų atmosferos šlapiose iškritose 2009 m tyrimų duomenis, daromos tokios išvados:

Tirtoms cheminėms priemaišoms yra būdingas didelis koncentracijų kaitos intervalas kritulių savaitės bandiniuose.

Sulfatų ($\text{SO}_4\text{-S}$) ir amonio (NH_4^+) jonų koncentracijos Aukštaitijoje gautos didesnės nei Žemaitijoje, o Preiloje $\text{SO}_4\text{-S}_{\text{tot}}$ – apie 3 kartus didesnė nei IM stotyse.

Mažėjimo tendencija rytų kryptimi matoma nitratų (NO_3^-) jonų koncentracijų erdvinėje kaitoje.

Ypatingai ryškus skirtumas metinių koncentracijų erdvinėje kaitoje matomas natrio (Na^+) ir chloro (Cl^-) jonams.

Rūgščiausi krituliai 2009 m. buvo Preiloje: pH kritulių metinės vertės tokios: Preiloje – 4.81, LT03 – 4.97 ir LT01 – 5.11.

Skirtumai tarp pagrindinių cheminių komponentų šlapiųjų srautų, išskyrus Na^+ ir Cl^- , yra nedideli. Neįurinės kilmės sulfatams Žemaitijoje tenka – 96 % ir Preiloje – 67 0 %.

2.3. Pagrindinių cheminių priemaišų bei fizinių parametrų polajiniuose krituliuose tyrimų pagal ICP IM programą rezultatai

Įvadas

Medžių lajos iš esmės kaičia iškritų kiekius su krituliais. Krituliai, praeinantys pro medžių lajas, nuplauna nuo jų sausąsias iškritas, nusėdusias ant lapijos ar ūglių ir šakų paviršiaus, taip padidindami bendrą cheminių komponentų kiekį iškritose. Tačiau krituliai ne tik gali nuplauti nuo augalinių paviršinių chemines medžiagas, bet jas ir išplauti. Taip dalis kalio jonų kritulių yra išplaunami iš lapijos. Antra vertus, lapija sugeba absorbuoti dalį medžiagų, taip mažindama jų bendrąsias iškritas. Tokiu būdu polajinių kritulių tyrimas tampa vienas iš pagrindinių tyrimo etapu, aiškinant pagrindinių medžiagų balanso kaitą keičiantis aplinkos sąlygoms, ir visų pirmausiai, šylant klimatui.

Darbo metodika

Polajinių kritulių monitoringas Lietuvoje vykdytas dviejose IM stotyse: Aukštaitijoje (LT01) ir Žemaitijoje (LT03). 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 2008 m. stotyje LT01 buvo surinkti 72 kritulių bandiniai, t.y. 60 po laja ir 12 atviroje vietoje. Tiek pat bandinių surinkta ir stotyje LT03.

Atmosferos iškritų ir polajinių kritulių bandiniai, rinkti 2008 m. IM stotyse LT01 ir LT03, buvo pristatomi į Aplinkos apsaugos agentūros aplinkos tyrimų departamentą, kuris, atlikus cheminę kritulių bandinių analizę, tyrimų rezultatus kas mėnesį persiurdavo Fizikos institutui.

Darbo rezultatai

2.3.1. Aukštaitijos IM stotis (LT01).

Vykstant biologinei sąveikai tarp krituliuose bei atmosferoje esančių teršalų ir lajos, kinta kritulių cheminė sudėtis jiems krentant per medžių lają, o taip pat ir teršalų srautai į miško paklotę. Cheminiai elementai (azoto junginiai, kalis, natris, magnis), kurie dalyvauja medžių lajos biologiniuose procesuose, gali būti ir paimami iš kritulių, ir išplaunami jais iš lajos. Tuo pačiu metu vyksta sausai nusėdusių iš atmosferos ant lajos teršalų nuplovimas. Todėl

duomenys apie azoto, sieros ir šarminių katijonų atmosferinius srautus yra būtini tiriant biogeocheminius ciklus miško ekosistemose.

Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos krituliuose ir iškritos po medžių laja ir atviroje vietoje, matuotos 2009 m. Aukštaitijos IM stotyje (LT01), pateiktos 2 ir 3 lentelėse.

2 lentelė. pH ir pagrindinių cheminių priemaišų svertines pagal kritulių kiekį vidutines koncentracijas krituliuose po laja ir atviroje vietoje Aukštaitijos IM stotyje (LT01)

Metai, mėnuo	pH	KONCENTRACIJA, mg/l							
		SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
<i>Po medžių laja</i>									
2009.01	4.56	1.08	0.50	0.20	0.80	0.28	0.90	0.54	0.25
2009.02	4.46	1.01	0.50	0.22	2.41	0.11	0.52	0.66	0.29
2009.03	4.63	1.03	0.55	0.37	0.60	0.27	0.89	0.93	0.34
2009.04	5.26	0.80	0.76	1.01	0.68	0.33	0.78	0.89	0.34
2009.05	5.66	0.27	0.34	0.12	0.85	0.18	1.26	0.85	0.48
2009.06	5.91	0.30	0.04	0.46	0.37	0.10	1.47	0.43	0.23
2009.07	4.60	0.29	0.08	0.02	0.49	0.07	0.96	0.62	0.26
2009.08	5.25	0.27	0.11	0.05	0.54	0.16	1.04	0.67	0.30
2009.09	5.10	0.28	0.13	0.10	0.47	0.11	0.50	0.41	0.18
2009.10	5.38	0.16	0.04	0.01	0.76	0.23	0.94	0.37	0.23
2009.11	5.00	0.49	0.21	0.11	0.66	0.30	0.66	0.29	0.15
2009.12	4.95	0.42	0.23	0.15	0.39	0.16	0.29	0.25	0.11
vidutinė	4.98	0.41	0.18	0.18	0.62	0.17	0.89	0.48	0.23
<i>Atvira vieta</i>									
2009.01	4.65	0.53	0.38	0.28	0.36	0.12	0.22	0.07	0.02
2009.02	4.73	0.32	0.39	0.26	0.57	0.04	0.05	0.09	0.03
2009.03	5.11	0.48	0.58	0.55	0.38	0.17	0.15	0.52	0.07
2009.04	6.78	0.80	0.92	1.80	0.38	0.31	0.34	0.64	0.11
2009.05	6.86	0.30	0.30	0.54	0.29	0.07	0.41	0.29	0.15
2009.06	6.32	0.26	0.20	0.72	0.10	0.05	0.16	0.23	0.05
2009.07	5.13	0.33	0.26	0.68	0.21	0.01	0.09	0.19	0.06
2009.08	6.18	0.24	0.21	0.41	0.25	0.09	0.05	0.29	0.07
2009.09	5.63	0.31	0.23	0.51	0.27	0.16	0.11	0.18	0.05
2009.10	5.64	0.16	0.22	0.16	0.41	0.23	0.10	0.11	0.08
2009.11	5.09	0.37	0.28	0.24	0.39	0.23	0.23	0.39	0.04
2009.12	4.95	0.23	0.24	0.18	0.22	0.11	0.06	0.14	0.04
vidutinė	5.22	0.32	0.28	0.48	0.28	0.11	0.14	0.23	0.06

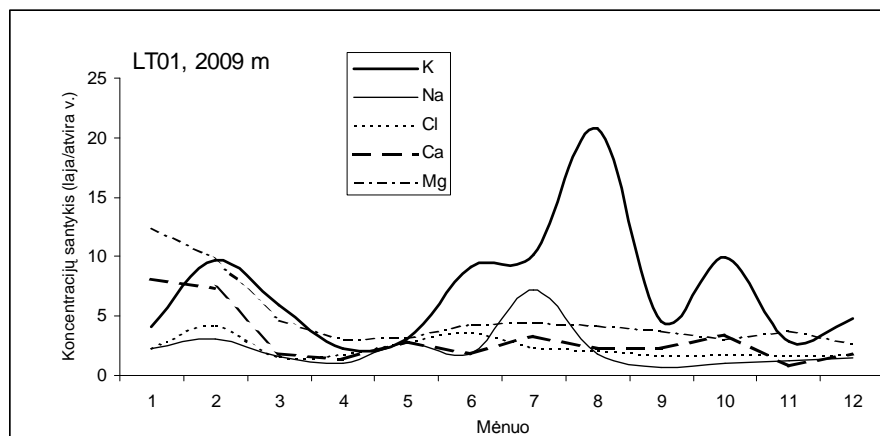
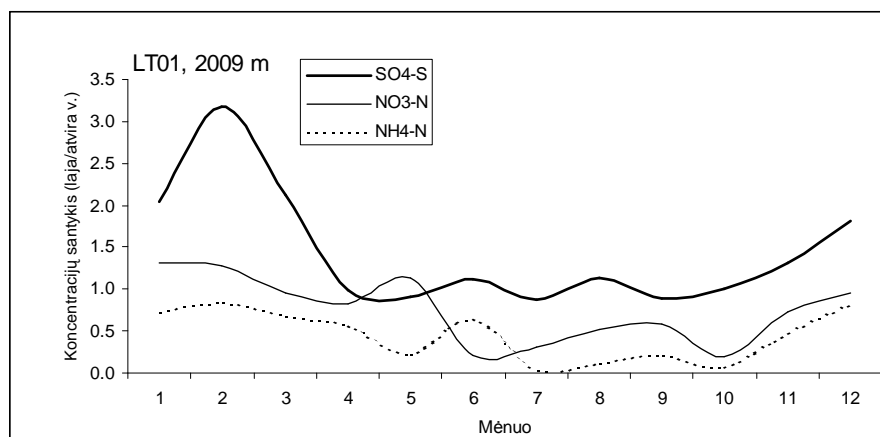
Kritulių pH rodo, kad rūgščiausi krituliai (pH < 5.0) po laja ir atviroje vietoje buvo per sausio, vasario ir gruodžio mėnesius. Per likusius metų mėnesius vyravo mažiau rūgštūs krituliai: pH krituliuose po laja kito nuo 5.10 iki 5.91, o atviroje vietoje – nuo 5.09 iki 6.86. Įvertinus kritulių kiekį, metinės pH vertės: po laja – 4.98 ir atviroje vietoje – 5.22, t.y., krituliai buvo rūgštesni po laja.

3 lentelė. Kritulių ir pagrindinių cheminių priemaišų iškritos po laja ir atviroje vietoje Aukštaitijos IM stotyje (LT01)

Metai, mėnuo	Krituliai mm/mėn.	IŠKRITOS, mg /m ²							
		SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
Po medžių laja									
2009.01	31.9	34.34	15.95	6.50	25.56	8.76	28.64	17.07	7.92
2009.02	23.6	23.93	11.83	5.23	56.99	2.59	12.35	15.61	6.78
2009.03	33.3	34.31	18.46	12.48	19.87	8.87	29.47	31.12	11.43
2009.04	7.0	5.54	5.32	7.01	4.72	2.29	5.44	6.22	2.38
2009.05	21.8	5.98	7.39	2.60	18.53	3.98	27.42	18.53	10.53
2009.06	114.0	33.73	4.98	52.82	41.64	10.83	167.06	48.86	26.47
2009.07	57.9	16.74	4.68	1.00	28.22	4.14	55.28	35.96	15.28
2009.08	58.1	15.52	6.27	2.84	31.65	9.51	60.44	38.66	17.44
2009.09	88.4	24.38	11.81	9.14	41.86	9.95	44.17	35.97	16.31
2009.10	96.0	15.38	3.99	1.04	73.31	22.38	90.59	35.85	22.51
2009.11	64.9	31.63	13.34	7.29	42.69	19.28	42.85	18.94	9.59
2009.12	58.6	24.48	13.47	8.61	22.96	9.25	16.86	14.53	6.37
Metinė	655.5	265.96	117.49	116.55	408.01	111.83	580.57	317.34	153.02
Atvira vieta									
2009.01	39.8	21.03	15.14	11.15	14.26	4.78	8.76	2.63	0.80
2009.02	42.8	13.61	16.69	11.13	24.26	1.54	2.31	3.85	1.24
2009.03	51.6	24.99	29.94	28.39	19.62	8.78	7.74	26.85	3.77
2009.04	7.2	5.75	6.62	12.96	2.72	2.23	2.45	4.61	0.79
2009.05	30.5	9.24	9.14	16.46	8.93	2.04	12.50	8.93	4.57
2009.06	162.5	42.90	32.50	117.00	16.25	8.61	26.00	37.37	8.61
2009.07	98.6	32.74	25.64	67.06	20.41	0.99	9.27	18.74	5.92
2009.08	44.0	10.42	9.23	18.03	10.95	4.00	2.20	12.75	3.17
2009.09	89.9	27.86	20.67	45.83	24.26	14.38	9.88	16.17	4.40
2009.10	57.6	9.21	12.66	9.21	23.60	13.24	5.47	6.33	4.43
2009.11	86.7	32.07	24.27	20.80	33.80	19.93	19.93	33.80	3.38
2009.12	57.6	13.24	13.82	10.36	12.67	6.33	3.45	8.06	2.30
Metinė	768.7	243.05	216.33	368.38	211.74	86.86	109.97	180.10	43.38

Nagrinėjant sulfatų koncentracijų ir iškritų (2 ir 3 lentelės) sezoninę kaitą matyti, kad jų didžiausia koncentracija krituliuose po laja buvo sausio – kovo mėn. (1.01 – 1.08 mgS/l). Per likusius mėnesius kito nuo 0.16 mgS/l (spalio mėn.) iki 0.80 mgS/l (balandžio mėn.). Didžiausią iškritusį per birželio mėn. sieros kiekį po laja ir atviroje vietoje lėmė kritulių kiekis. Ir priešingai: dėl mažo kritulių kiekio (7 mm) balandžio mėn., iškritusios sieros kiekis abiejose vietose buvo mažesnis nei 6.0 mgS/m^2 .

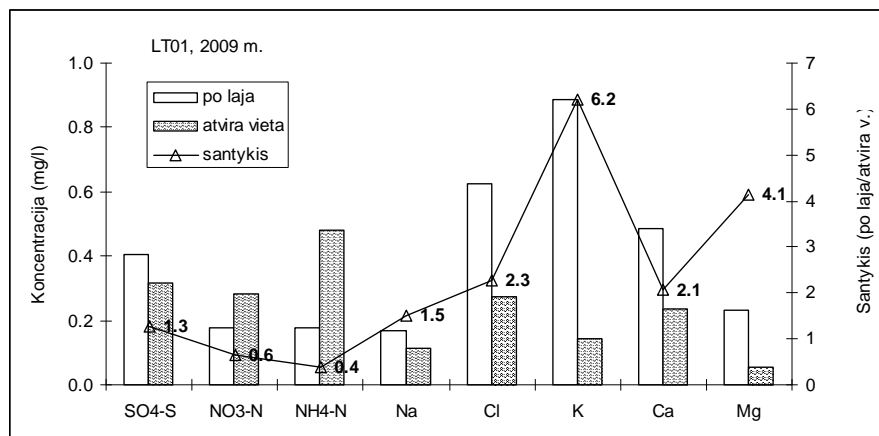
1 ir 2 lentelėse pateikti duomenis rodo, kad nuo birželio mėn. nitratų koncentracija polajiniuose krituliuose buvo ženkliai mažesnė nei krituliuose atviroje vietoje. Didesnes nitratų koncentracijas polajiniuose krituliuose nei atviroje vietoje sausio-vasario mėn., tikėtina, kad lėmė nitratų nuplovimas su krituliais nuo lajos. Visais mėnesiais dėl mažesnio kritulių kiekio ir mažesnių nitratų koncentracijų, išskyrus sausį, buvo mažesnis nitratų kiekis iškritose į polajį. Amonio koncentracija polajiniuose krituliuose, o ypač liepos – spalio mėn., buvo mažesnė nei krituliuose, kurie buvo renkami atviroje vietoje. Dėl šios priežasties amonio kiekis iškritose į miško paklotę buvo mažesnis nei atviroje vietoje.



2.30 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų santykio (po laja/atvira vieta) sezoninė kaita Aukštaitijos IM stotyje (LT01)

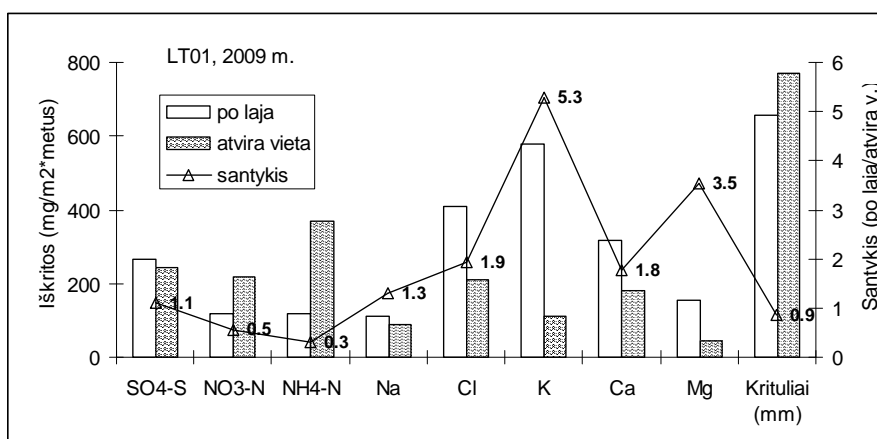
Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų krituliuose sezoninę kaitą iliustruoja duomenys, kurie pateikti atitinkamai 2.30 paveiksle. Sulfatų koncentracijų santykio (po laja/atvira vieta) kaita per žiemos mėn. nuo 1.3 iki 3.2 ir per likusius apie 1.0 gali būti siejama sieros junginių (SO_2 ir aerosolinių SO_4^{2-}) nuplovimu nuo lajos per žiemos mėn., nes jų sausos iškritos iš atmosferos šiuo laikotarpiu yra didesnės, palyginti su vasaros mėn. Tyrimai rodo ženkliai mažėjančias nitratų ir amonio koncentracijas polajiniuose krituliuose nuo gegužės iki lapkričio mėn.: nitratų koncentracijų santykis (po laja/atvira vieta) kinta nuo didžiausio 1.32 (sausio mėn.) iki 0.22 (birželio mėn.) ir amonio – nuo 0.85 (vasario mėn.) iki 0.03 (liepos mėn.). Tokie azoto junginių koncentracijų pokyčiai polajiniuose krituliuose gali būti siejami su azoto kaip maistinio elemento absorbcija lajoje.

Priešingai nei azoto junginiams, tyrimai rodo kelis kart didesnes Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} ir keliolika kartų didesnes K^+ koncentracijas krituliuose po laja nei atviroje vietoje. K^+ koncentracijų santykis (po laja/atvira vieta) kito nuo 2.9 iki 21, Cl^- nuo 1.6 iki 4.2 ir Mg^{2+} - nuo 2.7 iki 12.4 kartų. Toks žymus šių komponentų koncentracijų padidėjimas polajiniuose krituliuose gali būti siejamas tiek su nuplovimu nuo lajos, tiek su išplovimu iš lajos, ypač kalio ir magnio atveju.



2.31 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų svertines pagal kritulių kiekį vidutines 2009 m. koncentracijos po laja ir atviroje vietoje Aukštaitijos IM stotyje (LT01)

Apibendrinti pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų ir iškritų tyrimų krituliuose po miško laja ir miške atviroje vietoje Aukštaitijoje (LT01) duomenys pateikti 2.31 ir 2.32 paveiksluose, kurie rodo, kad polajiniai krituliai labiausiai praturtinami K^+ , mažiau Mg^{2+} , Cl^- , Ca^{2+} , Na^+ ir SO_4^{2-} . Mažesnės nei atviroje vietoje rinktuose krituliuose yra nitratinio ir amoniakinio azoto koncentracijos polajiniuose krituliuose.



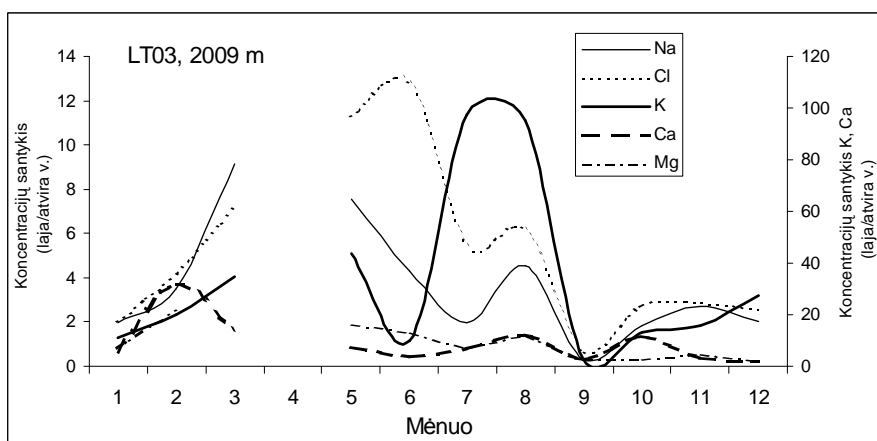
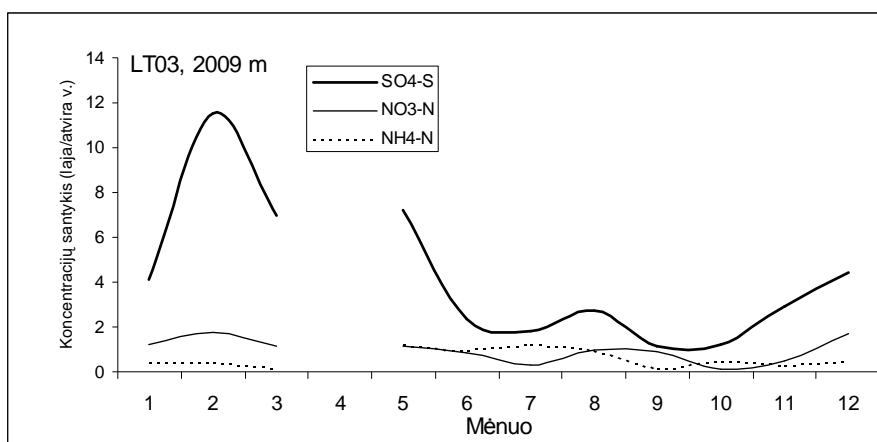
2.32 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų 2009 m. iškritos po laja ir atviroje vietoje Aukštaitijos IM stotyje (LT01)

3 lentelėje pateikti duomenys rodo, kad kritulių kiekis per mėnesį po laja kito nuo 7.0 mm (balandžio mėn.) iki 114.0 mm (birželio mėn.) ir atviroje vietoje kito nuo 7.2 mm (balandžio mėn.) iki 162.5 mm (birželio mėn.). Kritulių kiekio santykis (po laja/atvira vieta) kito nuo 0.6 iki 1.7. Vidutinė metinė šio santykio reikšmė 2009 m. yra 0.85. Todėl galima sakyti, kad apie 15 % kritulių kiekio, kuris iškrito atviroje vietoje, susilaukė lajoje. Aukštaitijoje 2009 m. po laja iškrito 655.5 mm, o atviroje vietoje – 768.7 mm kritulių. Tyrimai rodo, kad su krituliais į miško paklotę Aukštaitijoje iškrito apie 10 % daugiau sulfatinės sieros, 30 % – natrio, 90 % – chloridų, 80 % – kalcio, 3.5 karto daugiau magnio ir 5.3 kart daugiau kalio jonų, nors polajinių kritulių kiekis buvo mažesnis nei atviroje vietoje. Nustatyta, kad į miško paklotę iškrito 2.5 karto mažiau azoto nei atviroje vietoje.

2.3.2 Žemaitijos KM stotis (LT01).

4 ir 5 lentelėse pateikiami duomenys apie cheminių priemaišų koncentracijų ir iškritų kiekius, krituliuose rinktuose po laja ir atviroje vietoje, kaitą 2009 m. Žemaitijos IM stotyje (LT03). Kritulių pH rodo, kad rūgščiausi krituliai (pH < 5.0) po laja buvo per sausio, vasario ir kovo mėnesius, o atviroje vietoje – per sausio, vasario, kovo ir lapkričio, gruodžio mėnesius. Per likusius metų mėnesius pH krituliuose po laja kito nuo 5.10 iki 6.111, o atviroje vietoje – nuo 5.23 iki 6.29. Įvertinus kritulių kiekį, metinės pH vertės: po laja – 5.15 ir atviroje vietoje – 5.03, t.y., krituliai buvo rūgštesni atviroje vietoje. Nagrinėjant sulfatų koncentracijų ir iškritų metinę kaitą matyti, kad didžiausia SO₄-S koncentracija krituliuose po laja buvo sausio mėn. 4.63 mgS/l (vasario mėn.). Per likusius mėnesius kito nuo 0.25 mgS/l (spalio mėn.) iki 3.08 mgS/l (kovo mėn.). Didžiausias sieros kiekis 143.7 mgS/m² į miško paklotę po laja pateko

per vasario mėnesį, o atviroje vietoje, dėl didelio kritulių kiekio, per lapkričio mėn. – 37.0 mgS/m². Vertinant sieros kiekio iškritose metinę kaitą matyti, kad jų dydžius ir po laja, ir atviroje vietoje lėmė SO₄²⁻ koncentracija krituliuose ir kritulių kiekis. Visumoje per metus į miško paklotę po laja pateko 675.0 mgS/m², tai yra 2.8 karto daugiau nei su krituliais į paklotę atviroje vietoje (239.3 mgS/m²). Iš pateiktų 4 ir 5 lentelėse ir 2.33 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. Tačiau, sausio – kovo mėn. didesnės nitratų koncentracijos polajiniuose krituliuose nei atviroje vietoje galėjo būti dėl jų nuplovimo su krituliais nuo lajos. Nitratinio azoto srautas į polajį buvo mažesnis nei atviroje vietoje per visus mėnesius, išskyrus sausio, vasario ir gruodžio mėn. Apibendrinant 2009 m. visų mėnesių duomenis gauta, kad į polajį nitratinio azoto metinis kiekis iškritose buvo 177.54 mgN/m², o atviroje vietoje – 264.78 mgN/m². Amonio koncentracijos krituliuose po laja per visus mėnesius, išskyrus liepą, buvo ženkliai mažesnės nei krituliuose atviroje vietoje. Tai rodo, kad laja absorbuoja azotą ir jo iškritos į miško paklotę buvo mažesnės nei atviroje vietoje. Metinis amoniakinio azoto srautas po laja buvo 123.78 mgN/m², o atviroje vietoje – 319.19 mgN/m².



2.33 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų santykio (po laja/atvira vieta) sezoninė kaita Žemaitijos IM stotyje (LT03)

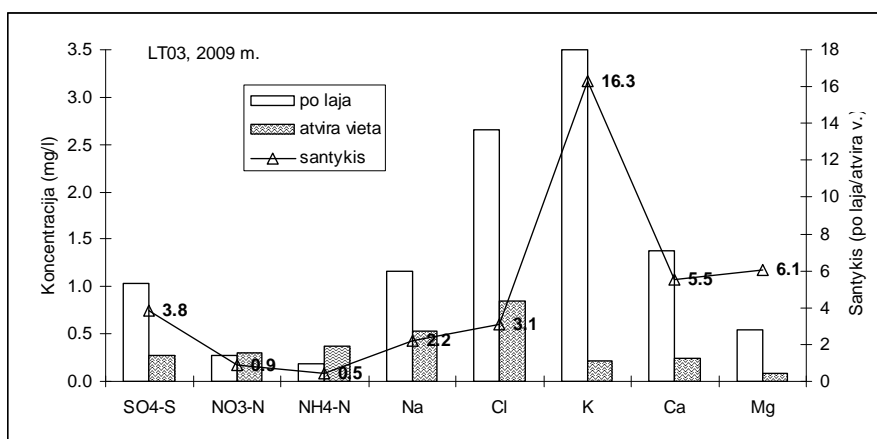
4 lentelė. pH ir pagrindinių cheminių priemaišų svertines pagal kritulių kiekį vidutines koncentracijas krituliuose po laja ir atviroje vietoje Žemaitijos IM stotyje (LT03)

Metai, mėnuo	pH	KONCENTRACIJA, mg/l							
		SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
<i>Po medžių laja</i>									
2009.01	4.88	1.52	0.43	0.12	1.66	0.91	1.87	0.89	0.44
2009.02	4.52	4.63	1.16	0.18	2.37	1.33	3.77	3.77	1.47
2009.03	4.65	3.08	0.60	0.10	2.25	1.01	3.28	2.53	1.05
2009.04									
2009.05	6.03	2.51	0.62	1.08	6.63	1.66	12.29	4.08	1.98
2009.06	5.67	0.47	0.15	0.27	2.60	0.52	4.35	2.36	0.81
2009.07	6.11	0.49	0.07	0.56	2.36	0.37	4.09	1.64	0.51
2009.08	5.76	0.38	0.10	0.20	2.68	0.68	4.76	2.22	0.71
2009.09	5.10	0.28	0.13	0.10	0.47	0.11	0.50	0.41	0.18
2009.10	5.57	0.25	0.02	0.03	5.23	2.18	3.87	0.95	0.39
2009.11	5.35	0.93	0.31	0.13	2.49	1.96	5.00	0.85	0.41
2009.12	5.15	1.86	0.54	0.23	1.62	1.42	4.07	1.32	0.54
vidutinė	5.15	1.03	0.27	0.18	2.65	1.16	3.49	1.38	0.55
<i>Atvira vieta</i>									
2009.01	4.92	0.37	0.36	0.28	0.81	0.46	0.17	0.16	0.06
2009.02	4.58	0.40	0.66	0.46	0.57	0.38	0.19	0.12	0.07
2009.03	4.62	0.44	0.52	0.50	0.32	0.11	0.09	0.18	0.01
2009.04	6.29		2.10	3.20	0.92	0.52	0.51	1.50	0.17
2009.05	6.03	0.35	0.53	0.90	0.59	0.22	0.28	0.55	0.12
2009.06	5.61	0.20	0.18	0.28	0.20	0.12	0.44	0.64	0.06
2009.07	5.30	0.27	0.23	0.45	0.43	0.19	0.04	0.24	0.08
2009.08	5.42	0.14	0.10	0.21	0.43	0.15	0.05	0.18	0.06
2009.09	5.47	0.24	0.15	0.491	0.72	0.40	0.19	0.17	0.07
2009.10	5.27	0.21	0.15	0.19	1.90	1.20	0.30	0.08	0.16
2009.11	4.75	0.32	0.68	0.41	0.87	0.72	0.32	0.29	0.08
2009.12	4.72	0.42	1.40	0.49	0.63	0.70	0.15	0.63	0.23
vidutinė	5.03	0.27	0.31	0.38	0.85	0.53	0.21	0.25	0.09

5 lentelė. Kritulių ir pagrindinių cheminių priemaišų iškritos po laja ir atviroje vietoje Žemaitijos IM stotyje (LT03)

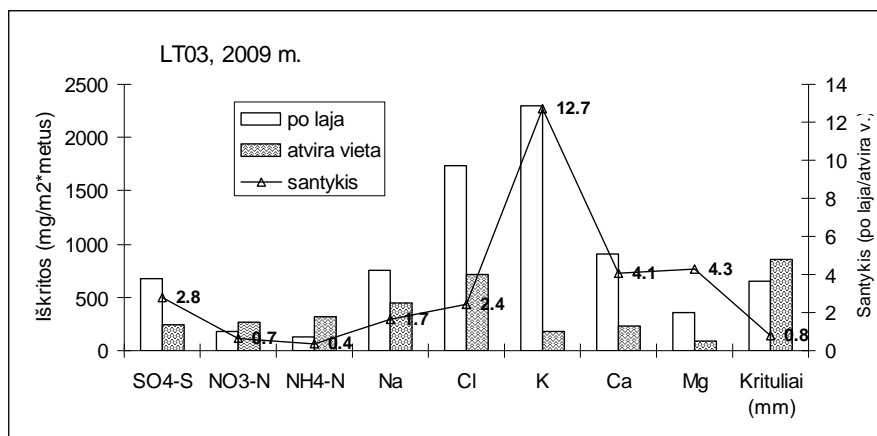
Metai, mėnuo	Krituliai mm	IŠKRITOS, mg/m ²							
		SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
<i>Po medžių laja</i>									
2009.01	83.3	126.34	35.56	10.38	138.28	75.9	155.50	74.03	36.37
2009.02	31.0	143.74	35.87	5.74	73.51	41.3	116.94	117.13	45.60
2009.03	25.9	79.84	15.43	2.61	58.45	26.1	84.99	65.53	27.19
2009.04	0.1								
2009.05	11.6	23.96	7.74	12.53	63.45	17.4	124.39	41.25	20.17
2009.06	47.4	22.26	6.98	12.65	123.23	24.6	206.17	111.69	38.14
2009.07	66.5	32.88	4.54	36.95	157.27	24.5	271.90	108.78	34.07
2009.08	39.2	14.82	3.80	7.84	105.00	26.7	186.27	86.94	27.69
2009.09	88.4	24.38	11.81	9.14	41.86	9.95	44.17	35.97	16.31
2009.10	136.6	34.44	2.87	3.94	713.94	297.0	528.62	130.39	53.88
2009.11	65.7	61.04	20.31	8.28	163.41	129.0	328.31	56.15	26.80
2009.12	59.9	111.3	32.64	13.71	96.98	84.98	243.90	79.00	32.23
Metinė	655.6	675.01	177.54	123.78	1735.4	757.5	2291.14	906.87	358.44
<i>Atvira vieta</i>									
2009.01	75.3	27.85	27.09	21.07	61.26	34.62	12.79	12.04	4.74
2009.02	30.9	12.44	20.42	14.23	17.55	11.76	5.88	3.71	2.07
2009.03	44.4	19.35	22.86	21.98	13.94	4.84	4.13	7.91	0.22
2009.04	2.8		5.93	9.03	2.59	1.47	1.44	4.23	0.48
2009.05	32.1	11.14	17.02	28.90	18.85	7.06	8.99	17.66	3.85
2009.06	72.5	14.36	13.05	20.30	14.72	8.70	31.91	46.41	4.50
2009.07	117.9	31.70	27.11	53.03	50.91	22.39	4.95	28.29	8.84
2009.08	74.5	10.27	7.45	15.64	32.16	11.17	3.72	13.40	4.32
2009.09	67.0	16.09	10.06	32.85	48.27	26.82	12.74	11.40	4.49
2009.10	176.3	37.01	26.44	33.45	334.88	211.5	52.88	14.28	28.20
2009.11	102.5	32.80	69.69	41.61	89.16	73.79	32.80	29.72	8.51
2009.12	55.2	9.91	17.66	27.05	34.78	38.64	8.28	34.78	12.72
Metinė	850.9	239.30	264.78	319.19	719.08	452.8	180.51	223.83	83.14

Cheminių priemaišų koncentracijų polajiniuose krituliuose pokyčių sezoninę kaitą iliustruoja duomenys, kurie pateikti 20 paveiksle. Sulfatų koncentracijų santykiai (po laja/atvira vieta) nuo 4.1 iki 11.5, gauti nuo sausio iki gegužės mėn. ir lapkričio – gruodžio mėn., rodo ypač didelį lajos poveikį šiuo metų laikotarpiu. Per likusius metų mėnesius šis santykis buvo mažesnis ir kito nuo 1.2 iki 2.7. Tai rodo, kad polajiniai krituliai praturtinami sulfatais dėl nuplovimo nuo lajos sausai nusėdusių sieros junginių (SO_2 ir aerozolinių SO_4^{2-}). Nitratų koncentracijų santykis rodo, kad išskyrus laikotarpį nuo sausio iki birželio ir gruodžio mėn., NO_3^- koncentracija krituliuose polajiniuose krituliuose buvo 1.2 – 1.8 kartus didesnė nei krituliuose atviroje vietoje, o per kitus mėnesius šis koncentracijų santykis kito nuo 0.14 (spalio mėn.) iki 0.97 (rugpjūčio mėn.). Metinė NO_3^- koncentracija polajiniuose krituliuose gauta 0.87 karto mažesnė nei krituliuose atviroje vietoje. Amonio koncentracijų santykiai (po laja/atviroje vietoje), išskyrus liepos mėn., buvo mažesni nei 1.0 ir kito nuo 0.20 iki 0.95. Metinė NH_4^+ koncentracija polajiniuose krituliuose gauta du kartus mažesnė nei krituliuose atviroje vietoje. Priešingai azoto junginiams, stebimos kelis kart didesnės K^+ , Na^+ , Cl^- ir Mg^{2+} koncentracijos krituliuose po laja nei atviroje vietoje: K^+ koncentracijų santykis po laja/atvira vieta kito nuo 2.6 iki 97, Cl^- nuo 0.7 iki 12.8 ir Mg^{2+} - nuo 2.3 iki 22 kartų. Toks žymus šių komponentų koncentracijų padidėjimas polajiniuose krituliuose gali būti siejamas su šių elementų išplovimu iš lajos, o taip pat ir nuplovimu nuo lajos.



2.34 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų svartinės pagal kritulių kiekį vidutinės 2009 m. koncentracijos Žemaitijoje (LT03)

Apibendrinant 2.34 paveiksle duomenis apie pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijas krituliuose po miško laja ir miške atviroje vietoje, galim konstatuoti, kad Žemaitijoje polajiniai krituliai labiausiai praturtinami K^+ , mažiau Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- ir Na^+ . Tyrimai rodo mažesnes azoto junginių koncentracijos polajiniuose krituliuose nei krituliuose atviroje: nitratų 0.7 karto ir amonio 2 kartus.



2.35 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų iškritos po laja ir atviroje vietoje 2009 m. Žemaitijoje (LT03)

Pateikti 2.35 paveiksle duomenis rodo, kad polajinių kritulių metinis kiekis 20 % mažesnis nei atviroje vietoje: Žemaitijoje 2009 m. po laja iškrito 655.6 mm, o atviroje vietoje – 850.9 mm. Nustatyta, kad į miško paklotę Žemaitijoje (LT03) iškrito 2.8 karto daugiau sulfatinės sieros, 1.7 karto – natrio, 2.4 karto – chloridų, 4.1 karto – kalcio, 4.3 kartus – magnio ir 12.7 kartus daugiau kalio jonų nei atviroje vietoje. Dėl azoto junginių absorbcijos laja, metinis azoto kiekis iškritose po laja gautas mažesnis nei atviroje vietoje.

6 lentelė. pH ir pagrindinių cheminių priemaišų svertines pagal kritulių kiekį vidutines 2009 m. koncentracijas krituliuose po laja ir atviroje vietoje Lietuvos IM stotyse

Komponentė	Po laja		Atvira vieta	
	LT01	LT03	LT01	LT03
pH	4.98	5.15	5.22	5.03
SO_4^{2-} , mgS/l	0.41	1.03	0.32	0.28
NO_3^- , mgN/l	0.18	0.27	0.28	0.31
NH_4^+ , mgN/l	0.18	0.18	0.48	0.38
Cl^- , mg/l	0.62	2.65	0.28	0.85
Na^+ , mg/l	0.17	1.16	0.11	0.53
K^+ , mg/l	0.89	3.49	0.14	0.21

Ca ²⁺ , mg/l	0.48	1.38	0.23	0.26
Mg ²⁺ , mg/l	0.23	0.55	0.06	0.10

Iš pateiktų 6 lentelėje apibendrintų duomenų matyti, kad Žemaitijoje visų pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos polajiniuose krituliuose yra didesnės nei Aukštaitijoje. Tačiau, polajiniai krituliai Aukštaitijoje yra rūgštesni nei Žemaitijoje.

7 lentelė. Kritulių kiekis ir pagrindinių cheminių priemaišų metinės iškritos su atmosferos krituliais po laja ir atviroje vietoje Lietuvos IM stotyse, 2009 m.

Komponentė	Po laja		Atvira vieta	
	LT01	LT03	LT01	LT03
Krituliai, mm	655.5	655.6	768.7	850.9
H ⁺ , meq/m ²	6.89	4.63	4.63	7.90
SO ₄ ²⁻ , mgS/m ²	265.96	675.01	243.05	239.30
NO ₃ ⁻ , mgN/m ²	117.49	177.54	216.33	264.78
NH ₄ ⁺ , mgN/m ²	116.55	123.78	368.38	319.19
Cl ⁻ , mg/m ²	408.01	1735.37	211.74	719.08
Na ⁺ , mg/m ²	111.83	757.47	86.86	452.76
K ⁺ , mg/m ²	580.57	2291.14	109.97	180.51
Ca ²⁺ , mg/m ²	317.34	906.87	180.10	223.83
Mg ²⁺ , mg/m ²	153.02	358.44	43.38	83.14

Palyginus pagrindinių cheminių priemaišų kiekius iškritose abiejose stotyse (7 lentelė) matyti, kad teršalų kiekiai 2009 m. iškritose į miško paklotę yra netolygūs kritulių kiekiui. Pateikti duomenys rodo, kad, esant vienodam polajinių kritulių metiniam kiekiui abiejose stotyse, į polajį Žemaitijoje pateko apie 2.5 kartus daugiau sieros, 1.5 karto daugiau nitratinio azoto ir 1.1 karto daugiau amonio azoto, 4–7 kartus daugiau chloridų, natrio ir kalio, 2.3–2.9 karto daugiau kalcio ir magnio jonų. 33 % mažesnis į polajį H⁺ metinis srautas Žemaitijoje nei Aukštaitijoje gali būti siejamas su didesniais kalcio, amonio bei magnio kiekiais iškritose. Šie skirtumai tarp šių stočių gali būti dėl lajos skirtingos struktūros: Aukštaitijoje vyrauja pušynai, o Žemaitijoje – eglynai.

Išvados

Vertinant 2009 m. pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų polajiniuose krituliuose IM stotyse tyrimo duomenis, daromos tokios išvados:

- Atmosferiniams krituliams krentant per medžių lają, cheminių priemaišų, išskyrus azoto junginius, koncentracijos ir jų kiekiai iškritose į polajį yra didesni nei atviroje vietoje.

- Sulfatų koncentracijos padidėjimas polajiniuose krituliuose gali būti siejamas su sieros junginių (sulfatų ir sieros dvideginio) nuplovimu nuo lajos.
- Azoto junginių koncentracijų pokyčiai polajiniuose krituliuose gali būti siejami su jų išplovimu iš lajos, nuplovimu nuo lajos, o taip pat ir dėl azoto junginių absorbcijos laja.
- Didžiausias koncentracijų ir srautų padidėjimas abiejose IM stotyse rastas kaliui. Tai rodo šio elemento išplovimą iš lajos.
- Didesni cheminių priemaišų kiekiai iškritose Žemaitijoje, palyginti su Aukštaitija, yra dėl skirtingo lajos tankio: Aukštaitijos stotyje – vyrauja pušynai, Žemaitijos stotyje – vyrauja eglynai.
- Pagrindinių cheminių priemaišų foninių koncentracijų bei fizinių parametrų atmosferos iškritose ir polajiniuose krituliuose 2005–2009 m. tyrimų apimtys (tiriami parametrai ir stebėjimo dažnis) IM stotyse (LT01 ir LT03) ir EMEP stotyje (LT15) minimaliai atitinka keliamus programų reikalavimus. EMEP monitoringo stotyje vykdoma kritulių tyrimo programa tenkina Europos monitoringo paruoštos strategijos 2010–2019 m. reikalavimus: cheminių priemaišų foninių koncentracijų bei fizinių parametrų krituliuose stebėjimo dažnis –24 val. Tolimų oro teršalų pernešimo į Lietuvą vertinimui, IM stotyse stebėjimo dažnis turėtų būti nedidesnis nei 24 valandos. Vertinant ir prognozuojant sąlygiškai natūralių ekosistemų būklę bei ilgalaikius pokyčius jose, yra būtinas pagrindinių cheminių priemaišų foninių koncentracijų bei fizinių parametrų atmosferos iškritose ir polajiniuose krituliuose tyrimų tęstinumas.

Literatūra

1. EMEP Manual for Sampling and Chemical Analysis, EMEP/CCC-Report 1/95, Norwegian Institute for Air Research; Kjeller, 1996.
2. R. O. Gilbert, (1987). Statistical methods for environmental pollution monitoring. Van Nostrand Reinhold, New York.

2.4. Gruntinio, dirvožemio bei paviršinio vandens ir dirvožemio monitoringas pagal ICP IM programą

Geologijos ir geografijos institutas kompleksinio monitoringo programoje atlieka darbus keturiose paprogramėse: dirvožemio chemijos, dirvožemio vandens chemijos, gruntinio vandens chemijos bei upelių vandens chemijos.

Kompleksiniai dirvožemio vandens, gruntinio vandens bei upelių vandens cheminės sudėties tyrimai atliekami mažų upelių baseinuose, esančiuose Aukštaitijos ir Žemaitijos nacionaliniuose parkuose – tose vietose, kur antropogeninis poveikis yra mažiausias visoje Lietuvoje. Daroma prielaida, kad baseinai hidrologiškai yra uždari. Detalus upelių baseinų fizinis-geografinis, klimatinių rodiklių aprašymas, teminiai žemėlapiai, darbų vykdymo ir cheminių analizių metodikos pateiktos Geografijos instituto ataskaitose (Dirvožemių..., 1993, Dirvožemių..., 1994, Dirvožemių..., 1995). Šioje ataskaitoje daroma prielaida apie Aukštaitijos kompleksinio monitoringo stoties baseino ploto koregavimą (sumažinimą). Sukaupus daugiau duomenų ir atlikus detalesnes analizes vėliau bus galima nustatyti tikrąjį Aukštaitijos kompleksinio monitoringo stoties baseino plotą.

Pastovūs dirvožemio vandens, gruntinio vandens bei upelių vandens cheminės sudėties stebėjimai Aukštaitijos nacionalinio parko integruoto monitoringo teritorijoje (NP IMT) pradėti 1993 metų rudenį, o Žemaitijos NP IMT – 1995-jų metų pavasarį.

Metodika

Dirvožemio vandens mėginiai cheminei analizei imami kas mėnesį šiltuoju metų laikotarpiu. Tuo pačiu apskaičiuojamas ir dirvožemio vandens nuotėkis iš 1 km² 20 cm ir 40 cm gyliuose. Jei žiemą dirvožemis būna neiššalęs ir kartojasi dažni atlydžiai, vandens pavyzdžiai imami ir dirvožemio vandens nuotėkis skaičiuojamas tuo pačiu periodiškumu. Kas mėnesį nustatomas dirvožemio drėgnumas 20 ir 40 cm gyliuose.

Gruntinio vandens mėginiai imami 6 kartus per metus, gruntinio vandens lygis matuojamas kas 2 savaites.

Upelių vandens mėginiai cheminei analizei imami kas mėnesį visus metus, pagal savirašių duomenis apskaičiuojami kasdieniai upelių debitai. Upelių vandenyje kas mėnesį išmatuojamas ištirpusio deguonies kiekis.

Visose trijose vandens paprogramėse nuo stebėjimų pradžios reguliariai analizuojama SO₄, NO₃N, NH₄N, Ca, Na, K, Mg, Cl, P_{visuminis}, Mn, Fe, Si, pH. Nuo 2000 metų matuojamas fosfatų fosforo (PO₄P), ir visuminio azoto (N_{visuminis}) kiekis, nuo 2002 m. pradėta matuoti

visuminį aliuminio kiekį, o nuo 2003 m. – visuminį organinės anglies kiekį. Nuo 2000 metų vidurio visose paprogramėse, 3 kartus per metus, balandžio, liepos ir spalio mėnesiais pradėta matuoti sunkiųjų metalų (Cu, Cr, Cd, Pb, Zn) kiekius gamtiniame vandenyje.

Visi mėginiai imami ir jų cheminės analizės atliekamos vadovaujantis vieninga metodika (The Working..., 1989, Environment..., 1993, ICP IM..., 1998), pagal kurią dirba ir kitos integruoto monitoringo programoje dalyvaujančios šalys.

Duomenys analizuojami rangų ir koreliacijų metodais.

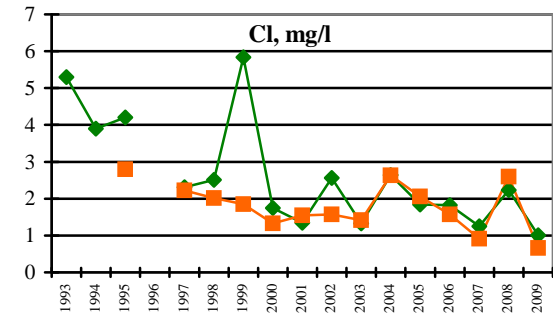
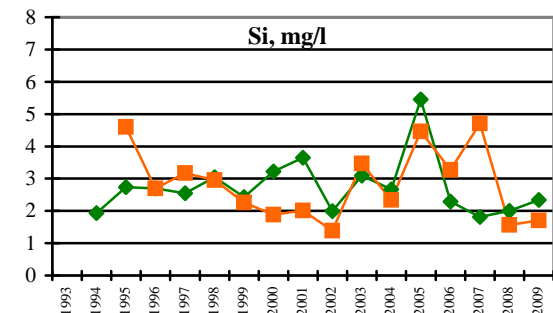
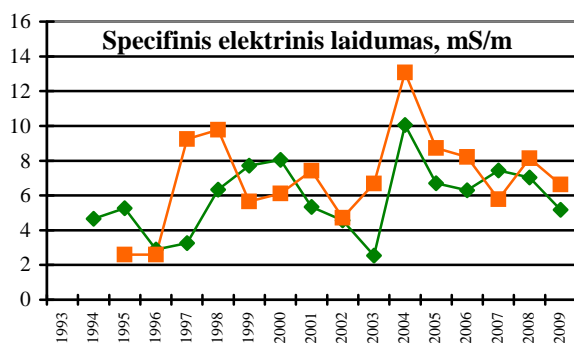
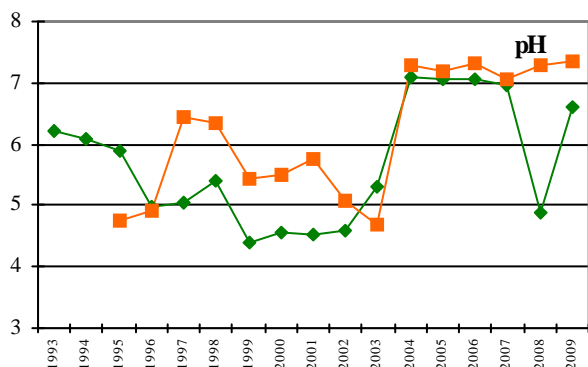
2.4.1. Dirvožemio vandens savybės

2.2.1 skyriuje nustatyta (1 lentelė), kad Aukštaitijos stotyje dirvožemio vandens srautas 2009 m. buvo vienas iš didesnių per stebėjimų laikotarpį (trečias pagal dydį), bet filtracijos intensyvumas ir šiluminės sąlygos – vidutinės.

Dirvožemio vandens pH 2004-2007 metais laikėsi aukštame lygyje, 2008 m., sumažėjus dirvožemio vandens srautui ir atsargoms, nukrito iki 1999–2002 m. lygio, o padidėjus vandens srautui 2009 m. vėl išaugo, nors iki 2004-2007 m. lygio nebepakilo. Tirpių medžiagų koncentracijos buvo vidutinės. Žemaitijos stotyje 2009 m. dirvožemio vandens srautas ir filtracijos intensyvumas buvo vieni iš mažiausių per stebėjimo laikotarpį (2 lentelė), todėl tirpalo specifinis elektrinis laidumas ir daugumos tirpių medžiagų vidutinės koncentracijos mažiausios per stebėjimo laikotarpį (2.36 pav. 1-2).

Per stebėjimo laikotarpį Aukštaitijos stotyje daugumos medžiagų koncentracijos turi tendenciją augti (išskyrus sulfatų S, K, Cl ir Si), o Žemaitijos – yra stabilios arba mažėja (išskyrus visuminio azoto koncentraciją, kuri didėja) (2.36 pav. 2-5).

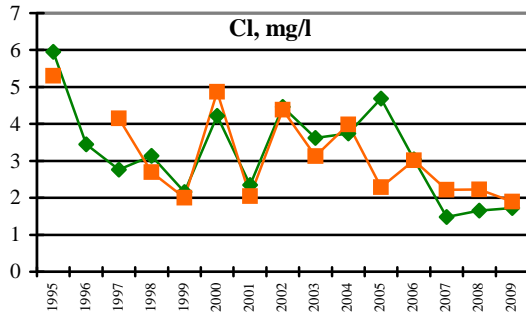
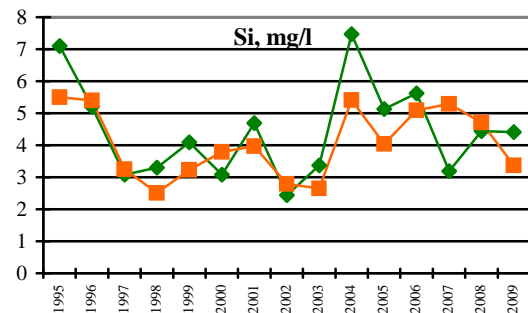
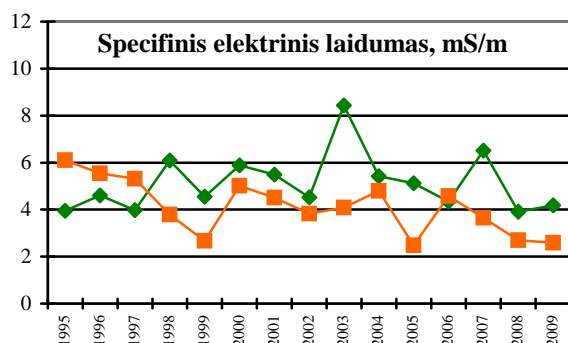
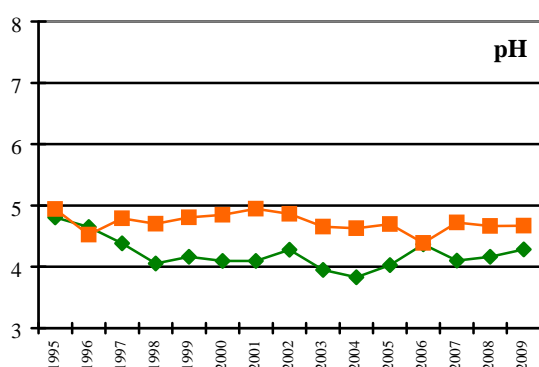
Aukštaitijos IMT



Metų vidurkis

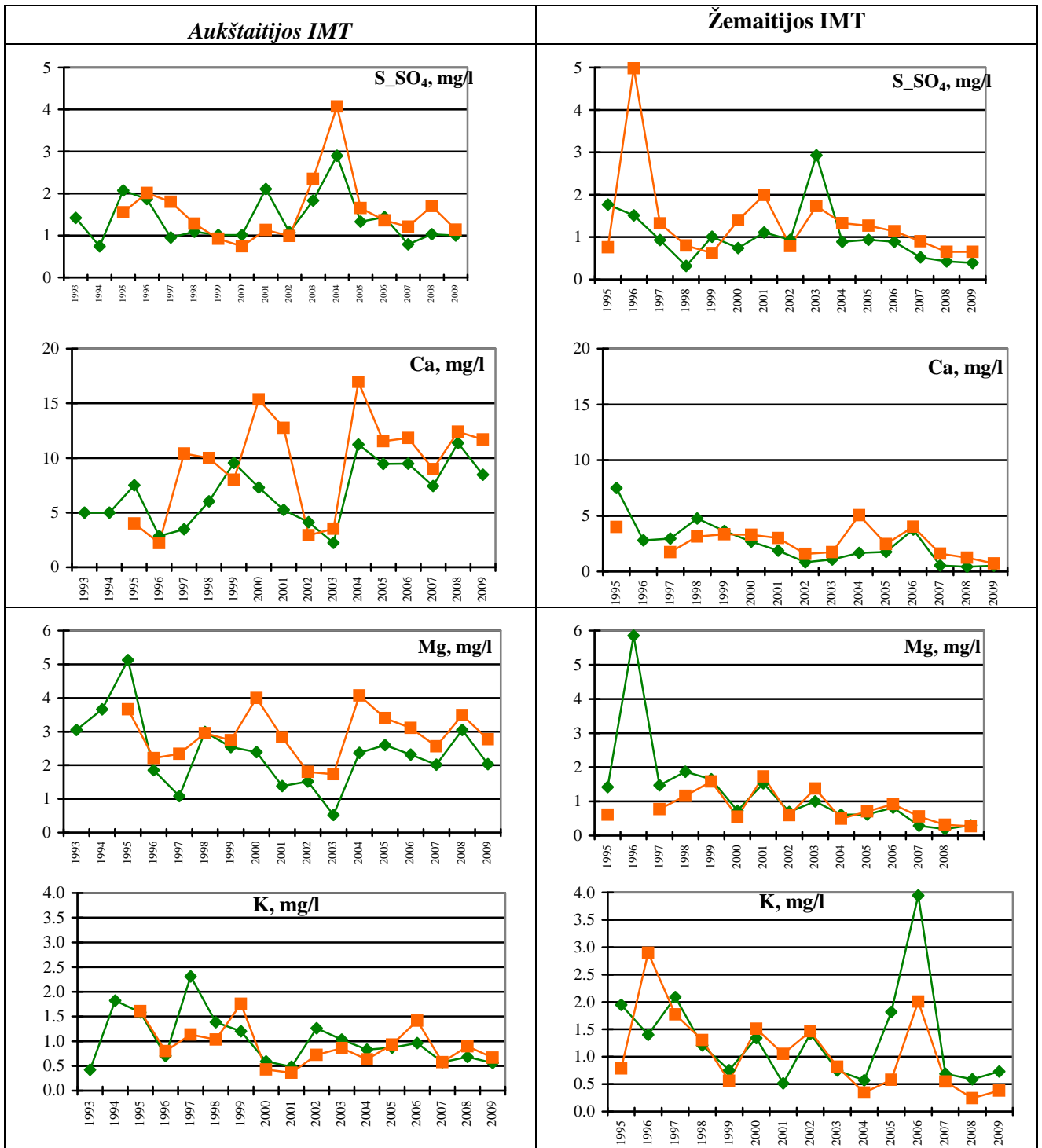
20 cm gylis —◆—
40 cm gylis —■—

Žemaitijos IMT



2.36 pav. Dirvožemio vandens savybių kitimas (1

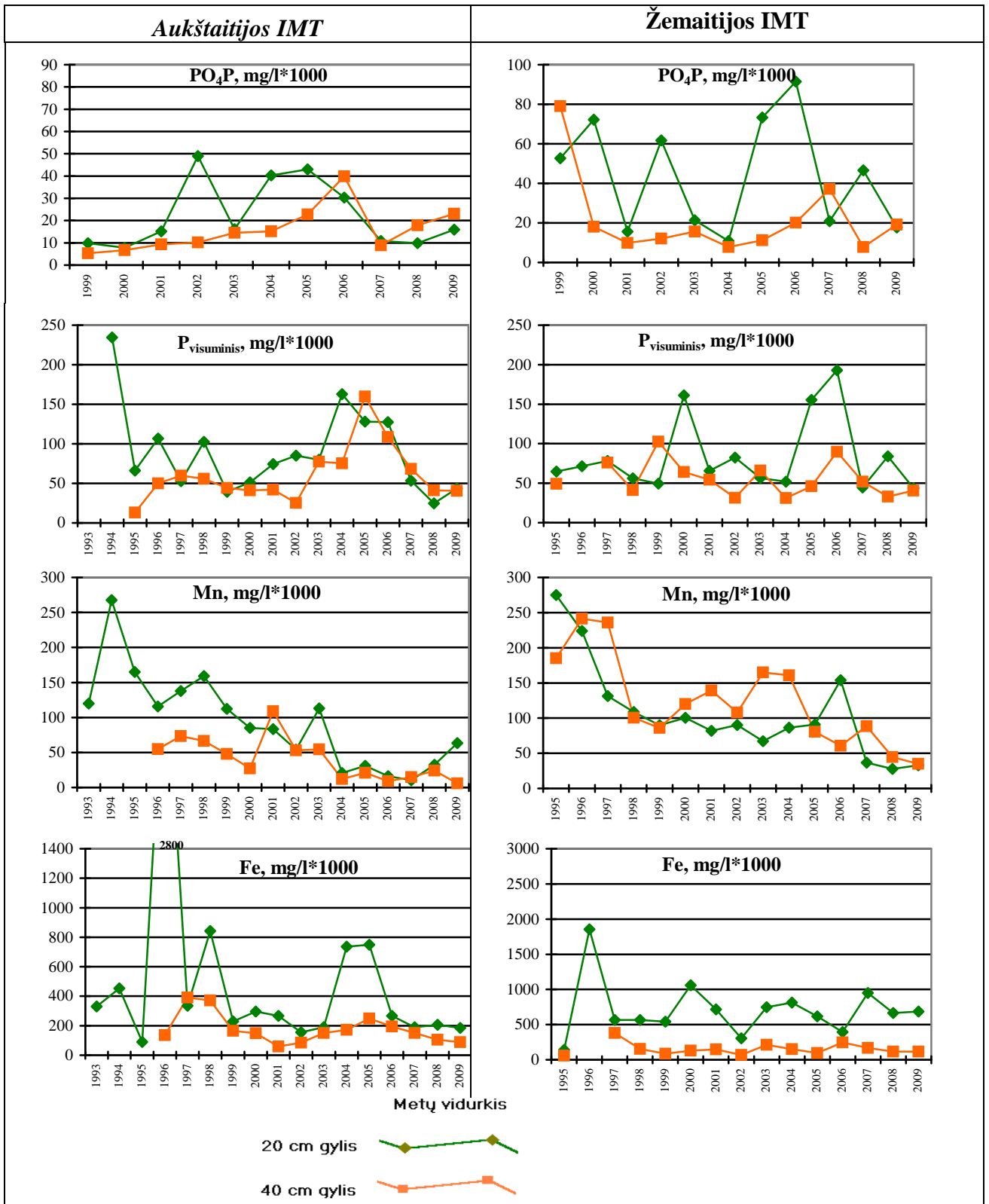
Žemaitijos IMT



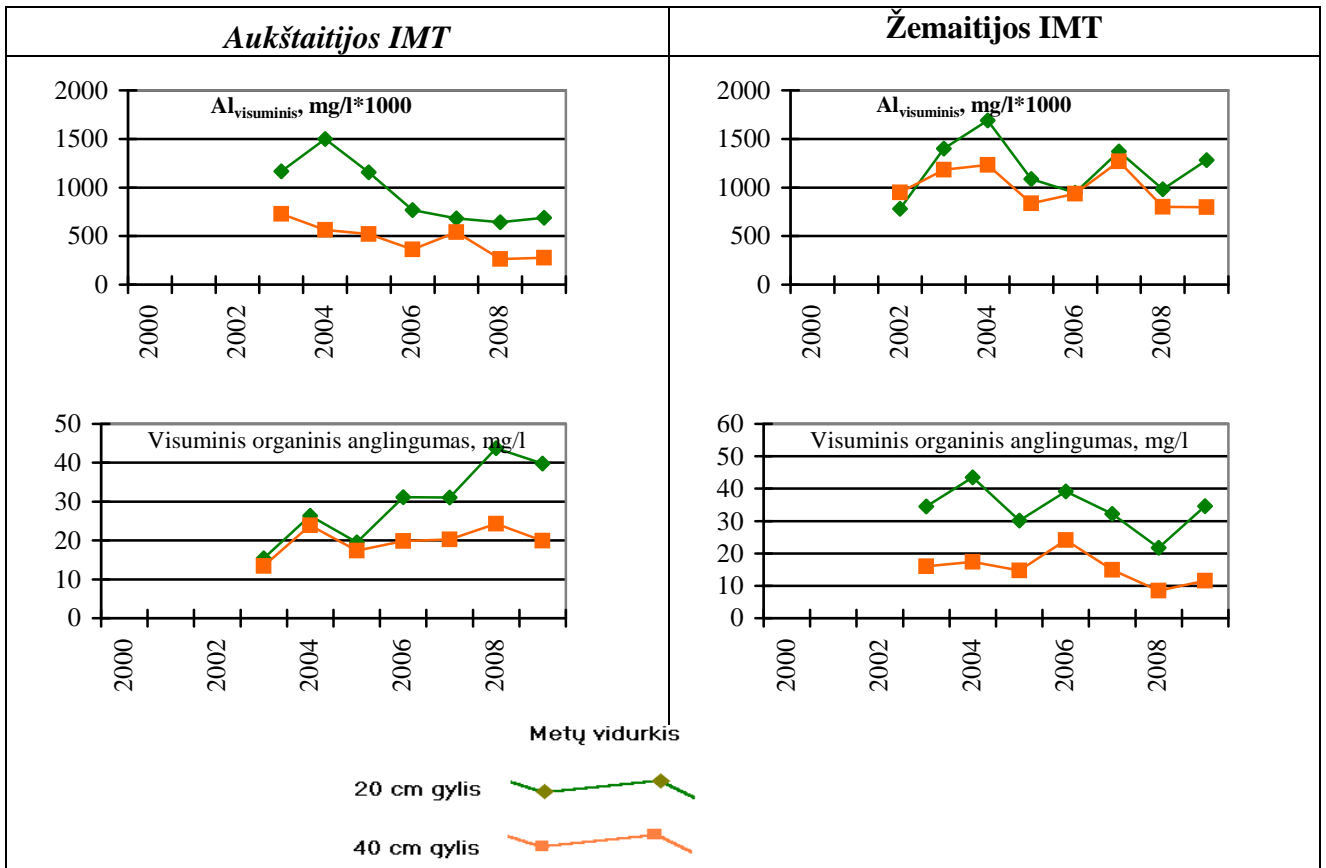
2.36 pav. Dirvožemio vandens savybių kitimas (2 iš 5, tęsinys kitame puslapyje).



2.36 pav. Dirvožemio vandens savybių kitimas (3 iš 5, tęsinys kitame puslapyje).



2.36 pav. Dirvožemio vandens savybių kitimas (4 iš 5, tęsinys kitame puslapyje).



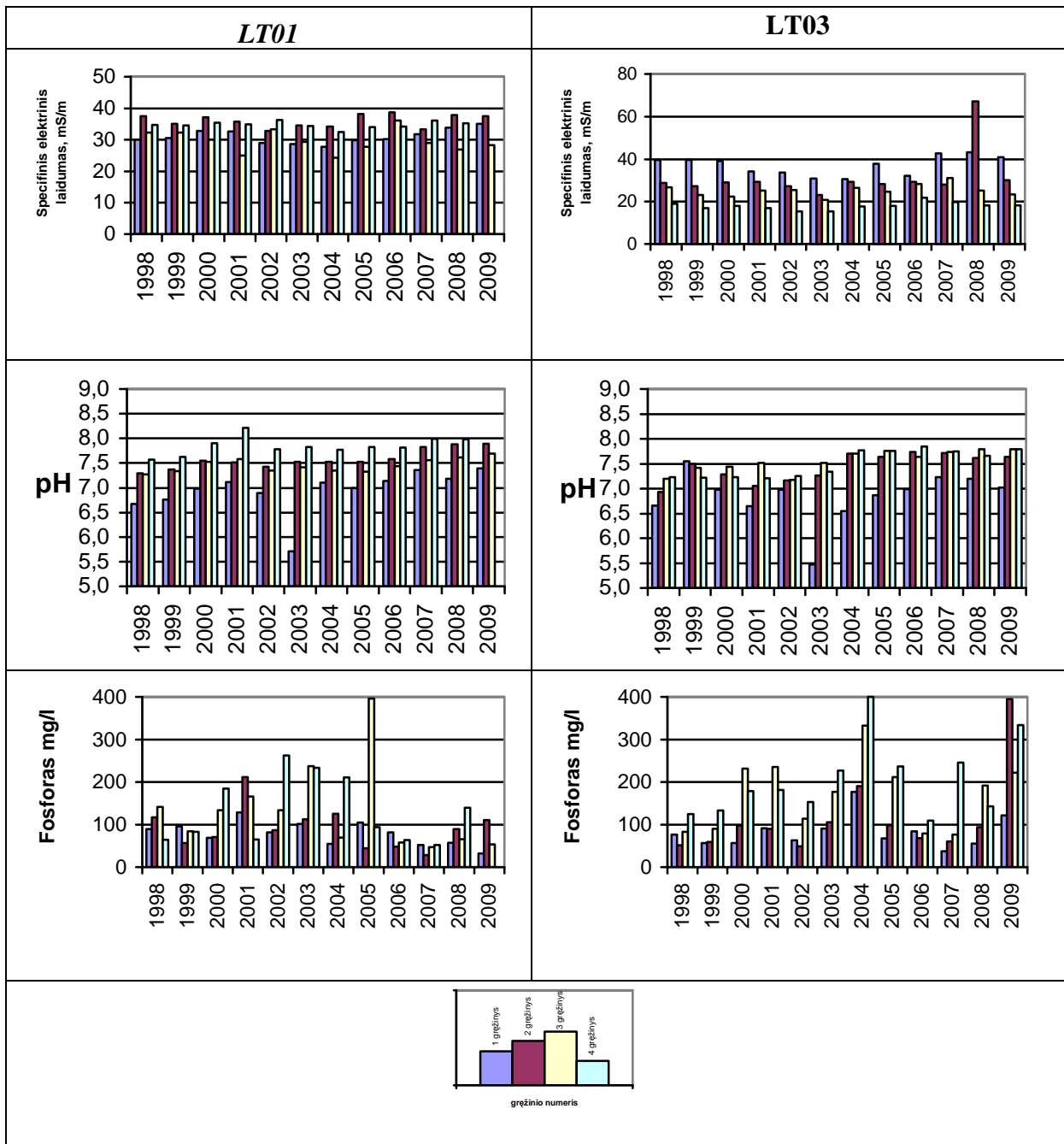
2.36 pav. Dirvožemio vandens savybių kitimas (5 iš 5).

2.4.2. *Gruntinio vandens savybės*

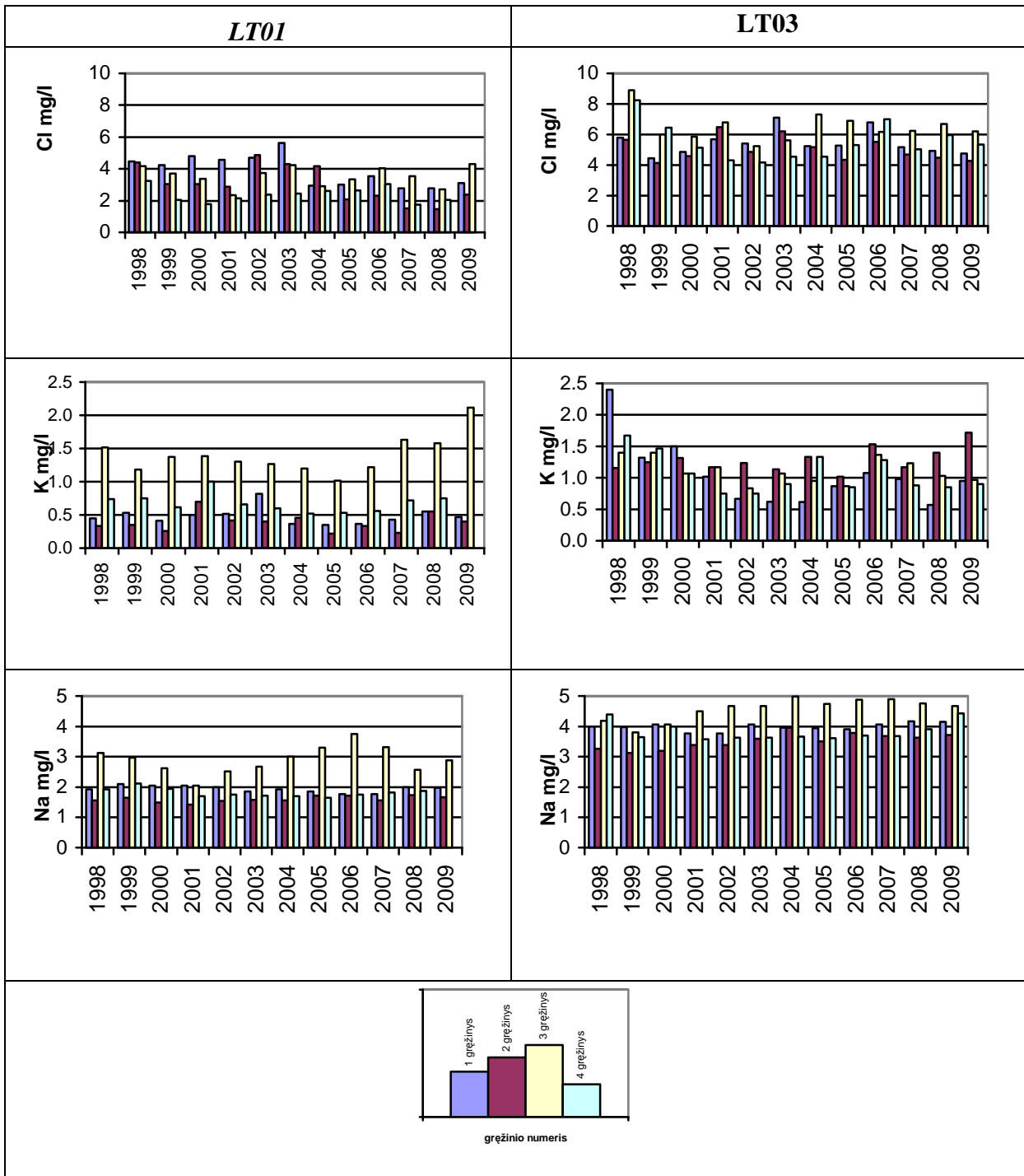
2009 m. gruntinio vandens debitas buvo vidutinis abiejose stotyse, o nuotekio intensyvumas Aukštaitijoje mažiausias, o Žemaitijoje didžiausias nuo 1998 m. (3 lentelė).

2004–2009 m. gruntinio vandens elektrinis laidumas, pH ir šarmingumas mažai keičiasi, Ca, Mg, sulfatų koncentracijos, palyginti su 2008 m. sumažėjo.

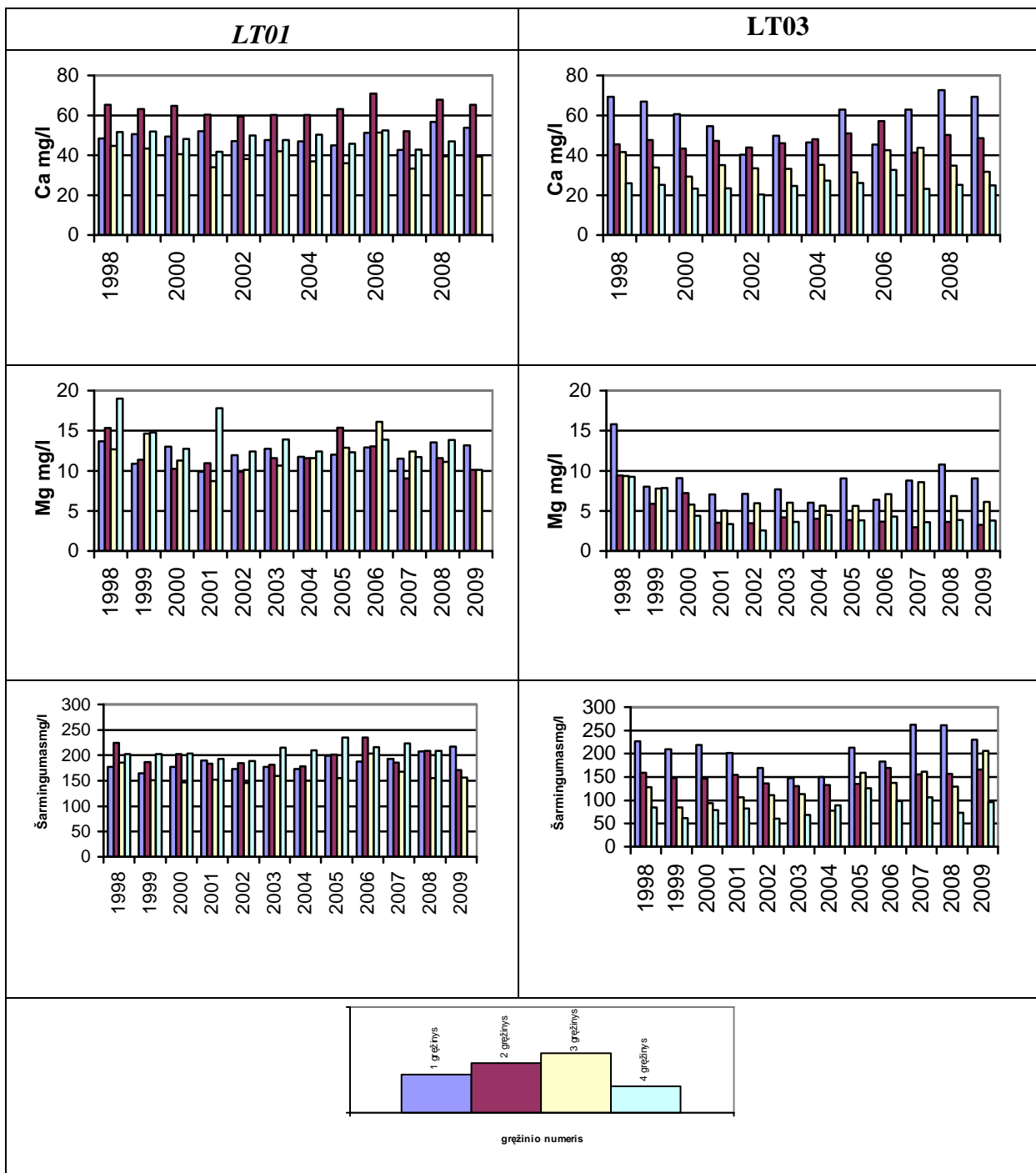
Aukštaitijos stotyje didžiausios per stebėjimo laikotarpį buvo K, Si, Al koncentracijos, o Žemaitijos stoties gruntiniame vandenyje 2009 m. žymiai padidėjo visuminio fosforo, fosfatų azoto junginių koncentracijos (2.37 pav.).



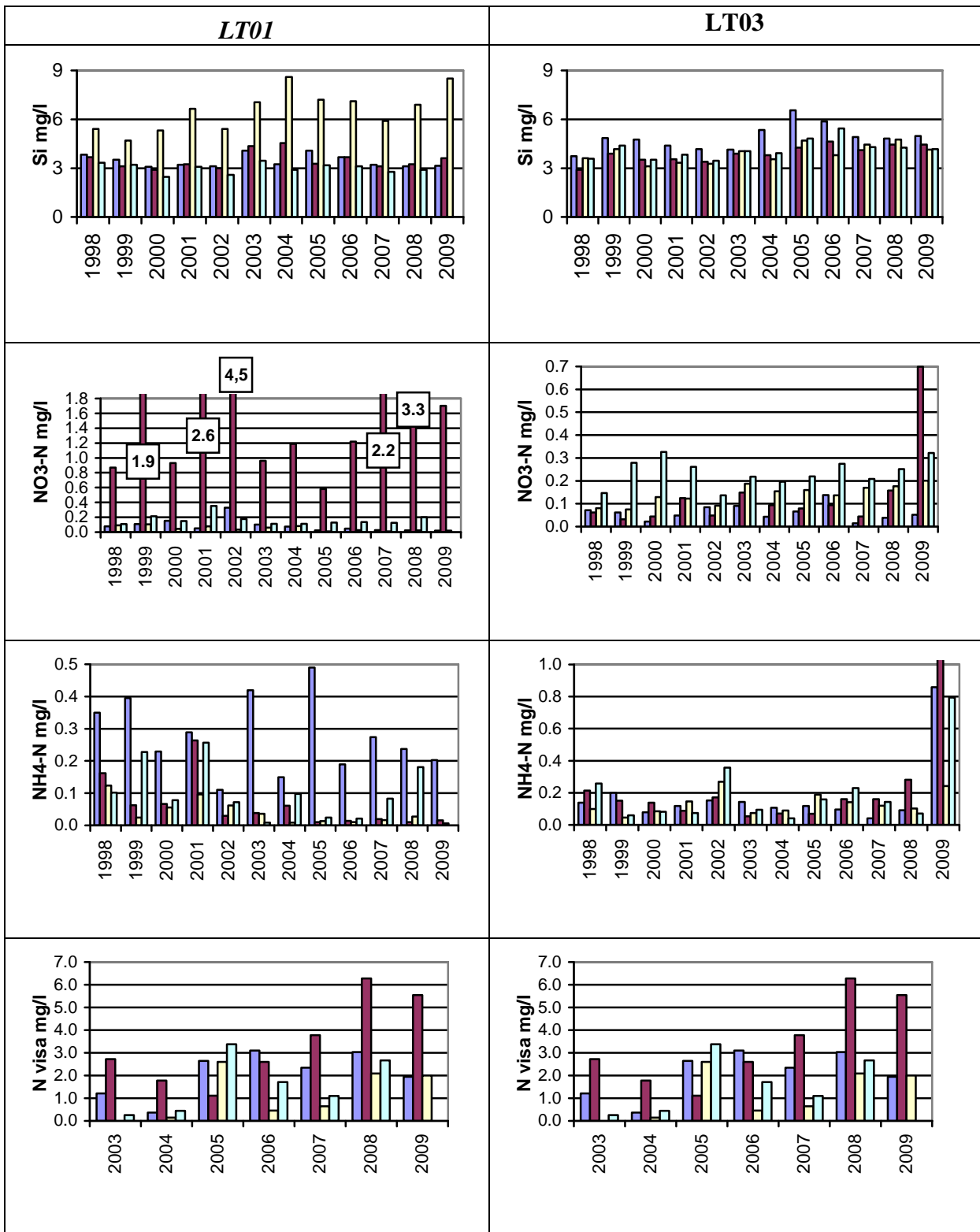
2.37 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (1 iš 8).



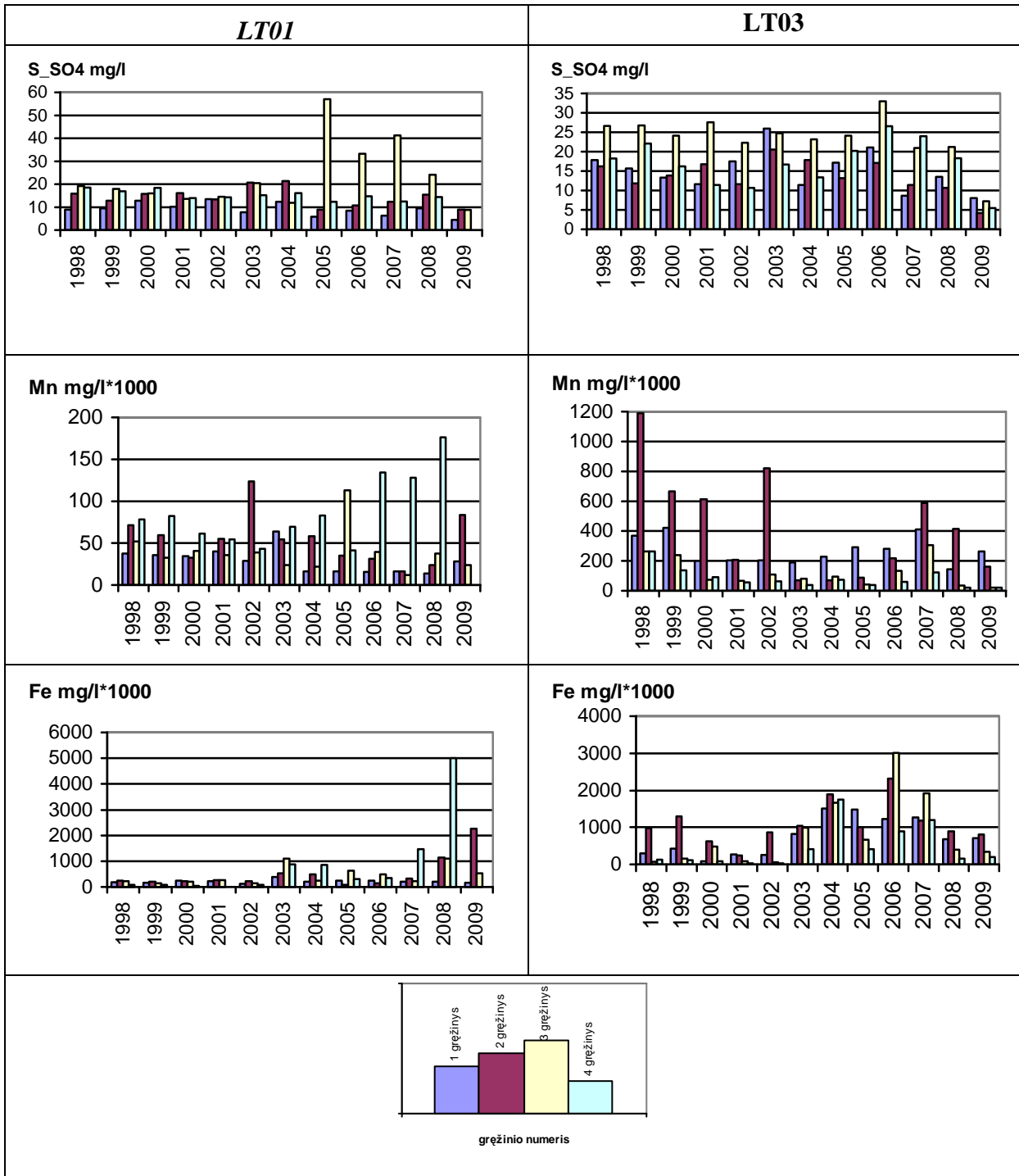
2.37 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (2 iš 8).



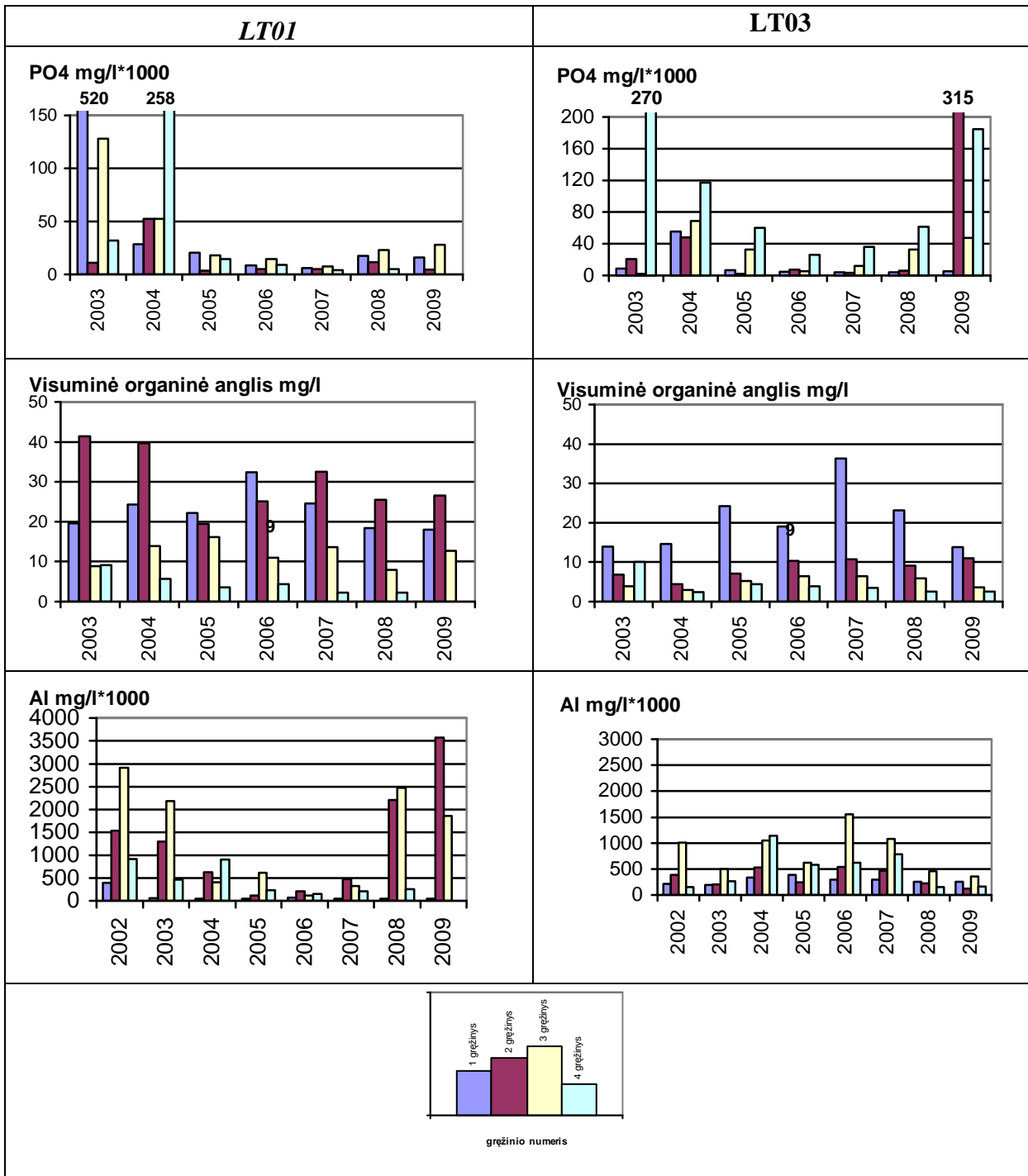
2.37 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (3 iš 8).



2.37 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (4 iš 8).



2.37 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (5 iš 8)



2.37 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (6 iš 8).

2.4.3. *Upelio vandens savybės*

Vidutinis upelio vandens debitas 2009 metais Aukštaitijos monitoringo stotyje ypač nedidelis, mažiausias per 16 metų. Upelio vandens debitas mažėja ketvirtus metus iš eilės, nuo 2006 m.

Palyginti su 2008 m. vandens rūgštumas mažėjo, šarmingumas didėjo. Mn ir Fe koncentracijos padidėjo. Aukštaitijos monitoringo stotyje specifinis laidumas ir šarmingumas yra didžiausi per stebėjimų laikotarpį (2.38 pav., 1).

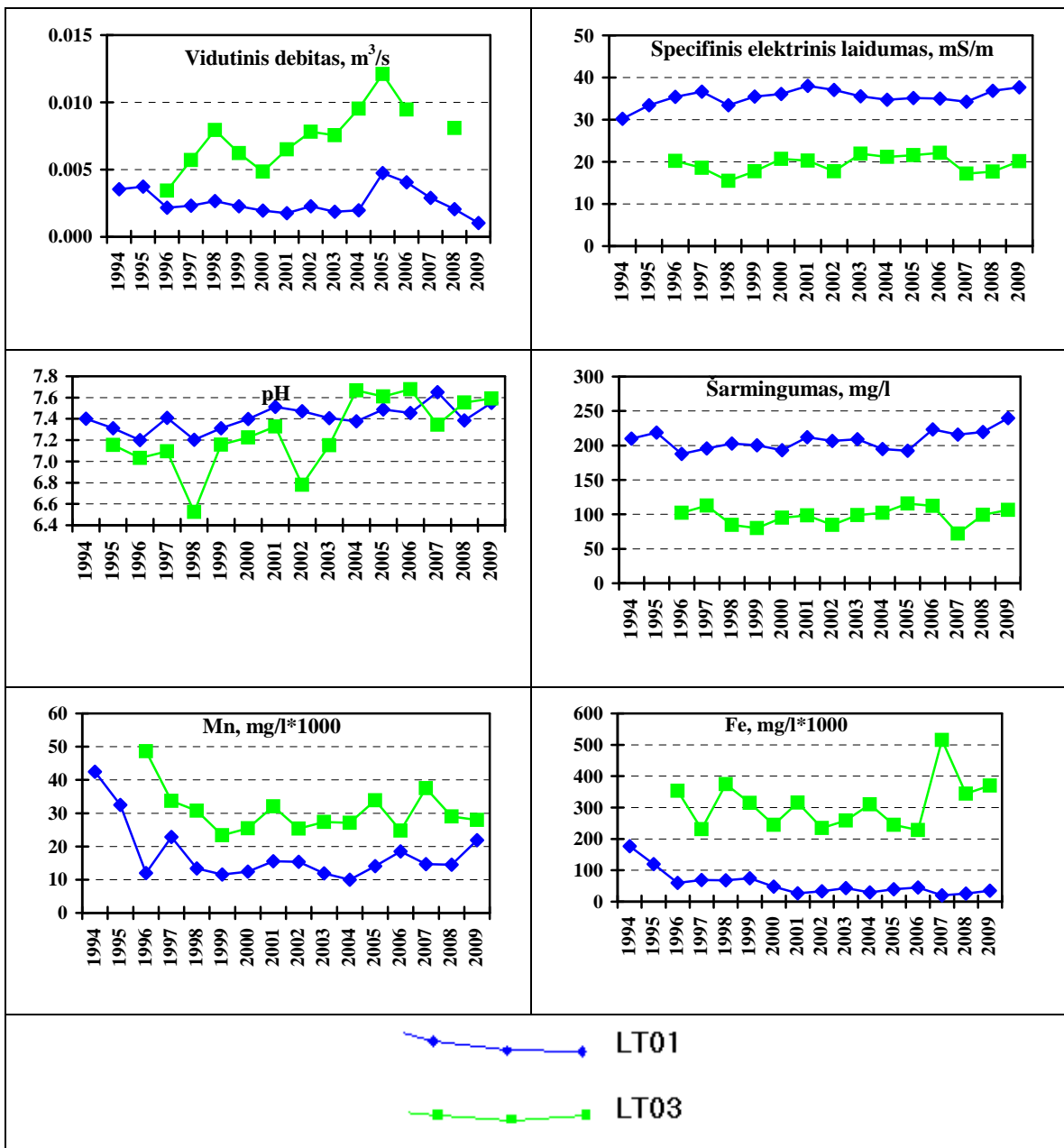
Labiausiai susijusi su debitu yra chloro koncentracija. Kitų tirpiausias medžiagas sudarančių elementų K, Na, Mg, Ca, sulfatų koncentracijos upelio vandenyje 2009 m., palyginti su 2007–2008 m., stabilios (Na) arba išaugo abiejose stotyse (20 pav., 2).

Aukštaitijos upelio vandens šarmingumo, tirpių medžiagų koncentracijų padidėjimą 2009 m. lėmė aukšta temperatūra ir maža jos amplitudė, Žemaitijoje šiluminiai veiksniai buvo santykinai nepalankūs medžiagų tirpumui (4 lentelė). Hidrodinaminių veiksnių įtaka 2009 m. Žemaitijos upelio cheminei sudėčiai nežinoma.

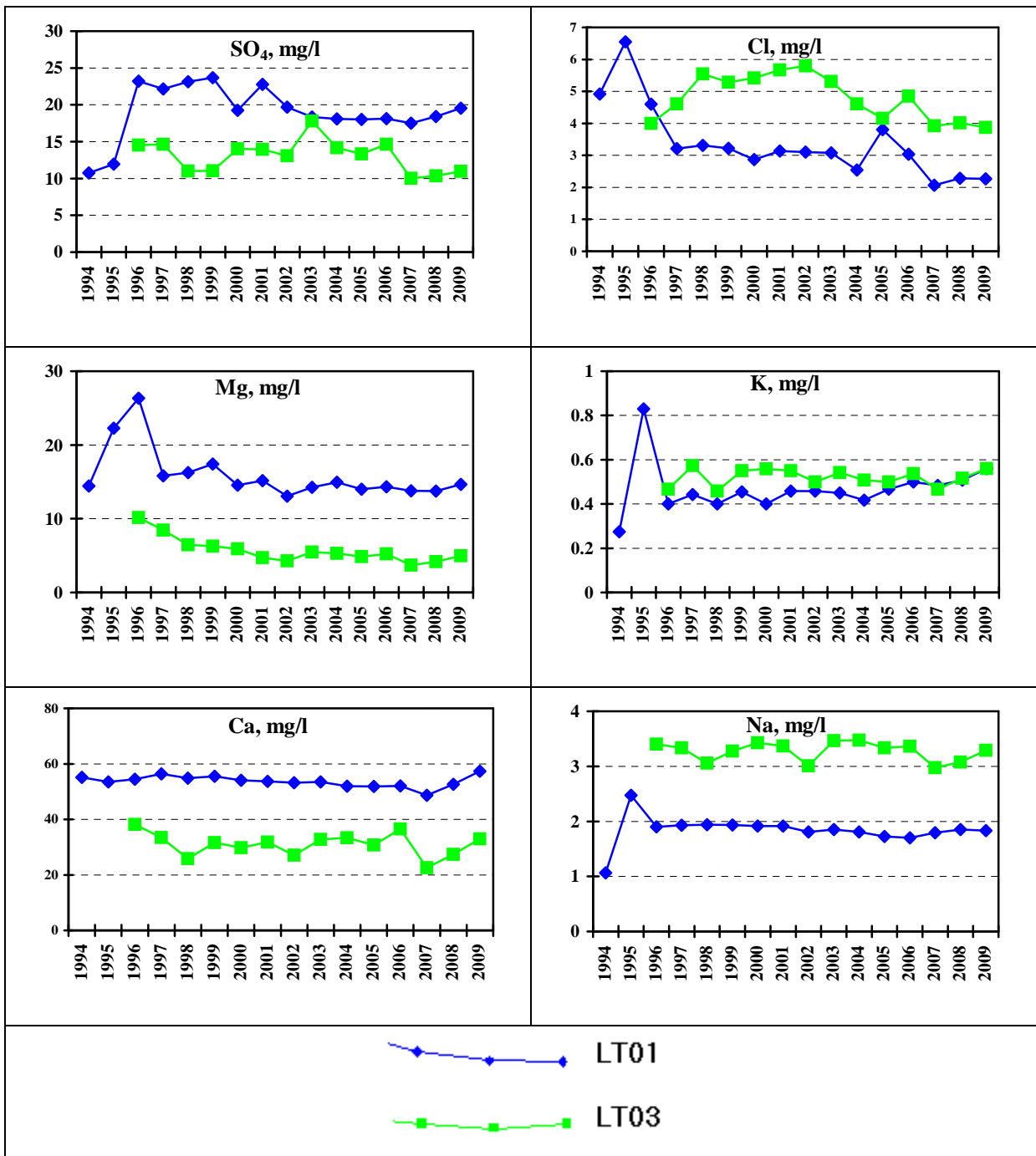
Žemaitijos KMS 2007–2009 m. aukšta aliuminio, 2008–2009 m. fosfatų koncentracija. Abiejose stotyse sumažėjo arba laikėsi žemame lygyje visuminės organinės anglies, amonio koncentracija. Nitratų ir visuminio azoto bei fosforo ir silicio koncentracija 2009 m., palyginti su 2008 m. Aukštaitijos stotyje nepakito, o Žemaitijoje padidėjo (2.38 pav., 3).

Aukštaitijos KMS upelio vandenyje sunkiųjų metalų Cr, Pb, Ni ir Cd koncentracija nuo 2003 metų neturi pastebimų kitimo tendencijų, laikosi žemiausiame lygyje per stebėjimo laikotarpį. 2007–2009 m., palyginti su 2005 ir 2006 m. mažėja Cu ir Zn koncentracija.

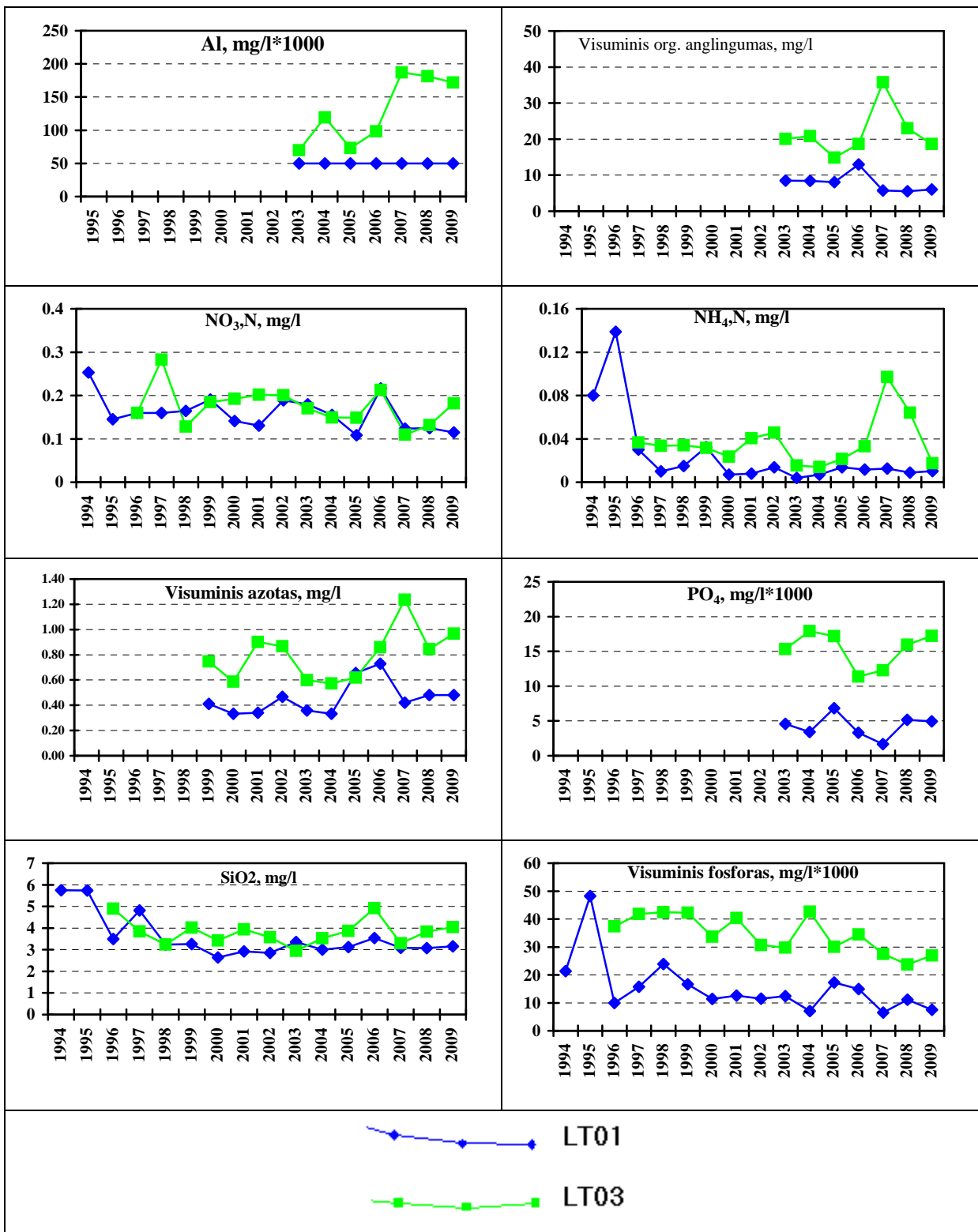
2009 m. Žemaitijos KMS sumažėjo Cu ir Zn koncentracija. Neviršydami maksimalios 2001 m. reikšmės Cr, Pb, Cd koncentracijos turi tendenciją didėti. Ni koncentracija, laikosi minimaliame lygyje (2.38 pav., 4).



2.38 pav. Vidutiniai upelio vandens parametrai 1994-2009 metais (1 iš 4).



2.38 pav. Vidutiniai upelio vandens parametrai 1994-2009 metais (2 iš 4).



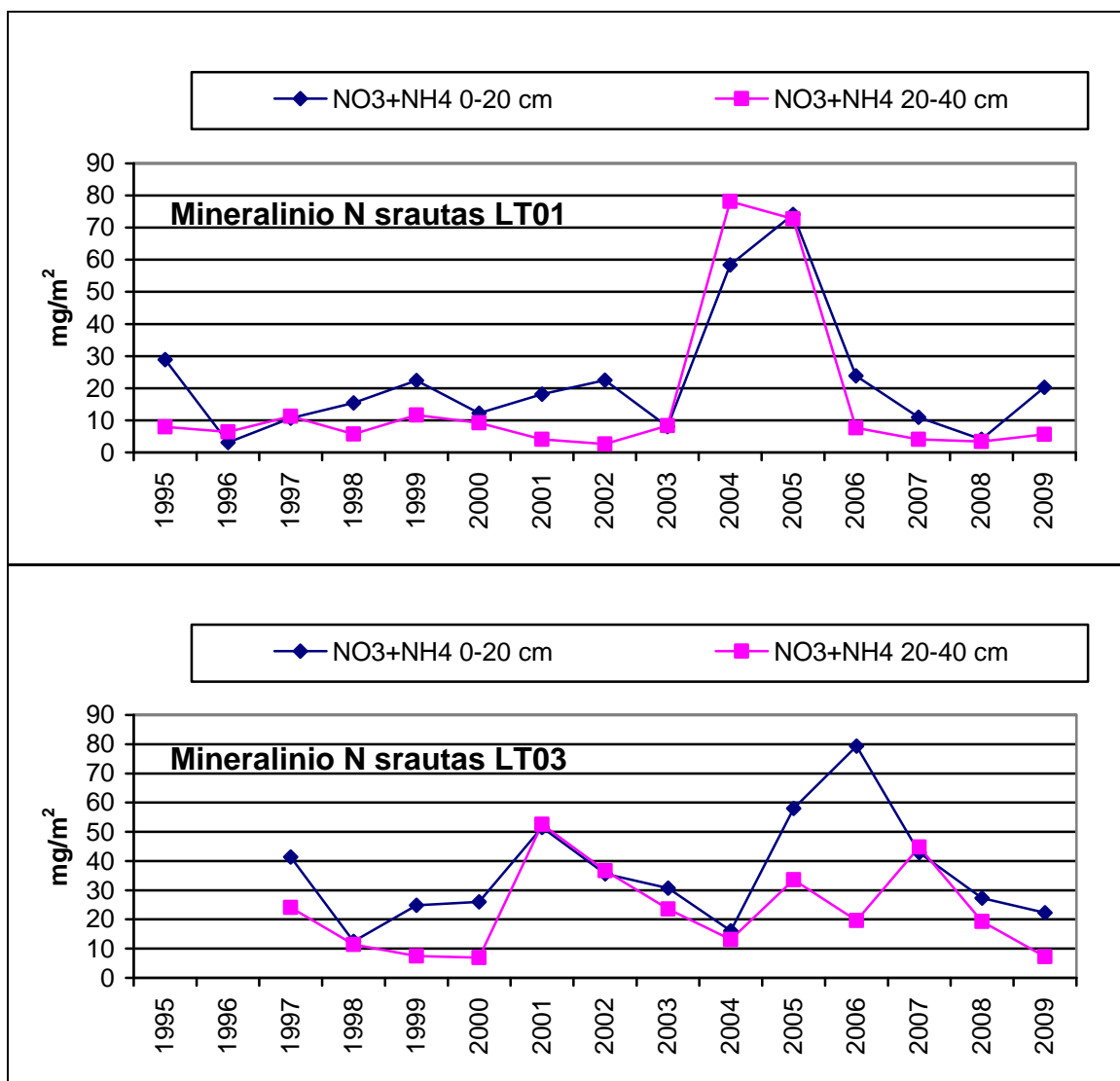
2.38 pav. Vidutiniai upelio vandens parametrai 1994-2009 metais (3 iš 4).

2.5. Medžiagų balanso išnešimo sudedamosios dinamika

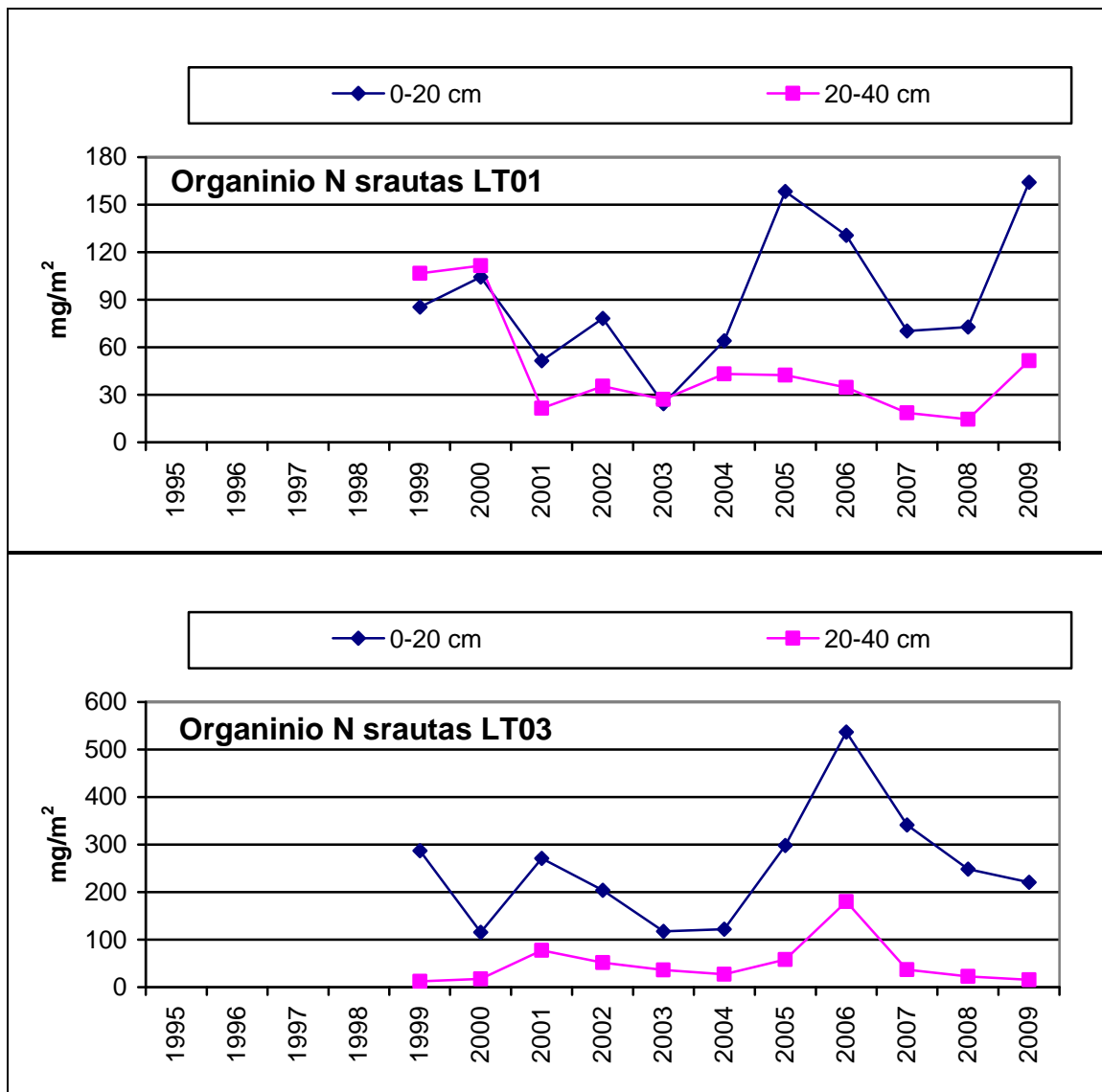
2.5.1. Azoto, fosforo bei sieros išnešimas iš dirvožemio

Cheminių elementų išnešimas dirvožemio vandeniu neatspindi viso baseino medžiagų balanso, bet charakterizuoja automorfinio dirvožemio indėlio į medžiagų išnešimo iš ekosistemos dinamiką.

2009 metais Aukštaitijos stotyje iš dirvožemio buvo išnešta daugiau pagrindinių augalų mitybos elementų, o Žemaitijoje azoto, fosforo ir sieros išnešimas buvo tarp mažiausių per 15 metų (21-24 pav.).



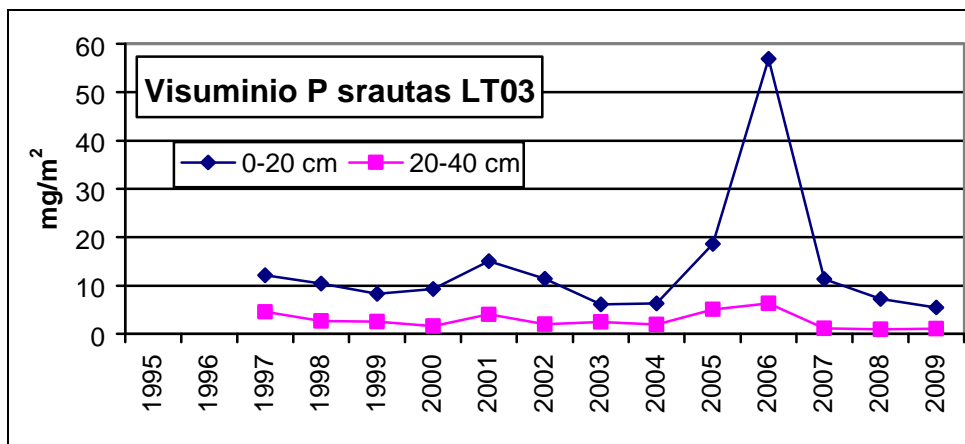
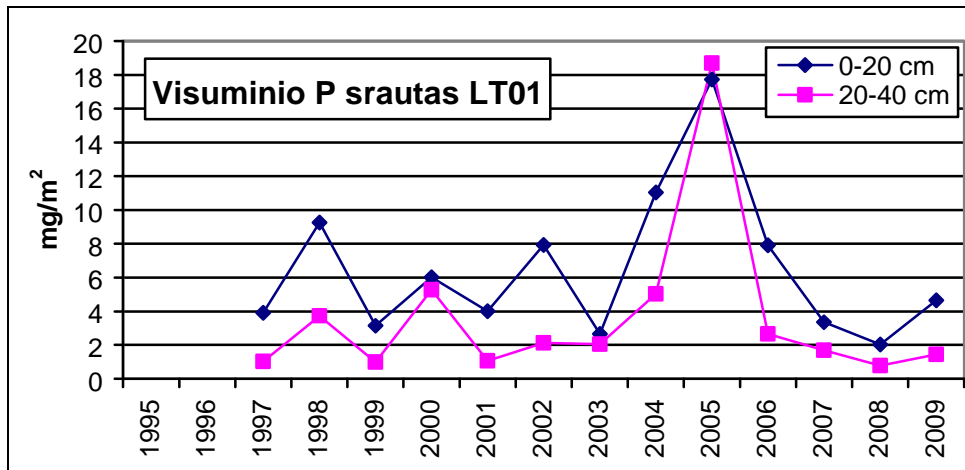
2.39 pav. Mineralinio azoto išplovimas iš dirvožemio.



2.40 pav. Organinio azoto išplovimas iš dirvožemio.

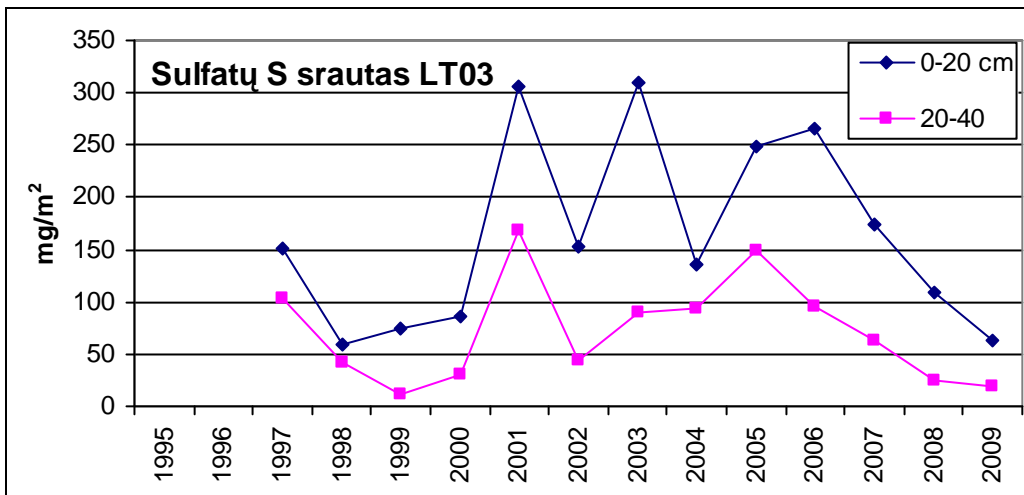
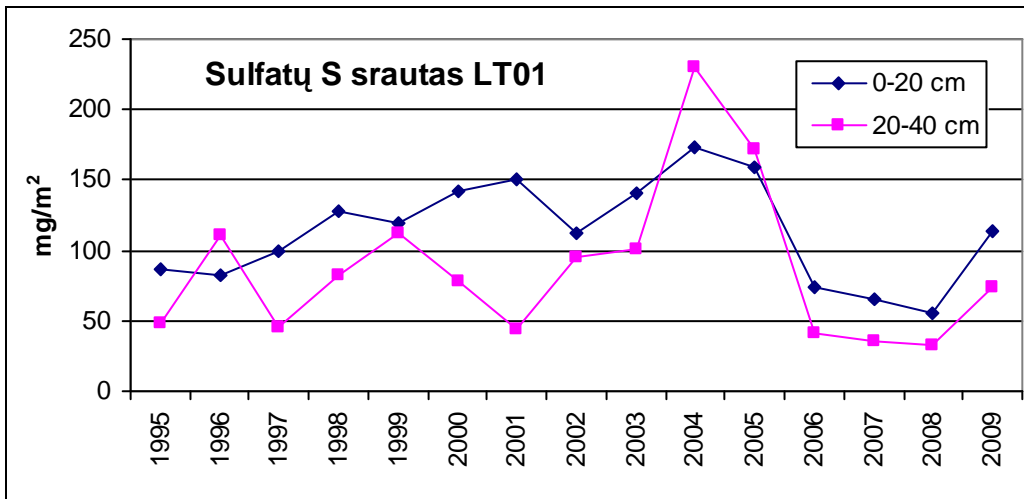
Organinio azoto, visuminio fosforo ir sulfatų sieros išnešimas iš 0–20 cm gylio Aukštaitijos IMS 2009 m. padidėjo, palyginti su 2007–2008 m. (22–24 pav.) Nors temperatūros amplitudė ir vidurkis buvo vidutinio dydžio dirvožemio vandens srautas buvo trečias pagal dydį nuo 1999 m. (1 lentelė).

Dirvožemio vandens srauto tūrio ir intensyvumas Žemaitijoje 2009 m. buvo tarp mažiausių nuo 1998 m., todėl N, P, S išplovimas buvo tarp mažiausių (2.39–2.40 pav., LT03 ir 2 lentelė). Neturint duomenų apie šiluminius veiksnius, Žemaitijos stoties dirvožemyje ir naudojantis duomenimis apie upelio vandens temperatūrą, galima daryti prielaidą, kad šiluminės sąlygos 2009 m., kaip ir hidrologinės, buvo nepalankios medžiagų išplovimui (upelio vandens temperatūra buvo viena iš mažiausių, 3 lentelė).



2.41 pav. Visuminio fosforo išplovimas iš dirvožemio.

Visuminio fosforo išnešimas iš dirvožemio labiausiai koreliuoja su mineralinio azoto išnešimu (koreliacijos koeficientas 0,83–0,89), o sulfatų sieros išnešimas koreliuoja silpniau (koreliacijos koeficientas 0,69–0,73). Sulfatų sieros išnešimas yra labiau veikiamas šiluminių veiksnių, nes sulfatai nėra labai tirpi medžiaga, pavyzdžiui, 1999 m. dirvožemio vandens srautas ir intensyvumas Aukštaitijos stotyje buvo nedideli (1 lentelė), bet aukšta dirvožemio temperatūra ir maža jos amplitudė sudarė palankias sąlygas sulfatų sieros išplovimui (2.42 pav. LT01).

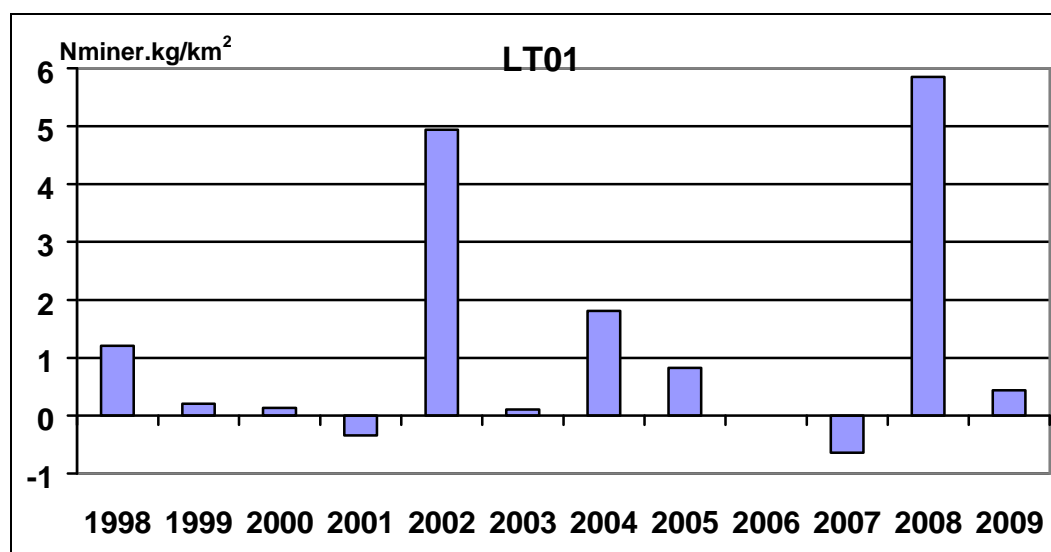


2.42 pav. Sulfatų sieros išnešimas iš dirvožemio.

2.5.2 Azoto ir fosforo bei sieros išnešimas gruntinio vandens sistemoje

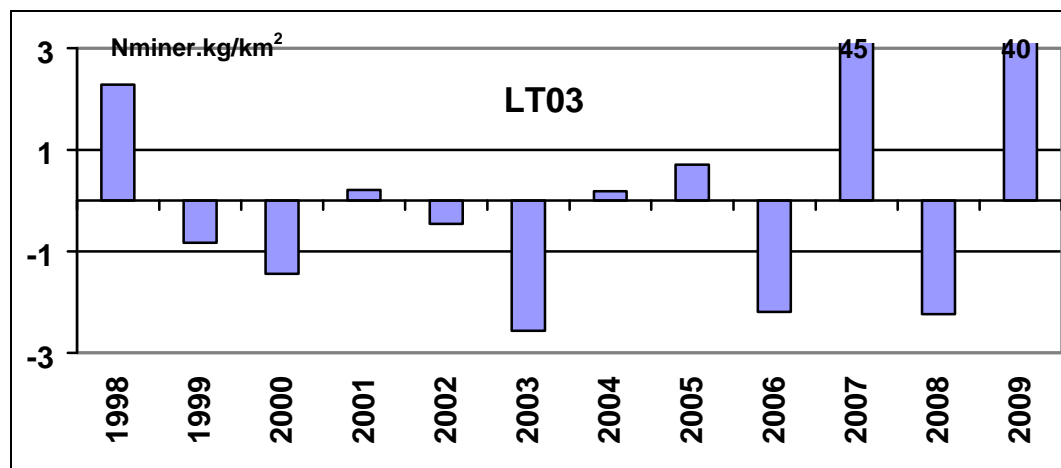
Atsižvelgiant į gruntinio vandens lygio svyravimus, ir medžiagų koncentracijas sudarytos medžiagų balanso schemas gruntinio vandens sistemoje, kuriose žemiausios neigiamos reikšmės rodo medžiagų išnešimą, o teigiamos gruntiniame vandenyje ištirpusių medžiagų panaudojimą ekosistemoje.

Aukštaitijos IMS 2009 m. mineralinio azoto balanso saldo buvo artimas nuliui (2.43 pav.).



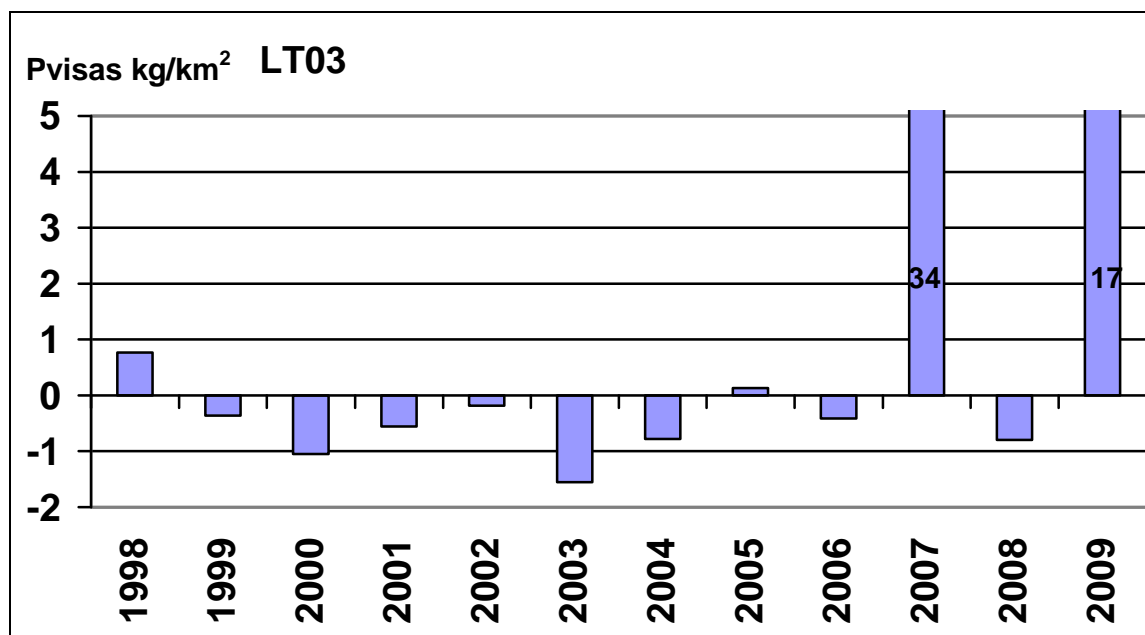
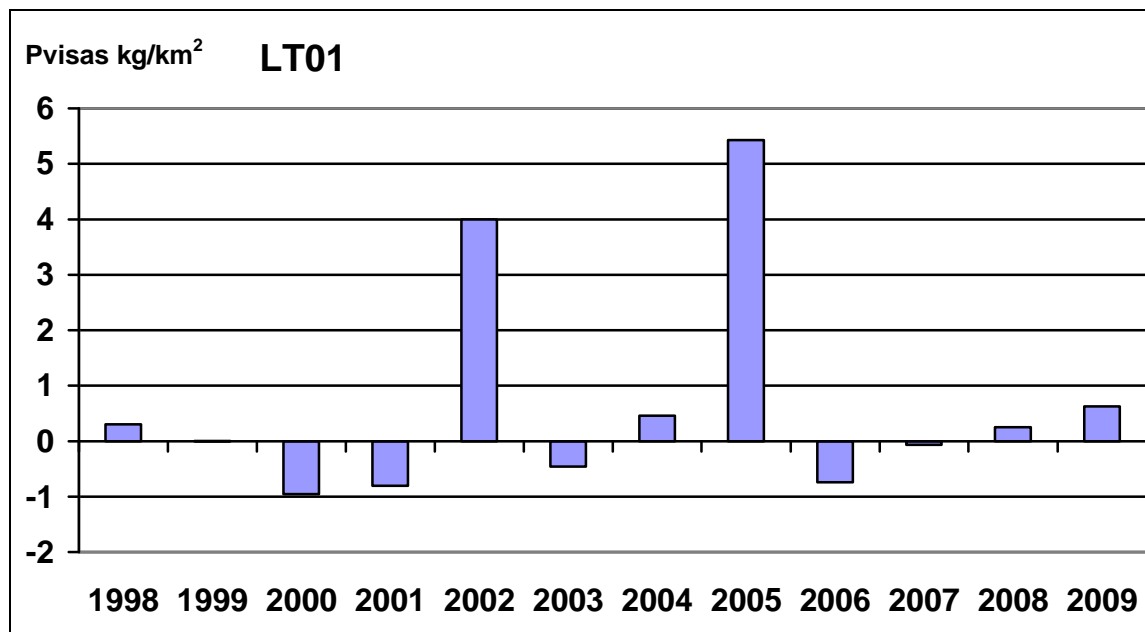
2.43 pav. Mineralinio azoto atsargos (teigiamos reikšmės) ir išnešimas (neigiamos reikšmės) gruntinio vandens zonoje Aukštaitijos IMS.

Žemaitijos IMS 2009 m. mineralinio azoto balanso saldo išsiskyrė, kaip ir 2007 metais, didele teigiama reikšme (2.44 pav.), nitratai ir amonis buvo panaudoti, o ne išplauti gruntiniais vandenimis.



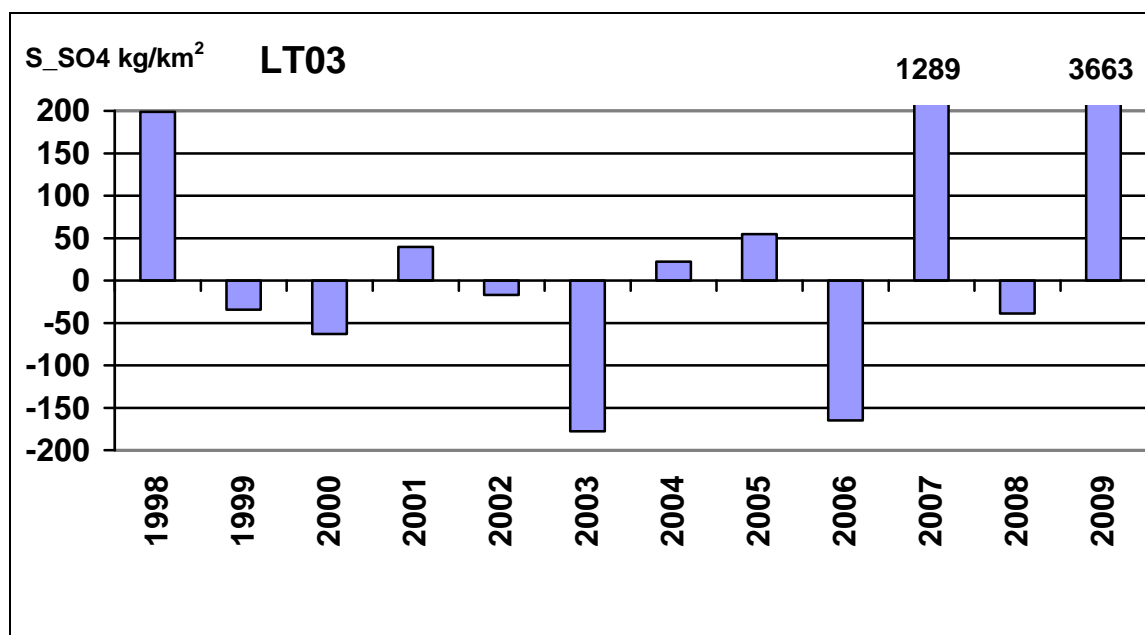
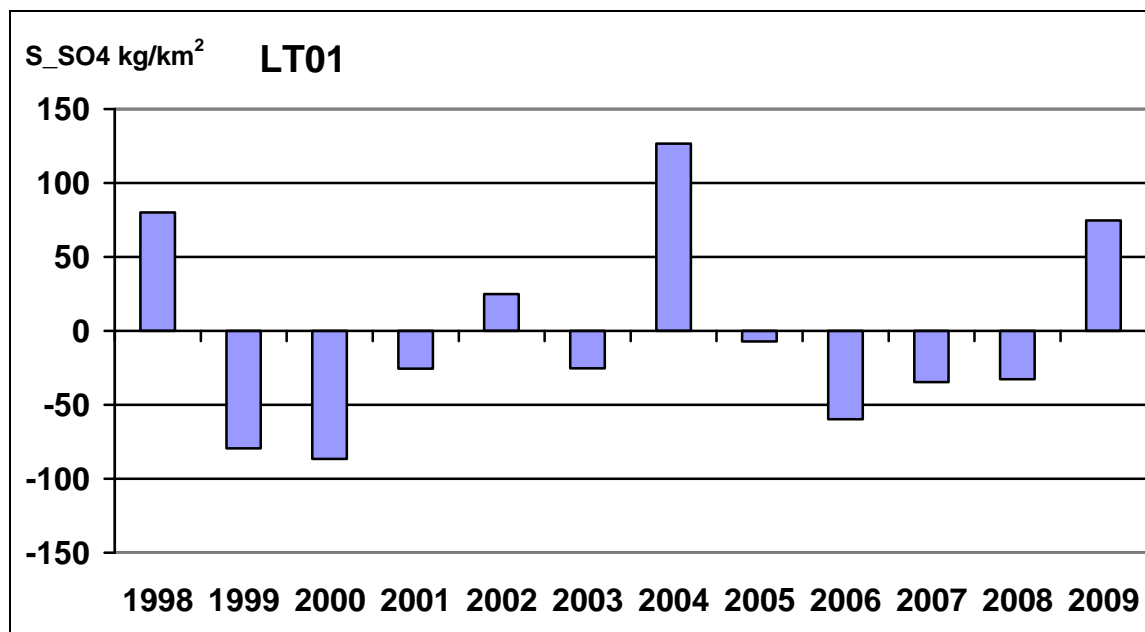
2.44 pav. Mineralinio azoto atsargos (teigiamos reikšmės) ir išnešimas (neigiamos reikšmės) gruntinio vandens zonoje Žemaitijos IMS.

Aukštaitijos IMS 2009 m. fosforo junginių kaupimasis gruntiniame vandenyje buvo didžiausias nuo 1998 m. (27 pav., LT01).



2.45 pav. Visuminio fosforo atsargos (teigiamos reikšmės) ir išnešimas (neigiamos reikšmės) gruntinio vandens zonoje Aukštaitijos IMS ir Žemaitijos IMS.

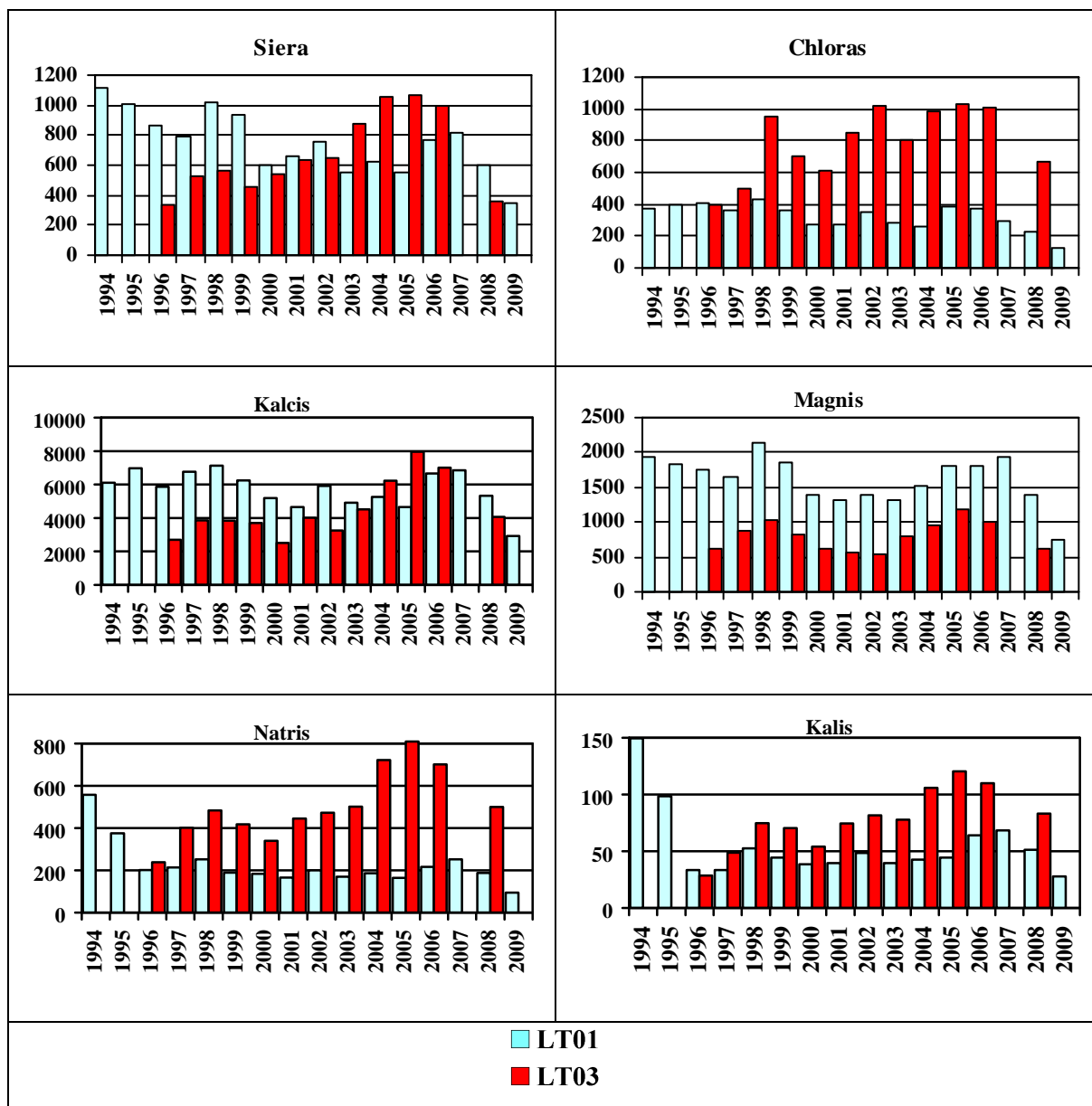
Aukštaitijos IMS 2009 m. sulfatų sieros kaupimasis buvo didesnis nei išnešimas (2.46 pav., LT01).



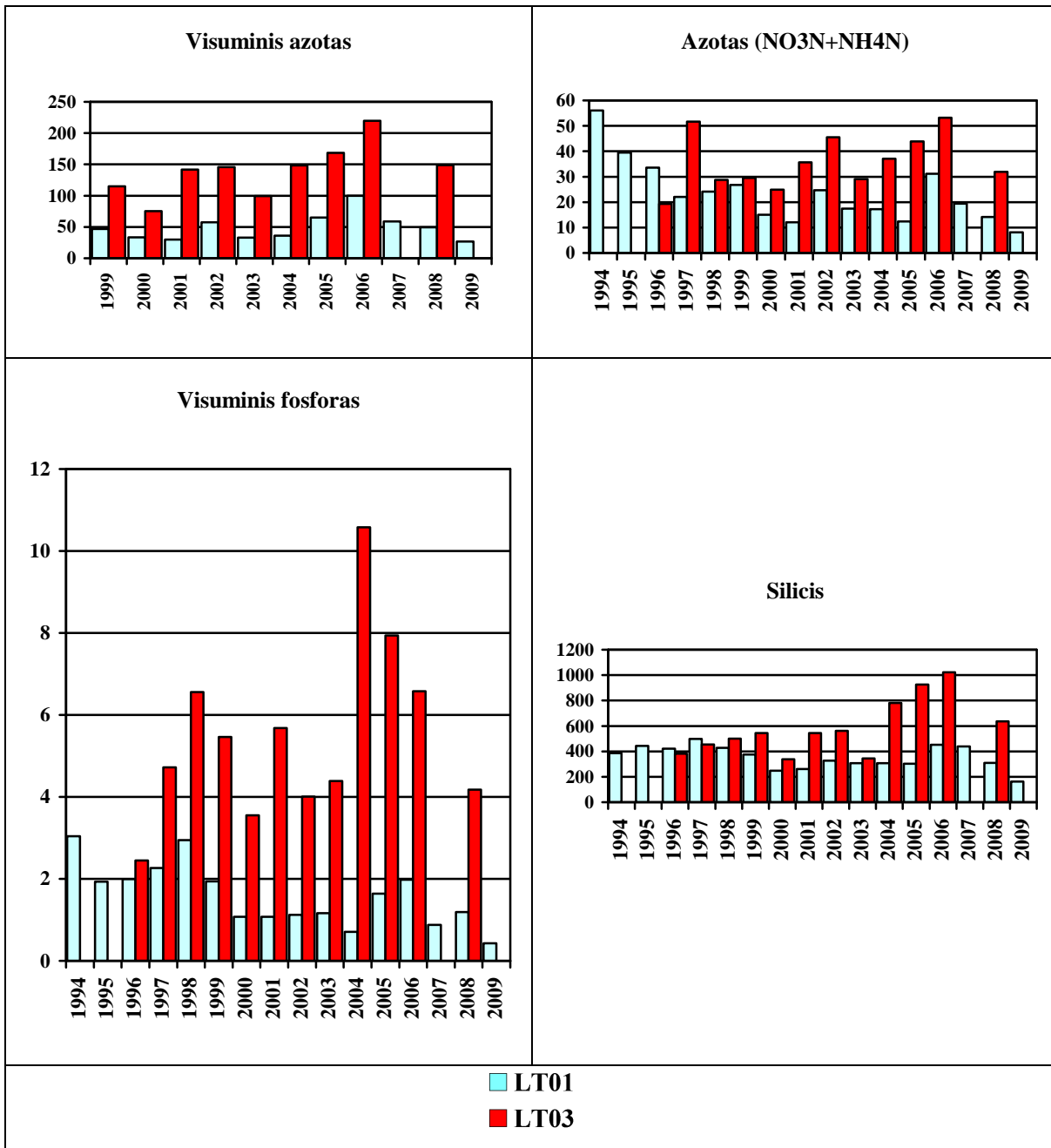
2.46 pav. Sieros atsargos (teigiamos reikšmės) ir išnešimas (neigiamos reikšmės) gruntinio vandens zonoje Aukštaitijos IMS ir Žemaitijos IMS.

2.4.4.3 Medžiagų išnešimas upeliu

Cheminių elementų išnešimas upelio vandeniui gerai atspindi viso baseino medžiagų balanso išlaidų dalį (2.47–48 pav.).



2.47 pav. Sieros, Cl, Na, K, Ca ir Mg išnešimas iš upelių baseinų (kg/km², per metus).



2.48 pav. Kai kurių cheminių elementų išnešimas iš upelių baseinų (kg/km², per metus).

Upelio nuotėkis Aukštaitijos KMS 2009 m. buvo mažiausias, per visą stebėjimų laikotarpį. Palyginti su 2008 metais visuminio azoto ir fosforo išnešimas sudarė 34%, Ca, Mg, K, Na, Cl, Si apie 50-54%, o mineralinio azoto ir sulfatų apie 57-58 % (2.47-48 pav.).

IŠVADOS

1. Surangavus hidrologinius rodiklius išryškėjo, kad 2001 ir 2005–2006 m. laikotarpiai buvo palankiausi medžiagų išplovimui Žemaitijos IMS. Aukštaitijos IMS, pagal dirvožemio vandens srauto tūrį palankiausi išplovimui buvo 2000 ir 2005 m., o pagal intensyvumą – 1998, 2000 ir 2004 m. Įšalo rodiklis rodo, kad palankiausios sąlygos išplovimui buvo 2004 ir 2008 m. Tačiau, 2008 metais išplovimas stipriai neišaugo, dėl nepalankių hidrologinių sąlygų.
2. Gruntinio vandens lygio svyravimo greitis pastaraisiais metais didėja. 2008 m. nitratų bei amonio azoto koncentracija, palyginus su 2007 m. padidėjo, bet neviršijo didžiausių, 2000–2002 m. reikšmių.
3. Palankiausi medžiagų išplovimui pagal upelio nuotėkį ir debitą Aukštaitijoje buvo 2005, 2007 m., o Žemaitijoje – 2004–2006 m. Aukšta vidutinė upelio vandens temperatūra derinyje su maža svyravimo amplitude taip pat sudarė sąlygas didesniai išplovimui, abiejose stotyse šiluminės sąlygos buvo palankiausios 2007 m., tai padidino S, Mg, Ca, Si išplovimą iki didžiausių nuo 1999 m. reikšmių. 2008 m. hidrologinės ir šiluminės sąlygos nebuvo palankios, todėl išplauti mažesni medžiagų kiekiai.

2.6 Pagrindinių maistinių elementų koncentracijų lapijoje ir nuokritose tyrimų pagal ICP IM programą rezultatai

Reikšmingą įtaką pagrindinių teršiančių ir maistinių mineralinių elementų srautams ekosistemoje bei jų balansui turi šių medžiagų nuplovimas nuo augalinių paviršių, nusėdimas ant jų, išplovimas iš vidinių organų ir išgaravimas atgal į atmosferą, lakių junginių pavidalų. Todėl Kompleksiško monitoringo programoje yra tiriami polajiniai krituliai kartu su lapijos ir nuokritos cheminės sudėties kaita. Toks kompleksiško principas įgalina ateityje, sukaupus pakankama duomenų kiekį, visapusiškai vertinti šių medžiagų balansą ekosistemoje bei prognozuoti jų galimą kaitą bei poveikį pačiai ekosistemai.

Mineralinės mitybos elementams dar kitaip vadinamiems peleniniams elementams priskiriama per 20 cheminių elementų, tarp kurių yra ir azotas. Pastarasis nors yra nei peleninis, nei mineralinis elementas, tačiau patenka į augalus panašiais būdais. Dėl to kad augalai be šių elementų negali vykdyti savo gyvybinių funkcijų, jie negali būti augaluose pakeičiami kitais ir dėl to, kad šie elementai įjungiami į organinius junginius, dalyvauja metabolizmo procese arba yra svarbūs cheminių reakcijų eigai, jie vadinami pagrindiniais augalų mineralinės mitybos elementais. Jų koncentracijos lapijoje bei nuokritose yra didžiausios nei kituose augalo dalyse, dėl ko gerai atspindi medžių gyvybinį potencialą. Dėl šios priežasties, nuo jų kiekio kaitos, pokyčių tarp lapijos ir nuokritų bei pagrindinių jų kaitos tendencijų galima spręsti apie medyno būklę, jo atsparumą nepalankiems aplinkos veiksniams, o atskirais atvejais, ir apie visos ekosistemos būklę bei jos užterštumą kenksmingomis medžiagomis. Dėl tokių rezultatų svarbos, naujoje Valstybinės aplinkos monitoringo programoje, priimtoje 2005-2010 m., lapijos ir nuokritų cheminės analizės numatytos vykdyti kas met. 2008 m. atlikta jau ketvirtoji lapijos ir jos nuokritų pagrindinių cheminių elementų analizė, kurią vykdo Aplinkos apsaugos agentūros, Aplinkos tyrimų departamentas.

Darbo tikslas – pagal nustatytas pagrindinių elementų koncentracijas bei jų pokyčius medžių lapijoje bei jų nuokritose, išaiškinti į ekosistemą patenkančių teršalų poveikį pagrindiniams geosisteminiams procesams, o taip pat, atsižvelgus į išaiškintus procesus, nustatyti galimą miško ekosistemų būklės tolimesnę raidą.

Cheminių analizių metu nustatomos šios maistmedžiagų koncentracijos lapijoje ir jos nuokritose: Ca, K, Mg, Na, N, P.

Lauko darbų metodika:

Analizuojami pagrindinių medžių rūšių lapijos pavyzdžiai. Tai paprastojo beržo (*Betula pendula*) lapai, paprastosios eglės (*Picea abies Karst.*) ir paprastosios pušies (*Pinus sylvestris L.*) spygliai. Nuo 8 – 10 kiekvienos rūšies medžių, kas met rugpjūčio mėnesio pabaigoje surenkami lapijos pavyzdžiai, kurie laboratorijos sąlygomis džiovinami 100°C temperatūroje. Iš beržo lapų ir eglės spyglių ruošiami po vieną bendrą pavydį: beržo lapai – (B), eglės spygliai – (E), o pušies spygliai atskiriami, priklausomai nuo jų amžiaus. Ruošiami 2 pavyzdžiai: 1 – pirmų metų spyglių (P1); 2 – II metų spyglių. III metų spygliai neruošiami, kadangi būtent rugpjūčio mėnesį prasideda jų masiškas kritimas.

Aplinkos apsaugos agentūros, Aplinkos tyrimų departamente:

indukuotos plazmos optinės emisijos spektrometrijos metodu nustatytos Ca, Mg koncentracijos lapijoje (mg/kg);

Kjeldalio metodu – bendrasis azotas (g/kg);

Spektrometrijos metodu – bendrasis fosforas (g/kg);

Liepsnos emisijos spektrometrijos metodu – natris ir kalis (mg/kg).

Darbo rezultatai.

Tiriamus elementus pagal funkcijas augaluose galima suskirstyti į dvi grupes. Pirmą grupę sudaro pagrindinis organogeninis elementas – azotas ir fosforas, kalis, kalcis, magnis, geležis, manganas ir cinkas. Antrą grupę sudaro tik natris ir chloras.

Vienas iš svarbiausių elementų yra azotas. Nuo jo kiekio augaluose priklauso anijonų ir katijonų santykis, o taip pat ir osmoso slėgis. Kalis ir kalcis lemia augalų ląstelių hidrataciją. Kalis protoplazmoje ir kitose ląstelių struktūrose kaupia daugiau vandens, ją skystina, o kalcis veikia priešingai. Dėl šios priežasties jaunesniuose spygliuose kalio yra daugiau negu kalcio. Natris ir chloras, neįeidami į organines medžiagas, taip pat dalyvauja reguliuojant osmosą, tačiau neturi įtakos elektrocheminiai pusiausvyrai. Likę elementai yra susiję su oksidacinėmis-redukcinėmis reakcijomis bei elektronų pernaša. Vykstant energijos ir cheminių junginių metabolizmui, geležis dalyvauja fermentų veikloje, magnis įeina į substrato kompleksą su ATP-afe, kalis, tiesiogiai neįeidamas į fermentų funkcinę grupę, keičia fermentų baltymo konformaciją, lemia jo poveikį (Šlapakauskas, 2006).

Į lapus patenkančios mineralinės medžiagos panaudojamos lapo ląstelėms augti, jų osmosinėms galiom reguliuoti. Dėl nuolatinės medžiagų patekties lapuose gali susitelkti per

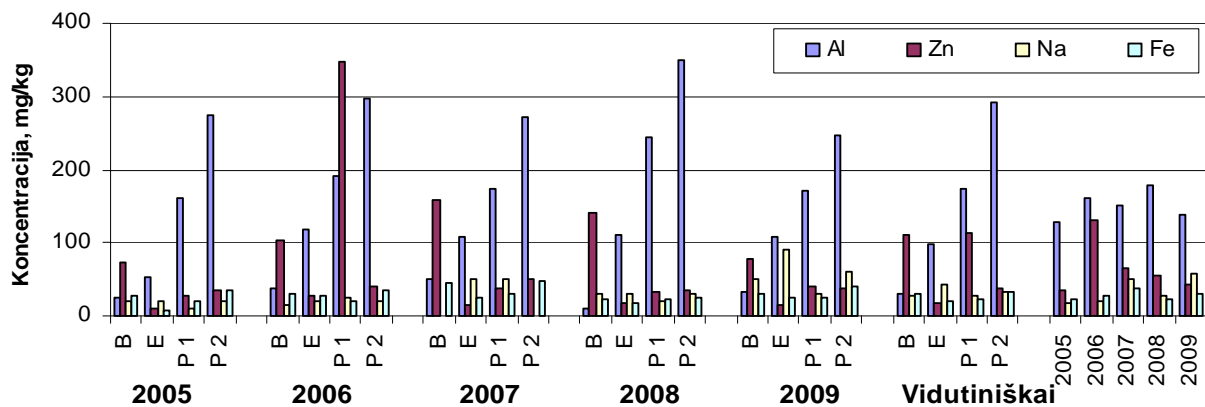
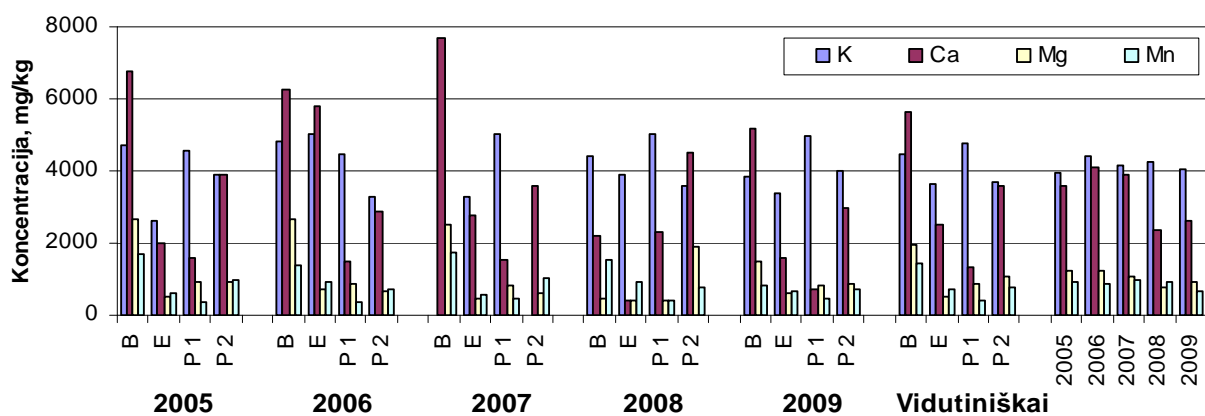
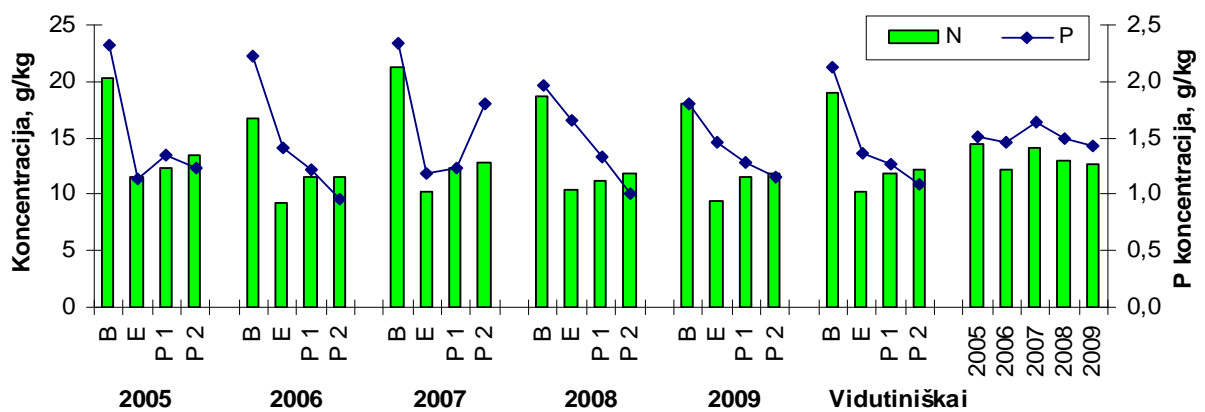
didelis jų kiekis ir su tuo susijęs nepageidautinai aukštas osmosinis potencialas. Dėl šios priežasties augalai sugeba šias medžiagas šalinti iš lapų per floemą, lapo plaukelius ir liaukines išaugas. Lietus ir rasa gali ir nuplauti tokias susidariusias išskyras, ir išplauti iš lapo net iki 50-60% lape esančių sausųjų organinių ir mineralinių medžiagų. Greičiausiai iš lapų išplaunami kalis, natriis, magnis ir manganas, kiek silpniau azotas ir fosforas. Išplovimo intensyvumas tiesiogiai priklauso nuo kritulių kiekio. Tačiau jų rūgštingumas, didesnis šviesos kiekis bei aukštesnė temperatūrą skatina šio proceso intensyvumą. Dėl šios priežasties tirdami lapijos ir jos nuokritų cheminę sudėtį KMS programos rėmuose, mes bandysime spręsti ir šio laikmečio aktualią problemą – aplinkos rūgštingumo kaitos poveikį miško ekosistemoms šiltėjancio klimato sąlygomis.

2.6.1 Aukštaitijos kompleksiško monitoringo stotis (LT-01).

Bendrojo azoto (N) koncentracijų lapuose ir spygliuose analizė parodė, kad beržų lapuose šio elemento kaupiasi iki 2 kartų daugiau negu spygliuose (2.49 pav.). Eglių ir skirtingo amžiaus pušies spygliuose N koncentracija iš esmės nesiskyrė, nors mažiausios koncentracijos nustatytos eglės įvairaus amžiaus spyglių mišinyje, kiek didesnės pirmų metų pušies spygliuose ir sąlyginai didžiausios – antrų metų pušies spygliuose. Per tiriamąjį laikotarpį, nuo 2005 iki 2009 m. azoto koncentracija tiek beržų lapuose, tiek ir spygliuose turi tendenciją mažėti (2.49b pav.).

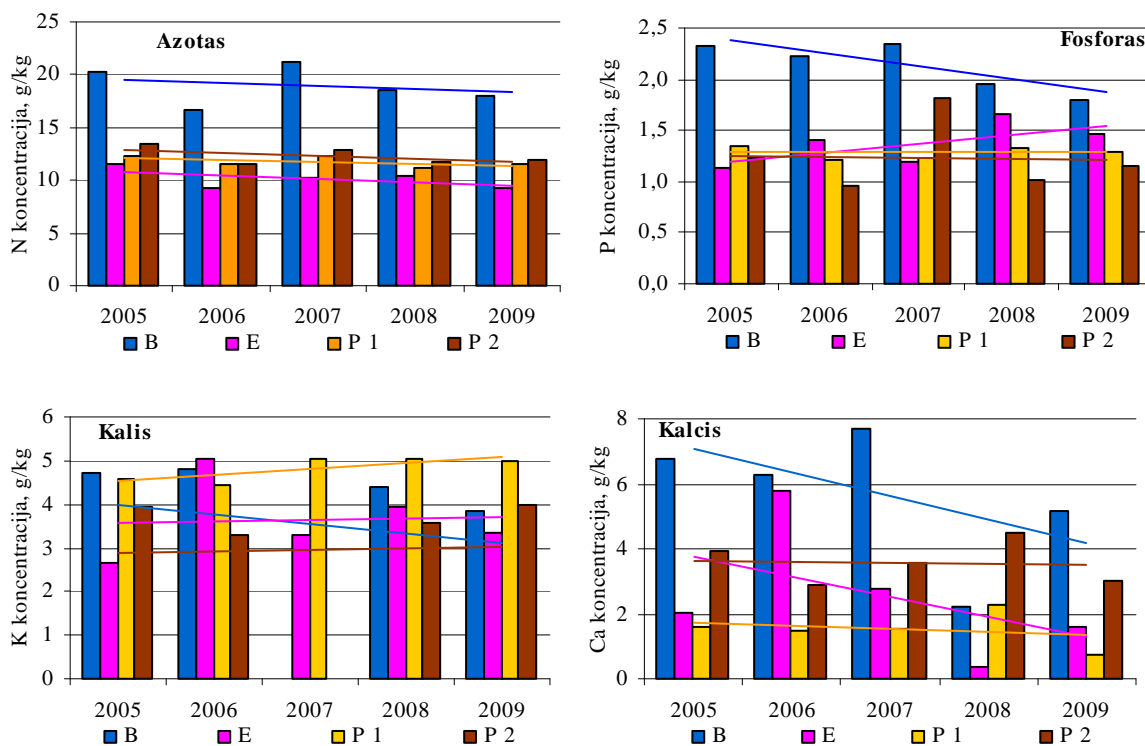
Bendrojo fosforo koncentracijų lapijoje tyrimų rezultatai analogiški bendrajam azotui (2.49 pav.). Didžiausi kiekiai nustatyti beržų lapuose, tačiau per 5 m. laikotarpį šio elemento kiekis lapuose mažėja po 0,13g/kg per metus. Apie 2 kartus mažiau šio elemento tirtuose spygliuose. Nors tarp P koncentracijų tirtuose spygliuose esminių skirtumų nenustatyta, tačiau stebima tendencija, kad, priešingai N koncentracijai, didesnės P koncentracijos būdingos eglės spyglių mišiniui, kiek mažesnės - pirmų metų pušies spygliams ir sąlyginai mažiausios – antrų metų pušies spygliams. Per tiriamąjį laikotarpį, nuo 2005 iki 2009 m. bendrojo fosforo koncentracija pušies spygliuose praktiškai išliko stabili, o eglės turėjo tendencija didėti.

Kalio koncentracija eglės spygliuose išliko praktiškai stabili per 5 m. laikotarpį, kai tuo tarpu beržų lapuose šio elemento akivaizdžiai mažėjo, o pirmų metų pušies spygliuose – didėjo. Tik pušies antrų metų spygliuose kalio koncentracija iš esmės ne kito (2.49 pav.). Jaunesniuose organuose (beržų lapuose ir pirmų metų pušies spygliuose), kaip jau buvo pažymėta, kalio koncentracijos didesnės negu senesniuose (bendras eglės spyglių mišinys ir antrų metų pušies spygliai). Tai paaiškinama jo išplovimu iš ląstelių gausių kritulių metu.



2.49a pav. Pagrindinių maistinių komponentų koncentracija lapijoje 2005-2009 m.

Mažiausios kalcio koncentracijos nustatytos pirmų metų pušies spygliuose, kiek didesnės eglės spyglių mišinyje ir antrų metų pušies spygliuose (2.49 pav.). Sąlyginai didžiausios koncentracijos nustatytos beržų lapuose. Per tiriamąjį laikotarpį kalcio koncentracija beržų lapuose ir eglės spygliuose mažėjo, o pušies skirtingų metų spygliuose išliko stabili.



2.49b pav Pagrindinių makro elementų kaita lapijoje Aukštaitijos KMS

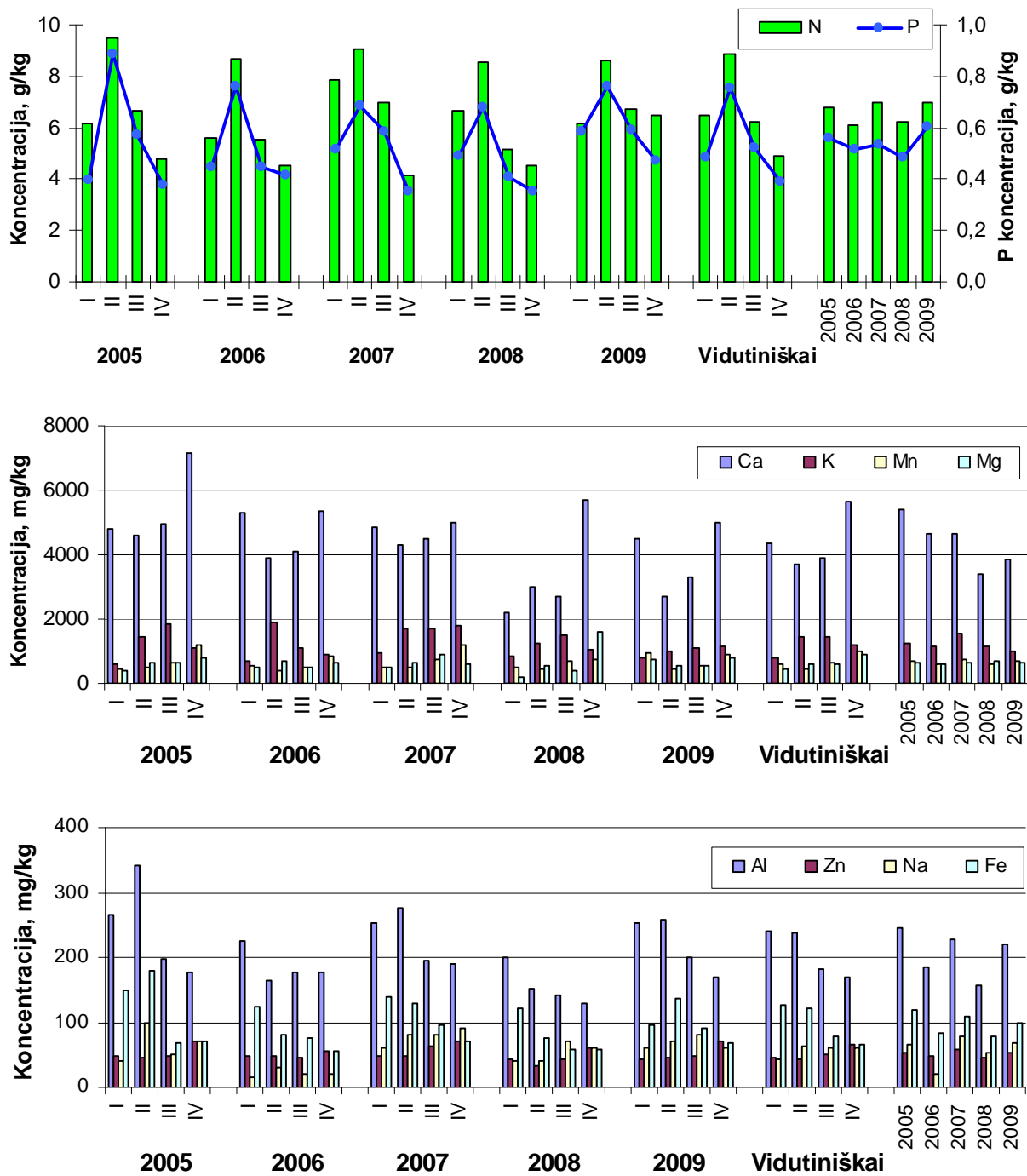
Magnio ir mangano koncentracijų kaitoje buvo matomos bendrosios tendencijos (2.49 pav.). Beržų lapuose šių elementų koncentracijos net 3-4 kartus buvo didesnės negu spygliuose. Tačiau tarp spyglių – esminių skirtumų nenustatyta. Per tiriamąjį laikotarpį Mg ir Mn koncentracijų tirtuose lapijos pavyzdžiuose kaitoje pastebima mažėjimo tendencija.

Aliuminio ir cinko koncentracijų kaitoje išaiškinti esminiai pokyčiai ir metų eigoje, ir tarp tiriamų objektų (2.49 pav.). Mažiausios koncentracijos Al buvo nustatytos beržų lapuose, 5 kartus didesnės eglės spygliuose, apie 10 kartų – pirmų metų pušies spygliuose ir apie 15 kartų – antrų metų pušies spygliuose. Priešingai šiems rezultatams, mažiausia cinko koncentracija nustatyta spygliuose, o beržų lapuose šios koncentracijos buvo 3-5 kartus didesnės. Per tiriamąjį laikotarpį Al ir Zn koncentracijos medžių lapijoje reikšmingai augo.

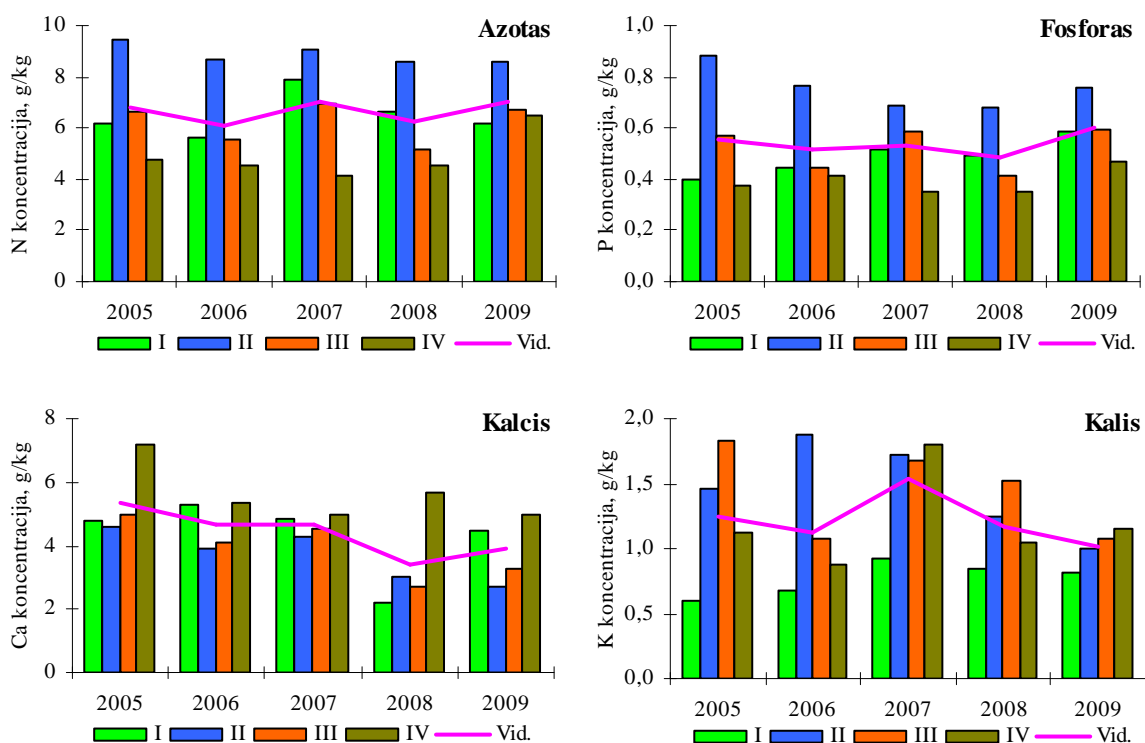
Natrio ir geležies koncentracijų kaitoje esminių pokyčių nenustatyta, nors ir stebima šių elementų koncentracijų didėjimo tendencija iki 2007 m. (2.49 pav.).

Nuokritose tirtų elementų kaitai įtakos turėjo ir sezoniškumas, ir nuokritų struktūros ypatumai. Bendrojo azoto ir fosforo koncentracijų kaitoje išsiskiria laikotarpis, kada šių elementų koncentracijos nuokritose didžiausios, tai ankstyvo pavasario mėnesiai, kada nuokritose pradeda vyrauti ne lapija ar žievė, o pumpurų žvyneliai (2.50 pav.). Kai nuokritas sudaro praktiškai vien tik spygliai ir lapai (rudens mėnesių nuokritas - IV) šių elementų koncentracijos ženkliai sumažėja. Per žiemos mėnesius esminių pokyčių nuokritose

neišaiškinta (I). Per tiriamąjį laikotarpį ir bendrojo azoto, ir bendrojo fosforo koncentracijos nuokritose pakankamai reikšmingai mažėja.



2.50 pav. Pagrindinių maistinių komponentų koncentracija nuokritose 2005-2008 m.

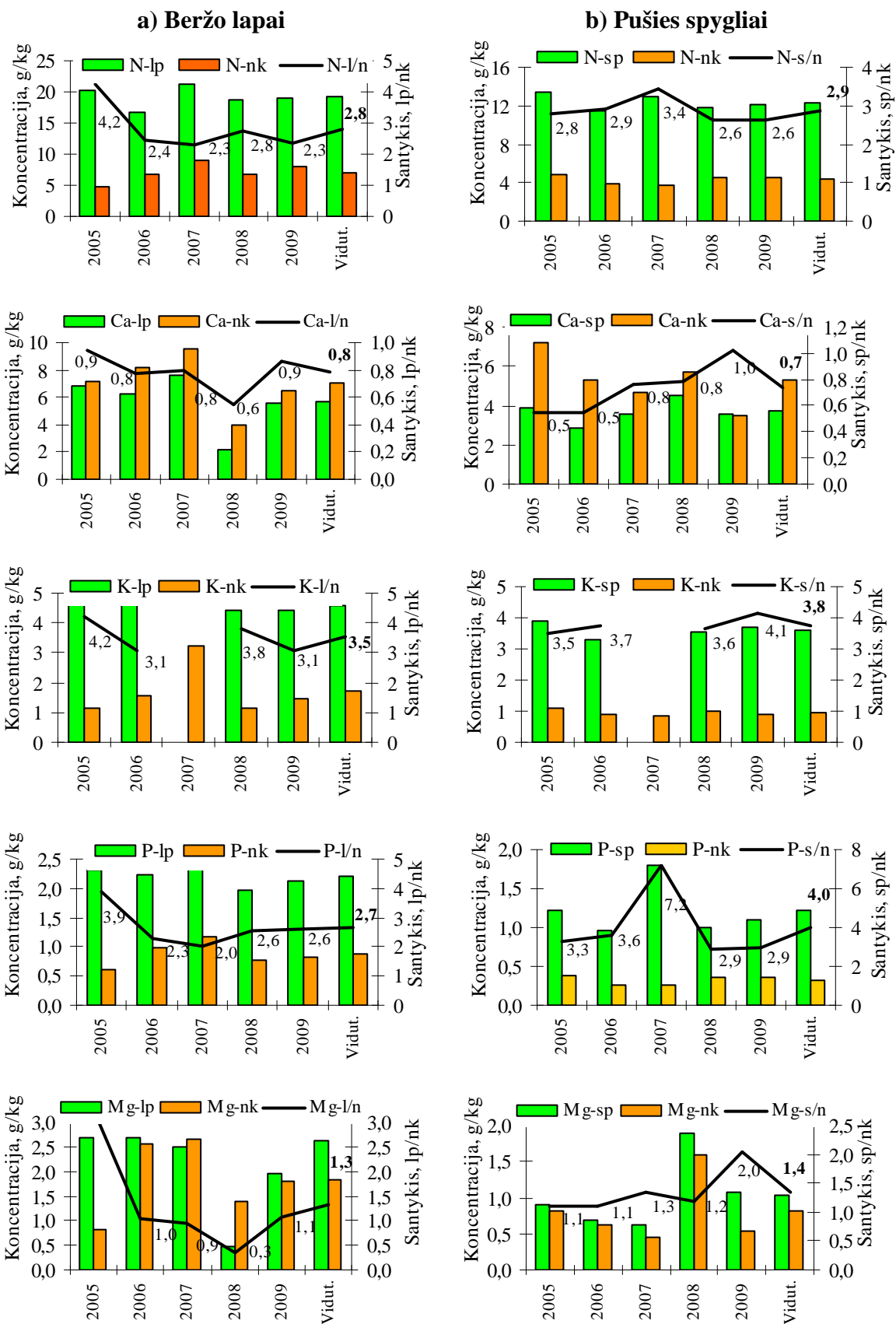


2.50 pav. Pagrindinių mikroelementų kiekių nuokritose kaita Aukštaitijos KMS

Kalcio koncentracijų kaitoje būdingos dvi tendencijos (2.50 pav.): pirma – rudens laikotarpio nuokritose, kurias sudaro pagrinde pušies spygliai, šio elemento koncentracijos didžiausios, o antra - per tiriamąjį laikotarpį vidutinė kalcio koncentracija nuokritose reikšmingai mažėja. Pastarojo laikotarpio didėjantis kritulių rūgštingumas, matyt, kad galėjo turėti esminės įtakos tokiam kalcio jonų sumažėjimui nuokritose.

Kalio koncentracijoms nuokritose taip pat būdinga tendencija mažėti, ypač vėlyvo pavasario nuokritose, kai juose vyrauja pumpurų žvyneliai.

Palyginus tirtų elementų koncentracijas atskirai beržų lapuose, pušies spygliuose ir jų nuokritose nustatyta (2.51 pav.), kad bendrojo azoto nukritusiuose lapuose ir spygliuose sumažėja vienodai 2,8-2,9 karto, kalio 3,5-3,8 karto, magnio 1,2-1,4 karto ir tik bendrojo fosforo koncentracijos išsiskyrė: nukritusiuose beržų lapuose P koncentracija sumažėjo 2,7 karto, o pušies spygliuose 4,0 karto. Nežymiai, vos 1,4-1,7 karto nuokritose padidėjo tik kalcio jonų. Tačiau 5 metų tyrimo rezultatai dar neleidžia detaliau spręsti apie cheminių procesų dėsningumus sumažėjus foninei taršai, bei šylant klimatui.



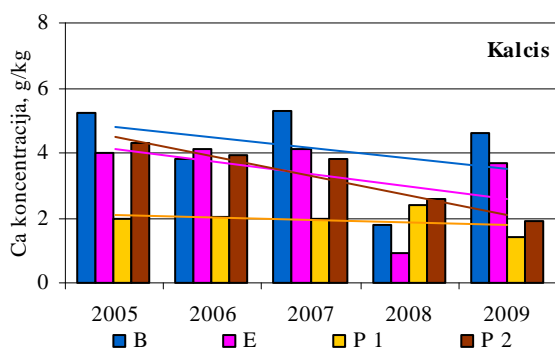
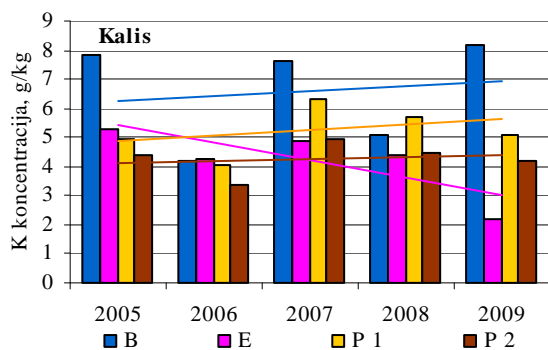
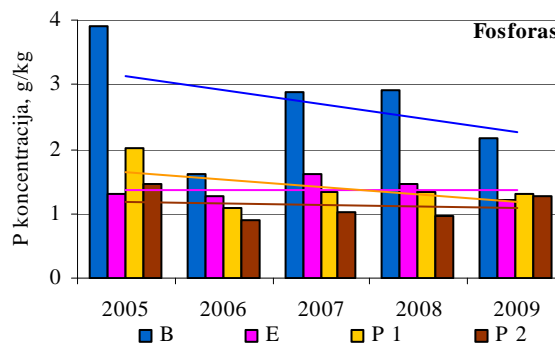
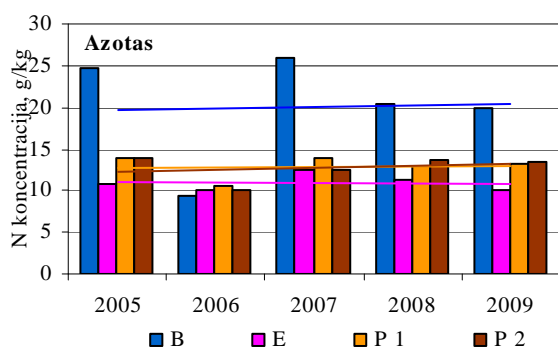
2.51 pav. Pagrindinių maistinių komponentų koncentracijų kaita lapijoje ir nuokritose Aukštaitijos KMS 2005-2009 m.

2.6.2 Žemaitijos kompleksiško monitoringo stotis

Bendrojo azoto (N) koncentracijų lapuose ir spygliuose analizė parodė, kad Žemaitijos KMS beržų lapuose šio elemento kaupiasi tik iki 1,5 karto daugiau (2.52 pav.) negu spygliuose (Aukštaitijos KMS – apie 2 k.). Eglių ir skirtingo amžiaus pušies spygliuose N koncentracija iš esmės nesiskyrė, nors mažiausios koncentracijos nustatytos eglės įvairaus amžiaus spyglių mišinyje, kiek didesnės pirmų ir antrų metų pušies spygliuose. Per tiriamąjį laikotarpį, nuo 2005 iki 2009 m. azoto koncentracija tiek beržų lapuose, tiek ir spygliuose išliko stabili.

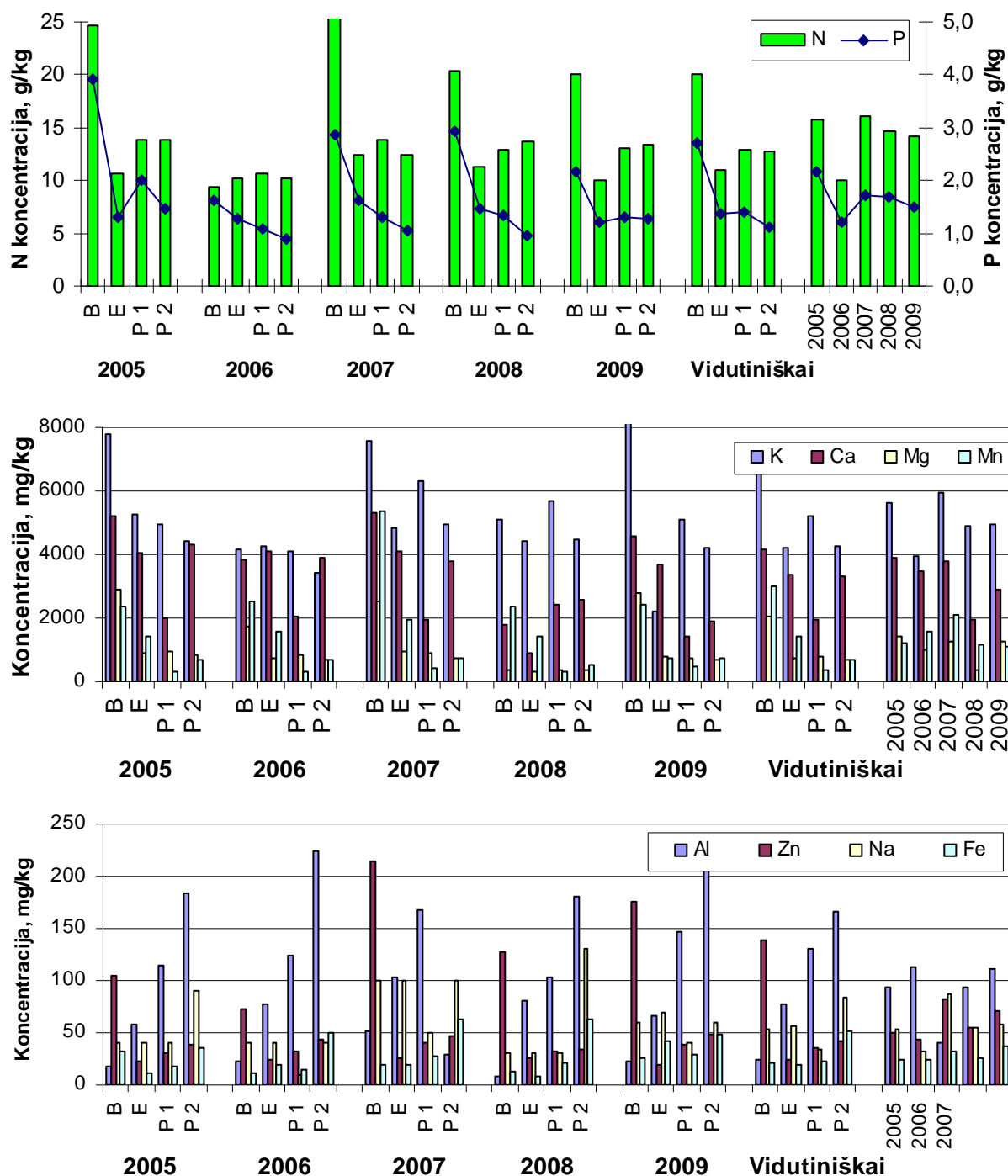
Bendrojo fosforo koncentracijų lapijoje tyrimų rezultatai analogiškai bendrojo azoto rezultatams (2.52 pav.). Didžiausi kiekiai nustatyti beržų lapuose. Apie 2 kartus mažiau šio elemento tirtuose spygliuose. Mažiausiomis P koncentracijomis pasižymėjo antrų metų pušies spygliai. Per tiriamąjį laikotarpį, nuo 2005 iki 2009 m. bendrojo fosforo koncentracija tik spygliuose praktiškai išliko stabili, o beržų lapuose esminiai mažėja kaip ir Aukštaitijos KMS.

Kalio koncentracijų kaitoje stebimas nežymus šio elemento kiekio didėjimas beržų lapuose ir pušies spygliuose, kai tuo tarpu eglės spygliuose šio elemento kiekis ženkliai mažėja. Patvirtintas dėsningumas, kad jaunesniuose organuose (beržų lapuose ir pirmų metų pušies spygliuose) kalio koncentracijos didesnės negu senesniuose (bendras eglės spyglių mišinys ir antrų metų pušies spygliai) (2.52 pav.). Tai šių elementų išplovimo iš asimiliacinių medžio organų rezultatas.



2.52a pav. Pagrindinių makroelementų kiekių lapijoje kaita Žemaitijos KMS

Kaip ir Aukštaitijos KMS, mažiausios kalcio koncentracijos nustatytos pirmų metų pušies spygliuose, kiek didesnės eglės spyglių mišinyje ir antrų metų pušies spygliuose (2.52 pav.). Sąlyginai didžiausios koncentracijos nustatytos beržų lapuose. Per 2005-2009 m. laikotarpį tik pirmų metų pušies spygliuose kalcio kiekiai išliko stabilūs. Kituose tirtuose lapijos pavyzdžiuose kalcio kiekiai turėjo tendenciją mažėti, o antrų metų pušies spygliuose ši kaita jau tapo reikšminga, sumažėdama nuo 4 g/kg iki 2 g/kg.



2.52b pav. Pagrindinių maistinių komponentų koncentracija lapijoje Žemaitijos KMS 2005-2008 m.

Magnio ir mangano koncentracijų kaitoje buvo matomos bendrosios tendencijos (2.52b pav.). Beržų lapuose šių elementų koncentracijos net 3-4 kartus buvo didesnės negu spygliuose. Tačiau tarp spyglių – esminių skirtumų nenumatyta. Mangano koncentracijos didžiausios taip pat beržų lapuose, dvigubai mažesnės – eglės spygliuose ir mažiausios – pušies spygliuose. Per tiriamąjį laikotarpį Mg koncentracijų tirtuose lapijos pavyzdžiuose kaitoje pastebima mažėjimo tendencija, o Mn priešingai - didėjimo tendencija. Išimtį sudaro 2008 m.

Aliuminio ir cinko koncentracijų kaitoje išaiškinti tie patys esminiai pokyčiai ir metų eigoje, ir tarp tiriamų objektų, kaip ir Aukštaitijos KMS (2.52b pav.). Mažiausios koncentracijos Al buvo nustatytos beržų lapuose, 3 kartus didesnės eglės spygliuose, apie 5 kartų – pirmų metų pušies spygliuose ir virš 6 kartų – antrų metų pušies spygliuose. Priešingai šiems rezultatams, mažiausia cinko koncentracija nustatyta spygliuose, o beržų lapuose šios koncentracijos buvo 3-4 kartus didesnės. Skirtingai negu Aukštaitijos KMS, aiškio tendencijos šių elementų kaitoje nustatyti nepavyko.

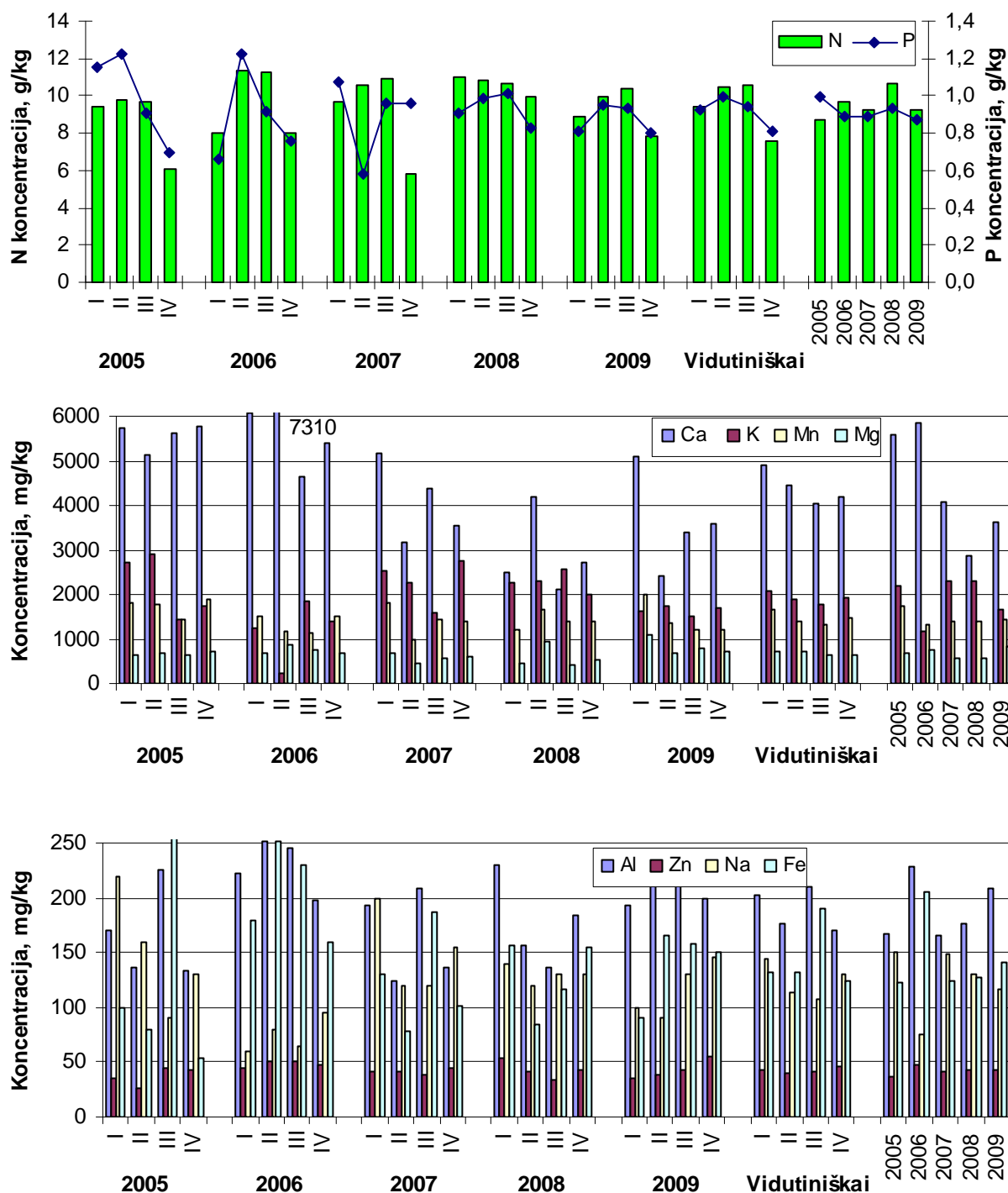
Kadangi Baltijos jūra turi esminės įtakos natrio koncentracijų kaitai Vakariniame Lietuvos dalyje, tai nustatytos šio elemento koncentracijos lapų ir spyglių pavyzdžiuose viršija koncentracijas nustatytas Aukštaitijos KMS (2.52b pav.). Tarp tiriamų objektų mažiausiomis koncentracijomis pasižymėjo pirmų metų pušies spygliai, o didžiausiomis antrų metų pušies spygliai. Per tiriamąjį laikotarpį stebima natrio koncentracijų didėjimo tendencija.

Didžiausios geležies koncentracijos nustatytos taip pat antrų metų pušies spygliuose, o likusiuose objektuose jos buvo 2-3 kartus mažesnės ir iš esmės nesiskyrė (2.52b pav.). Per tiriamąjį laikotarpį geležies koncentracijos lapuose ir spygliuose išliko stabilios.

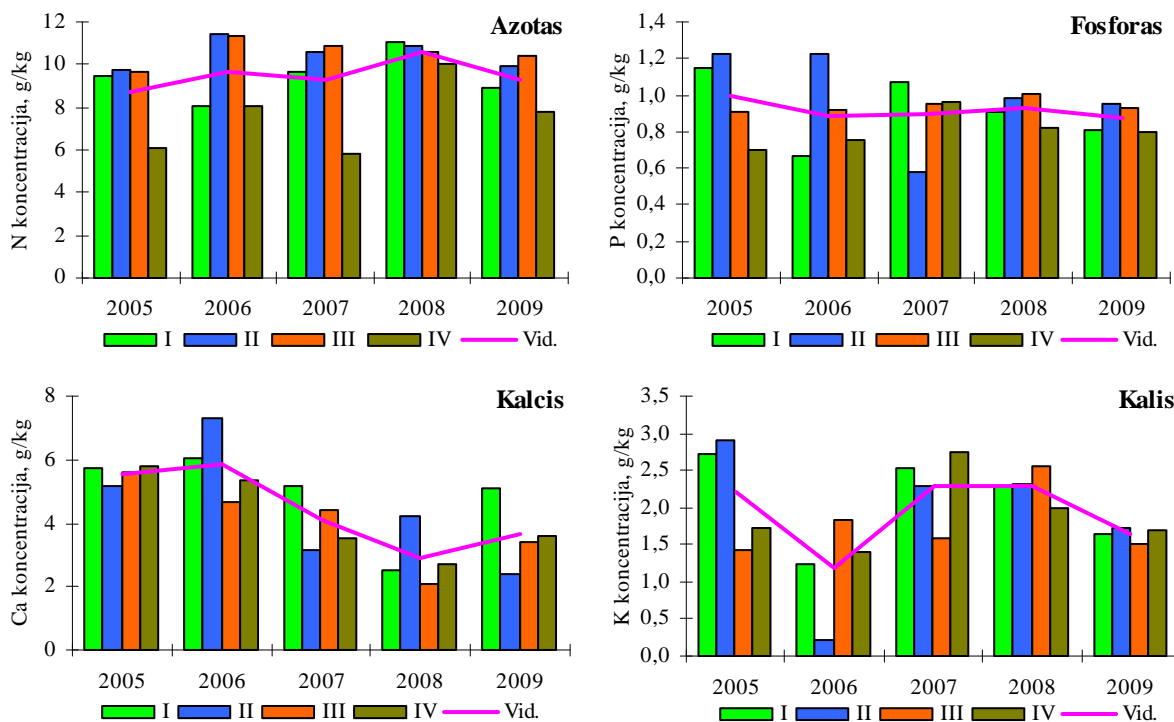
Nuokritų cheminė analizė parodė, kad bendrojo azoto ir fosforo koncentracijų kaitai esminės įtakos, kaip ir Aukštaitijos KMS, turėjo nuokritų sezoniškumas, tačiau skirtingai nei šioje stotyje, Žemaitijos KM stotyje, kur vyrauja eglė, didžiausios bendrojo azoto ir fosforo koncentracijos stebimos pavasario (II) ir vasaros (III) mėnesiais, kiek mažesnės žiemos (I) ir mažiausios vėlyvo rudens (IV) mėnesiais (2.53 pav.). Per tiriamąjį laikotarpį bendrojo azoto koncentracijos nuokritose turi tendencija didėti, o bendrojo fosforo, kaip ir Aukštaitijos KMS – mažėti (2.53b pav.).

Kalcio koncentracijų kaitoje sezoniškumo poveikio nustatyti nepavyko, tačiau per tiriamąjį laikotarpį, analogiškai kaip ir Aukštaitijos KMS, nustatyta šio elemento koncentracijų

reikšmingas mažėjimas (2.53b pav.). Ar tai padidėjusio kritulių rūgštingumo įtaka – parodys ateities tyrimai. Kitų elementų kaitoje stebima mažėjimo tendencija. Išimtį sudaro kalio koncentracijų kaita, kuri neturi aiškesnės tendencijos.

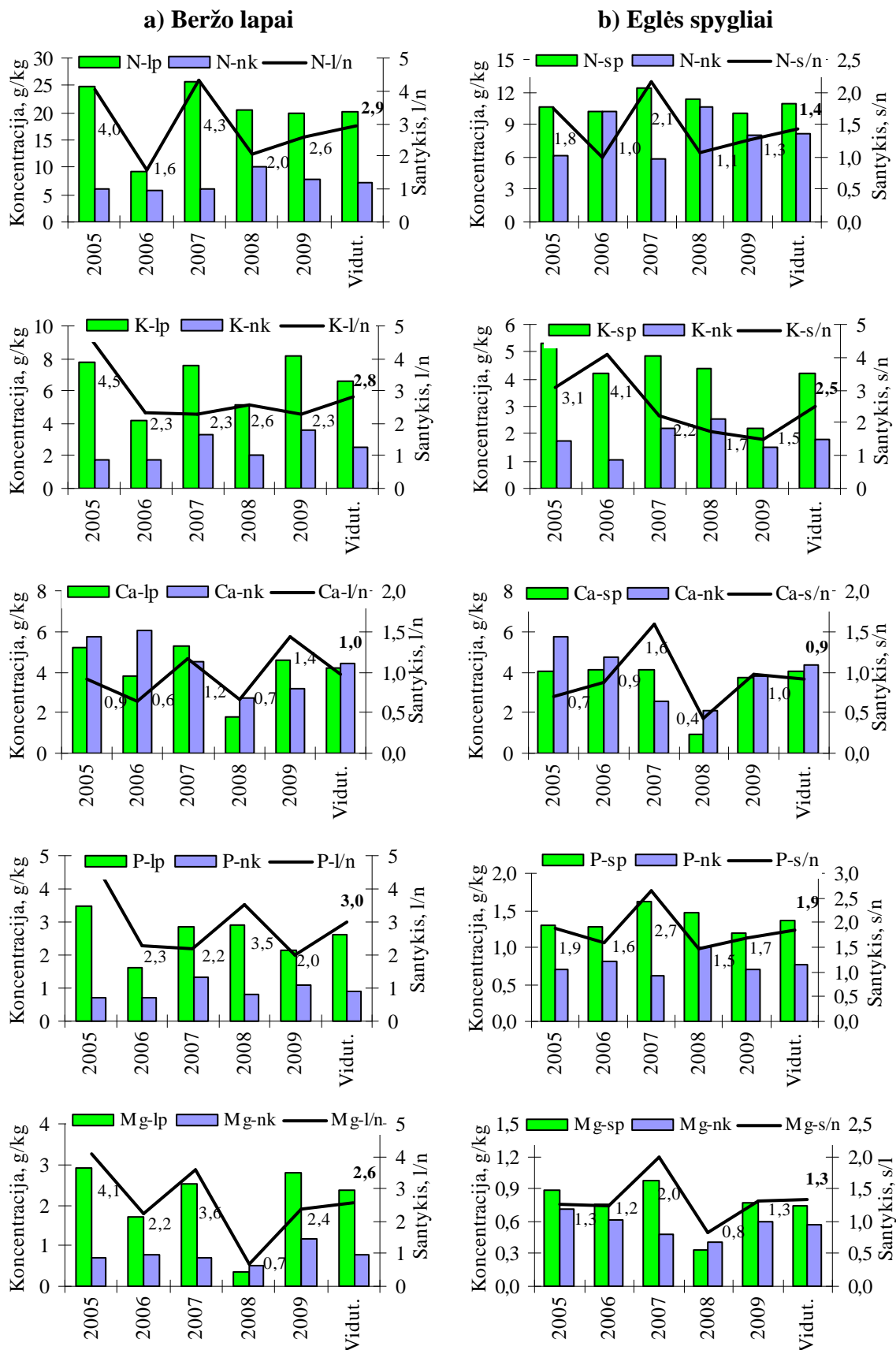


2.53a pav. Pagrindinių maistinių komponentų koncentracija nuokritose 2005-2008 m.



2.53b pav. Pagrindinių makroelementų kiekių nuokritose kaita Žemaitijos KMS, 2005-2008 m.

Palyginus tirtų elementų koncentracijas atskirai beržų lapuose, eglės spygliuose ir jų nuokritose nustatyta, kad bendrojo azoto nukritusiuose lapuose ir spygliuose sumažėja 2,9 ir 1,4 karto atitinkamai, fosforo 3,0 ir 1,9 karto atitinkamai, o kalio vienodai maždaug po 2,8-2,5 karto ir beržų lapuose, ir eglės spygliuose (2.54 pav.). Kaip ir Aukštaitijos KMS, nežymiai, nuokritose padidėjo tik kalcio jonų. Tačiau 4 metų tyrimo rezultatai dar neleidžia detaliau spręsti apie cheminių procesų dėsningumus sumažėjus foninei taršai, bei šylant klimatui.

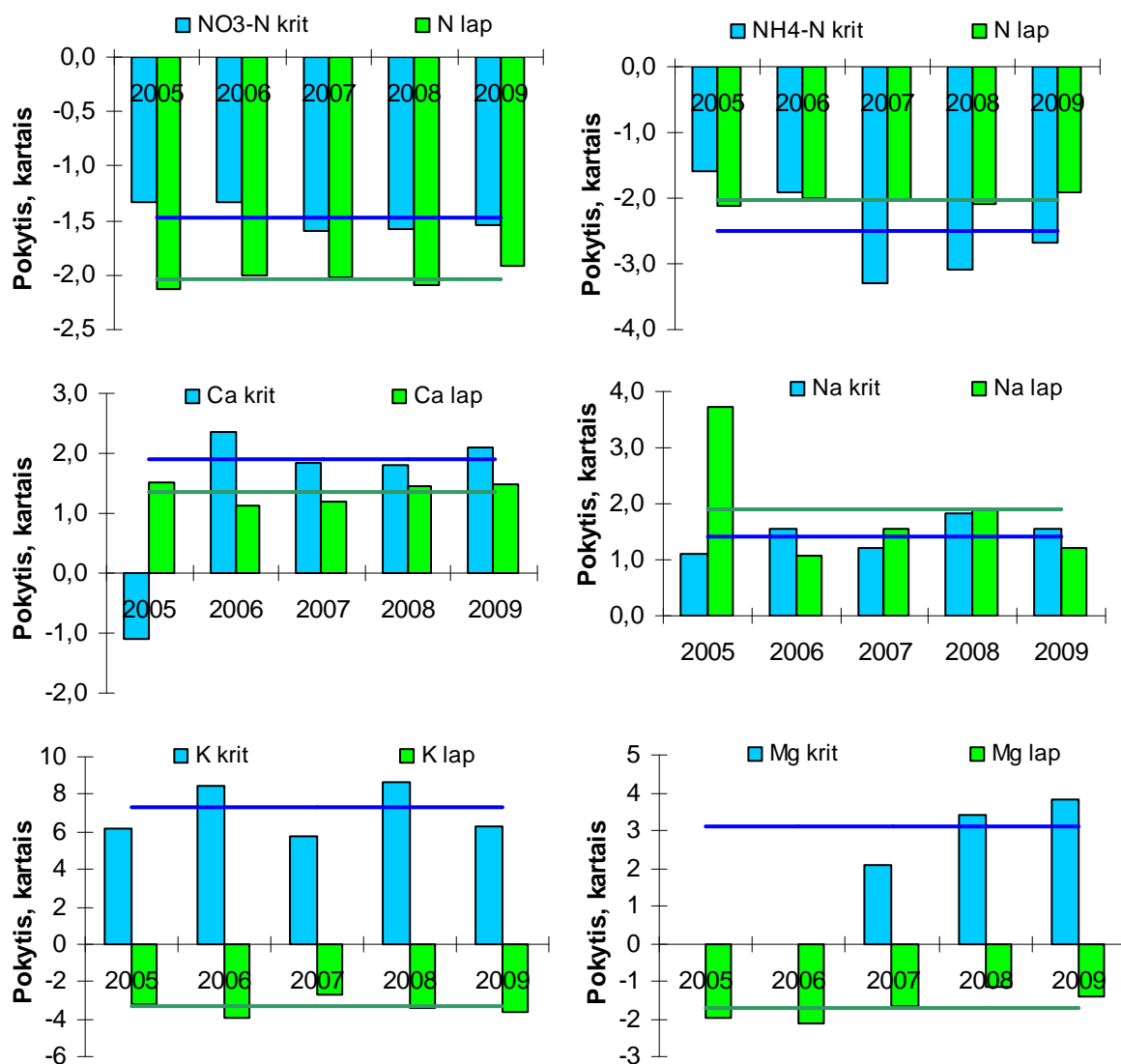


2.54 pav. Pagrindinių maistinių komponentų koncentracijų kaita lapijoje ir nuokritose Žemaitijos KMS 2005-2008 m.

2.6.3 Pagrindinių elementų transformacijų krituliuose ir lapijoje ypatumai.

Apibendrinant atliktus tyrimus, palyginome cheminių elementų koncentracijų kaitą krituliuose – atviroje vietoje ir po medžių lajomis, bei jų kaita lapijoje – lapuose-spygliuose ir jų nuokritose. Gauti santykiniai dydžiai pateikti 2.55 paveiksle.

Nustatyta, kad Aukštaitijos KMS NO_3^- koncentracija polajiniuose krituliuose sumažėja apie 1,5 karto lyginant su atviros vietos krituliais, o NH_4^+ koncentracija sumažėja net 2,5 karto. Tai rodo, kad dalis nitratinio ir amoniakinio azoto yra išsavinama medžių lapijos. Bendrojo azoto sumažėjimą nukritusioje lapijoje (apie 2 kartus) lyginant su gyvąja, galima būtų aiškinti medžiagų persiskirstymo ypatybėmis medžio asimiliaciniuose organuose jiems senstant bei baigiant gyvybines funkcijas.



2.55 pav. Pagrindinių komponentų transformacijų palyginimas krituliuose ir lapijoje Aukštaitijos KMS.

Kalcio ir natrio koncentracijų transformacijoms krituliuose ir lapijoje nustatyti bendri dėsningumai (2.55 pav.). Krituliams praėjus pro medžių lapiją, jie praturtinami šiomis mineralinėmis medžiagomis dviem galimais būdais: pirmas – tiesioginių šių medžiagų sausųjų iškritų nuplovimu nuo lapijos paviršiaus ir antra - išplovimu iš ląstelių. Šių medžiagų pagausėjimas lapijos nuokritose patvirtina teiginį apie šių elementų ribotą judrumą lapijoje bei pastovų kaupimąsi šiems organams senėjant ir užbaigiant gyvybines funkcijas.

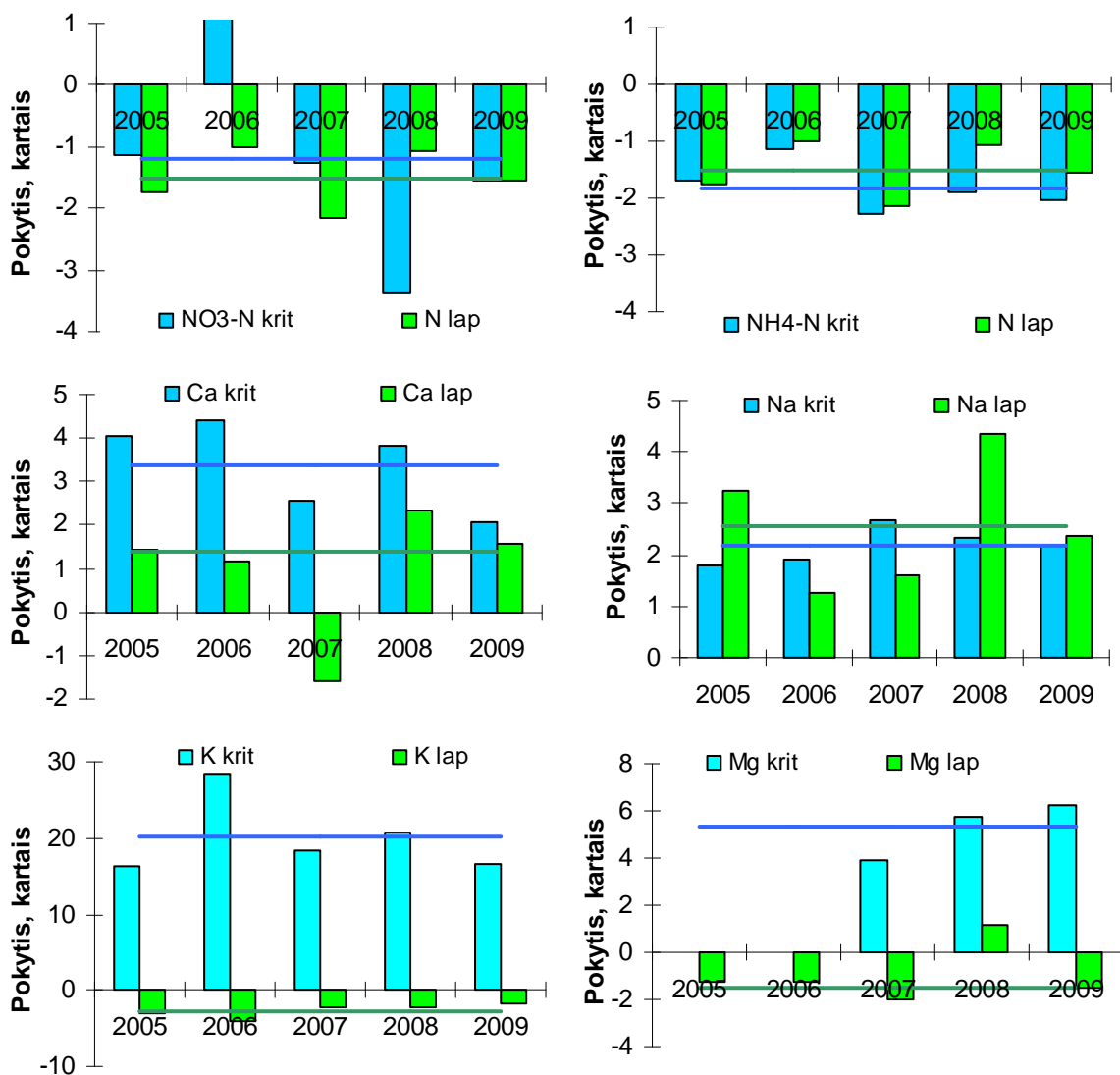
Bendri dėsningumai būdingi ir kalio bei magnio transformacijomis, tačiau jos iš esmės skiriasi nuo kalcio ir natrio transformacijų (2.55 pav.). Jei krituliai praeidami pro medžių lajas praturtinami magnio (apie 3 kartus) ir kalio (iki 8 kartų) jonais, tai nuokritose šių elementų kiekis sumažėja apie 2 ir 3 kartus atitinkamai. Pagrindinė priežastis, kad krituliai praeidami pro medžių lajas iš lapijos išplauna šiuos elementus, praturtėdami jais patys.

Panašūs rezultatai gauti ir Žemaitijos KMS. NO_3^- koncentracija polajiniuose krituliuose sumažėja apie 1,2 karto lyginant su atviros vietos krituliais, o NH_4^+ koncentracija sumažėja 1,8 karto (2.56 pav.). Tai rodo, kad dalis nitratinio ir amoniakinio azoto yra įsisavinama medžių lapijos, tačiau šis įsisavinimas yra mažesnis negu Aukštaitijos KMS. Nuokritose bendrojo azoto sumažėja taip pat tik apie 1,5 karto. Šiuos mažesnius pokyčius Žemaitijos KMS gali sąlygoti ir skirtinga medynų rūšinė sudėtis. Aukštaitijos KMS kritulių rinkimo stotyje vyrauja perbrendusios pušys, o Žemaitijos KMS brandžios eglės.

Kalcio ir natrio koncentracijų transformacijoms krituliuose ir lapijoje būdingos tos pačios tendencijos, kaip ir Aukštaitijos KMS (2.56 pav.). Polajiniuose krituliuose kalcio jonų koncentracija 3,5 karto didesnė negu atviros vietos krituliuose, o natrio apie 2 kartus. Nuokritose kalcio padidėja tik 1,5 karto, kai tuo tarpu natrio beveik 2,5 karto. Tokiam natrio jonų koncentracijos padidėjimui ir krituliuose, ir nuokritose, mūsų manymu, esminės įtakos turi Baltijos jūros kaimynystė.

Išaiškinti bendri kalio ir magnio koncentracijų transformacijų dėsningumai Aukštaitijos KMS buvo būdingi ir Žemaitijos KMS (2.56 pav.). Krituliai praeidami pro medžių lajas praturtinami magnio jonais apie 5 kartus lyginant su atviros vietos krituliais, o kalio jonais net 20 kartų. Nukritusiuose eglės spygliuose šių elementų koncentracija sumažėja apie 2 kartus.

Išaiškinta, kad pagrindinių elementų koncentracijų transformacijoms krituliuose ir lapijoje esminės įtakos turėjo pradiniai elementų kiekiai krituliuose bei medžių rūšis, pro kurių laja praeidami krituliai kito patys bei keitė ir lapijos – nuokritos cheminę sudėtį.



2.56 pav. Pagrindinių komponentų transformacijų palyginimas krituliuose ir lapijoje Žemaitijos KMS.

5 metų tyrimų rezultatai dar neleidžia pateikti apibendrinančių išvadų bei išaiškinti kintančios taršos įtaką medžių fiziologiniams procesams šiltėjančio klimato sąlygomis.

Išvados

Išaiškinta, kad pagrindinių elementų koncentracijų transformacijoms krituliuose ir lapijoje esminės įtakos turėjo pradiniai elementų kiekiai krituliuose bei medžių rūšis, pro kurių laja praeidami krituliai kito patys bei keitė ir lapijos – nuokritos cheminę sudėtį.

5 metų tyrimų rezultatai dar neleidžia pateikti apibendrinančių išvadų bei išaiškinti kintančios taršos įtaką medžių fiziologiniams procesams šiltėjančio klimato sąlygomis.

2.7. Oro teršalų, šlapiųjų iškritų ir jų transformacijų bei kaupimosi miško ekosistemose tyrimo rezultatų apibendrinimas

Nustatyta, kad visiems tirtiems atmosferos ore sieros ir azoto junginiams yra būdingas didelis koncentracijų kaitos intervalas. Sezoniškumas yra ryškiausias SO_2 , NO_2 ir sum.NO_3 ir didesnės jų koncentracijos atmosferos ore matuotos per šaltąjį metų laikotarpį, (vasario – kovo ir lapkričio – gruodžio mėn.). Mažesnių nei būdingos sausio mėnesiui sieros (SO_2 ir aer.SO_4) ir azoto (NO_2 , sum.NO_3 ir sum.NH_4) junginių koncentracijų priežastimi, matyt, galėtų būti aukštesnė nei daugiametė šio mėnesio oro temperatūra centrinėje Europoje ir Lietuvoje, o tuo pačiu mažesnė SO_2 emisija bei spartesnis atmosferos vertikalusis maišymasis, didelis kritulių kiekis per šį mėnesį ir dažniausiai pasikartojančios oro masių pernašos į Lietuvą iš šiaurinių-šiaurės vakarinių regionų. Pagrindiniai tirtų teršalų šaltiniai yra centrinėje ir pietinėje Europoje.

Kritulių cheminės analizės rezultatai parodė, kad pagrindinių teršalų vidutinės metinės koncentracijos mažėja rytų kryptimi. Krituliai, kurių $\text{pH} < 5.0$, vyravo sausio – kovo ir rugsėjo – gruodžio mėnesiais. Žemaitijos KMS teritorijos kritulių rūgštingumas paskutiniaisiais metais buvo didesnis negu Aukštaitijos KMS teritorijoje.

Šlapiųjų srautų analizė parodė, kad per pastaruosius 15 metų: sieros šlapiasis srautas į ekosistemas sumažėjo Aukštaitijoje 53 % ir Žemaitijoje 69 %, amoniakinio azoto - sumažėjo 49 % Aukštaitijoje ir 40 % Žemaitijoje, nitratinio azoto sumažėjo - 30 % Aukštaitijoje ir 15 % Žemaitijoje.

Krentant atmosferiniams krituliams per medžių lają, cheminių priemaišų koncentracijos, išskyrus azoto junginius, polajiniuose krituliuose bei jų srautai į polajį yra didesni nei atviroje vietoje. Didžiausias koncentracijų ir srautų padidėjimas rastas kaliui. Tai rodo šio elemento išplovimą iš lajos, ypač per šiltąjį metų laikotarpį. Medžių lapijos ir jų nuokritų cheminių analizių palyginamasis tyrimas parodė, kad būtent kalio jonų augalų negyvojoje lapijoje sumažėja, priklausomai nuo vietovės ir medžių rūšies, apie 4 kartus.

Sulfatų koncentracijos padidėjimą siejame su sieros junginių (sulfatų ir sieros dvideginio) nuplovimu nuo lajos. Azoto jungių (NH_4^+ ir NO_3^-) srautų padidėjimas bei sumažėjimas siejami su šių komponentų nuplovimu nuo lajos ar jų išplovimu iš lajos ir šių junginių absorbcija lajoje, atitinkamai. Išaiškinti Polajinių srautų skirtumai tarp stočių gal būti sąlygoti skirtinga tirtų medynų struktūra.

Išaiškinti oro teršalų ir jų šlapiųjų srautų pokyčiai reikšmingai sąlygojo šių taršos komponentų koncentracijų ir srautų pokyčius dirvožemio, gruntiniame ir paviršiniame vandenyje.

Visuminio azoto koncentracija dirvožemio vandenyje turi tendencija didėti abiejose stotyse, nors su polajiniais krituliais šių junginių reikšmingai mažėja per visą tiriamąjį laikotarpį Aukštaitijos KMS, o Žemaitijos KMS pastebima mažėjimo tendencija..

Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS per 15 metų stebimi keturi beveik sinchroniški gruntinio vandens lygio svyravimo ciklai, kurių amplitudė, pradžia ir pabaiga priklauso nuo gręžinio gylio: kuo giliau gręžinys, tuo didesnė gruntinio vandens lygio svyravimo amplitudė, o giliausiuose gręžiniuose 2-6 mėnesiais vėluoja ciklo pradžia ir pabaiga. Šie ciklai gerai koreliuoja su kritulių kiekiu ciklais.

Sulfatų koncentracija Aukštaitijos KMS gruntiniame vandenyje jau trejus metus yra stabili, o Žemaitijos KMS mažėja, kaip ir nitratų bei amonio azoto koncentracija.

Upelio nuotėkis Aukštaitijos KMS 2009 m. buvo mažiausias, per visą stebėjimų laikotarpį, o Žemaitijos KMS toliau išliko artimas savo didžiausioms reikšmėms, nustatytoms 2004-2006 metais.

Vandens rūgštumas abiejose KMS baseinuose, nepriklausomai nuo upelio debito skirtingos kaitos, pastoviai toliau mažėja. Sulfatų ir nitratų koncentracijos upelio vandenyje abiejose stotyse mažėjo, kai to tarpu amonio jonų koncentracija labai išaugo Žemaitijos KMS, o Aukštaitijos KMS ir toliau turėjo tendenciją mažėti.

Aukštaitijos IMS 2009 m. mineralinio azoto balanso saldo buvo artimas nuliui, o Žemaitijos IMS 2009 m. mineralinio azoto balanso saldo išsiskyrė, kaip ir 2007 metais, didele teigiama reikšme, nitratai ir amonis buvo panaudoti, o ne išplauti gruntiniais vandenimis.

Aukštaitijos IMS 2009 m. fosforo junginių kaupimasis gruntiniame vandenyje buvo didžiausias nuo 1998 m., o sulfatų sieros kaupimasis buvo didesnis nei išnešimas.

Dažniausiai dirvožemio, gruntinių ir paviršinio vandens užterštumas NH_4^+ jonais siejamas su jų koncentracijomis ore, krituliuose bei su jų bendru srautu. Šios koncentracijos didėja, didėjant NH_4^+ koncentracijoms ore, krituliuose bei iškritoms. Dirvožemio, gruntinių ir paviršinio vandens užterštumas NO_3^- junginiais mažiau siejamas su jų koncentracijomis ore, krituliuose bei iškritomis. Tačiau jų pokyčiai pakankamai dažnai gerai koreliuoja su NH_4^+ koncentracijų ore ir krituliuose bei iškritų kaita. Tai dažniausiai aiškinama šių junginių sąlygojamais dirvožemio nitrifikacijos procesais (De Vries et al., 2003b). Kaip išskirtinį ir mažai būdingą atvejį reiktų paminėti išaiškintą reikšmingą tarpusavio ryšį tarp NO_3^-

koncentracijų krituliuose ir dirvožemio vandenyje Dzūkijos KMS. Smėlis, kuris pasižymi geromis filtracinėmis savybėmis, atrodo, kad lemia šį išaiškintą ryšį.

3 lentelė. Koreliacinis ryšys tarp N komponentų koncentracijų gruntiniame (GW), dirvožemio (SW) ir upelio (RW) vandenyse su jų koncentracijomis ore, krituliuose ir iškritomis

IMS	Koncentracija ore ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				Iškritos (mg/m^2)			Krituliuose (mg/l)			
	SO_2	NO_3^-	NH_4^+	SO_4^{2-}	NH_4^+	NO_3^-	H^+	SO_4^{2-}	NH_4^+	NO_3^-	H^+
LT-01											
SO4_GW	-0,133	-0,155	-0,162	-0,266	-0,091	-0,337	-0,273	-0,206	-0,025	-0,143	-0,260
NH4_GW	0,545	0,494	0,681	0,629	0,587	0,364	0,598	0,651	0,559	0,447	0,644
NO3_GW	-0,133	-0,007	-0,131	-0,129	-0,228	0,080	-0,104	-0,141	-0,219	0,012	-0,108
SO4_SW	-0,142	-0,115	0,111	-0,151	-0,018	-0,035	0,029	-0,137	0,002	-0,195	0,030
NH4_SW	0,544	0,724	0,907	0,670	0,584	0,445	0,733	0,721	0,569	0,550	0,810
NO3_SW	-0,184	0,035	-0,094	-0,181	-0,138	-0,099	0,269	-0,261	-0,228	-0,449	0,197
SO4_RW	-0,541	-0,696	-0,498	-0,610	-0,508	-0,261	-0,924	-0,536	-0,375	-0,085	-0,905
NH4_RW	0,717	0,729	0,922	0,769	0,723	0,412	0,795	0,826	0,705	0,606	0,863
NO3_RW	0,612	0,354	0,145	0,561	0,338	0,482	0,534	0,491	0,258	0,404	0,487
LT-03											
SO4_GW	0,325	0,105	0,152	0,291	0,406	-0,249	-0,167	0,417	0,457	0,009	-0,063
NH4_GW	0,832	0,433	0,961	0,607	0,645	0,216	0,260	0,738	0,669	0,626	0,410
NO3_GW	0,307	0,094	0,133	0,210	0,453	-0,229	-0,157	0,398	0,519	0,050	-0,075
SO4_SW	0,571	0,045	0,500	0,444	0,496	-0,358	0,262	0,704	0,651	0,308	0,500
NH4_SW	0,268	0,304	0,510	-0,034	0,052	-0,259	0,130	0,127	0,157	0,040	0,183
NO3_SW	0,785	0,330	0,924	0,550	0,493	0,045	0,256	0,666	0,556	0,691	0,469
SO4_RW	-0,443	-0,321	-0,611	-0,323	-0,164	-0,375	-0,102	-0,170	-0,073	-0,358	-0,128
NH4_RW	0,611	0,335	0,816	0,413	0,369	0,272	0,335	0,390	0,320	0,627	0,459
NO3_RW	-0,222	-0,226	-0,448	-0,100	0,057	-0,085	-0,458	-0,065	0,032	-0,016	-0,471
LT-02											
SO4_GW	-0,100	0,052	-0,016	-0,248	-0,059	-0,056	-0,256	-0,153	0,085	0,216	-0,232
NH4_GW	-0,293	0,005	-0,208	-0,016	-0,095	0,313	-0,270	-0,057	-0,193	0,048	-0,301
NO3_GW	0,007	0,015	0,088	-0,189	-0,102	-0,022	-0,160	-0,171	-0,013	0,178	-0,156
SO4_SW	0,662	-0,373	0,708	-0,137	0,586	-0,819	0,120	0,171	0,947	0,463	0,241
NH4_SW	0,582	-0,041	0,265	0,633	0,256	-0,257	0,941	0,466	0,013	-0,651	0,931
NO3_SW	-0,410	-0,457	-0,115	-0,580	-0,214	0,094	-0,854	-0,523	0,035	0,818	-0,814
SO4_RW	-0,481	0,123	-0,107	-0,736	-0,258	0,207	-0,984	-0,632	0,091	0,711	-0,969
NH4_RW	0,242	-0,332	0,134	0,610	0,328	-0,284	0,752	0,487	0,123	-0,564	0,801
NO3_RW	-0,381	-0,124	-0,451	-0,275	-0,496	-0,254	-0,013	-0,452	-0,162	-0,052	0,090

Pastaba: išskirtos priklausomybės reikšmingos ($p < 0,05$)

Upelio vandens užterštumą N junginiais lėmė šių junginių koncentracijos ore, krituliuose bei jų iškritos. Reikšmingiausi tokie ryšiai išaiškinti Aukštaitijos KMS, o kiek silpnesni – Žemaitijos KM stotyje. Per trumpos duomenų sekos neleido išaiškinti analogiškų ryšių Dzūkijos KMS.

Papildomai reiktų pažymėti, kad priešingai procesams susijusiems su N junginių kaita ir balansu, upelio vandens užterštumas SO_4^{2-} junginiais atvirkščiai proporcingas SO_2 koncentracijų kaitai ore ir SO_4^{2-} iškritoms. Per tiriamąjį laikotarpį ženkliai mažėjant oro taršai sieros junginiais jei jų iškritoms, upelio vandenyje sulfatų koncentracijos didėja. Labiausiai tikėtina, kad pastaruoju laikotarpiu ekosistemose vyksta išsivalymo procesas, kurio metu

susikaupe sulfatai yra išplaunami. Kaip įrodymą tokio proceso egzistavimo galima būtų pateikti ir atvirkštinės priklausomybes gerėjančios miškų būklės ir didėjančių sulfatų koncentracijų upelio vandenyje.

Didėjanti N junginių išnaša su upelio vandenimis Žemaitijos KMS gali būti siejama ne tik su kritulių užterštumu šiais junginiais, bet taip pat ir su organinių medžiagų mineralizacijos bei nitifikacijos procesų spartėjimu šylant klimatui. Kitų autorių duomenys rodo, kad nitratų koncentracija upelio vandenyse, dėl dirvožemio vandens temperatūros didėjimo, didėja iki 0.19-0.45 mg/l (Wright, 1998). NO_3^- didesnės koncentracijos upelio vandenyse nei 0.19 mg/l buvo nustatytos Aukštaitijos KMS 1995 ir 2002-2003, o Žemaitijos KMS - 1997, 2001 ir 2002. Šiuo laikotarpiu oro vidutinė temperatūra kas met vidutiniškai didėjo iki 10 kartų sparčiau negu išaiškinta daugiametė norma.

Išaiškinta, kad pagrindinių elementų koncentracijų transformacijoms krituliuose ir lapijoje esminės įtakos turėjo pradiniai elementų kiekiai krituliuose bei medžių rūšis, pro kurių laja praeidami krituliai kito patys bei keitė ir lapijos – nuokritos cheminę sudėtį. Tačiau 5 metų tyrimų rezultatai dar neleidžia pateikti apibendrinančių išvadų bei išaiškinti kintančios taršos įtaką medžių fiziologiniams procesams šiltėjančio klimato sąlygomis.

LITERATŪRA

- Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė L.** (2004). Change dynamics of biogenic matter in river waters of southeast Lithuania during periods of different wateriness. *Journal of environmental Engineering and Landscape Management*, vol. 12, No 4, 146–152.
- Dirvožemių**, dirvožemio ir gruntinio vandens cheminė sudėtis kompleksinio monitoringo foninėse stotyse, (1995). Geografijos instituto 1995 metų darbų ataskaita (temos vadovas dr. Z. Gulbinas).
- Dirvožemių**, dirvožemio ir gruntinio vandens cheminės sudėties stebėjimai integruoto monitoringo stotyse, (1993). Geografijos instituto 1993 metų darbų ataskaita (temos vadovas dr. Z. Gulbinas).
- Dirvožemių**, dirvožemio ir gruntinio vandens monitoringas kompleksinėse foninio monitoringo stotyse, (1994). Geografijos instituto 1994 metų darbų ataskaita (temos vadovas dr. Z. Gulbinas).
- Dirvožemių**, dirvožemio vandens, gruntinio vandens ir upelių vandens monitoringas foninėse stotyse, (2000). Geografijos instituto 2000 metų darbų ataskaita (temos vadovas dr. Z. Gulbinas).
- Dirvožemių**, dirvožemio vandens, gruntinio vandens ir upelių vandens monitoringas kompleksinėse monitoringo stotyse, (2001). Geografijos instituto 2001 metų darbų ataskaita (temos vadovas dr. Z. Gulbinas).
- Dirvožemių**, dirvožemio vandens, gruntinio vandens ir upelių vandens monitoringas kompleksinėse monitoringo stotyse, (2002). Geologijos ir geografijos instituto 2002 metų darbų ataskaita (temos vadovas dr. M. Samuila).
- Grimvall A., Stalnacke P., Tonderski A.** (2000). Timescale of nutrient losses from land to sea – a European perspective. *Ecological Engineering*, No 14, 363-371.
- Manual for Integrated Monitoring.** Programme Phase 1993–1996. Environment Data Centre, National Board of Waters and the Environment. Helsinki, (1993).
- Manual for integrated monitoring** (1998). ICP IM programme centre, Finish environment institute, Helsinki.
- Šlapakauskas, V.A.** 2006. Augalų fiziologija. Kaunas, Lututė, 420 p.

III. SUNKIŲJŲ METALŲ SRAUTAI, JŲ KAUPIMASIS EKOSISTEMOSE IR IŠPLOVIMAS

Sunkieji metalai į atmosferą patenka dviem keliais: natūralių gamtoje vykstančių procesų metu (dirvos erozija, vulkaninė veikla, miškų gaisrai, vegetacija, išnešimas su jūros purlais) bei technologinių procesų metu. Natūraliai gamtoje vykstantys procesai išmeta nežymius kiekius sunkiųjų metalų (Shukla, Leland, 1973). Ilgus metus deginant gamtinį kurą, planetoje padidėjo sunkiųjų metalų koncentracijos ore, vandenyje, dirvožemyje, dumble bei augaluose ir gyvūnuose. Didelę įtaką teršalų sklaidai turi oro srovių judėjimas. Šitaip, be vietinės pramonės, elektrinių ir transporto išmetamų teršalų, dalis Vakarų, Centrinės ir Rytų Europos pramoninių rajonų teršalų pasklinda virš Lietuvos (Кветкис, Шакалис, 1979, Šopauskienė and Jasinevičienė, 2004). Taigi aplinkos užterštumą sunkiaisiais metalais didina tiek vietiniai, tiek ir toli esantys pramonės centrai, kurių išmetamus teršalus oro srovės toli nuneša ir paskleidžia.

Vienas iš būdų nustatyti, kokia dalis konkretaus elemento cirkuliuoja gamtoje natūraliai ir kokia dalis atsiranda atmosferoje dėl žmogaus ūkinės veiklos yra metalų praturtinimo koeficiento (PK) skaičiavimas. Šis koeficientas apskaičiuojamas pagal metalų koncentracijos santykius Žemės plutoje bei, atitinkamai, krituliuose. Jei tam tikro elemento praturtinimo koeficientas yra $1 < PK < 10$, tokio elemento koncentracijas gamtoje iš esmės lemia natūralūs šaltiniai. Nustatyta, kad Lietuvoje Cd, Pb, Zn, Ni ir Cu migraciją iš esmės lemia antropogeniniai procesai (Čeburnis, 1999).

Pagrindinis Pb šaltinis ankstesniais metais buvo transportas (Daines et al., 1970; Blokker, 1972). Benzino priedų gamyboje dar 1970 m. pasaulyje buvo sunaudota iki 253 tūkst. tonų švino (Shukla and Leland, 1973). Atradus švino tetraetilo ir tetrametilo pakaitalus benzino priedų gamybai, Europoje nuo 1987 metų palaipsniui pereita prie bešvinio benzino. Tai turėjo lemiamos įtakos švino koncentracijos ore sumažėjimui ne tik Europoje, bet ir Lietuvoje. Švino koncentracija ore nuo 1988 iki 1994 m. Preilos meteorologinėje stotyje sumažėjo virš 3 kartų, nuo 37 ng/m^3 iki 11 ng/m^3 . 1994-1999 m. Pb koncentracija ore buvo stabili ir tik nuo 2000 m. ji dar sumažėjo iki $6-7 \text{ ng/m}^3$ (3.30 pav.).

Cu koncentracija ore taip pat reikšmingai mažėjo nuo $3,5 \text{ ng/m}^3$ 1997 m. iki $1,3 \text{ ng/m}^3$ 2003 m., o Cd būdinga buvo koncentracijų ore mažėjimo tendencija, nuo $0,33 \text{ ng/m}^3$ 1998 m. iki $0,21 \text{ ng/m}^3$ 2003 m. Zn vidutinė metinė koncentracija atmosferoje, skirtingai negu Pb, Cu ir Cd didėjo reikšmingai, nuo 20 ng/m^3 iki 35 ng/m^3 (3.30 pav.).

3.1 Sunkiųjų metalų ir policiklinių aromatinių angliavandenilių ore bei atmosferos iškritose tyrimai

Aplinkos teršalų sudėtinė dalis yra policikliniai aromatiniai angliavandeniliai ir sunkieji metalai. Daugelis jų pasižymi toksinėmis savybėmis, yra pavojingi žmogui ir gyvėjai gamtai, todėl svarbūs ne vien tik jų sklidimo ir nusėdimo procesų tyrimai, bet taip pat svarbu nustatyti ir jų koncentracijos atmosferoje bei iškritusių ant žemės paviršiaus kiekių kitimo tendencijas.

Elektros energijos stotys, šiukšlių deginimo įmonės, naftos perdirbimo įmonės, individualių namų šildymas bei įvairios transporto priemonės yra pagrindiniai, aplinkos taršos benz(a)pirenu, šaltiniai. [1]. Atmosferoje benz(a)pirenas yra susijęs su smulkiomis aerolinėmis dalelėmis. Apie 90 % B(a)P yra susiję su dalelėmis, kurių aerodinaminis diametras yra mažesnis nei 3 μm miesto aplinkoje ir daugiau nei 70% benz(a)pireno yra susiję su aerolio submikronine frakcija (< 0,3 μm) foninėse vietovėse. Atitinkamai benz(a)pireno gyvavimo laikas atmosferoje gali svyruoti nuo 19 iki 77 dienų, ko pasekoje jis gali būti transportuojamas dideliais atstumais [2]. Nežiūrint į benz(a)pireno stipriai išreikštą kancerogeninį poveikį ir plačiai paplitusius emisijos šaltinius, jo sisteminiai tyrimai Europoje buvo atliekami tik keliose monitoringo stotyse. Benz(a)pireno koncentracijos aplinkoje, jo šaltinių ir jo tolimojo pernešimo galimybių tyrimai buvo pradėti nuo 1995 metų ir, pagrinde, buvo susiję su tarptautinėmis programomis (EMEP; HELCOM;EUROTRAC) [3,4] . Šių tyrimų rezultatai buvo panaudoti priimant Patvarių organinių teršalų tolimojo pernešimo Stokholmo konvenciją 2001 metais. Pradžioje benz(a)pireno koncentracijos monitoringas buvo atliekama 5-iose foninio monitoringo vietovėse, o po 2001 metu jis yra tiriamas jau 14 foninio monitoringo stotyse , įtrauktose į EMEP tinklą. Šie tyrimo duomenys yra pateikti tinklalapyje: <http://www.EMEP.int>.

Sisteminiai benz(a)pireno tyrimai atlikti Preilos foninių tyrimų stotyje nuo 1980 metų parodė, kad benz(a)pireno vidutinė mėnesinė koncentracija kito nuo 0,02 iki 1,72 ng/m³ šilto sezono metu (gegužė-rugsėjis) ir nuo 0,18 iki 3,30 ng/m³ šalto sezono metu (spalis-balandis), žymiai mažėjant kancerogeno koncentracijai nuo 1999 metų [5]. Nuo 2004 metų benz(a)pireno mėnesinė koncentracija Preilos foninių tyrimų stotyje kito 0.02 - 0.98 ng/m³ intervale (vidutinė metinė koncentracija 0.35 ng/m³) , o kaimyninėje Latvijos foninio monitoringo stotyje, Rucavoje kito 0.01 - 1.18 ng/m³ intervale (vidutinė metinė koncentracija 0.26 ng/m³). Pagrindinė dalis ekstremaliai didelių koncentracijų abiejose foninėje stotyse buvo nustatyta, ateinant oro masėms iš Juodojo trikampio (Čekijos, Vokietijos ir Lenkijos pasienio zonos) ir

Pietinės Lenkijos dalies (Silezijos regiono) [6,7]. Lyginant benz(a)pireno koncentracijas Preilos foninių tyrimų stotyje su jo koncentracijomis, nustatytomis nuo 1994 metų, kitose šalyse, pasirodė, kad jų reikšmės yra beveik eile didesnės nei Skandinavijos šalyse ir panašiam lygyje kaip Čekijos respublikoje. Tačiau benz(a)pireno koncentracijos kitimo tendencijos yra labai panašios ir nustatytas Švedijos foninėse stotyse su ryškia mažėjimo tendencija nuo 1999 metų [5].

Metalai į atmosferą patenka tiek iš antropogeninių šaltinių – pramonės įmonių, šiluminių jėgainių bei transporto priemonių, tiek ir iš natūralių šaltinių – vulkanų, dėl dirvų erozijos, miškų gaisrų. Patekę į atmosferą metalai aerozolio dalelių sudėtyje su oro srautais sklinda įvairiais atstumais ir sauso ar šlapio nusėdimo būdu patenka į žemės bei vandens paviršių, iš kur jie toliau migruoja dirvožemyje, patenka į gruntinius vandenis, su upėmis nunešami į jūras ir vandenynus, nusėda vandens telkinių dugne. Sunkieji metalai gamtoje turi savybę kauptis, migruodami iš vienos gamtinės sistemos į kitą, o susikaupę neigiamai veikia gyvų organizmų gyvybines sistemas. Daugelis metalų pasižymi toksiškėmis savybėmis, o kai kurie pasižymi ir kancerogeninėmis savybėmis, todėl yra pavojingi žmogui ir gyvajai gamtai. Tai sąlygoja jų sklaidimo aplinkoje ir nusėdimo procesų tyrimų svarbą globaliniu mastu.

Anksčiau atlikti sunkiųjų metalų koncentracijos ore bei krituliuose, o taip pat ir samanose stebėjimai parodė, kad antropogeninės kilmės metalų emisija pačioje Lietuvos teritorijoje yra nedidelė. Skaičiavimai parodė, kad maždaug 70 - 90 % teršalų yra atnešama tolimosios oro masių pernašos keliu iš Vakarų bei Centrinės Europos ir tik apie 10-30 % teršalų kiekio yra išplaunama krituliais Lietuvos teritorijoje [8,9,10,11]. Nuo 1987 metų Europoje (kiek vėliau, maždaug nuo 1993 metų, ir Lietuvoje) palaipsniui pereita prie bešvinio benzino, todėl nors autotransporto srautai ir sparčiai didėjo, bet per pastaruosius penkiolika metų švino emisija į aplinką sumažėjo apie 5 – 6 kartus. Pažangesnių technologijų bei valymo įrenginių gamyboje įdiegimas Vakarų Europoje turėjo didelės įtakos teršalų koncentracijos sumažėjimui Lietuvos oro baseine, ką rodo ir sunkiųjų metalų koncentracijos samanose mažėjimo tendencijos [12]. Tai tik dar kartą patvirtino faktą, kad didžioji teršalų dalis atkeliauja į Lietuvą su oro masėmis iš Vakarų ir Pietų Europos..

Sunkiųjų metalų monitoringas krituliuose yra svarbesnis žemės ekosistemai už sunkiųjų metalų monitoringą ore. Krituliai dėl savo nereguliarumo nors ir ne visiškai, bet iš dalies atspindi ir atmosferos užterštumą sunkiaisiais metalais. Tačiau tiriant sunkiųjų metalų koncentraciją krituliuose, galima žymiai tiksliau nei iš jų koncentracijos ore įvertinti sunkiųjų

metalų srautą į žemės paviršių. Taip yra todėl, kad iš bendro antropogeninės kilmės sunkiųjų metalų kiekio, nusėdusio ant žemės paviršiaus, 70 ÷ 90 % jų nusėda su krituliais [13].

Darbo metodika

Kritulių bandiniai Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stotyse buvo renkami 2008 metų laikotarpyje. Aukštaitijos IM stotis yra išsidėsčiusi rytų Lietuvoje tarp 26⁰03'20" ir 26⁰04'50" rytų ilgumos bei 55⁰26'00" ir 55⁰26'53" šiaurės platumos. Žemaitijos IM stotis yra šiaurės vakarų Lietuvoje tarp 21⁰51'56" ir 21⁰53'10" rytų ilgumos bei 56⁰00'19" – 56⁰01'05" šiaurės platumos. Šiose stotyse buvo įrengta po tris rinktuvų laikiklius. Kiekvienam ruošiami pamaina. 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, Mn, Cd, As, Fe ir Hg koncentracija. Išanalizavus bandinius, matavimo iš lygiagrečių indų duomenys, atmetus išsišokusias vertes, buvo vidurkinami. Tai buvo daroma siekiant išvengti atsitiktinių užterštumų įtakos analizės rezultatams.

Kritulių rinktuvus sudarė 1000 ml plastmasiniai buteliai, į kuriuos buvo įsukti 8.15 cm skersmens (52.15 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 5⁰C temperatūroje. Panaudoti rinktuvai buvo ruošiami eilinei pamainai: dviems paroms pamerkami į 5% HNO₃ vandeninį tirpalą, po to trims paroms į 1% HNO₃ vandeninį tirpalą, ir praplaunami dejonizuotu vandeniu.

Atmosferos aerolio dalelių bandiniai buvo renkami siurbiant orą pro Whatman filtrus, esant 1m³/val. siurbimo greičiui. Filtrai buvo keičiami kas 3 – 4 dienas.

Surinkti už mėnesį kritulių bandiniai ir Whatman filtrai buvo analizuojami Perkin-Elmer firmos atominiu absorbciniu spektrofotometru Zeeman/3030 [8].

Benz(a)pireno srautas į žemės paviršių tiek Lietuvoje, tiek ir pasaulyje, iki praėjusio dešimtmečio, buvo tiriamas gana epizodiškai. Paskutiniaisiais dešimtmečiais šie tyrimai suintensyvėjo, kas leido nustatyti jo išsivalymo iš atmosferos kai kuriuos ypatumus, bei įvertinti žemės paviršiaus apkrovas kancerogeniškai aktyviais junginiais netgi regioninėje plotmėje.

Benz(a)pireno analizei aerozolio dalelės buvo renkamos ant stiklo pluošto filtrų (Gelman Science Inc, Type A/E), esant $1\text{ m}^3/\text{val.}$ siurbimo greičiui. Filtrai buvo keičiami kas 3 - 4 dienos. Eksponuoti filtrai buvo saugomi šaldytuve ne ilgiau kaip 2 mėnesius prieš atliekant analizę, kad išvengtų tiriamų junginių degradacijos. Buvo nustatoma mėnesinė benz(a)pireno koncentracija, sumuojant keletą mėnesio filtrų.

Benz(a)pireno analizė iš aerosolinių filtrų buvo atliekama trimis etapais: 1) organinių junginių ekstrakcija vibraciniu aparatu (8Hz) laike 1 valandos, 2) chromatografinio frakcionavimo ant Al_2O_3 heksano dietilo eterio mišiniu 10:1, 3) benz(a)pireno koncentracijos nustatymo chromatografijos eliuatuose spektrofluorescencinės analizės metodu skysto azoto temperatūroje (77°K). Fluorescencijos sužadimas prie $\lambda = 298\text{ nm}$ ir emisijos prie $\lambda = 403\text{ nm}$. Metodo jautrumas $0,1\text{ ng/ml}$ eliuato [5,14].

Tyrimų rezultatai

Sunkiųjų metalų koncentracijos krituliuose vertės gautos 2009 m. Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stotyse yra pateiktos 3.1 lentelėje. Iš lentelės matyti, kad sunkiųjų metalų koncentracija krituliuose, išskyrus Cd, Fe ir Hg, didesnė Žemaitijos nei Aukštaitijos IM stotyje. Tai iš dalies galima paaiškinti tuo, kad žymią dalį teršalų Lietuva su oro masėmis gauna iš pramoninių vakarų ir centrinės Europos rajonų – dalis sunkiųjų metalų iš oro yra išplaunama vakarinėje Lietuvos dalyje, o į rytinę šalies dalį patenka jau švaresnės, iš dalies išplautos oro masės. Iš kitos pusės, oro masių pasiskirstymas pagal kryptis nors ir nedaug, bet skiriasi – toliau nuo jūros patenka mažesnė dalis drėgnesnių, lietu nešančių oro masių, nors 2009 m. kritulių kiekiai praktiškai nesiskyrė.

Teršalų įtaką žemės ekosistemai svarbiau yra vertinti pagal iškritusį su krituliais sunkiųjų metalų kiekį. 3.2 lentelėje yra pateikti kritulių kiekiai ir su krituliais ant žemės paviršiaus iškritę sunkiųjų metalų kiekiai per mėnesį. Kritulių kiekiai buvo įvertinti iš surinkto

kritulių tūrio inde su piltuvu dalinant jį iš piltuvo ploto. Paskutinėje eilutėje pateikti procentiniai kritulių bei sunkiųjų metalų kiekių skirtumai tarp Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stočių, Žemaitijos IM stoties vertes laikant šimtaprocentinėmis.

3.1 lentelė. Vidutinė mėnesinė sunkiųjų metalų koncentracija krituliuose.

Metai, mėnuo	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Fe	Mn	Hg	B(a)P
	C, $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$										
Aukštaitijos IM stotis											
2009 01	4,21	29,2	0,998	2,34	3,86	0,309	0,374	67,4	1,94	0,0063	0,012
2009 02	2,84	14,9	0,847	1,85	2,68	0,131	0,215	61,8	2,54	0,0051	0,013
2009 03	2,49	4,26	0,770	0,770	1,60	0,0889	0,136	176	9,53	0,0101	0,011
2009 04	6,23	16,2	1,89	0,945	5,23	0,661	0,901	224	22,1	0,0088	0,047
2009 05	1,98	10,5	0,587	1,02	2,98	0,169	0,113	51,3	11,7	0,0058	0,002
2009 06	1,90	6,93	0,344	0,411	2,21	0,102	0,076	34,6	8,72	0,0115	0,001
2009 07	2,61	8,82	0,814	0,816	2,61	0,114	0,076	31,6	5,00	0,0138	0,001
2009 08	0,947	11,7	0,294	0,527	2,17	0,113	0,272	34,3	3,48	0,0109	0,003
2009 09	1,95	11,6	0,600	0,951	2,40	0,0501	0,121	57,8	4,40	0,0067	0,002
2009 10	2,10	10,1	0,357	0,657	1,63	0,0686	0,161	51,4	2,40	0,0063	0,003
2009 11	2,63	4,60	0,348	0,352	1,29	0,0700	0,100	24,6	1,54	0,0078	0,010
2009 12	3,45	6,23	0,5	0,397	1,75	0,0546	0,105	29,9	2,09	0,0070	0,012
Vidurkis*	2,34	9,28	0,529	0,726	2,17	0,101	0,133	50,2	5,19	0,00903	0,005
Žemaitijos IM stotis											
2009 01	4,46	20,7	1,40	5,72	15,1	0,0687	0,466	73,4	14,9	0,0051	0,010
2009 02	6,25	14,9	1,15	4,14	18,5	0,0616	0,271	83,1	7,23	0,0047	0,046
2009 03	27,6	6,49	1,45	1,25	6,14	0,0653	0,125	76,9	5,52	0,0071	0,009
2009 04	2,81	17,3	0,960	1,69	12,6	0,0692	0,529	107	26,5	0,0070	0,123
2009 05	1,71	7,80	0,555	1,28	5,16	0,0591	0,275	56,5	26,9	0,0052	0,015
2009 06	2,41	14,5	0,300	1,11	5,42	0,0904	0,0982	53,6	27,4	0,0084	0,006
2009 07	2,94	9,30	0,449	0,697	4,68	0,176	0,0851	46,6	10,0	0,0105	0,005
2009 08	1,10	8,33	0,602	3,31	7,23	0,0999	0,115	26,0	6,86	0,0109	0,005
2009 09	2,35	14,2	0,849	4,67	12,5	0,0801	0,0946	43,5	8,73	0,0054	0,009
2009 10	3,00	12,9	0,750	2,30	8,35	0,115	0,100	46,0	5,60	0,0061	0,004
2009 11	4,64	14,6	0,548	2,68	7,76	0,0896	0,104	32,7	5,52	0,0083	0,009
2009 12	3,56	13,8	0,45	2,81	5,62	0,0851	0,0951	23,5	3,21	0,0062	0,018
Vidurkis*	4,60	13,0	0,720	2,67	8,55	0,0972	0,150	47,6	9,82	0,0075	0,009

*vidurkiai skaičiuoti atsižvelgiant į kritulių kiekius.

Iš duomenų pateiktų 3.2 lentelėje matyti, kad rytinėje Lietuvos dalyje, kuri toliau jūros, kritulių iškrito maždaug tiek pat, kiek ir vakarinėje Lietuvos dalyje. Sunkiųjų metalų kiekio, išskyrus Hg, procentines pokyčio vertės rodo, kad oro masė vakarinėje Lietuvos dalyje yra

labiau užteršta. Kad oro masės vakarinėje Lietuvos dalyje labiau užterštos rodo ir 1 lentelės duomenys. Šios dvi priežastys ir lemia, kad žemės paviršiaus apkrova sunkiaisiais metalais vakarų Lietuvoje didesnė nei rytų Lietuvoje. Gyvsidabris, kaip buvo minėta anksčiau yra unikalus elementas, todėl, matyt, ir išsiskiria iš kitų elementų. Mūsų atlikti 2005 m. Hg koncentracijos samanose analizės duomenys rodo, kad vakarinėje Lietuvos dalyje Hg koncentracija samanose yra mažesnė negu rytinėje šalies dalyje, o elementai į samanas patenka su krituliais.

Iš 3.3 lentelės duomenų matyti, kad stebimas teigiamas koreliacinis ryšys tarp kritulių kiekio bei iškritusio sunkiųjų metalų kiekio. Tai rodo, kad krituliai įtakoja metalų nusėdimą ant žemės paviršiaus. Atvirkštinis koreliacinis ryšys tarp kritulių kiekio ir daugumos sunkiųjų metalų koncentracijos krituliuose rodo, kad esant didesniai kritulių kiekiui oro masė yra labiau išplauta ir krituliai surenka mažesnį sunkiųjų metalų kiekį, todėl ir vidutinė koncentracija yra mažesnė.

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

Metai, mėnuo	h, mm	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Fe	Mn	Hg	B(a)P
		Iškritęs kiekis, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mėn.}^{-1}$										
Aukštaitijos IM stotis												
2009 01	37,6	115	801	27,4	64,3	106	8,47	10,3	1848	53,3	0,235	0,441
2009 02	28,3	58,7	309	17,5	38,3	55,5	2,70	4,45	1281	52,6	0,144	0,375
2009 03	53,9	103	177	32,0	32,0	66,5	3,70	5,67	7338	397	0,545	0,583
2009 04	8,0	22,7	59,0	6,86	3,43	19,0	2,40	3,27	815	80,3	0,070	0,375
2009 05	34,8	52,9	281	15,7	27,2	79,8	4,53	3,03	1373	314	0,201	0,075
2009 06	173,1	292	1067	53,0	63,2	340	15,7	11,6	5317	1342	1,99	0,175
2009 07	115,8	228	772	71,2	71,4	229	10,0	6,65	2761	438	1,60	0,075
2009 08	49,1	34,4	426	10,7	19,2	79,0	4,12	9,90	1247	127	0,536	0,125
2009 09	99,4	159	942	48,8	77,3	195	4,07	9,85	4702	357	0,668	0,150
2009 10	118,0	204	979	34,7	63,8	158	6,65	15,7	4990	233	0,742	0,360
2009 11	83,2	170	296	22,4	22,7	82,8	4,51	6,47	1583	99,1	0,652	0,812
2009 12	73,0	184	332	26,7	21,2	93,1	2,91	5,57	1596	112	0,514	0,875
Σ =	874,2	1625	6442	3605	367	504	1503	34850	69,8	92,4	7,89	3,98
Žemaitijos IM stotis												
2009 01	74,0	285	1325	89,5	366	970	4,40	29,8	4702	953	0,374	0,769
2009 02	11,8	290	688	53,4	192	857	2,85	12,5	3848	335	0,056	0,538
2009 03	64,3	1201	282	62,8	54,3	267	2,84	5,45	3342	240	0,459	0,576
2009 04	5,0	34,7	214	11,9	20,9	156	0,86	6,54	1324	328	0,035	0,615
2009 05	25,8	50,7	232	16,5	38,0	153	1,75	8,15	1675	797	0,135	0,384
2009 06	77,9	158	945	19,6	72,4	354	5,90	6,41	3503	1792	0,651	0,500
2009 07	105,7	281	889	43,0	66,7	447	16,80	8,13	4451	960	1,11	0,576
2009 08	81,5	77,7	587	42,4	234	510	7,05	8,11	1836	484	0,891	0,432
2009 09	65,6	162	981	58,6	322	861	5,53	6,53	3001	602	0,355	0,621

2009 10	164,6	374	1608	93,5	287	1041	14,34	12,5	5734	698	1,01	0,730
2009 11	109,9	755	2378	89,2	436	1263	14,58	17,0	5330	899	0,916	1,028
2009 12	63,7	212	821	27,1	167	335	5,08	5,67	1402	192	0,398	1,153
Σ =	849,8	3881	10950	8279	607	2256	7213	40149	82,0	127	6,38	7,92
Δ, %	-2,9	58,1	41,2	56,5	39,6	77,7	79,2	13,2	14,9	27,1	-23,7	49,7

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

Elementas	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Fe	Mn	Hg	B(a)P
Kritulių kiekis su iškritusių metalų kiekiu											
Aukštaitijos IMS	0,939	0,782	0,794	0,647	0,926	0,764	0,639	0,563	0,769	0,915	-0,153
Žemaitijos IMS	0,276	0,699	0,635	0,475	0,526	0,851	0,204	0,697	0,330	0,898	0,308
Kritulių kiekis su su metalų koncentracija krituliuose											
Aukštaitijos IMS	-0,489	-0,460	-0,585	-0,501	-0,532	-0,559	-0,599	-0,514	-0,318	0,430	-0,601
Žemaitijos IMS	-0,068	-0,107	-0,286	-0,078	-0,402	0,638	-0,596	-0,594	-0,460	0,362	-0,646

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

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

Aukštaitijos IMS											
	Pb	Zn	Mn	Cr	Ni	Cu	Fe	Cd	As	Hg	B(a)P
Pb	1,000	0,463	0,534	0,889	0,353	0,751	0,653	0,849	0,804	-0,165	0,902
Zn		1,000	0,019	0,493	0,867	0,708	0,152	0,552	0,533	-0,357	0,299
Mn			1,000	0,711	-0,085	0,670	0,783	0,763	0,680	0,178	0,676
Cr				1,000	0,440	0,879	0,803	0,909	0,863	-0,033	0,874
Ni					1,000	0,536	0,148	0,339	0,287	-0,459	0,171
Cu						1,000	0,564	0,928	0,851	-0,084	0,707
Fe							1,000	0,722	0,740	0,028	0,795
Cd								1,000	0,958	-0,032	0,880
As									1,000	-0,075	0,910
Hg										1,000	-0,125
B(a)P											1,000
Žemaitijos IMS											
	Pb	Zn	Mn	Cr	Ni	Cu	Fe	Cd	As	Hg	B(a)P
Pb	1,000	-0,374	-0,294	0,619	-0,195	-0,082	0,320	-0,261	-0,098	-0,076	-0,086
Zn		1,000	0,173	0,223	0,594	0,663	0,311	-0,248	0,558	-0,426	0,375
Mn			1,000	-0,171	-0,329	-0,048	0,474	-0,248	0,531	-0,096	0,419
Cr				1,000	0,459	0,640	0,658	-0,497	0,520	-0,489	0,233
Ni					1,000	0,746	-0,024	-0,362	0,273	-0,456	-0,076
Cu						1,000	0,555	-0,442	0,595	-0,567	0,439
Fe							1,000	-0,428	0,782	-0,397	0,727
Cd								1,000	-0,483	0,673	-0,327
As									1,000	-0,422	0,723
Hg										1,000	-0,193
B(a)P											1,000

3.4 ir 3.5 lentelėse yra pateiktos tarpusavio koreliacijos koeficientų vertės tarp sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno koncentracijos krituliuose bei iškritusių su krituliais sunkiųjų metalų kiekiuose. Iš 4 lentelės matyti, kad tiek Aukštaitijos IMS, tiek ir Žemaitijos IMS stebimos koreliuojančios metalų grupės: Zn-Ni-Cu ir Mn-Fe. Tai patvirtino ir ankstesni pernykščiai duomenys. Mn ir Fe koreliacinis ryšys rodo, kad šie metalai yra gamtinės kilmės ir jų patekimo į atmosferą bei išplovimo iš jos mechanizmai yra vienodi. Išplovimo intensyvumas priklauso nuo aerolio dalelių dydžio [28]. Metalai šiose dalelėse pasiskirstę nevienodai, todėl ir koreliacinis ryšys tarp elementų koncentracijos pakinta. Tikėtina, kad Zn-Ni-Cu bei Pb-Cd grupėse šie metalai turi bendrus šaltinius ir jų pasiskirstymas pagal aerolio dalelių dydį yra panašus. 5 lentelės duomenys rodo, kad daugumai metalų iškritę su krituliais jų kiekiai gerai koreliuoja ir ypač Aukštaitijos IMS.

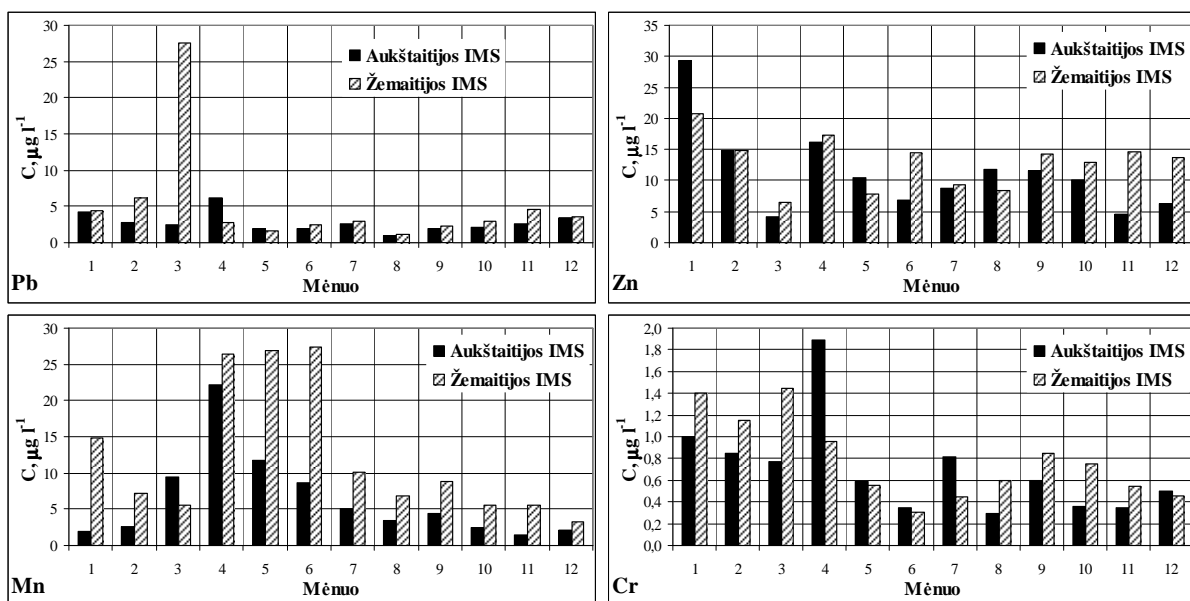
3.5 lentelė. Koreliacijos koeficientų tarp iškritusių su krituliais sunkiųjų metalų kiekių vertės.

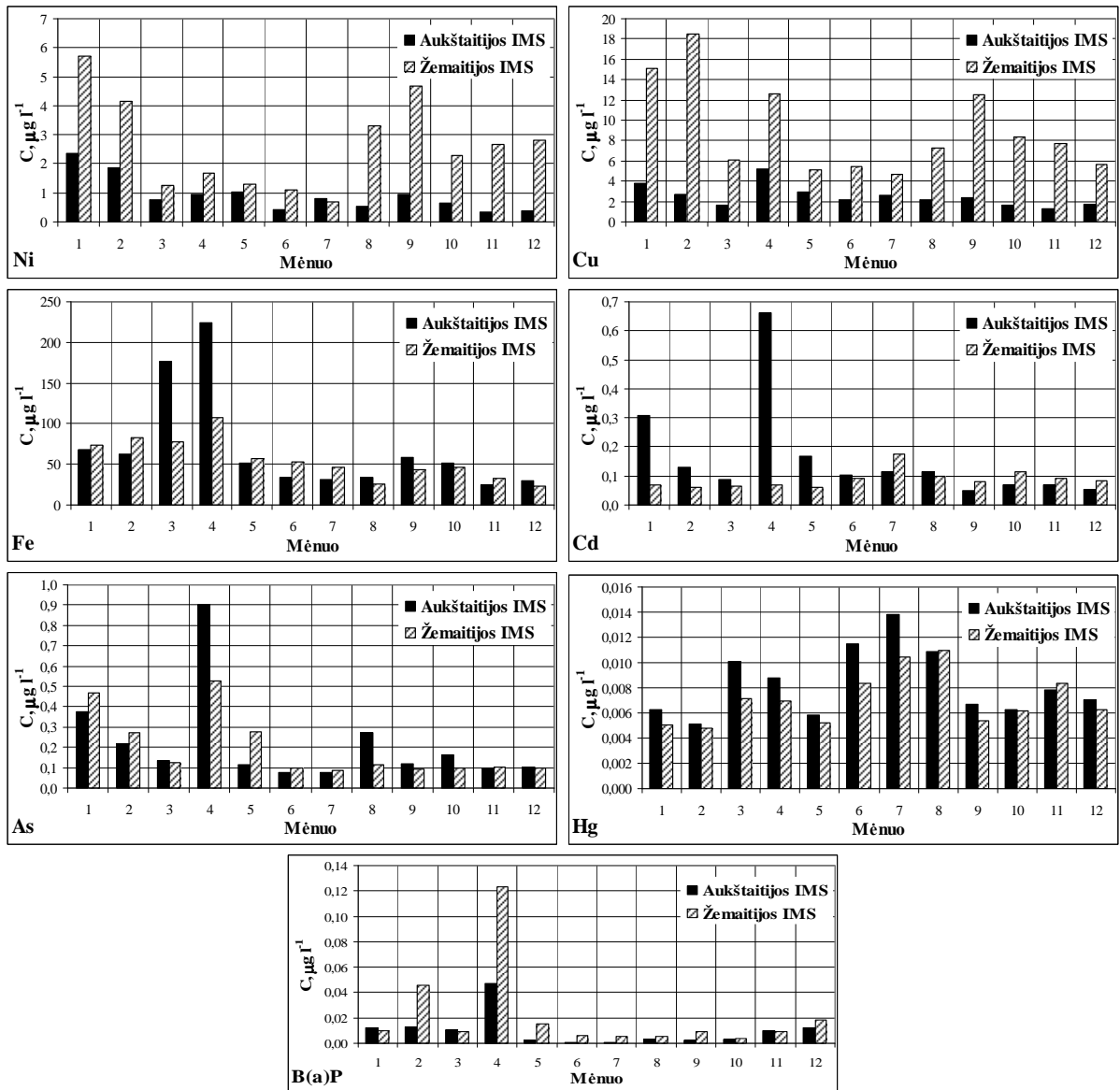
Aukštaitijos IMS											
	Pb	Zn	Mn	Cr	Ni	Cu	Fe	Cd	As	Hg	B(a)P
Pb	1,000	0,722	0,658	0,818	0,641	0,857	0,491	0,740	0,536	0,855	0,069
Zn		1,000	0,540	0,716	0,906	0,852	0,433	0,740	0,832	0,650	-0,447
Mn			1,000	0,602	0,427	0,851	0,574	0,817	0,315	0,835	-0,366
Cr				1,000	0,816	0,844	0,546	0,676	0,376	0,829	-0,293
Ni					1,000	0,755	0,500	0,622	0,631	0,553	-0,458
Cu						1,000	0,491	0,879	0,569	0,920	-0,413
Fe							1,000	0,354	0,460	0,469	-0,047
Cd								1,000	0,516	0,848	-0,399
As									1,000	0,435	-0,205
Hg										1,000	-0,282
B(a)P											1,000

Žemaitijos IMS											
	Pb	Zn	Mn	Cr	Ni	Cu	Fe	Cd	As	Hg	B(a)P
Pb	1,000	0,245	-0,183	0,530	0,135	0,215	0,442	0,182	0,077	0,223	0,252
Zn		1,000	0,359	0,740	0,824	0,868	0,772	0,708	0,557	0,568	0,603
Mn			1,000	-0,007	0,046	0,122	0,392	0,322	0,213	0,368	-0,196
Cr				1,000	0,802	0,871	0,831	0,492	0,673	0,418	0,363
Ni					1,000	0,924	0,557	0,390	0,659	0,302	0,504
Cu						1,000	0,781	0,516	0,659	0,349	0,405
Fe							1,000	0,689	0,574	0,557	0,210
Cd								1,000	0,142	0,907	0,297
As									1,000	0,046	0,272
Hg										1,000	0,153
B(a)P											1,000

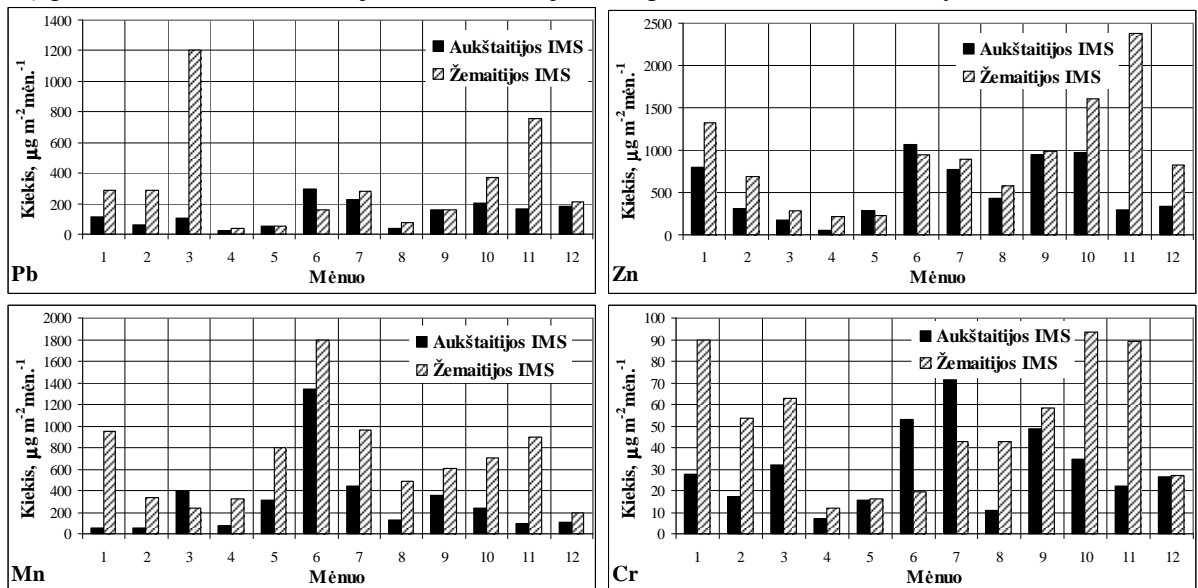
Tamsiau pažymėtos vertės rodo patikimesnį nei 95% koreliacinį ryšį.

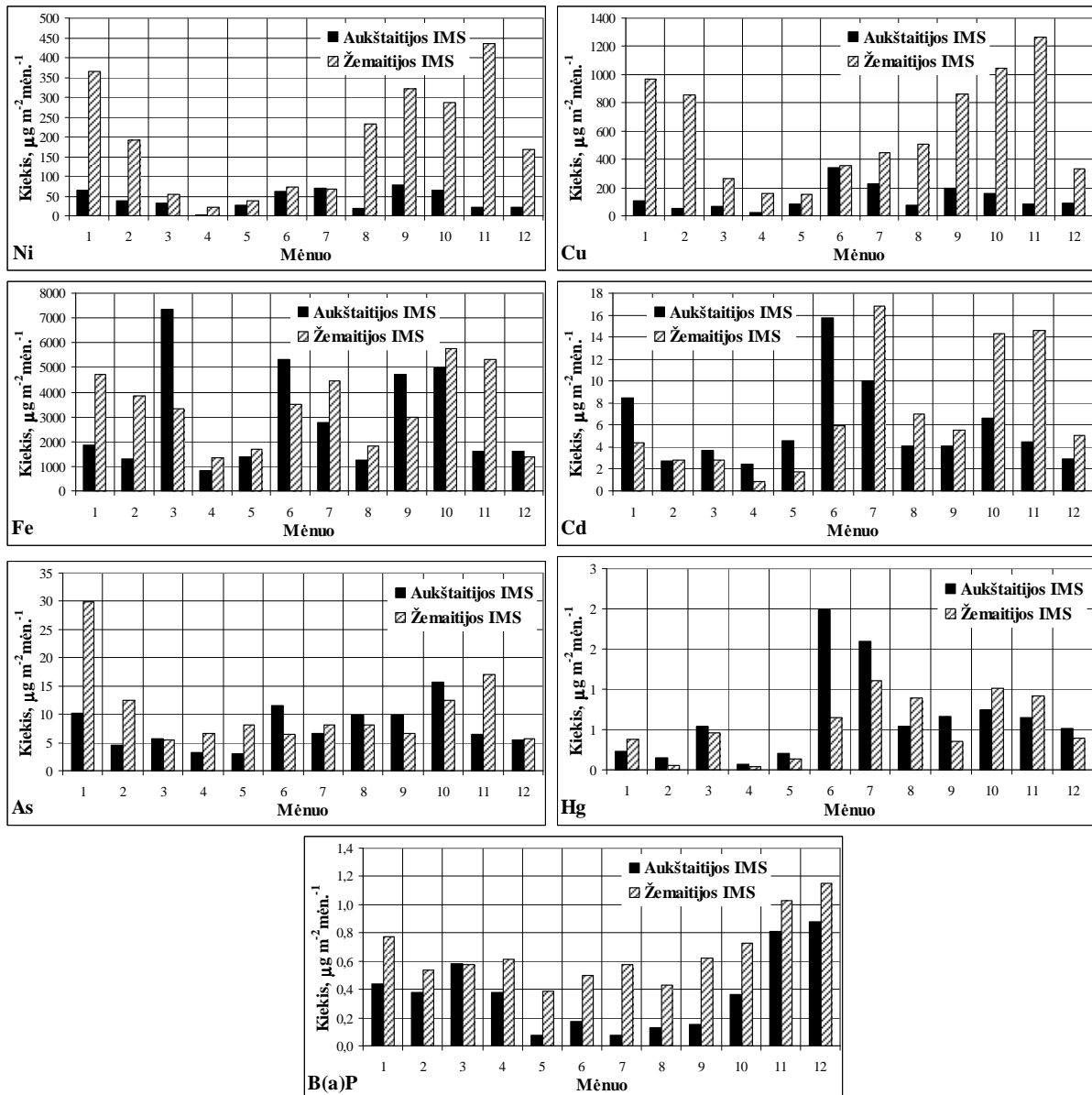
Paveiksle 3.1 pateikta sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno koncentracijos krituliuose metinė eiga., o paveiksle 3.2 pateikta sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno kiekių $\mu\text{g}/\text{m}^2$ per mėnesį, iškritusių su krituliais, metinė eiga.





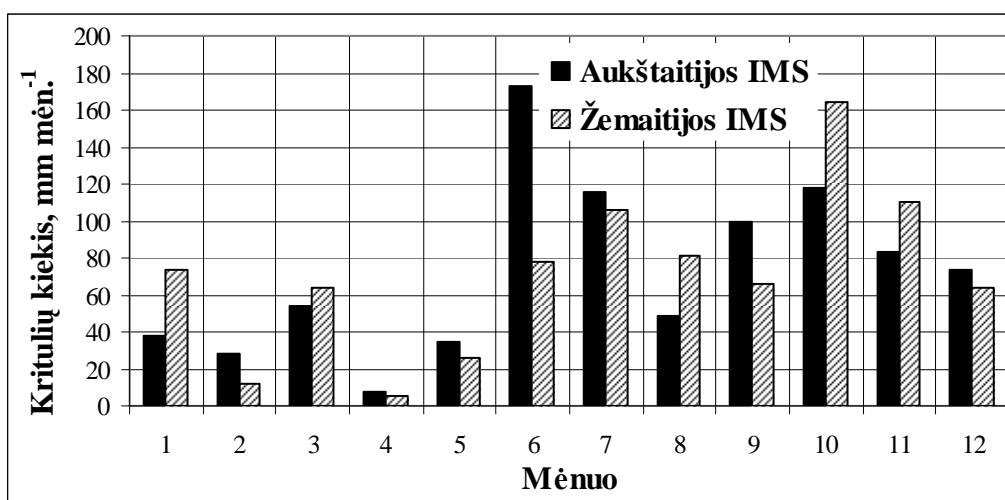
Pav. 3.1. Vidutinė mėnesinė Pb, Zn, Cr, Ni, Cu, Cd, As, Fe, Mn, Hg ir B(a)P koncentracija ($C, \mu\text{g l}^{-1}$) krituliuose Žemaitijos ir Aukštaitijos integruoto monitorinio stotyse 2009 m.





Pav. 3.2. Iškritę Pb, Zn, Cr, Ni, Cu, Cd, As, Fe, Mn, Hg ir B(a)P mėnesiniai kiekiai (mg) į žemės paviršiaus kvadratinį metrą Žemaitijos ir Aukštaitijos IM stotyse 2009 m.

Matyti, kad atskiriems elementams sunkiųjų metalų koncentracijos krituliuose mėnesinės vertės išsidėsčiusios gana netolygiai tiek laiko, tiek ir stočių atžvilgiu, kai, tuo tarpu, toks nesutapimas tarp sunkiųjų metalų kiekių, iškritusių į m^2 per mėnesį yra mažesnis. Paveikslėlyje 3.3 yra pateikti vidutiniai mėnesiniai kritulių kiekiai abiejose stotyse. Iš 3.2-3 pav. matyti, kad sunkiųjų metalų kiekiai, iškritę į m^2 per mėnesį abiejose stotyse pasiskirstę panašiai, kaip ir kritulių kiekiai. Iš 3.5 lentelės duomenų ir 3.2 - 3 pav. matyti, kad lemiamą įtaką žemės paviršiaus apkrovai sunkiaisiais metalais turi krituliai, ką rodo ir darbo [4] duomenys.



Pav. 3.3. Vidutiniai mėnesiniai kritulių kiekiai Aukštaitijos ir Žemaitijos IMS.

Koreliacijos koeficientų tarp sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno kiekių iškritusių su krituliais bei koncentracijos krituliuose verčių dydžiai pateikti 3.6 lentelėje.

3.6 lentelė. Koreliacijos koeficientai tarp sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno kiekių iškritusių su krituliais bei koncentracijos krituliuose verčių.

Elementas	Žemaitijos IMS	Aukštaitijos IMS
Pb	0,870	-0,278
Zn	0,394	0,136
Mn	0,498	0,155
Cr	0,417	-0,262
Ni	0,732	0,243
Cu	0,436	-0,267
Fe	-0,083	0,153
Cd	0,840	-0,167
As	0,433	-0,261
Hg	0,717	0,714
B(a)P	-0,063	0,308

Kaip matoma iš atliktų tyrimų rezultatų benz(a)pireno koncentracija kito plačiame intervale $0,010-0,047\mu\text{g.l}^{-1}$ Aukštaitijos IMS krituliuose, bei intervale $0,04-0,123\mu\text{g.l}^{-1}$ Žemaitijos IMS krituliuose. Vidutinė benz(a)pireno koncentracija, paskaičiuota pagal kritulių kiekį, Aukštaitijos IMS buvo nustatyta lygi $0,010 \pm 0,013\mu\text{g.l}^{-1}$, o Žemaitijos IMS - $0,022 \pm 0,034\mu\text{g.l}^{-1}$. Benz(a)pireno srautas į žemės paviršių buvo didesnis Žemaitijos IMS. Jis kito nuo $0,384\mu\text{g m}^{-2}\text{ mėn}^{-1}$ iki $1,153\mu\text{g m}^{-2}\text{ mėn}^{-1}$, esant vidutinei mėnesinei vertei $0,660 \pm 0,230\mu\text{g m}^{-2}\text{ mėn}^{-1}$. Benz(a)pireno srautas Aukštaitijos IMS monitoringo stotyje kito nuo $0,075$ iki $0,875\mu\text{g m}^{-2}\text{ mėn}^{-1}$, esant vidutinei srauto vertei $0,368 \pm 0,273\mu\text{g m}^{-2}\text{ mėn}^{-1}$. Atitinkamai metinė žemės

paviršiaus apkrova benz(a)pirenu Aukštaitijos IMS buvo lygi $4,421 \mu\text{g m}^{-2}$, o Žemaitijos monitoringo stotyje ji buvo 44,2% didesnė ir lygi $7,922 \mu\text{g m}^{-2}$. Abiejose stotyse buvo išreikštas teršalų kaitos sezoniškumas: mažiausios benz(a)pireno koncentracijos krituliuose ir jo srautas į žemės paviršių buvo nustatyti vasaros metu (gegužės-rugsėjo mėnesiais), o didžiausios žiemos metu (spalio-kovo mėnesiais), kas yra susiję su policiklinių aromatinių angliavandenilių taršos šaltinių suintensyvėjimu kūrenimo sezono metu. Benz(a)pireno srauto į žemės paviršių kaita priklausomai nuo sezoniškumo yra pateikta 7 lentelėje. Matoma, kad Aukštaitijos IMS benz(a)pireno mėnesinis srautas, o tuo pačiu ir žemės paviršiaus apkrova dėl namų šildymo šalto sezono metu yra padidėjusi apie 78%, o Žemaitijos IMS tik apie 35%, kas rodo tų stočių neadekvatą išsidėstymą policiklinių aromatinių angliavandenilių taršos šaltinių atžvilgiu.

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

Šaltas periodas (spalis- balandis)		Šiltas periodas (gegužė-rugsėjis)	
Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS	Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS
0,546±0,218	0,773±0,235	0,120±0,045	0,503±0,098

Matyti, kad Žemaitijos IMS yra pakankamai intensyviai įtakojama įvairių taršos šaltinių, net ir šilto sezono metu. Tokie šaltiniai, susiję su organinio kuro deginimu, kaip autotransportas, gyvenamųjų namų apšiltinimas, įvairi kita ūkinė veikla, galėtų įtakoti aplinkos taršą Žemaitijos IMS. Neatmetama galimybė Mažeikių ir Akmenės gamyklų įtakos, formuojant padidintą taršos foną šioje vietovėje.

Dauguma organinių junginių tame tarpe ir didesnio molekulinio svorio PAA yra aerozoliniai, atmosferoje susiję su dalelėmis mažesnėmis nei $1 \mu\text{m}$, be to, aerozoliniai PAA yra praktiškai netirpūs vandenyje. Jų išsivalymo iš atmosferos mechanizmai yra sudėtingi ir dar menkai ištirti. Šis tyrimas parodė, kad nėra koreliacinio ryšio tarp benz(a)pireno srauto į žemės paviršių ir kritulių kiekio ($r = -0,168 \div 0,310$, kai $n=12$). Apie tai, kad organiniai junginiai yra blogai išplaunami krituliais parodė tyrimai atlikti Vakarų Saksonijoje, o kad nėra koreliacinio ryšio tarp atmosferos kritulių kiekio ir PAA depozicijos buvo nustatyta amerikiečių, tiriant PAA iškritas Masačiuseto įlankoje [29]. Kai kuriuose darbuose yra nustatyta, kad šlapias PAA nusėdimas sudaro mažesniąją viso atmosferos srauto dalį, apie 13-16% [30]. Mūsų 3-jų metų B(a)P iškritų tyrimas Preilos foninių tyrimų stotyje parodė, kad atmosferos kritulių kiekis neturi esminės

įtakos benz(a)pireno srauto į žemės paviršių intensyvumui, išskyrus liūtinį lietų ir sniegą [26]. Panašus benz(a)pireno srautas į žemės paviršių, kaip ir Aukštaitijos IMS monitoringo stotyje, buvo nustatytas ir Preilos foninių tyrimų stotyje 2009 metais, čia jis kito nuo $0,100 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ iki $0,854 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$, esant vidutinei reikšmei $0,377 \pm 0,261 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$. Lyginant 2007, 2008 ir 2009m. benz(a)pireno srauto duomenis Preilos foninių tyrimų stotyje pastebimų esminių skirtumų nenustatyta, tas rodo benz(a)pireno srauto į žemės paviršių stabilumą Lietuvoje pastaraisiais metais.

Išvados

Žemės paviršiaus apkrova sunkiaisiais metalais buvo didesnė vakarinėje Lietuvos dalyje (Žemaitijos IMS) nei rytinėje Lietuvos dalyje (Aukštaitijos IMS). Didesnę žemės paviršiaus apkrovą vakarų Lietuvoje sunkiaisiais metalais 2009 m. lėmė tai, kad oro masės, iš kurių krituliais išplaunami sunkieji metalai, vakarų Lietuvoje yra labiau užterštos nei rytų Lietuvoje. Žemės paviršiaus apkrova gyvsidabriu didesnė rytinėje Lietuvos dalyje, ką patvirtina ir Hg koncentracijos samanose matavimai.

Analizuojant 2007 ir 2008 metų benz(a)pireno ir sunkiųjų metalų koncentracijos duomenis Aukštaitijos IMS atmosferos ore buvo stebima ryški sezoninė eiga. Šios eigos praktiškai nebuvo arba buvo tik silpnai stebima analizuojant 2007–2009 m kritulių duomenis. Pagrindinė priežastis – didelė oro masių trajektorijų kaita bei kritulių nereguliarumas.

Nustatyta, kad benz(a)pireno srautas į žemės paviršių kito nuo $0,075$ iki $0,875 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ Aukštaitijos IMS ir nuo $0,384$ iki $1,153 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ Žemaitijos IMS. Abiejose stotyse benz(a)pireno koncentracija krituliuose ir jo srautas į žemės paviršių turėjo išreikštą sezoniškumą.

Benz(a)pireno koncentracija krituliuose ir jo srautas į žemės paviršių buvo didesnis Žemaitijos IMS, kas rodo intensyvesnių benz(a)pireno šaltinių įtaką šios stoties aplinkai.

3.2 Sunkieji metalai geosistemoje

3.2.1 Sunkieji metalai dirvožemio vandenyje

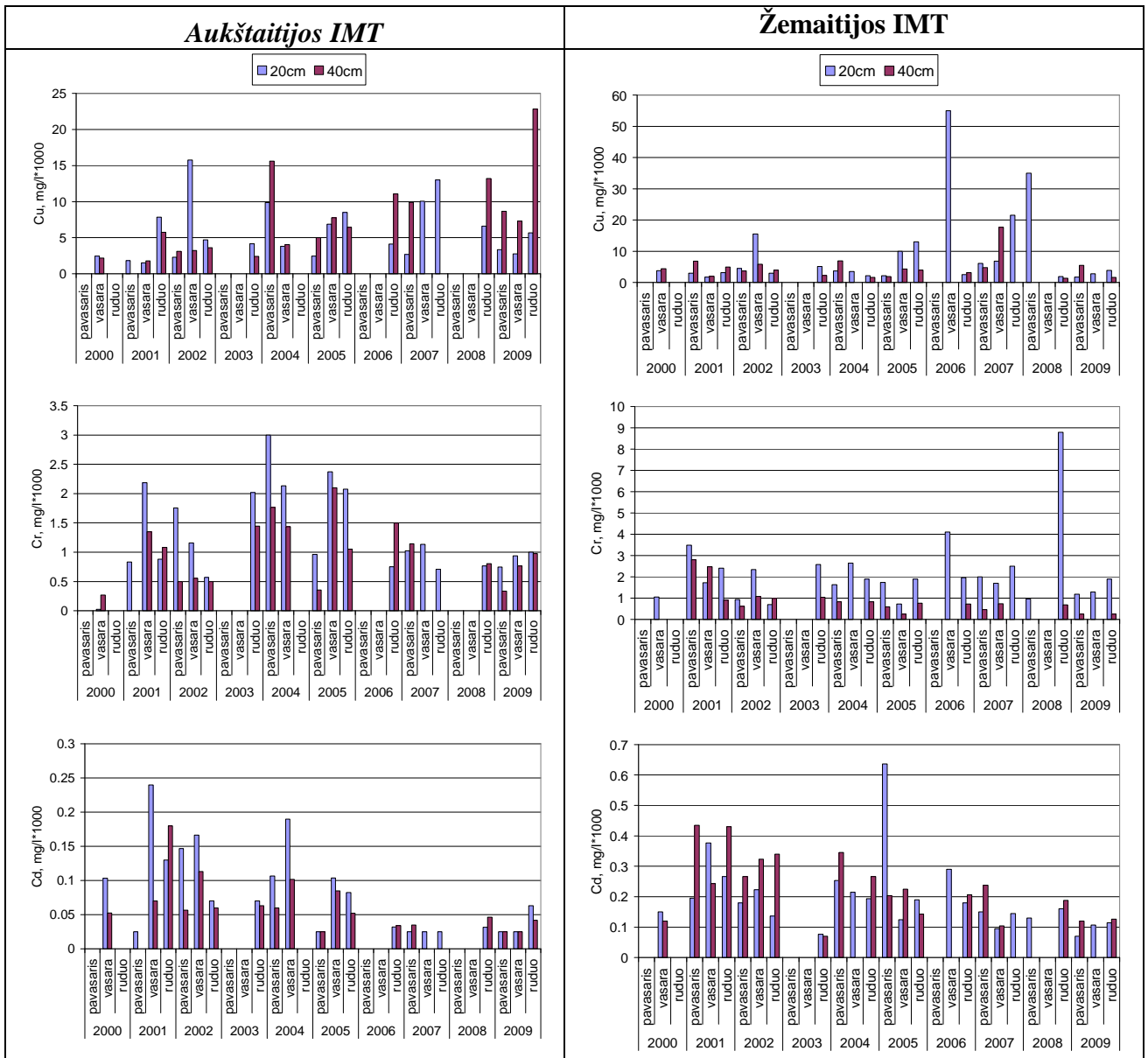
Sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio vandenyje yra stebimos nuo 2000 metų, nevienodu periodiškumu, todėl grafikais pateikiami pagal sezonus.

Pastaraisiais metais Cu, koncentracija dirvožemio vandenyje auga. Cr ir Cd koncentracijos Aukštaitijos KMS ir Cd koncentracija Žemaitijos KMS per stebėjimų laikotarpį mažėja. 2008 Cr Žemaitijos KMS pasiekė maksimalią reikšmę (3.8 pav. 1). Pagrindinę priežastį, manome, kad bus galima nustatyti, tik tęsiant tyrimus.

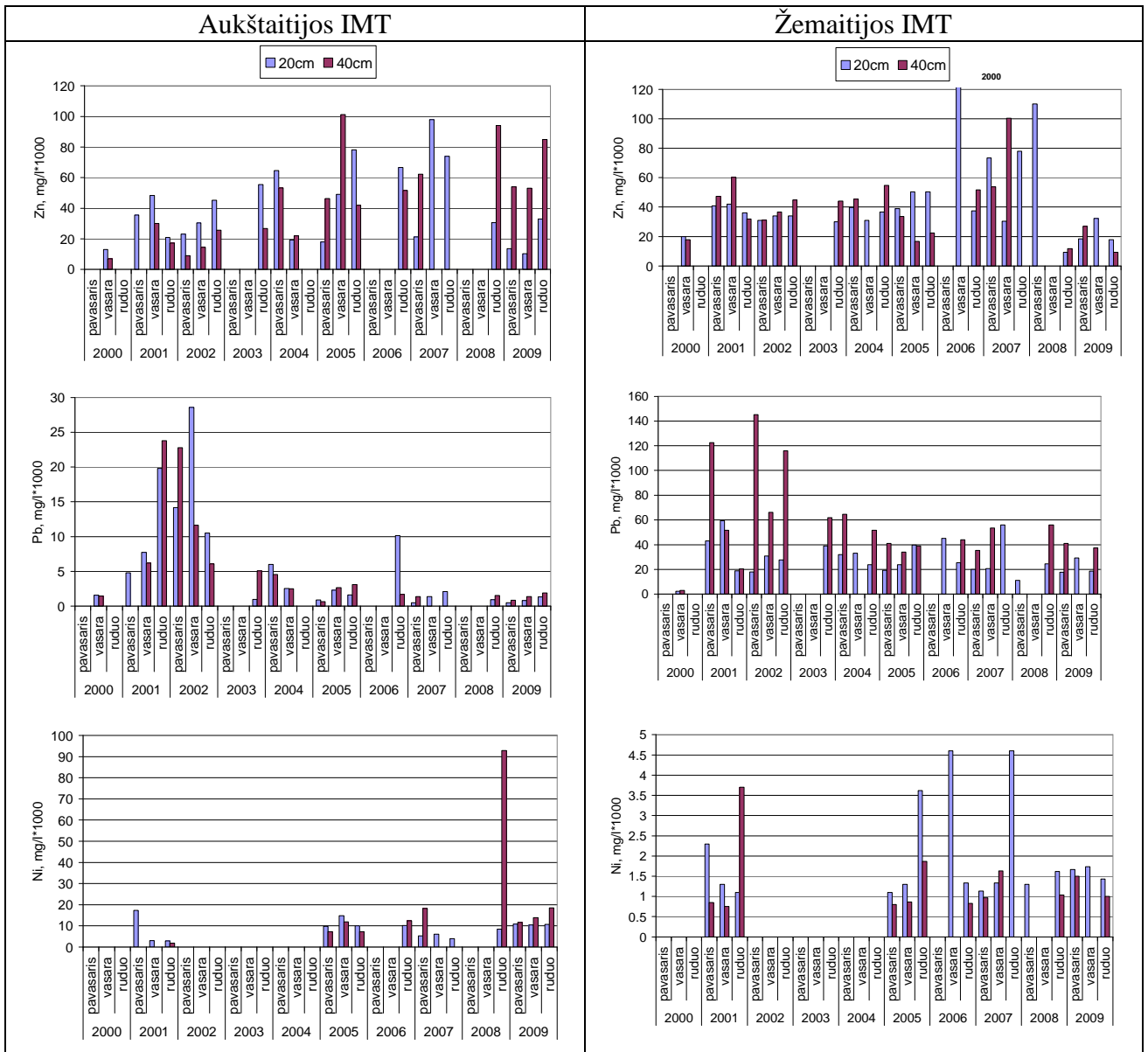
Zn koncentracija dirvožemio vandenyje pastaraisiais metais auga. Žemaitijoje 2006 metų liepos mėn. 20 cm gylyje buvo nustatyta 2000 µg/l Zn, t.y. daugiau kaip 10 kartų didesnė už stebėjimų laikotarpio vidurkį, rudenį cinko koncentracija pastebimai nesiskyrė nuo kitų stebėjimo laikotarpio vidurkio, bet 2008 metų pabaigoje šio elemento koncentracija dirvožemio vandenyje sumažėjo apie 10 kartų.

Didžiausios Pb koncentracijos būdingos 20 cm gyliui, 2001–2002 metų laikotarpiui. 2008 m. švino koncentracija Aukštaitijos stoties dirvožemio vandenyje buvo viena iš mažiausių per stebėjimo laikotarpį, o Žemaitijoje pastebima neryški augimo tendencija. Ni matuotas trumpiau nei kiti sunkieji metalai, tik 2001 ir 2005–2008 m. Duomenų kiekis nedidelis, neryškią koncentracijų augimo tendenciją galima buvo išžiūrėti Aukštaitijoje 40 cm gylyje (3.8 pav. 2), tačiau paskutiniųjų metų rudenį šio elemento koncentracija dirvožemio vandenyje padidėjo virš 5 kartų, ir tik tolimesnis tyrimas parodys tokio padidėjimo galimas priežastis.

Aukštaitijos stotyje 2009 m. vidurkį viršijo Zn, Ni ir Cu koncentracija, ypač 20–40 cm gylyje, o Žemaitijoje sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio vandenyje laikosi vidutiniame ir žemame lygyje (3.8 pav.).



3.8 pav. Sunkieji metalai dirvožemio vandenyje (1 iš 2).

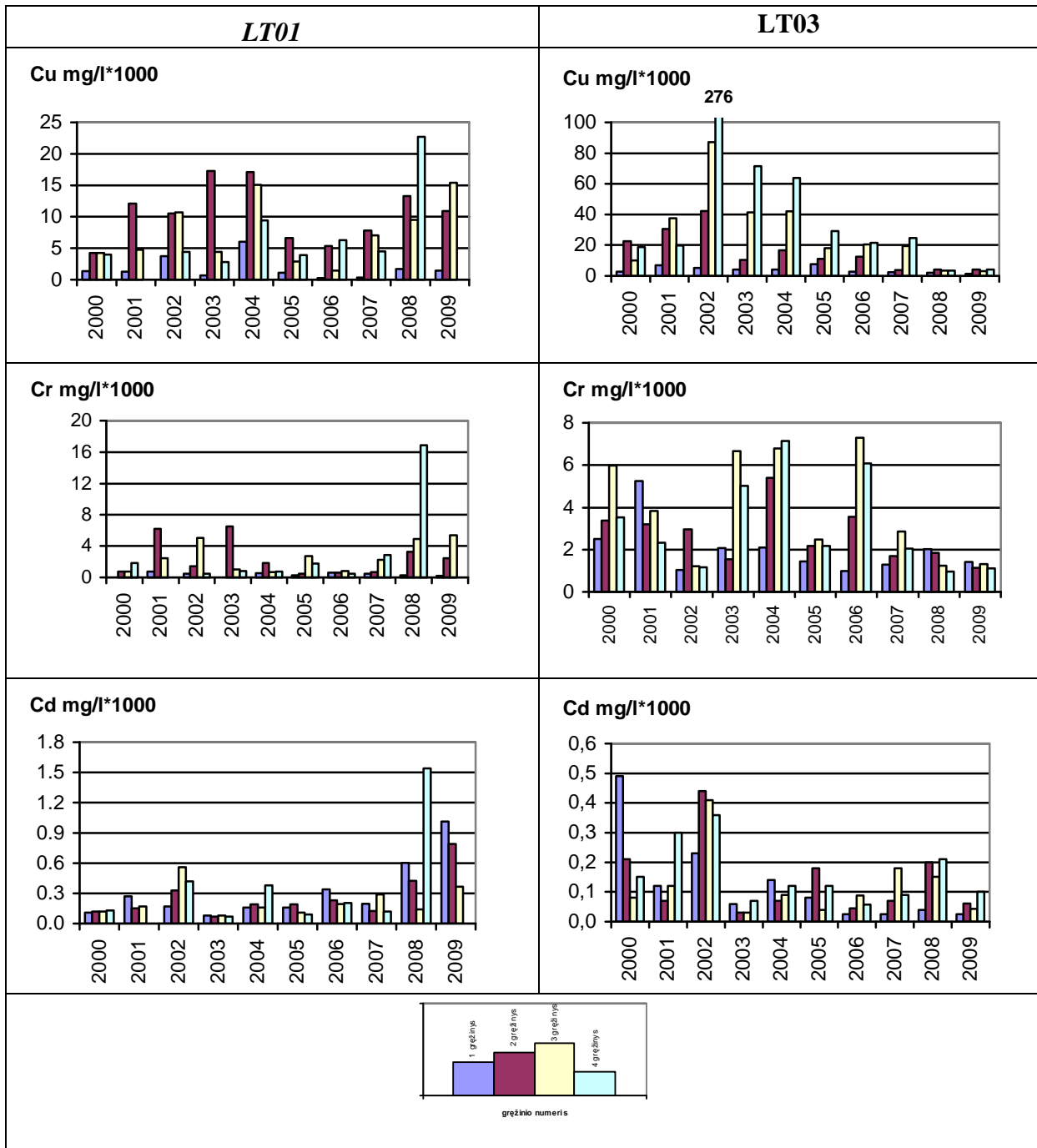


3.8 pav. Sunkieji metalai dirvožemio vandenyje 2000-2009 m. (2 iš 2).

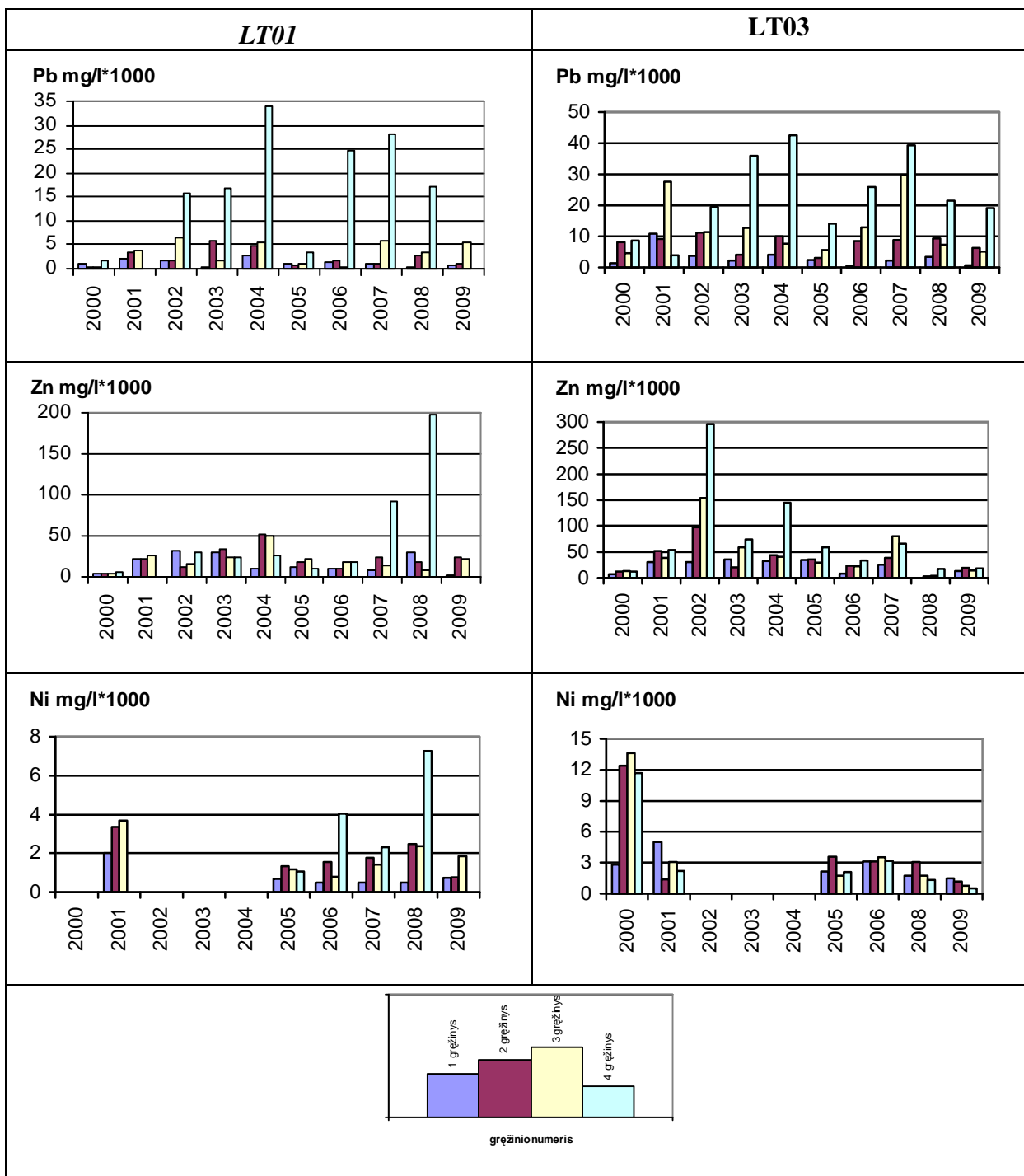
3.2.2 Sunkieji metalai gruntiniuose vandenyse

2008 m. Aukštaitijos stotyje giliausiame gręžinyje iki didžiausių reikšmių padidėjo Cu, Cr, Cd Zn, Ni koncentracija, o sekliausiajame, pirmajame, gręžinyje ypač padidėjo Cd koncentracija.

2009 m. Aukštaitijos stotyje padidėjo Cu ir Cd koncentracija, o sekliausiajame, pirmajame, gręžinyje ypač padidėjo Cd koncentracija.



3.9 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (1 iš 2).



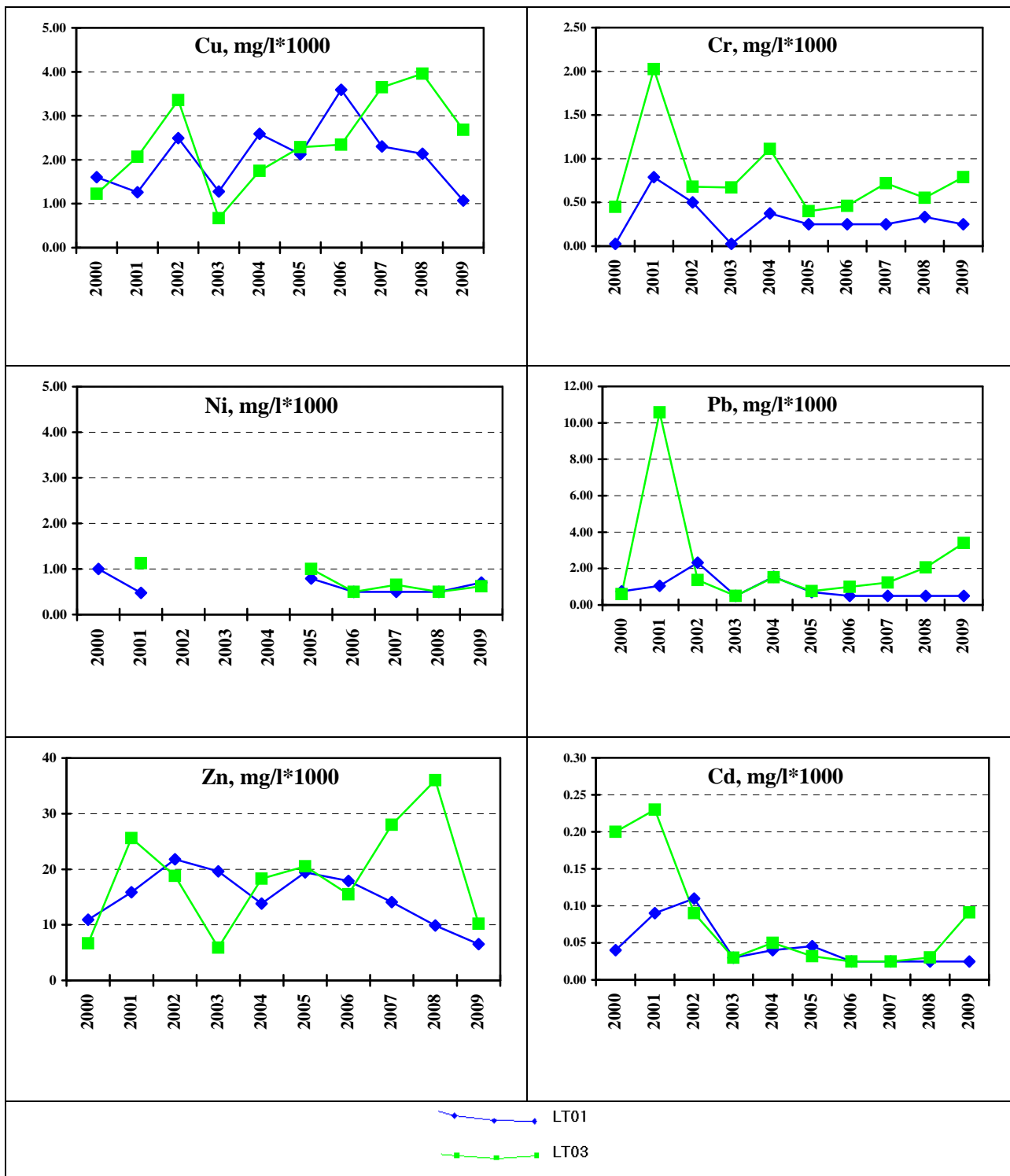
3.9 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (2 iš 2)

Žemaitijos gruntiniame vandenyje sunkiųjų metalų koncentracijos 2009 m. buvo, palyginti su 2000-2008 m. mažos. Cu ir Zn koncentracija, kaip ir 2008 m., liko mažiausia per stebėjimų laikotarpį (3.9 pav. 1-2).

Sunkiųjų metalų koncentracijų augimas Aukštaitijos IMS tolygiai vyksta giliuosiuose gręžiniuose ir tris metus iš eilės ir pasireiškia metalų rinkinio gausėjimu, todėl priežasties reikėtų ieškoti regiono ūkinės veiklos pokyčiuose.

3.2.3. Sunkieji metalai paviršiniame upelio vandenyje

Aukštaitijos KMS upelio vandenyje sunkiųjų metalų Cr, Pb, Ni ir Cd koncentracija nuo 2003 metų neturi pastebimų kitimo tendencijų, laikosi žemiausiame lygyje per stebėjimo laikotarpį. 2007 ir 2008 m., palyginti su 2005 ir 2006 m. mažėja Cu ir Zn koncentracija.



3.10 pav. Vidutiniai upelio vandens parametrai 2000-2009 metais

2008 m. Žemaitijos metais iki didžiausių nuo 2000 m. reikšmių padidėjo Cu ir Zn koncentracija. Neviršydami maksimalios stebėjimų laikotarpio reikšmės Cr ir Pb koncentracijos turi tendenciją didėti. Cd ir Ni koncentracija, laikosi minimaliame lygyje.

Aukštaitijos KMS upelio vandenyje sunkiųjų metalų Cr, Pb, Ni ir Cd koncentracija nuo 2003 metų neturi pastebimų kitimo tendencijų, laikosi žemiausiame lygyje per stebėjimo laikotarpį. 2007–2009 m., palyginti su 2005 ir 2006 m. mažėja Cu ir Zn koncentracija.

2009 m. Žemaitijos KMS sumažėjo Cu ir Zn koncentracija. Neviršydami maksimalios 2001 m. reikšmės Cr, Pb, Cd koncentracijos turi tendenciją didėti. Ni koncentracija, laikosi minimaliame lygyje (3.10 pav.).

IŠVADOS

Dideli nukrypimai nuo vidurkio būdingi Ni koncentracijai dirvožemio vandenyje Aukštaitijos monitoringo stotyje, 20–40 cm gylyje ir Žemaitijoje Cr koncentracijai 0–20 cm gylyje. Cu ir Zn koncentracijos pastaraisiais metais yra didesnės, negu stebėjimo laikotarpio pradžioje (išskyrus Žemaitijos stoties rudens duomenis). Cd ir Pb koncentracijos laikosi žemame lygyje.

2008 m. Aukštaitijos stotyje giliausiame gręžinyje iki didžiausių reikšmių padidėjo Cu, Cr, Cd Zn, Ni koncentracija, o sekiausiajame, pirmajame, gręžinyje ypač padidėjo Cd koncentracija.

Žemaitijoje sunkiųjų metalų koncentracijos daugiausia mažėjo, Cu ir Zn koncentracija buvo mažiausia per stebėjimų laikotarpį.

Sunkiųjų metalų koncentracijų augimas Aukštaitijos IMS tolygiai vyksta giliuosiuose gręžiniuose ir tris metus iš eilės ir pasireiškia metalų rinkinio gausėjimu, todėl priežasties reikėtų ieškoti regiono ūkinės veiklos pokyčiuose.

2008 m. Žemaitijos metais iki didžiausių nuo 2000 m. reikšmių padidėjo Cu ir Zn koncentracija. Neviršydami maksimalios stebėjimų laikotarpio reikšmės Cr ir Pb koncentracijos turi tendenciją didėti. Cd ir Ni koncentracija, laikosi minimaliame lygyje.

2009 m. Žemaitijos KMS sumažėjo Cu ir Zn koncentracija. Neviršydami maksimalios 2001 m. reikšmės Cr, Pb, Cd koncentracijos turi tendenciją didėti. Ni koncentracija, laikosi minimaliame lygyje. Aukštaitijos KMS upelio vandenyje sunkiųjų

metalų Cr, Pb, Ni ir Cd koncentracija nuo 2003 metų neturi pastebimų kitimo tendencijų, laikosi žemiausiame lygyje per stebėjimo laikotarpį.

3.3. Nuokritų ir su jomis į dirvožemį patenkančių metalų sezoninė dinamika

Integruoto monitoringo stočių veiklos vienas iš pagrindinių tikslų - stebėti gamtinės aplinkos komponentus ir medžiagų srautus jungiančius juos, kas sudarytų galimybę įvertinti įvairių medžiagų balansą stebimuose nedidelių upelių baseinuose. Nuokritų dinamika yra vienas iš cheminių elementų judėjimo tarpsnių ekosistemoje. Nuo jų kiekio bei užterštumo priklauso toksinių medžiagų absorbcijos intensyvumas, kuris sąlygoja įvairių medžiagų balansą, o tuo pačiu ir bendrą miško ekosistemos būklę bei produktyvumą.

Darbo tikslas: pagal tarptautinę integruoto monitoringo programą Lietuvos integruoto monitoringo stotyse (KMS) vykdyti bendrą nuokritų kasmetinės sezoninės dinamikos stebėjimus bei užterštumo sunkiaisiais metalais analizę bei vertinti vykstančius pokyčius.

3.3.1. Aukštaitijos KMS nuokritų tyrimai

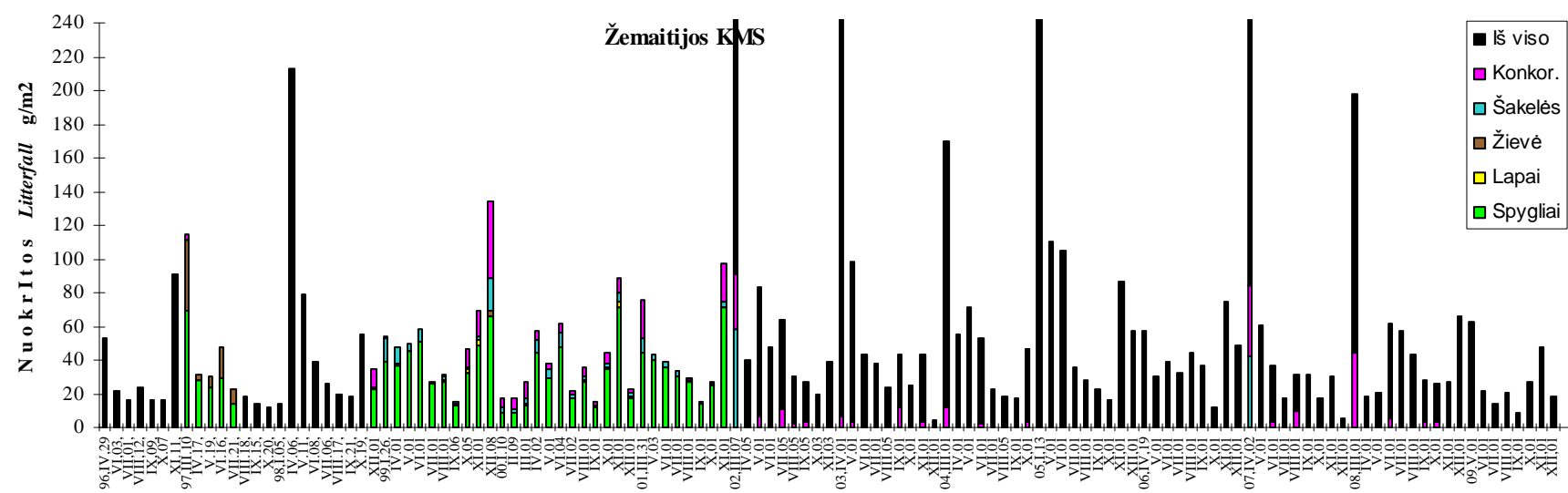
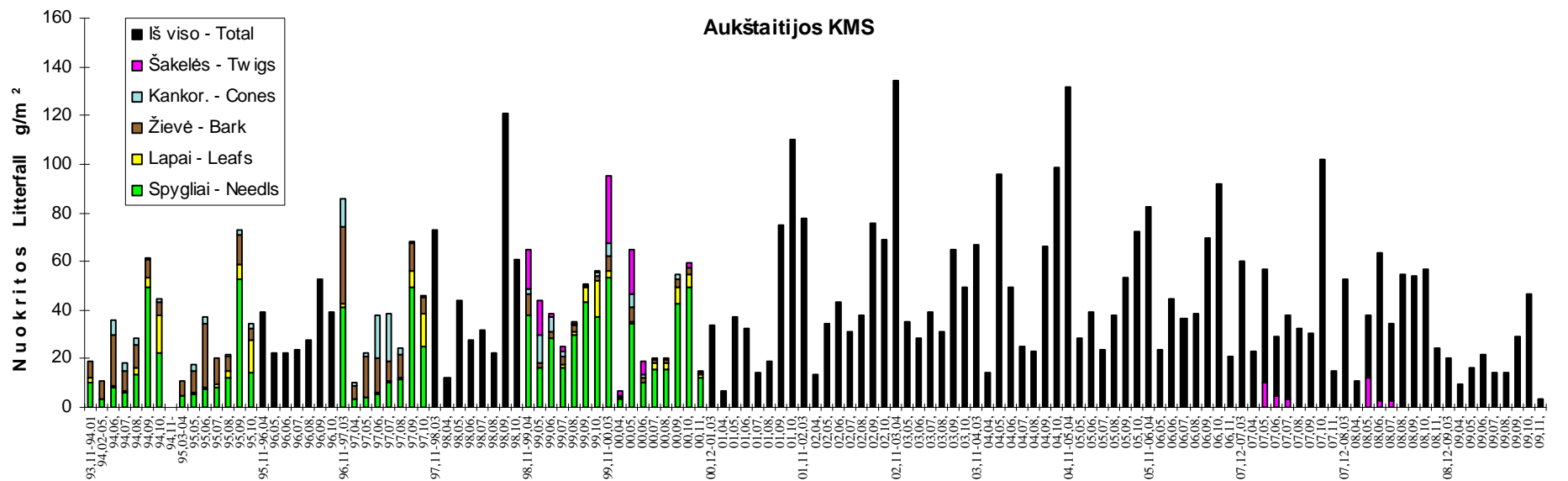
Nuokritų sezoninė dinamika

Nuokritų tyrimai Aukštaitijos KMS buvo pradėti 1993 m. lapkričio mėn. Iš pateiktų duomenų matyti, kad nuokritų susidarymo intensyvumas keičiasi metų bėgyje. Žemiausias intensyvumas registruojamas ankstyvo pavasario mėnesiais. Intensyviau nuokritos susidaro birželio mėnesį, o savo maksimumą pasiekia rugsėjo - spalio mėnesiais.

3.8 lentelė Nuokritų kiekiai Aukštaitijos KMS (1994-2007m.)

Data	Nuokritų frakcija				Iš viso
	Spygliai	Lapai	Žievė	Kankorėžiai.	
1994	113,2	25,9	64,1	13,6	216,8
1995	104,6	24,5	74,5	11,0	214,6
1996*	109,0	21,8	71,6	24,2	226,6
1997	150,3	23,0	103,4	57,0	333,7
1998*	188,7	37,6	124,0	42,0	392,3
1999	208,7	25,0	57,0	23,1	313,8
2000	227,9	22,0	73,8	16,5	340,2
2001	177,7	28,9	91,7	20,7	328,5
2002				27,5	416,5
2003				23,0	364,0
2004				28,8	422,9
2005				12,0	386,1
2006				17,0	424,7
2007				20,0	368,4
2008				18,0	332,1
2009				2,0	175,6
g/m ²	179,7	29,2	92,6	26,9	328,5
kg/ha	1797	292	926	269	3285
%	54,7	8,9	28,2	8,2	100

- - nuokritų pasiskirstymas į frakcijas interpoliuotas pagal vidutinius rezultatus (%)



3.10 pav. Nuokritų sezoninė dinamika kompleksiško monitoringo stotyse

Nustatyta, kad 2006 m. nuokritų kiekis sudarė 4250 kg/ha. Tai didžiausias nuokritų kiekis užregistruotas per visą tiriamąjį laikotarpį. 2007 m. nuokritų kiekis ženkliai sumažėjo, tačiau viršijo daugiamečių vidurkį, kuris Aukštaitijos KMS nuokritų tyrimo stotyje susidaro apie 3370 kg/ha nuokritų. 2008 m. nuokritų kiekis sudarė 3320 kg/ha. Tai daugiamečių nuokritų kiekio vidurkis užregistruotas per visą tiriamąjį laikotarpį. 50% susidariusių nuokritų sudaro spygliai, 30% pušies žievė ir maždaug po 10% kankorėžiai ir beržų lapai.

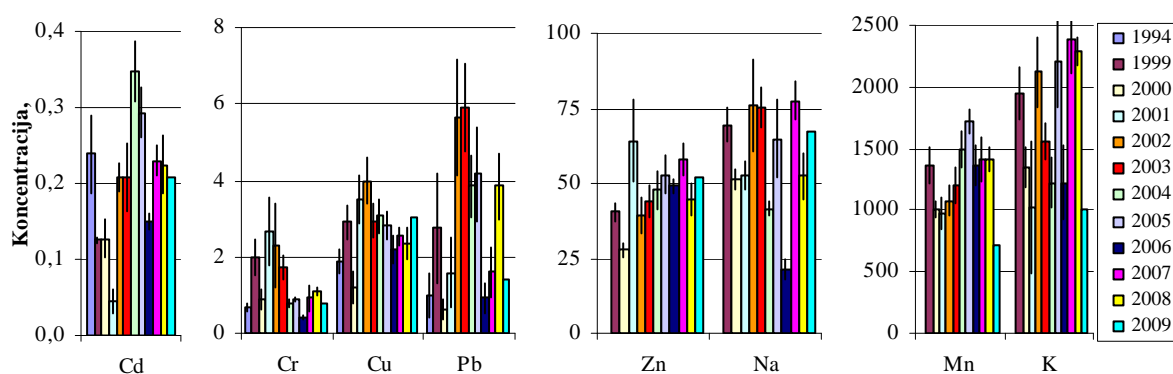
2009 m. nuokritų kiekis sumažėjo beveik 2 kartus, pasiekdamas minimumą per visą tiriamąjį laikotarpį – 1756 kg/ha.

Metalu koncentracijų nuokritose sezoninė dinamika

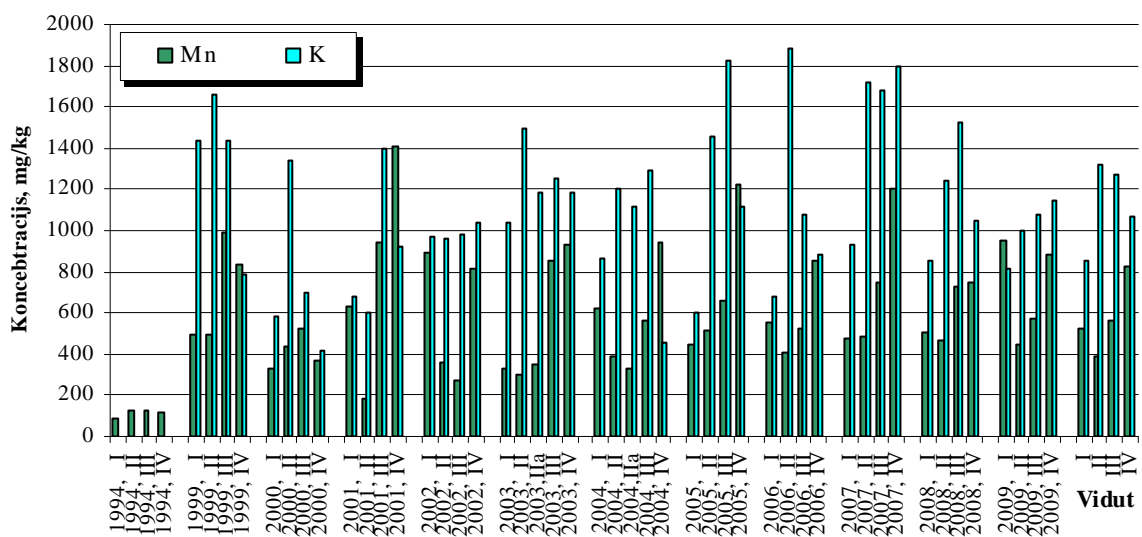
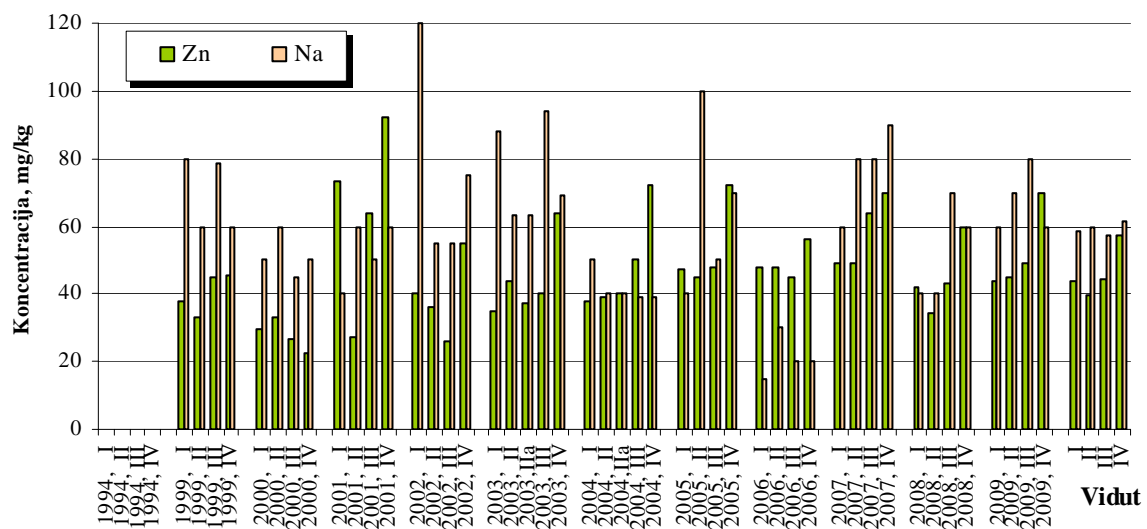
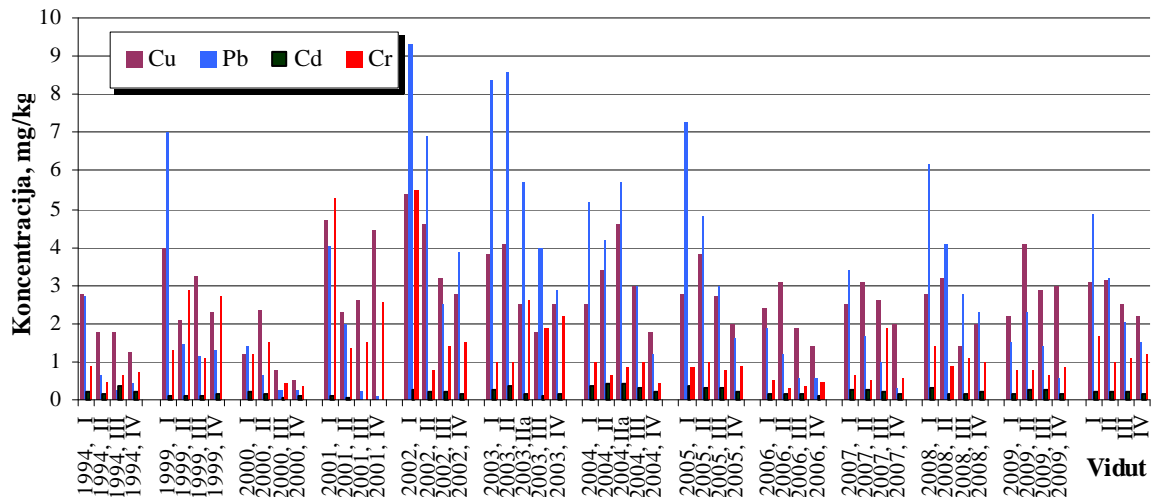
Lapijos cheminės sudėties tyrimas yra viena iš efektyviausių priemonių medžių stresui, sukkelto aplinkos užteršimo, įvertinti. Tokio tyrimo metu nustatoma kaip maistinių, taip ir toksiškų elementų kiekis spygliuose ir lapuose. Lyginant gyvų lapų ir spyglių cheminę sudėtį su nuokritų sudėtimi įvertinamas maistinių medžiagų srautas bei medžių būklė maistinių elementų kiekio atžvilgiu (UN-ECE, 1998).

Maistinių ir toksinių medžiagų apytaka su nuokritomis vaidina lemiamą vaidmenį energetiniuose srautuose tarp augalų ir dirvožemio. Būtent, nuokritos, kurios kaupiasi dirvožemio viršutiniame sluoksnyje, tampa augalams pagrindiniu maistinių medžiagų šaltinių. Dėl šios priežasties jų cheminės sudėties tyrimas tampa išskirtiniu, analizuojant miško ekosistemų maistinių ir toksinių elementų balansą.

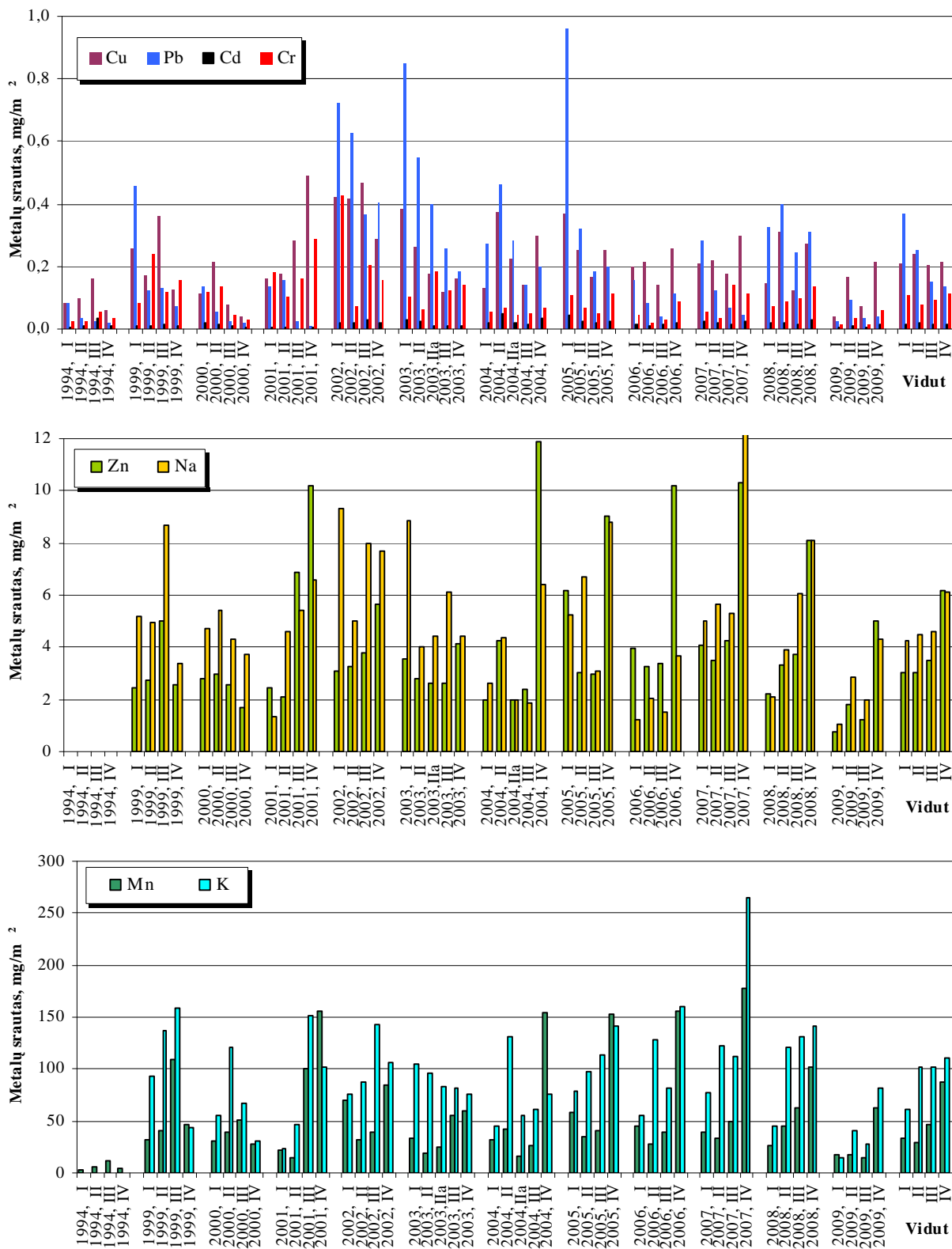
Analizuojant Aukštaitijos KMS nuokritų cheminę sudėtį, nustatyta statistiškai reikšminga ($p < 0,05$) sezoniškumo įtaka tirtų metalų koncentracijoms (3.11 pav.). Tokių tirtų metalų, kaip švino (Pb), vario (Cu), chromo (Cr) koncentracijos nuokritose yra didžiausios žiemos mėnesiais, t.y. gruodį, sausį, vasarį (I). Nuokritos per šį laikotarpį surenkamos anksti pavasarį, kai rinktuvuose pilnai nutirpsta sniegas. Manome, kad dėl šios priežasties, metalų koncentracijoms didesnę įtaką gali turėti krituliai, t.y. palaipsniui tirpstantis sniegas.



3.12 pav. Metalų metinių koncentracijų nuokritose kaita Aukštaitijos KMS 1994-2009 m.



3.11 pav. Metalų koncentracijų nuokritose sezoninė dinamika 1994-2008 m.



3.13 pav. Metalų koncentracijų srautų su nuokritomis sezoninė dinamika 1994-2008 m.

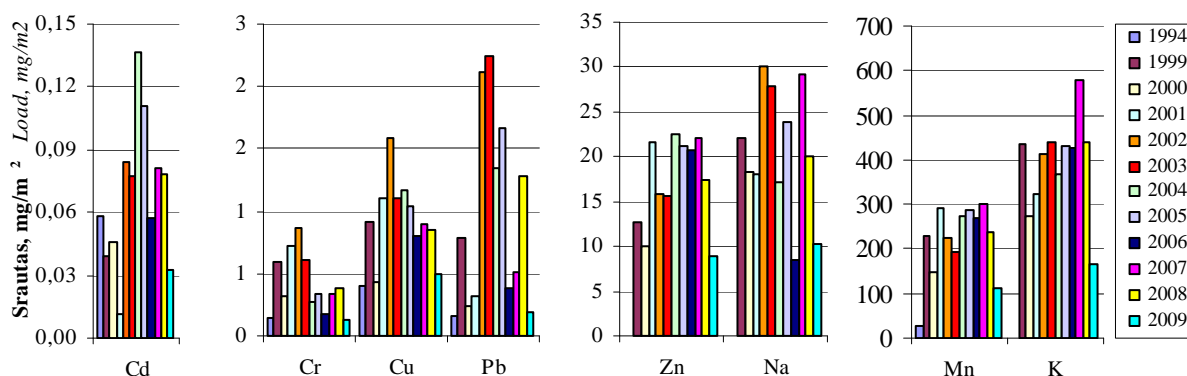
Tokių elementų, kaip cinko (Zn), natrio (Na) ir mangano (Mn) koncentracijų nuokritose sezoniškumas neturi ryškių tendencijų, tačiau mažesnės koncentracijos atrodo, kad yra būdingesnės žiemos mėnesių nuokritoms. Ypač tai galima išvelgti, tiriant paskutiniųjų metų sunkiųjų metalų nuokritose sezoniškumą. Kalio (K) koncentracijų nuokritose kaitoje matyti, kad didžiausi šio elemento kiekiai užfiksuoti pavasario ir vasaros mėnesiais (II_III).

2009 m. ženkliai sumažėjo ir visų metalų koncentracijos nuokritose.

Apibendrinus tirtų metalų koncentracijas nuokritose 1994-2009 m. laikotarpiu, nustatyta, kad per tiriamąjį laikotarpį ženkliai didėjo tik K koncentracijos nuokritose (iki 2009 m.) (3.13 pav.). Kitų elementų koncentracijos nuokritose išliko stabilios ar turėjo tendencija mažėti (Cr, Pb, Cu).

Metallų srauto su nuokritomis į dirvožemio paklotę kaita

Išanalizavus Aukštaitijos KMS nuokritų cheminę sudėtį, toliau tyrėme tirtų metalų srautus su nuokritomis į dirvožemio paklotę. Gauti rezultatai pateikti 3.14 paveiksluose. Iš pateiktų duomenų matyti aiškus tik tokių tirtų metalų, kaip Pb, Mn, Na ir K srautų su nuokritomis sezoniškumas, kurio pobūdis analogiškas šių metalų koncentracijų nuokritose sezoniškumui. Likusių metalų sezoniškumo kaita nėra statistiškai reikšminga ($p < 0,05$).



3.14 pav. Metiniai metallų srautai su nuokritomis Aukštaitijos KMS 1994-2007 m.

Metinių metallų srautų su nuokritomis analizė parodė, kad metallų srautai kito analogiškai jų koncentracijoms nuokritose, o padidėjęs nuokritų kiekis neturėjo reikšmingesnės įtakos šių metallų srautų tendencijai.

2009 m. metallų srautų sumažėjimui su nuokritomis esminės reikšmės turėjo ne tik koncentracijų nuokritose esminis sumažėjimas, bet ir pačių nuokritų kiekio sumažėjimas.

3.3.2. Žemaitijos KMS nuokritų tyrimai

Nuokritų sezoninė dinamika. Žemaitijos KMS nuokritų sezoninė dinamika pradėta registruoti tik 1995m. pabaigoje. Nuokritų sezoninės dinamikos rezultatai pateikti 3.9 lentelėje. Daugiausiai nuokritų susidaro rudens-žiemos mėnesiais. Vasarą, nuokritų intensyvumas ne toks

žymus, kaip Aukštaitijos KM stotyje. Priežastis ta, kad Žemaitijos nuokritų stebėjimo stotis įsteigta eglėne, o eglės spygliakritis turi tik vieną ryškų periodą.

Iš esmės skiriasi ir nuokritų pasiskirstymas į frakcijas. Net 77% visų nuokritų sudaro eglės spygliai. Medžių žievės nuokritose praktiškai nerasta. Tai sąlygoja eglės žievės struktūra. Skirtingai negu pušies, eglės žievė neatsilupa didelėmis, lengvomis plokštelėmis, kurias vėjas galėtų pernešti didesnę atstumą. Eglės žievė nors ir atsinaujina, tačiau tik mažais storais žvyneliais, kurie nukrenta prie kelminės kamieno dalies.

Žemaitijos KMS nuokritose žymią dalį sudaro sausos, smulkios eglės šakelės. Jos sudaro apie 14% visų nuokritų (3.9 lentelė). Kankorėžių kiekis nuokritose priklausomai nuo metų, svyruoja nuo 0 iki 13%.

3.9 lentelė Nuokritų kiekiai Žemaitijos KMS (1996-2009m.)

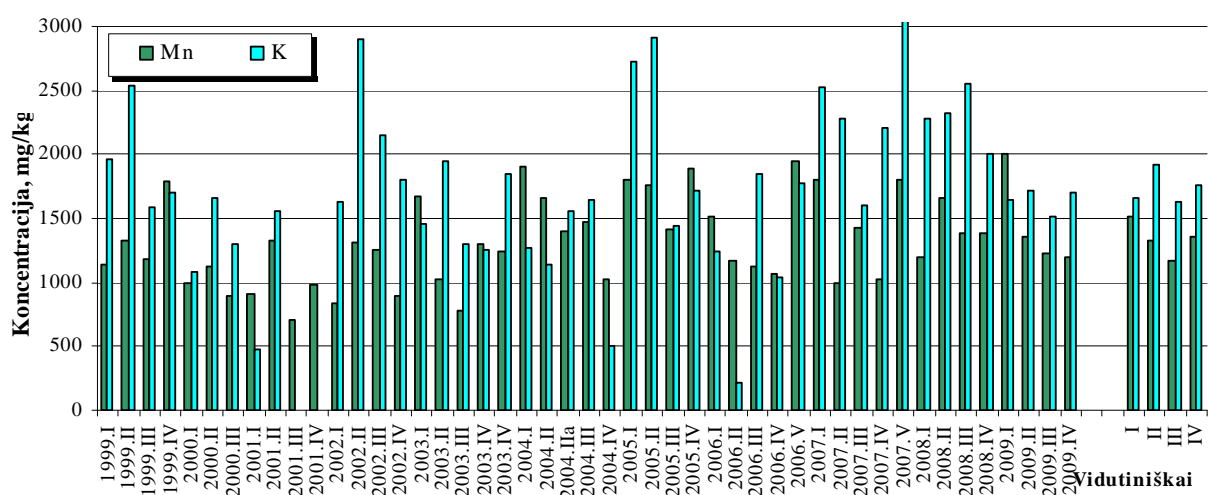
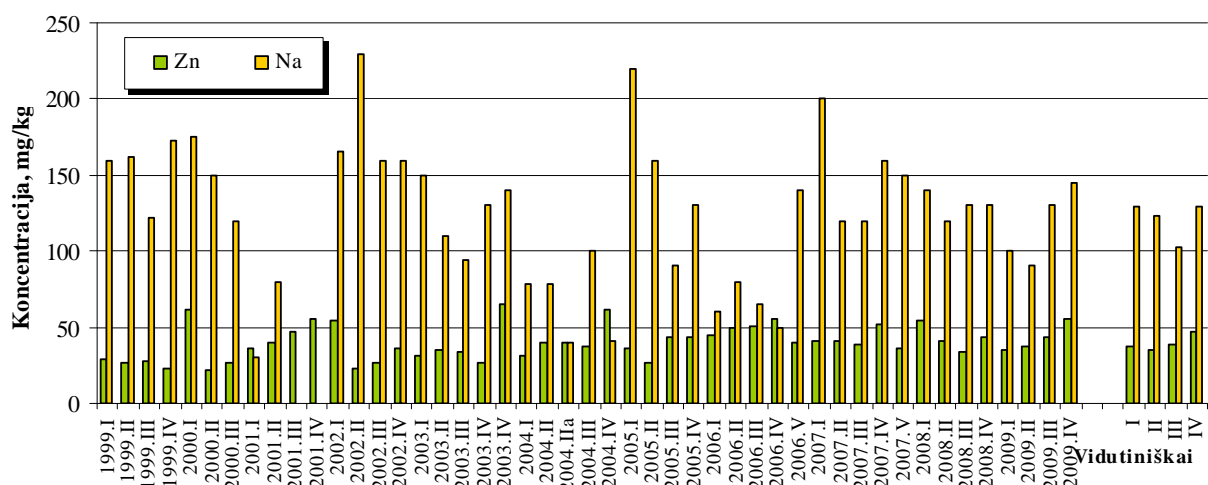
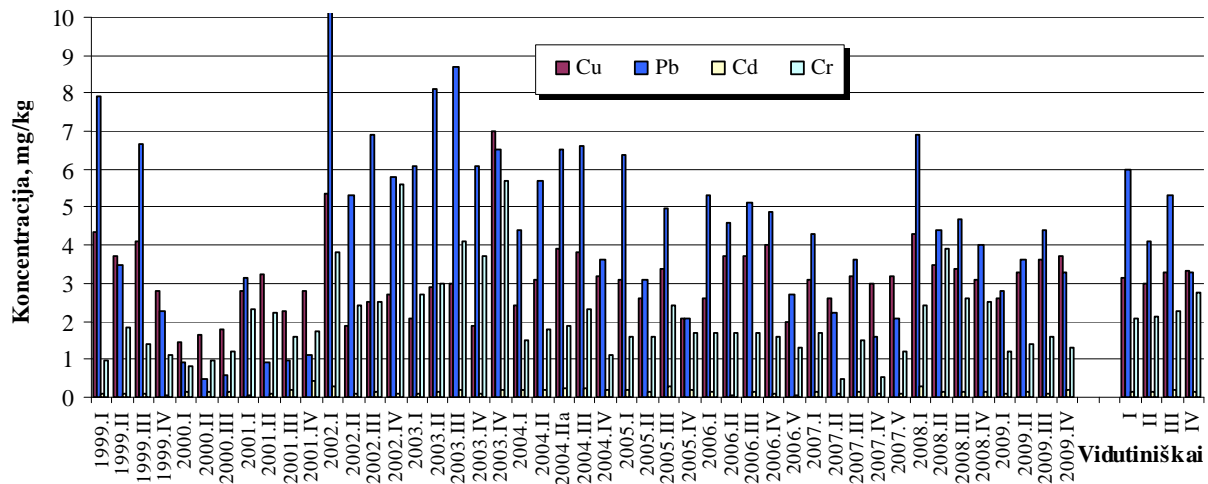
Data	Nuokritų frakcija				Iš viso
	Spygliai	Lapai	Šakelės	Kankorėžiai.	
1996*	-	-	-	-	238,4
1997	194,2	0	93,3	4,3	291,8
1998					496,5
1999	341,7	5,8	48,0	39,6	435,1
2000					411,3
2001			23,3	48,7	360,4
2002				54,7	623,0
2003				25,8	593,0
2004				18,4	436,9
2005					755,06
2006				28,0	375,5
2007			42	54,0	481,8
2008				56,0	488,3
2009				16,0	219,7
g/m ²	351,9	4,1	62,6	34,9	453,4
kg/ha	3519	41	626	349	4534
%	77,6	0,9	13,8	7,7	100

* - 1996 m. duomenys nepanaudoti nustatant vidutinius nuokritų kiekius.

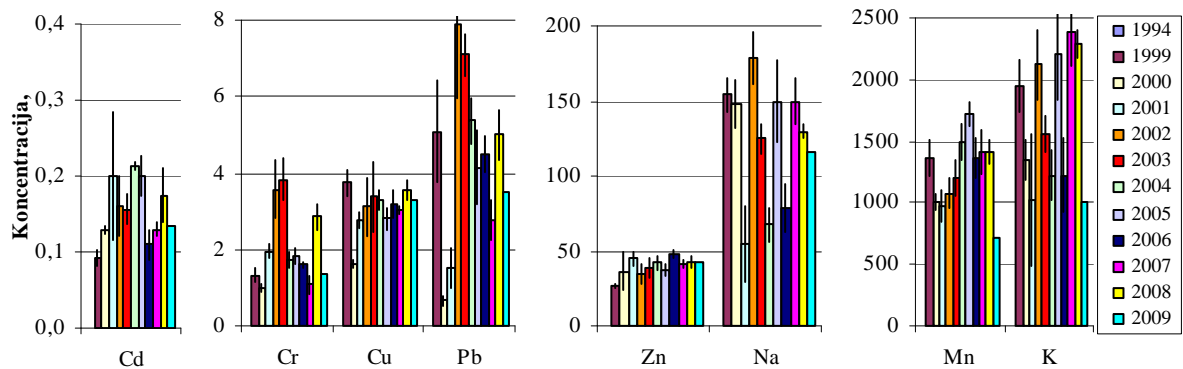
Nustatyta, kad 2008 m. nuokritų kiekis Žemaitijos KMS beveik siekė daugiamečių vidurkį, o 2009 buvo net iki 2,2 karto mažesnis.

Metalu koncentracijų nuokritose sezoninė dinamika

Analizuojant Žemaitijos KMS nuokritų cheminę sudėtį, statistiškai reikšmingos ($p < 0,05$) sezoniškumo įtakos, tokios kaip Aukštaitijos KMS, tirtų metalų koncentracijoms nustatyti nepavyko.



3.15 pav. Metalų koncentracijų nuokritose sezoninė dinamika 1999-2009 m.



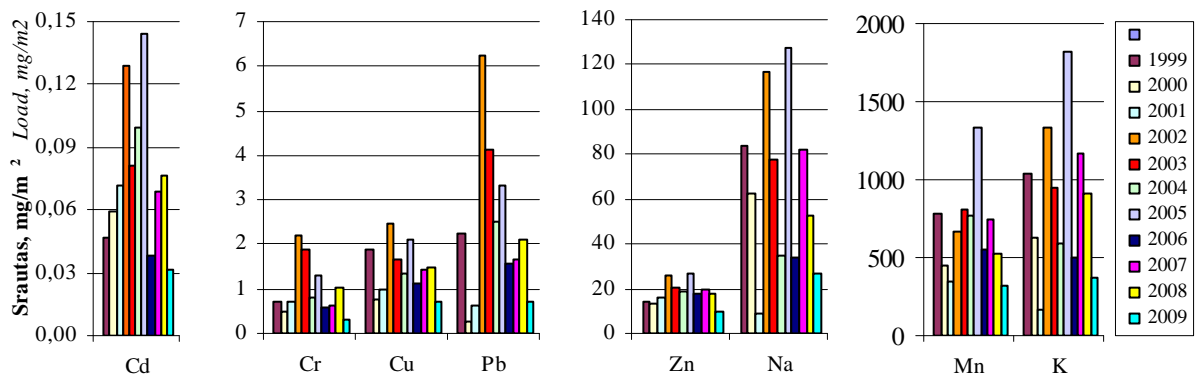
3.16 pav. Metalų metinių koncentracijų nuokritose kaita Žemaitijos KMS 1999-2009 m.

Metinių koncentracijų kitimas 1999-2008 m. laikotarpiu analizė rodo, kad tirtų metalų didžiausios koncentracijos buvo būdingos 2002 m. nuokritoms. Nuo šių metų, kaip ir Aukštaitijos KMS, reikšmingai mažėjo tik Pb Cr koncentracijos. Kalio koncentracijoms buvo būdinga augimo tendencija, tik ne tokia reikšminga kaip Aukštaitijos KMS. Kitų metalų koncentracijos nuokritose išliko stabilios.

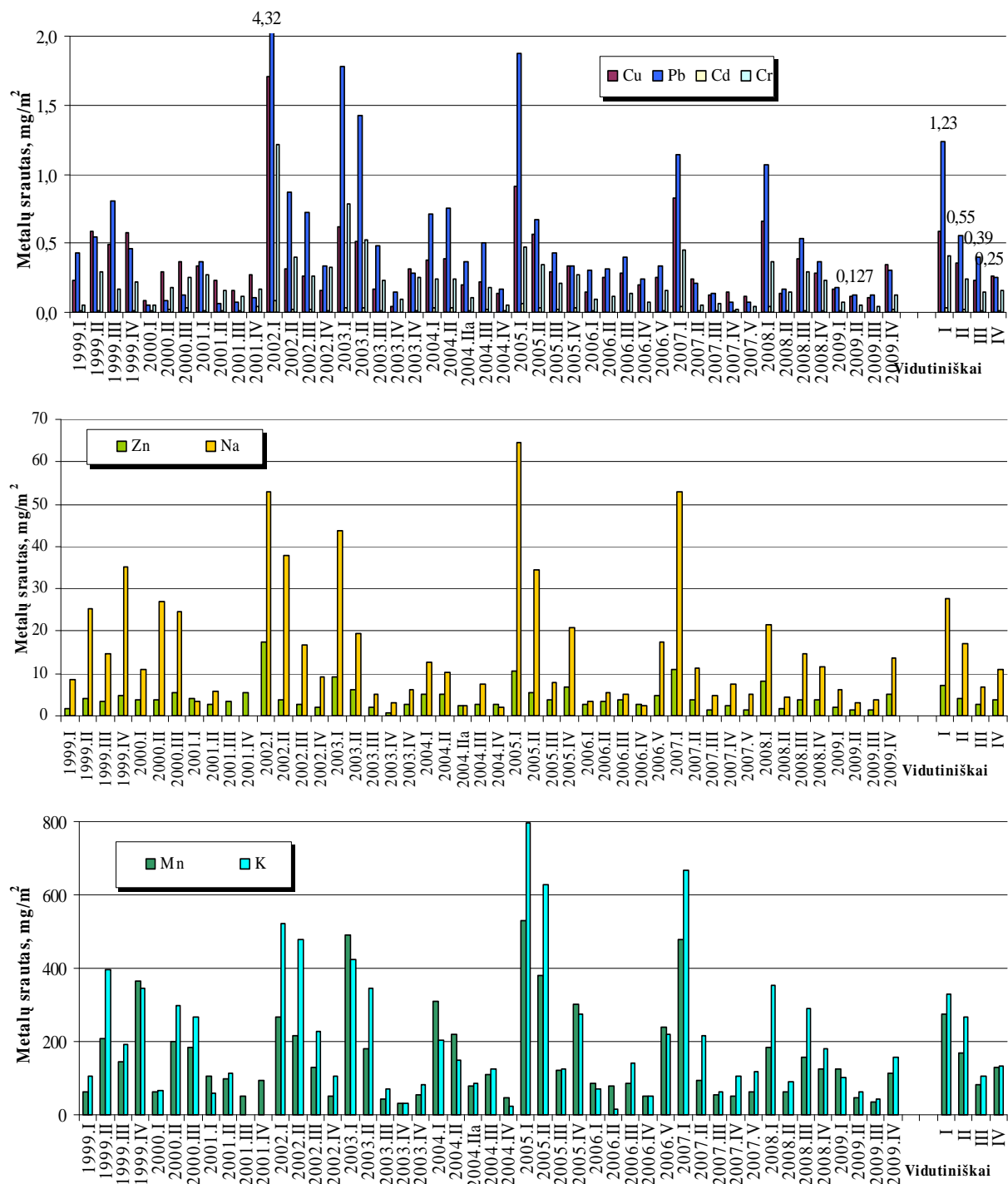
2009 m. stabilios koncentracijos nuokritose buvo tik Cd Cu, Zn, o likusių elementų koncentracijos nuokritose sumažėjo.

Metalų patekimas į dirvožemį su nuokritomis kaita

Metalų srautų su nuokritomis sezoninės dinamikos analizė rodo, kad sezoniškumas turėjo reikšmingos įtakos metalų srautams su nuokritomis (3.17 pav.). Daugelio tirtų elementų didžiausi srautai užfiksuoti žiemos (I) ir kiek mažesni – pavasario laikotarpiais (II). Išsiskyrė tik mažiausių srautų laikotarpiai. Jei švino mažiausias srautas buvo registruojamas rudens laikotarpiu, tai likusių metalų – vasaros (III) laikotarpiu. Pagrindinis veiksnys lėmęs tokių tirtų metalų sezoniškumą buvo nuokritų kiekio sezoniškumas, o ne metalų koncentracijos jose.



3.18 pav. Metalų metinių srautų su nuokritomis kaita Žemaitijos KMS 1999-2008 m.



3.17 pav. Metalų koncentracijų srautų su nuokritomis sezoninė dinamika 1999-2008 m.

Metinių tirtų metalų srautų su nuokritomis analizė parodė, kad dėl didelių nuokritų kiekio 2002 m. ir 2005 m., tirtų metalų srautai į ploto vieneta Žemaitijos KMS teritorijoje buvo didžiausi. Paskutiniaisiais metais, sumažėjus nuokritų kiekiui, sumažėjo ir tirtų metalų srautai su jomis į dirvožemio paklotę, ypač 2009 m.

3.10 lentelė. Metalo srauto su nuokritomis (mg/m²) koreliacinis ryšys su jo koncentracija nuokritose (mg/kg) ir nuokritų kiekiu (kg/m²)

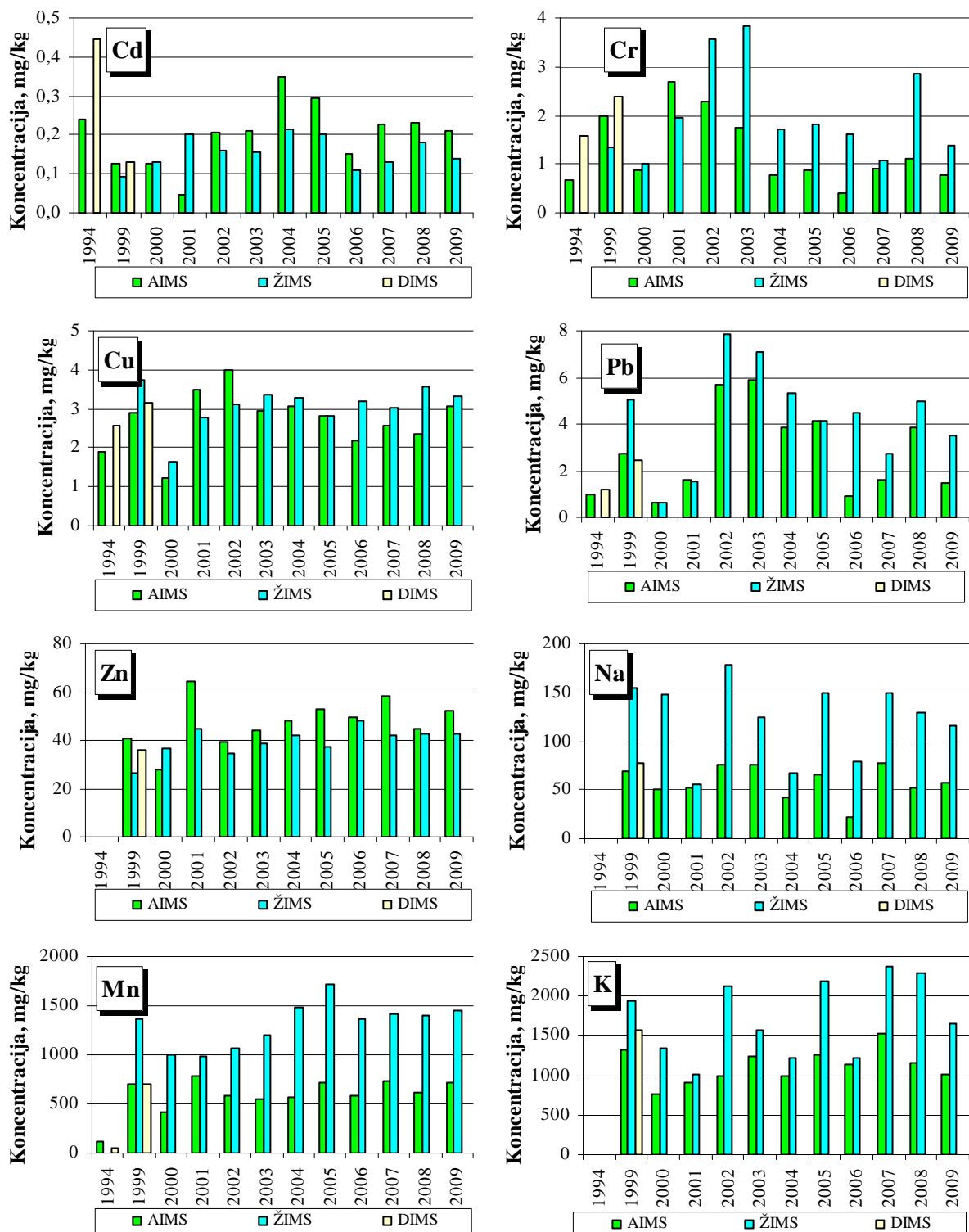
Parametras	Metalo srautas su nuokritomis										
	CU	PB	CD	CR	ZN	NA	MN	K	NI	FE	AL
Aukštaitija	Koreliacijos koeficientai @ / patikimumo lygmuo (p)										
Elemento koncentracija nuokritose	0,586 p=,000	0,895 p=,000	0,692 p=,000	0,827 p=,000	0,694 p=,000	0,637 p=,000	0,812 p=,000	0,621 p=,000	0,869 p=,000	0,488 p=,029	0,195 p=,411
Nuokritų kiekis	0,623 p=,000	0,190 p=,186	0,560 p=,000	0,284 p=,046	0,826 p=,000	0,620 p=,000	0,768 p=,000	0,673 p=,000	0,456 p=,043	0,614 p=,004	0,846 p=,000
Žemaitija											
Elemento koncentracija nuokritose	0,301 p=,040	0,710 p=,000	0,580 p=,000	0,415 p=,004	0,120 p=,423	0,698 p=,000	0,551 p=,000	0,574 p=,000	0,458 p=,065	0,247 p=,338	0,117 p=,656
Nuokritų kiekis	0,852 p=,000	0,739 p=,000	0,820 p=,000	0,813 p=,000	0,879 p=,000	0,929 p=,000	0,906 p=,000	0,886 p=,000	0,875 p=,000	0,849 p=,000	0,957 p=,000

Apibendrinus tirtų metalų srautų su nuokritomis į dirvožemio paklotę tyrimų rezultatus, nustatyta, kad dažniausiai Aukštaitijos KMS būdingiausiame pušyne metalų metinius kiekius statistiškai reikšmingiau sąlygoja jų koncentracija nuokritose (3.10 lentelė), kai tuo tarpu Žemaitijos KMS būdingiausiame eglyne – nuokritų kiekis.

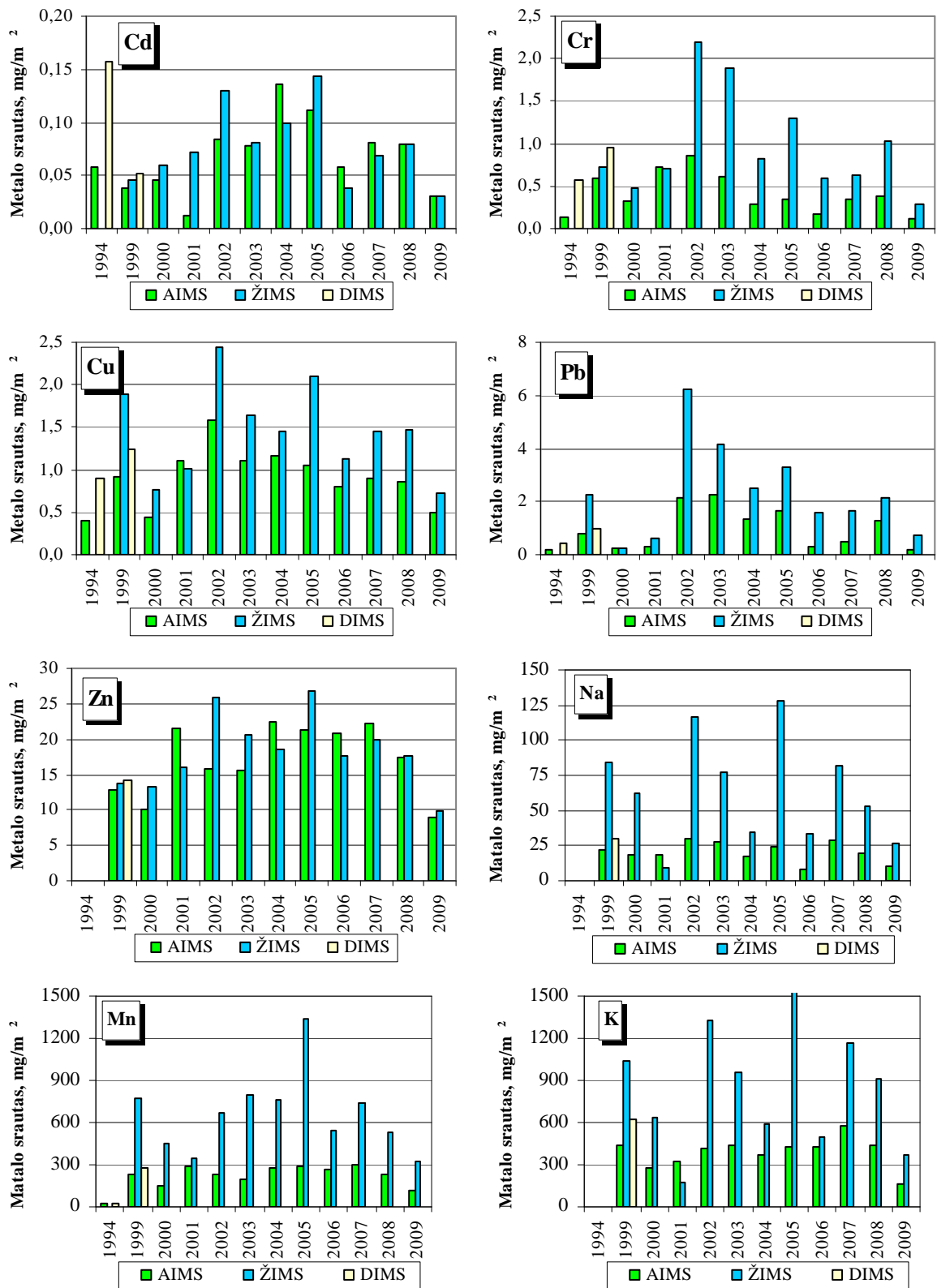
3.3.3. Metinių metalų srautų su nuokritomis palyginimas tarp KM stočių

Palyginus tirtų metalų koncentracija tarp atskirų KM stočių nustatyta, kad tik Cd ir Zn koncentracijos Aukštaitijos KMS yra didesnės nei Žemaitijos KMS nuokritose. Tyrimų pradžioje, iki 2002 m. didesnės koncentracijos nuokritose buvo ir Cu, tačiau paskutiniu metu laikotarpiu šio elemento koncentracijos Aukštaitijos KMS nuokritose ženkliai sumažėjo. Likusių tirtų metalų koncentracijos Žemaitijos KMS nuokritose yra didesnės nei Aukštaitijos KMS nuokritose. Cr koncentracijų skirtumas siekia beveik 3 kartus.

Tirtų metalų srautų su nuokritomis analizė parodė, kad tik Cd ir Zn srautai su nuokritomis Aukštaitijos KMS teritorijoje susilygino su srautais Žemaitijos KMS teritorijoje. Likusių metalų srautai Žemaitijos KMS yra ženkliai didesni negu Aukštaitijos KMS. 2007-09 m. Žemaitijos KMS nuokritų rinkimo stotyje Cr, Na, Mn ir K srautas su nuokritomis viršijo 75%, o Cu ir Pb – 40 % atitinkamų metalų srautą su nuokritomis Aukštaitijos KM stotyje.



3.19 pav. Tirtų metalų koncentracijos nuokritose KM stotyse 1994-2009 m.



3.20 pav. Tirtų metalų srautai su nuokritomis KM stotyse 1994-2009 m.

IŠVADOS

1. Aukštaitijos KMS perbrendusiame, brukniniame pušyne (AKMS_01) vidutiniškai susidaro apie 3285 kg/ha nuokritų, iš kurių apie 55% sudaro spygliai, 28 % pušies žievė ir maždaug po 9% kankorėžiai ir beržų lapai.
2. Žemaitijos bręstančiame eglyne susidaro apie 4534kg/ha nuokritų. Net 77% visų nuokritų sudaro eglės spygliai. Medžių žievės nuokritose praktiškai nerasta. 14% visų nuokritų sudaro sausos, smulkios eglės šakelės. Kankorėžių kiekis nuokritose priklausomai nuo metų, svyruoja nuo 0 iki 13%.
3. Aukštaitijos KMS būdingiausiame pušyne metalų metinius kiekius statistiškai reikšmingiau sąlygoja jų koncentracija nuokritose, kai tuo tarpu Žemaitijos KMS būdingiausiame eglyne – nuokritų kiekis.
4. Cd ir Zn koncentracijos Aukštaitijos KMS yra didesnės nei Žemaitijos KMS nuokritose. Likusių tirtų metalų koncentracijos Žemaitijos KMS nuokritose 1,5-3 kartus yra didesnės nei Aukštaitijos KMS nuokritose.
5. Žemaitijos KMS nuokritų rinkimo stotyje Pb, Na, Mn ir K srautas su nuokritomis viršijo 75%, o Cu ir Cr – 40 % atitinkamų metalų srautą su nuokritomis Aukštaitijos KM stotyje. Tik Cd ir Zn srautai su nuokritomis pastaraisiais metais KM stotyse yra lygūs.
6. 2009 m. KM stotyse beveik 2 kartus sumažėjo nuokritų kiekis. Tai mažiausi kiekiai per visą tiriamąjį laikotarpį, kurio priežasčių nustatyti nepavyko. Dėl tokio ženklaus nuokritų kiekio sumažėjimo iš esmės sumažėjo ir su nuokritomis patenkančių metalų srautai į miško paklotę.

3.4. Sunkiųjų metalų srautų miško ekosistemose tyrimo rezultatų apibendrinimas

Žemės paviršiaus apkrova sunkiaisiais metalais yra didesnė vakarinėje Lietuvos dalyje (Žemaitijos IMS) nei rytinėje Lietuvos dalyje (Aukštaitijos IMS). Didesnę žemės paviršiaus apkrovą vakarų Lietuvoje sunkiaisiais metalais lėmė šios priežastys: 1) oro masės, iš kurių krituliais išplaunami sunkieji metalai, vakarų Lietuvoje yra labiau užterštos nei rytų Lietuvoje ir 2) vakarų Lietuvoje iškrito žymiai daugiau kritulių, o kartu su jais ir daugiau sunkiųjų metalų. Sunkiųjų metalų koncentracija ore turi sezoninę eigą: koncentracija mažesnė šiltuoju ir didesnė šaltuoju metų periodu.

Aukštaitijos stotyje 2009 m. vidurkį viršijo Zn, Ni ir Cu koncentracija, ypač 20–40 cm gylyje, o Žemaitijoje sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio vandenyje laikosi vidutiniame ir žemame lygyje

Žemaitijos gruntiniame vandenyje sunkiųjų metalų koncentracijos 2009 m. buvo, palyginti su 2000-2008 m. mažos. Cu ir Zn koncentracija, kaip ir 2008 m., liko mažiausia per stebėjimų laikotarpį (3.9 pav. 1-2).

Sunkiųjų metalų koncentracijų augimas Aukštaitijos IMS tolygiai vyksta giliuosiuose gręžiniuose ir tris metus iš eilės ir pasireiškia metalų rinkinio gausėjimu, todėl priežasties reikėtų ieškoti regiono ūkinės veiklos pokyčiuose.

2009 m. Žemaitijos KMS sumažėjo Cu ir Zn koncentracija. Neviršydami maksimalios 2001 m. reikšmės Cr, Pb, Cd koncentracijos turi tendenciją didėti. Ni koncentracija, laikosi minimaliame lygyje. Aukštaitijos KMS upelio vandenyje sunkiųjų metalų Cr, Pb, Ni ir Cd koncentracija nuo 2003 metų neturi pastebimų kitimo tendencijų, laikosi žemiausiame lygyje per stebėjimo laikotarpį.

Nuokritos vienas iš sunkiųjų metalų judėjimo tarpinių miško ekosistemose. Aukštaitijos KMS perbrendusiame, brukniniame pušyne (AKMS_01) vidutiniškai susidaro apie 3285 kg/ha nuokritų, iš kurių apie 55% sudaro spygliai, 28 % pušies žievė ir maždaug po 9% kankorėžiai ir beržų lapai. Žemaitijos bręstančiame eglyne susidaro apie 4534kg/ha nuokritų. Net 77% visų nuokritų sudaro eglės spygliai. Medžių žievės nuokritose praktiškai nerasta. 14% visų nuokritų sudaro sausos, smulkios eglės šakelės. Kankorėžių kiekis

Aukštaitijos KMS būdingiausiame pušyne metalų metinius kiekius statistiškai reikšmingiau sąlygoja jų koncentracija nuokritose, kai tuo tarpu Žemaitijos KMS būdingiausiame eglyne – nuokritų kiekis.

Cd ir Zn koncentracijos Aukštaitijos KMS yra didesnės nei Žemaitijos KMS nuokritose. Likusių tirtų metalų koncentracijos Žemaitijos KMS nuokritose 1,5-3 kartus yra didesnės nei Aukštaitijos KMS nuokritose.

Žemaitijos KMS nuokritų rinkimo stotyje Pb, Na, Mn ir K srautas su nuokritomis viršijo 75%, o Cu ir Cr – 40 % atitinkamų metalų srautą su nuokritomis Aukštaitijos KM stotyje. Tik Cd ir Zn srautai su nuokritomis pastaraisiais metais KM stotyse yra lygūs.

2009 m. KM stotyse beveik 2 kartus sumažėjo nuokritų kiekis. Tai mažiausi kiekiai per visą tiriamąjį laikotarpį, kurio priežasčių nustatyti nepavyko. Dėl tokio ženklaus nuokritų kiekio sumažėjimo iš esmės sumažėjo ir su nuokritomis patenkančių metalų srautai į miško paklotę.

Literatūra

1. M.L.Lee, M.V. Novotny, K.D.Bartle (1981) Analytical chemistry of polycyclic aromatic compounds. Academic Press, New York.
2. А.А. Милукайте (1989). распределение бенз(а)пирена по размерам атмосферных аэрозолей и время его пребывания в атмосфере. В сб.: Физика атмосферы. Вып. 13, Вильнюс, "Мокслас", с. 170-174.
3. Расуна J.M. et al., 1999. Technical Report. Appendix 1 to executive final summary report. Environmental cycling of selected persistent organic pollutants (POPs) in the Baltic region (Popcycling-Baltic project). Contract No ENV4-CT96-0214. CD-Rom.
4. 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.
5. A.Milukaite (2006). Long-term trends of benzo(a)pyrene concentration on the eastern coast of the Baltic Sea.. Atmospheric Environment, 40, 2046-2057.
6. Milukaite, A. Mikelinskiene, I. Lyulko, M. Frolova. Differences in benzo(a)pyrene concentration in atmospheric air on a regional scale. *J.Environmental and Chemical Physics*, 2004, **26**, 1, p. 14-21.
7. Milukaitė, A. Mikelinskienė B. Giedraitis (2001). Characteristics of NO₂, SO₂, benzo(a)pyrene and soot concentration variation at the eastern coast of the Baltic sea. *J. Water Air and Soil Pollution*, **130**, 1553-1558.
8. D. Čeburnis. (1997) Qualitative and quantitative estimation of atmospheric trace metal deposition. PhD thesis, Institute of Physics, Vilnius, Lithuania.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. J. Šakalys, K.Kvietkus, D.Čeburnis and D.Valiulis. (2004) The method of determination of heavy metals background concentration in the moss. *Environmental and Chemical Physics* (Vilnius), **26** (3), 109-117.
13. W. Salomons, U. Förster. (1984) Metals in the hydrocycle. Springer-Verlag. 352 p.
14. А.А. Милукайте. Тонкоструктурная спектрофлуориметрия. Метод добавок. В кн.: Унифицированные методы мониторинга фоновое загрязнение природной среды. Совет экономической взаимопомощи. Москва, "Гидрометеиздат", 1986, с. 103-112.
15. 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.
16. J.Šakalys, K.Kvietkus, D.Valiulis. (2004) Variation tendencies of heavy metal concentrations in the air and precipitation. *Environmental and Chemical Physics*, (Vilnius), **26** (2), 61-67.
17. A. Bukantis (1994). Lietuvos klimatas. Vilnius, VU, 187 p.

IV. MIŠKO EKOSISTEMŲ MONITORINGAS KOMPLEKSNIO MONITORINGO TERITORIJOSE

4.1. Miškų būklės dinamika integruoto monitoringo stočių teritorijose

Ekologinio monitoringo sistemoje miškų būklės tyrimai užima vieną iš pagrindinių vietų. Pagal medžių būklę ir jos pokyčius sprendžiama apie vienokių ar kitokių cheminių elementų ar jų junginių kiekius aplinkoje bei jų pokyčius, o taip pat ir apie kitus biotinius ir abiotinius aplinkos faktorius. Sąlyginai nepakenktų miškų būklės dinaminiai tyrimai įgalina analizuoti būklės pokyčius ir juos sąlygojančius veiksnius regioniniu mastu.

Darbo tikslas: nustatyti KMS teritorijose augančių medynų būklę, įvertinti išaiškintus pokyčius ir bei juos lėmusius pagrindinius biotinius ir abiotinius veiksnius.

Miškų būklės tyrimai vykdomi skritulinėse 10m spindulio ploteliuose kasmet: Aukštaitijos KMS 50 ir Žemaitijos KMS - 37 pastoviuose tyrimo ploteliuose. Visoje stoties teritorijoje Aukštaitijoje ir Žemaitijoje būklės tyrimai buvo vykdomi 1993(94), 1996, o nuo 1998 kasmet. 2008 m. atlikta 14-ta miškų būklės apskaita.

4.1.1. Aukštaitijos KMS medynų būklė

Per 1993-96 metų laikotarpį visų tirtų rūšių vidutinė medžių lajų defoliacija padidėjo 2 kartus. Vyraujančios paprastosios pušies tirtų medžių vidutinė defoliacija padidėjo nuo 16,9% 1993 m. net iki 24,1% - 1996 m..

Per 1998-99 m. laikotarpį užfiksuotas žymus medžių būklės pagerėjimas. Tirtų pušų vidutinė lajos defoliacija sumažėjo nuo 24,1 iki 18,4%. Vidutinė eglių defoliacija taip pat sumažėjo nuo 34,4 iki 26,6%.

2000 m. užfiksuotas pakartotinis medynų būklės pablogėjimas, ypač pušynų ir beržynų, kurių vidutinė defoliacija padidėjo apie 2%. Šių medynų būklės pablogėjimą galėjo sąlygoti kritulių trūkumas pirmoje vegetacinio periodo pusėje. Eglynų būklė per šį laikotarpį praktiškai išliko stabili.

2001 m. medynų būklė esminiai pagerėjo. Visų tirtų medžių vidutinė defoliacija sumažėjo nuo 25,0% iki 23,2%. Intensyviausias teigiamas pušų būklės pokytis. Jų vidutinė defoliacija sumažėjo apie 2,6 % ir siekė tik 17,4%. Tirtų eglių vidutinės defoliacijos sumažėjimas ne toks ryškus, nors viršija 1,5% ir siekė 25,1%. Beržų būklė per paskutinįjį laikotarpį išlieka stabili. Jų defoliacija svyruoja 23% ribose.

2002-2003 m. medynų būklę, mūsų manymu, sąlygojo sausra. Dėl šios priežasties užregistruotas visų rūšių medžių būklės pablogėjimas. Stipriausiai sausra paveikė egles. Jų vidutinė defoliacija padidėjo nuo 25,1 iki 28,9%. Šis neigiamas būklės pokytis buvo reikšmingas ($p < 0,05$).

1.1 lentelė. Aukštaitijos kompleksinio monitoringo stoties teritorijose augančių įvairių išsivystymo klasių medžių vidutinė defoliacija

Medžio rūšis	Išsivyst. kl.	1993		1996		1999		2002		2005		2006		2007		2008		2009		2010	
		F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N
		%	vnt.	%	vnt.	%	vnt.	%	vnt.	%	vnt.	%	vnt.	%	vnt.	%	vnt.	%	vnt.	%	vnt.
ALNU GLU	V	15±...	1	15±...	1	20±...	1	25±...	1	30±	1	40±	1	40±	1	30±		15±	1		
ALNU GLU	D	5±...	1	15±...	1	15±...	1	20±...	1	15±	1	10±	1	10±	1	15±		10±	1		
ALNU GLU	U	20±...	1	15±...	1	80±...	1	90±...	1							±					
ALNU GLU		13,3±4,4	3	15,0±0,0	3	38,3±21	3	45,0±22	3	22,5±7,5	2	25,0±15	2	25,0±15	2	22,5±7,5	2	12,5±2,5	2		
BETULA SP.	V	12,9±2,2	28	23,2±5,2	28	20,4±3,1	25	17,0±1,5	23	17,0±1,4	23	17,1±1,6	23	20,4±2,1	23	19,3±2,2	23	18,5±2,8	23		
BETULA SP.	D	12,9±2,8	21	19,3±4,3	20	15,8±1,4	18	16,7±1,4	14	14,1±1,3	16	14,1±1,2	16	16,2±1,7	16	21,9±5,4	16	15,0±2,3	15		
BETULA SP.	K	14,1±3,1	39	20,3±3,1	39	22,8±2,9	34	27,4±3,3	34	25,2±3,7	32	24,2±3,5	30	27,3±4,7	30	18,3±1,7	27	17,4±1,6	27		
BETULA SP.	U	10,9±1,3	11	24,5±7,6	11	27,5±3,5	10	37,2±8,7	9	27,9±7,5	7	39,3±12	7	31,2±9,5	6	33,3±8,9	6	29,2±8,4	6		
BETU PEN		15,4±2,1	68	23,1±3,0	67	18,7±1,7	58	19,8±2,1	56	20,4±2,4	51	18,7±2,3	49	18,1±2,1	49	18,7±2,1	48	16,3±1,7	47		
BETU PUB		8,2±1,0	31	17,6±2,8	31	26,2±2,9	29	30,2±3,2	28	21,3±2,7	27	26,1±3,7	27	32,9±4,5	26	24,6±2,7	24	22,1±2,4	24		
BETULA SP.		13,1±1,5	99	21,4±2,3	98	21,2±1,5	87	23,3±1,8	80	20,7±1,8	78	21,3±2,0	76	23,2±2,2	75	20,7±1,7	72	18,2±1,4	71		
FRAX EXC		0±...	1	10±...	1	20±...	1	30±...	1	95±	1	100±	1	±		±		±			
PICE ABI	V	11,2±1,2	78	35,6±3,5	78	19,4±1,9	62	21,0±2,9	59	13,3±0,8	53	15,4±1,2	54	15,7±1,4	53	18,5±2,6	53	19,6±3,1	51		
PICE ABI	D	14,8±1,4	103	35,5±2,6	103	23,0±1,4	87	22,2±1,7	80	22,6±2,3	72	19,6±1,4	72	20,3±1,9	68	17,9±1,2	66	19,2±2,1	66		
PICE ABI	K	14,9±0,8	217	33,3±1,6	216	23,4±0,6	191	23,0±0,9	185	23,8±1,1	179	23,9±1,0	171	24,4±1,2	175	21,5±1,0	169	26,2±1,7	167		
PICE ABI	U	16,5±0,6	308	34,3±1,1	307	31,0±0,9	281	31,6±1,1	271	31,1±1,0	244	34,0±1,1	240	33,6±1,2	235	32,9±1,3	229	34,8±1,4	222		
PICE ABI		15,2±0,4	706	34,3±0,9	704	26,3±0,5	623	26,6±0,7	599	25,9±0,7	548	27,0±0,7	537	27,1±0,8	531	25,8±0,8	517	28,4±1,0	506		
PINU SYL	V	13,7±1,2	127	19,2±1,6	127	17,4±1,0	120	16,6±0,6	119	15,3±1,1	118	17,1±1,0	117	16,2±0,7	116	14,4±0,8	116	17,1±1,1	116		
PINU SYL	D	22,9±3,3	52	31,6±4,3	52	18,1±1,2	44	18,1±1,2	44	16,7±2,1	44	17,3±1,0	43	16,7±0,9	43	14,5±0,9	43	17,7±1,1	43		
PINU SYL	K	22,1±4,6	14	27,1±6,0	14	21,2±1,9	13	19,6±1,3	13	17,7±1,6	13	19,2±1,4	13	19,2±1,2	13	16,9±1,1	13	19,6±2,1	13		
PINU SYL	U	20,0±2,5	9	45,0±11	9	35,8±13	6	25,0±6,3	5	24,0±4,3	5	39,0±16	5	23,7±5,9	4	28,7±6,6	4	31,3±6,6	4		
PINU SYL		16,9±1,2	202	24,1±1,7	202	18,4±0,9	183	17,4±0,5	181	16,1±0,9	180	17,9±0,8	178	16,8±0,5	176	15,0±0,6	176	17,7±0,8	176		
TILI COR	K	5,7±0,7	7	10,0±0,0	7	15,0±1,1	7	8,6±0,9	7	6,4±0,9	7	7,9±1,0	7	5,7±0,7	7	14,3±1,3	7	10,0±0	7		
TILI COR	U	7,5±2,5	2	10,0±0,0	2	22,5±7,5	2	12,5±7,5	2	15,0±5,0	2	10,0±5,0	2	12,5±2,5	2	20,0±5,0	2	12,5±2,5	2		
TILI COR		6,1±0,7	9	10,0±0,0	9	16,7±1,9	9	9,4±1,5	9	8,3±1,7	9	8,3±1,2	9	7,2±1,2	9	15,5±1,5	9	11,1±0,7	9		
Visų rūšių	V	12,7±0,8	234	25,1±1,6	234	18,4±0,9	208	17,9±0,9	202	15,0±0,7	195	16,7±0,7	195	16,7±0,6	193	16,2±0,9	193	17,9±1,1	191		
Visų rūšių	D	16,9±1,3	177	32,3±2,1	176	20,6±0,9	150	20,2±1,0	143	19,6±1,5	133	18,1±0,9	132	18,5±1,1	128	17,3±1,0	126	18,1±1,2	125		
Visų rūšių	K	14,8±0,8	279	30,4±1,4	278	22,9±0,6	247	23,0±0,9	245	23,5±1,1	233	23,5±1,0	223	23,9±1,2	226	20,6±0,8	217	24,2±1,4	215		
Visų rūšių	U	16,3±0,6	331	34,0±1,1	330	31,3±0,9	300	31,7±1,1	288	30,8±1,0	258	34,0±1,1	254	33,2±1,1	247	32,8±1,3	241	34,4±1,4	234		
VISŲ RŪŠIŲ		15,2±0,4	1021	30,7±0,7	1018	24,2±0,5	905	24,2±0,5	878	23,1±0,6	819	24,3±0,6	804	24,2±0,6	794	22,7±0,6	777	24,8±0,7	765		

2004 m. medžių lajų būklė vėl pagerėjo. Vidutinė defoliacija sumažėjo nuo 2 % viršaujančių medžių iki 4 % vyraujančių. Po sausros intensyviausiai atsikūrė eglių lajos. Defoliacija sumažėjo nuo 28,9 iki 25,9 %.

2006 m. medžių lajų būklė pakartotinai blogėjo. Tirtų pušų lajos defoliacija padidėjo reikšmingai nuo 16,1 iki 17,9% ($p < 0,05$). Eglių lajų defoliacijos padidėjimas buvo nereikšmingas, o beržų defoliacija nežymiai sumažėjo, nuo 20,4 iki 18,7% ($p > 0,05$). Sausra ir karštis vegetacinio sezono viduryje galėjo turėti lemiamos reikšmės medžių defoliacijos padidėjimui. 2007 m. medžių lajų būklė išliko stabili.

2008 m. buvo registruojamas visų rūšių medžių lajų būklės pagerėjimas. Intensyviausiai pagerėjo eglių, mažiausiai reikšmingai pušų lajų būklė.

2009 m. tirtų medžių vidutinis lajų būklės rodiklis iš esmės vėl pablogėjo. Vidutinė lajų defoliacija padidėjo iki 24,8%. Intensyviausiai blogėjo eglių ir pušų lajų būklė. Vidutinė defoliacija padidėjo atitinkamai nuo 25,8 iki 28,4% ir nuo 15,0 iki 17,7%. Tik beržų lajų defoliacija jau kelis metus pastoviai mažėja, t.y. nuo 23,2% 2007 metais iki 18,2% 2009.

1.2. Žemaitijos KMS medynų būklė.

Žemaitijos IM teritorijoje augančių medžių būklė kito analogiškai Aukštaitijos IMS medžių būklei. Per pirmąjį dviejų metų laikotarpį vidutinė visų tirtų medžių defoliacija padidėjo nuo 25% iki 33%. Eglynų būklė per šį laikotarpį pablogėjo intensyviausiai. Jų vidutinė defoliacija padidėjo nuo 19,7% iki 28,7%.

Per 1998-1999m. laikotarpį stebimas žymus medynų būklės atsikūrimas. Tirtų medynų vidutinė defoliacija sumažėjo iki 20,2%. Eglynų būklė stabilizavosi ir pradėjo gerėti.

2000 m. medynų būklė vėl pablogėjo, vidutinė defoliacija pakilo iki 23,4%. Didžiausias neigiamas būklės pokytis užfiksuotas tirtų pušų bei beržų, kur jis sudaro 4-5%. Kiek mažesnis eglių defoliacijos pokytis, kuris siekia 3%.

2001 metais buvo stebimas medynų būklės pagerėjimas. Vidutinė tirtų medžių defoliacija sumažėjo net apie 3% ir siekė 20,3%. Intensyviausiai pagerėjo eglių būklė. Jų vidutinė defoliacija sumažėjo apie 4%. Tirtų beržų ir pušų vidutinės defoliacijos pokytis kiek mažesnis ir siekė apie 2%.

2002 m. medynų būklės pablogėjimą sąlygojo sausas vegetacinis periodas bei gausios snieglaužos vasario mėnesį. Dėl šių veiksnių intensyviausiai pablogėjo spygliuočių medynų būklė. Vidutinė pušynų defoliacija padidėjo virš 6%, nuo 19 iki 25,3%. Vyraujančių medyne pušų vidutinė defoliacija padidėjo 5,6%, nuo 18,4 iki 24, o užsteltų – beveik 13%, nuo 24,5 iki 37,3%.

2003 m. stebimas tirtų medžių vidutinės defoliacijos sumažėjimas iki 22,2%, o 2004 m. padidėjimas iki 23,6% buvo statistikai nereikšmingas ($p > 0,05$).

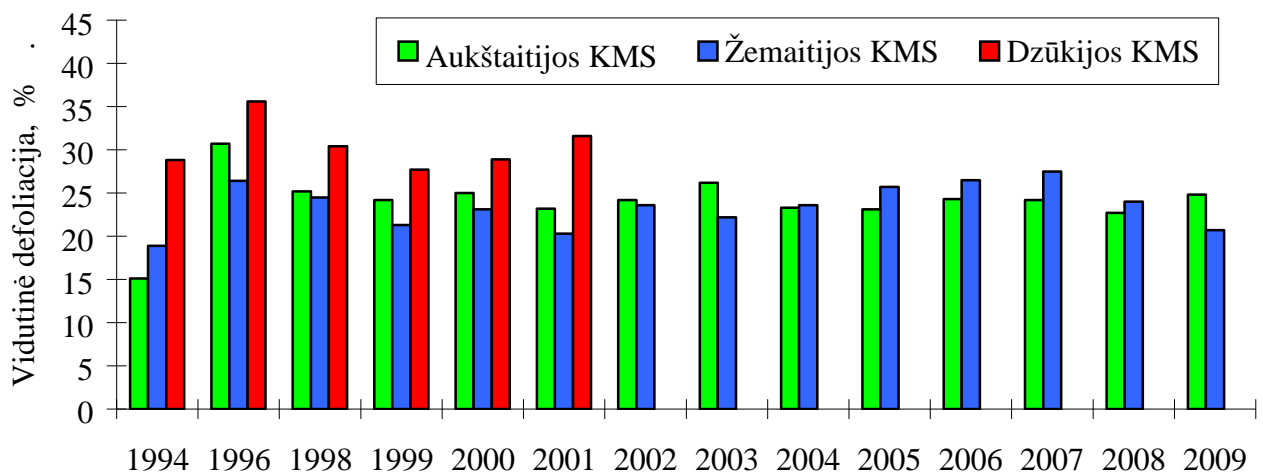
Pastarųjų kelių metų laikotarpiu tik eglių vidutinė defoliacija kito reikšmingai. Dėl sausros poveikio 2002 m. jų vidutinė defoliacija padidėjo apie 4%, t.y. nuo 20,7 iki 24,1%. Kitais metais jau buvo registruojamas defoliacijos sumažėjimas iki 22,6%, o paskutiniaisiais metais padidėjimas iki 24,2% (2004), 25,2% (2005), 26,9% (2006) ir 28,2% (2007).

1.2 lentelė. Žemaitijos kompleksinio monitoringo stoties teritorijose augančių įvairių išsivystymo klasių medžių vidutinė defoliacija

Medžio rūšis	Išsivyst. kl.	Žemaitijos KMS																			
		1993		1996		1999		2002		2005		2006		2007		2008		2009		2010	
		F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N
		%	vnt.	%	vnt.	%	vnt.	%	vnt.	%	vnt.	%	vnt.	%	vnt.	%	vnt.	%	vnt.	%	vnt.
ACER PLA		7,5±2,5	2	10,0±0	2	10,0±0	2	7,5±2,5	2	10,0±	2	12,5±	2	10,0±	2	7,5±2,5	2	5,0±0	2		
BETU PEN	V	16,7±1,7	3	20,0±2,9	3	25,0±7,6	3	20,0±0,0	3	16,2±4,3	4	22,5±3,2	4	21,2±4,3	4	22,5±4,8	4	21,3±6,2	4		
BETU PEN	D	12,5±1,8	14	13,6±1,0	14	13,1±1,4	13	14,6±1,5	13	23,5±6,5	13	17,1±1,1	12	17,0±1,5	10	17,0±1,5	10	13,5±1,3	10		
BETU PEN	K	14,0±1,4	20	18,5±4,3	20	24,8±5,3	20	21,3±2,6	16	22,5±3,0	18	29,2±6,2	18	35,0±8,8	15	18,7±2,2	12	19,2±4,7	12		
BETU PEN	U	14,2±3,0	6	16,7±2,1	6	23,0±3,4	5	22,0±3,4	5	25,0±4,5	5	27,0±6,2	5	74,0±16	5	47,5±3,2	2	57,5±42	2		
BETU PEN		13,7±1,0	43	16,7±2,1	43	20,9±2,8	41	18,9±1,4	37	22,4±2,6	40	24,5±3,1	39	33,8±5,5	34	20,7±2,5	28	20,2±3,7	28		
PICE ABI	V	11,9±1,0	108	19,4±2,0	108	13,1±0,8	100	14,2±1,4	99	18,5±1,5	61	19,7±1,6	60	22,4±2,9	59	18,1±1,8	55	13,0±0,7	54		
PICE ABI	D	17,2±1,2	175	27,9±2,0	172	16,6±0,8	144	18,1±1,2	143	21,9±1,5	123	22,7±1,6	119	24,3±2,1	115	19,1±1,2	107	14,4±0,6	105		
PICE ABI	K	23,2±1,4	126	31,2±1,9	125	26,9±1,7	116	30,5±2,2	106	26,6±1,4	111	26,4±1,2	109	26,7±1,6	109	25,0±1,5	107	21,4±1,2	106		
PICE ABI	U	26,5±1,4	108	35,0±1,9	108	33,8±1,8	94	36,8±2,1	89	38,3±1,8	90	38,3±2,0	86	39,5±2,4	85	36,7±2,1	80	35,4±2,1	78		
PICE ABI		19,5±1,9	517	28,4±1,0	513	22,0±0,7	454	24,1±0,9	441	26,6±0,8	385	26,9±0,9	374	28,2±1,1	368	24,7±0,9	349	21,1±0,8	34,3		
PINU SYL	V	14,2±2,4	6	15,0±1,8	6	14,1±1,5	6	17,1±1,5	6	20,0±2,2	6	20,0±2,2	6	17,5±1,1	6	15,8±0,8	6	15,0±1,8	6		
PINU SYL	D	18,5±2,1	61	18,8±0,8	59	16,9±1,1	56	24,0±2,3	55	22,6±1,7	53	25,8±1,9	53	21,0±1,0	52	22,3±1,4	52	19,3±1,3	5,2		
PINU SYL	K	26,1±5,8	14	35,0±7,7	14	25,4±4,9	11	37,3±9,1	11	33,0±6,7	10	33,5±6,7	10	33,0±7,9	10	26,7±2,9	9	22,8±2,6	9		
PINU SYL	U	-		-		-															
PINU SYL		19,5±1,9	81	21,4±1,6	79	17,9±1,2	73	25,3±2,3	72	23,9±1,7	69	26,4±1,8	69	22,4±1,5	68	22,3±1,2	67	19,4±1,1	67		
POPU TRE	K	15,0±	1	10,0±	1	15,0±	1	15±	1	20,0±	1	25,0±	1	25,0±	1	25,0±	1	20,0±...	1		
QUER ROB		8,1±0,9	8	8,8±1,3	8	8,7±1,2	8	8,1±0,9	8	20,0±5,0	3	16,7±1,7	3	16,7±1,7	3	18,3±3,3	3	18,3±3,3	3		
SALI CAP	U	38,0±5,1	5	29,0±1,0	5	22,0±7,2	5	20,0±16	5	23,0±1,2	5	23,0±3,0	5	24,0±2,5	5	25,0±1,6	5	19,0±1,9	5		
SORB AUC	U	13,1±1,6	8	19,4±1,8	8	30,0±6,5	8	23,6±1,8	8	22,0±2,0	5	25,0±2,2	5	20,0±2,2	5	24,0±1,9	5	22,0±1,2	5		
Visų rūšių	V	12,2±1,0	118	19,1±1,9	118	13,5±0,8	110	14,6±1,3	109	18,5±1,3	72	19,9±1,4	71	21,9±2,4	70	18,3±1,5	66	13,8±0,8	65		
Visų rūšių	D	17,1±1,0	255	24,6±1,5	250	16,4±0,7	218	19,2±1,0	216	22,1±1,0	191	23,2±1,2	186	22,9±1,4	179	19,9±0,9	171	15,9±0,6	169		
Visų rūšių	K	22,0±1,2	166	29,3±1,7	165	26,0±1,5	153	29,2±1,9	139	26,5±1,3	142	27,2±1,3	140	28,0±1,7	137	24,4±1,3	131	21,1±1,1	130		
Visų rūšių	U	25,2±1,3	126	32,7±1,7	126	32,1±1,6	111	34,3±1,9	105	35,9±1,7	105	36,0±1,8	101	39,1±2,4	100	35,3±2,0	92	34,0±2,0	90		
VISŲ RŪŠIŲ		18,9±0,6	665	26,4±0,9	659	21,3±0,6	592	23,6±0,8	569	24,9±0,7	506	26,5±0,8	498	27,5±1,0	486	24,0±0,7	460	20,7±0,6	454		

2003-2007 metų laikotarpiu beržų ir pušų lajų vidutinė defoliacija nors ir nereikšmingai, tačiau didėjo. Pastaraisiais 2008 m. visų medžių būklė pagerėjo. Reikšmingiausiai pagerėjo beržų, kiek mažiau eglių, o pušų lajų būklės pagerėjimas buvo mažiausias. 2009 m. buvo užregistruotas vienas reikšmingiausių tirtų medžių lajų būklės pagerėjimų. Vidutinė visų medžių lajų defoliacija sumažėjo nuo 24% iki 20,7%. Kaip ir praėjusiais metais toliau mažėjo eglių lajų defoliacijos laipsnis, kiek silpniau pušų ir mažiausiai reikšmingas buvo beržų lajų defoliacijos laipsnio sumažėjimas.

Lyginant miškų būklę tarp atskirų stočių nustatyta, kad tyrimų pradžioje blogesne medžių būkle dažniausiai pasižymėjo Aukštaitijos KMS teritorijoje augantys medžiai ir tik nuo 2004 m. Žemaitijos KMS teritorijose augančių medžių vidutinė defoliacija pradėjo viršyti Aukštaitijos KMS medžių vidutinę defoliaciją. 2005-2007 m. laikotarpiu šis skirtumas tapo reikšmingu ir tik paskutiniaisiais metais jis pradėjo kisti iš esmės. 2008 m. tirtų medžių lajų vidutinė defoliacija tarp atskirų stočių jau vėl buvo nereikšminga, o 2009 m. Žemaitijos KMS tirtų medžių vidutinei defoliacijai toliau reikšmingai mažėjant, medžių būklė šioje stotyje pasidarė vėl geresnė negu Aukštaitijos KMS ir šis skirtumas tapo reikšmingu ($p < 0,05$).



pav. KMS teritorijose augančių medžių būklės dinamika

IŠVADOS

Tiriamuoju laikotarpiu (1994-2009 m.m.) blogiausia medžių būkle išsiskyrė 1996-97 metai, kada lajų defoliacija viršijo 25 % Žemaitijos KMS, 30% Aukštaitijos KMS ir 35% Dzūkijos KMS. Nuo šio laikotarpio iki 2001 m. medžių lajų defoliacija reikšmingai mažėjo, o 2001 - 2007 laikotarpiu vėl pradėjo blogėti ir ypač Žemaitijos KMS teritorijoje. 2008-2009 m. iš visų ankstesniųjų metų išsiskyrė besitęsiančiu Žemaitijos KMS baseine augančių medžių būklės gerėjimu, o Aukštaitijos KMS, čia augančių medžių būklės pablogėjimu. Daugiaveiksni analizė padės išaiškinti reikšmingus aplinkos veiksnius nulėmusius tokią tirtų medžių būklės kaitą.

4.2. Medynų būklė augalijos tyrimų stacionaruose

1993m. Aukštaitijos kompleksinio monitoringo stotyje (KMS) buvo išskirtas vienas kartografuotas 50m × 50m tyrimo barelis visų augalijos ardų tyrimams. 1994m. įsteigus Žemaitijos KMS, joje išskirtas 40m × 40m kartografuotas augalijos tyrimo stacionaras. Taip pat pastaraisiais metais buvo praplėstas kartografuotų barelių tinklas Aukštaitijoje. Šiam tikslui panaudoti du kartografuoti bareliai, kurie buvo išskirti baseinui būdingose augavietėse medynų našumo tyrimams. Tokiu būdu medynų struktūriniai pokyčiai tiriami 3-juose Aukštaitijos ir viename – Žemaitijos KMS augalijos tyrimų stacionare.

Tyrimų tikslas - medyno struktūros kaitos analizė, kurios metu nustatomi bioindikaciniai rodikliai labiausiai atspindintys būdingiausius medynų pokyčius sąlygojamus foninės taršos bei klimatinų veiksmu. Tačiau šie tyrimai vykdomi tik kas 5 metai. Medynų būklė yra vienintelis parametras, kuris augalijos tyrimų stacionaruose nustatomas kasmet.

Darbo objektas ir metodas

Stacionaruose kas 5 metai vykdomi visų augalijos ardų tyrimai, tame tarpe ir medžių augimo ir medyno struktūros pokyčių tyrimai. Stacionare kiekvienas medis, kurio kamieno skersmuo didesnis negu 8 cm numeruojamas ir vietinės koordinatų pagalbos dėka nustatoma jo padėtis medyne. Taip pat išmatuojami pagrindiniai dendrometriniai parametrai: medžio aukštis, lajos pagrindo aukštis, kamieno skersmuo bei lajos skersmuo (spinduliai pasaulio šalių atžvilgiu). Šalia šių tyrimų nustatoma pomiškio rūšinė sudėtis bei atskirų augalų rūšių padengimo procentas. Tik medžių būklė augalijos stacionaruose vertinama kasmet. Augalijos tyrimų stacionarų pagrindinės taksacinės charakteristikos pateiktos 2.1 lentelėje.

4.2.1 lentelė. Medynų, kuriuose išskirti tyrimo stacionarai pagrindinės taksacinės charakteristikos

Tyrimo stacionaras	Medynų taksacinės charakteristikos						
	Rūšinė sudėtis	Amžiaus klasė	Bonitetas	Skalsumas	Tūris 1 ha m ³	DTG	Miško tipas
AKMS_01	9P1E	15	1	0,5	300	Nbl	<i>vaccinosum</i>
AKMS_02	9P1E+B	17	1A	0,7	440	Lcl	<i>oxalidosum</i>
AKMS_03	6E2P2B	8	3	0,6	260	Pcn	<i>caricosum</i>
ŽKMS_01	7E1P2E	8	2	0,8	370	Ncl	<i>myrtilius</i> - <i>oxalidosum</i>

Kaip matyti iš pateiktų duomenų Aukštaitijos KM stotyje pirmas stacionaras (AKMS_01) įkurtas natūraliai drėkinamame (Nbl), aukšto produktyvumo (B_1), brukniniame (v), perbrendusiame (A.kl. – 15) pušyne su silpnai išreikšta eglės priemaiša bei antru jos ardu ir pomiškiu.

Aukštaitijos KMS antras stacionaras (AKMS_02) įkurtas laikinai užmirkusioje pakankamai derlingoje augavietėje (Lcl) ir labai aukšto produktyvumo, kiškiakopūstiniame, perbrendusiame pušyne su nedidele eglės priemaiša bei gausiausiu jos antru ardu bei pomiškiu.

Aukštaitijos KMS trečias stacionaras (AKMS_03) įkurtas pelkinėje pakankamai derlingoje augavietėje (Pcl) ir žemo produktyvumo, viksviniame, perbrendusiame eglyne su nedidele pušies ir beržo priemaiša bei eglės antru ardu bei pomiškiu.

Žemaitijos KM stoties augalijos tyrimo stacionaras įkurtas vienoje iš būdingiausių eglės augavietėje – mėlyniniame-kiškiakopūstiniame eglyne su keliomis, skirtingo amžiaus eglės kartomis.

Darbo rezultatai

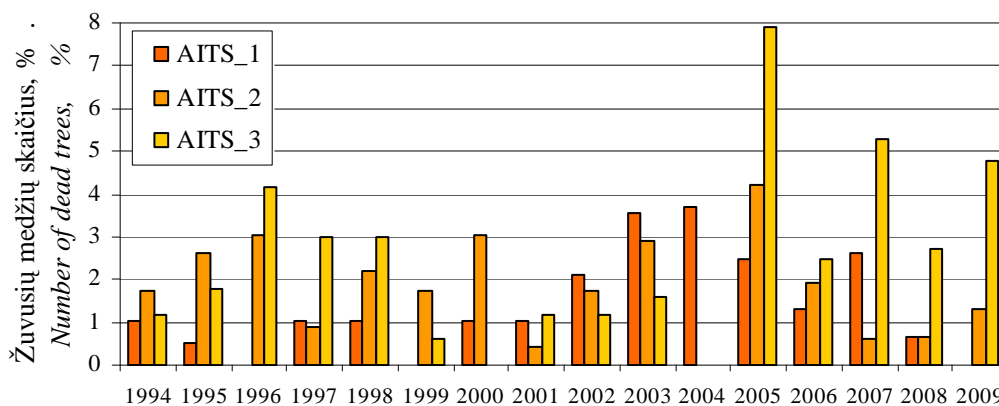
4.2.1. Medynų būklė Aukštaitijos KMS stacionaruose

Vienas iš pagrindinių medynų būklės rodiklių, šalia vidutinės medžių defoliacijos laikomas žuvusių medžių skaičius. Aukštaitijos KMS pirmajame stacionare medžių išsiretinimo intensyvumas buvo mažiausias. Per 16 m. laikotarpį žuvo 44 medžiai iš 192 užregistruotų 1994 metais. Tai sudaro 22,94% visų medžių, o medžių išsiretinimo intensyvumas siekia tik 1,38% per metus. Intensyviausiai sumažėjo lapuočių medžių, kiek mažiau žuvo eglių ir mažiausiai pušų.

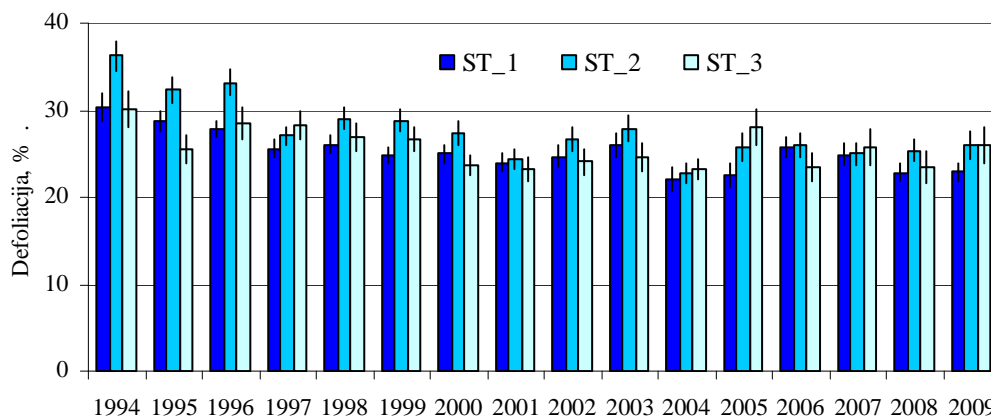
Antrajame stacionare AKMS_02 bendras medžių iškritimas viršijo 32% arba 1,81% per metus. Mažiausiai žuvo lapuočių. Vos keli beržai nudžiūvo per 16 m. laikotarpį, kai tuo tarpu pušų iškritimas viršijo 10%. Intensyviausias iškritimas užfiksuotas eglių. Per tiriamąjį laikotarpį šiame stacionare žuvo apie 40% šios rūšies medžių. Tačiau, kaip taisyklė, žūsta atsilikę augime medžiai. Kelių didesnių beržų žūtis priežastis – vėjalaūža.

Trečiojo stacionaro medžių iškritimo intensyvumas didžiausias. Jis siekia net 37,5% arba 2,55% per metus. Dar 2004 m. medžių iškritimas šiame stacionare mažai skyrėsi nuo medžių iškritimo intensyvumo užregistruoto pirmajame stacionare. Padėtis iš esmės pasikeitė paskutiniaisiais metais, kai medžių iškritimas padidėjo virš 7%. Tai dėl žievėgraužio tipografo pažeidimų žuvusios eglės – 8 medžiai iš 110. Taip pat kelios drebulės buvo nugrauztos bebrų.

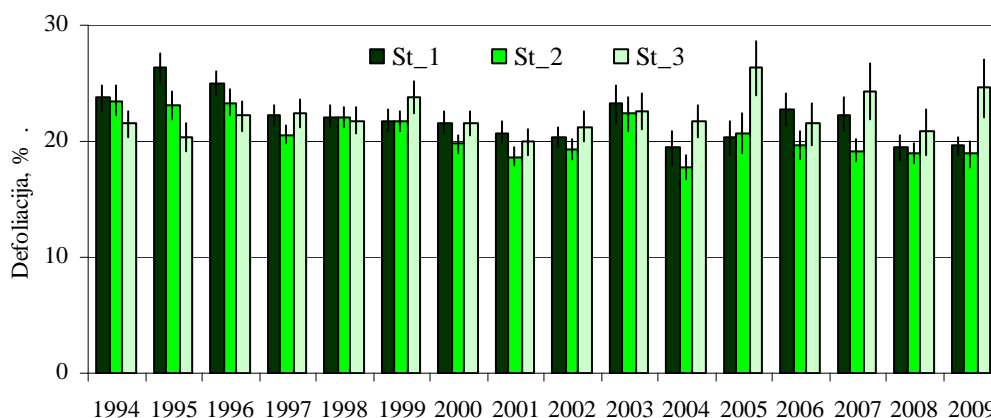
Žuvusių medžių skaičiaus dinamika rodo (2.1 pav.), kad per tiriamąjį laikotarpį kasmet vidutiniškai iškrenta apie 1,9% medžių.



2.1 pav. Žuvusių medžių skaičius Aukštaitijos KMS tyrimų stacionaruose 1994-2009 m.



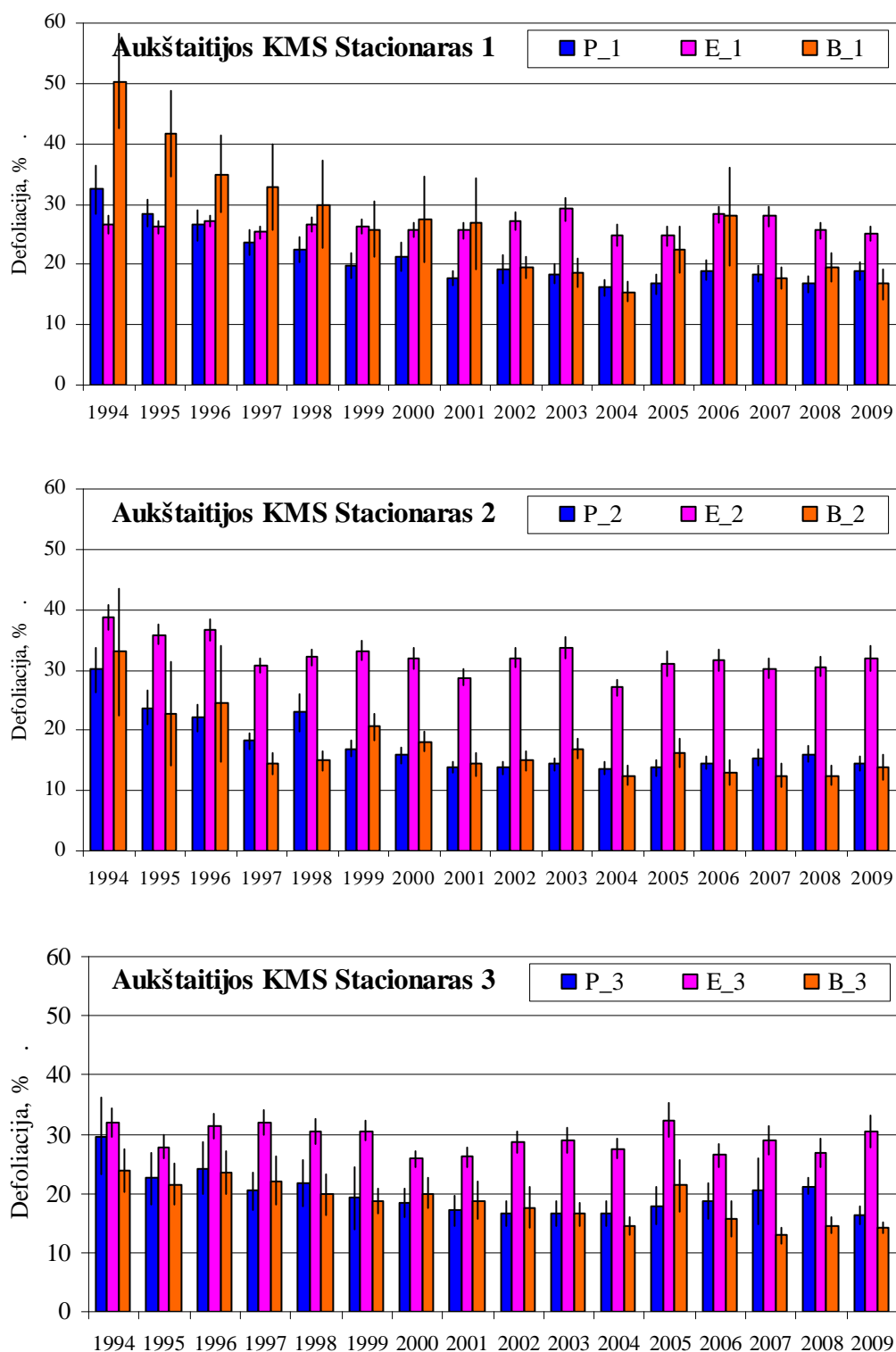
2.2 pav. Visų medžių vidutinės defoliacijos kaita Aukštaitijos KMS stacionaruose 1994-2009 m.



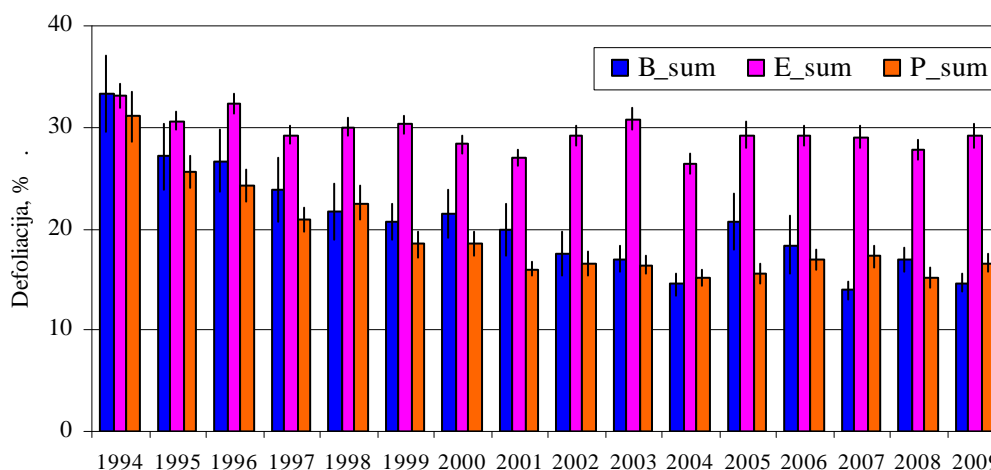
2.3 pav. 1-3 Krafo klasių medžių vidutinės defoliacijos kaita Aukštaitijos KMS stacionaruose

Medžių lajų defoliacijos duomenys rodo, kad visų medžių vidutinė defoliacija iki 2004 m. laipsniškai mažėjo. Nuo šio laikotarpio iki pastarųjų metų registruojamas, nors ir neženklaus, medžių lajų vidutinės defoliacijos laipsnio augimas, kuris ir toliau tęsėsi 2009 m. Tokį defoliacijos augimą

galėjo sąlygoti meteorologiniai veiksniai. AKMS 3-io stacionaro labai aukštą defoliaciją 2005, 2007 ir 2009 m.(virš 25 %) sąlygojo dėl žievėgraužio tipografo pažeidimų žuvusios eglės.



2.4 pav. Atskirų rūšių medžių vidutinės defoliacijos kaita Aukštaitijos KMS stacionaruose

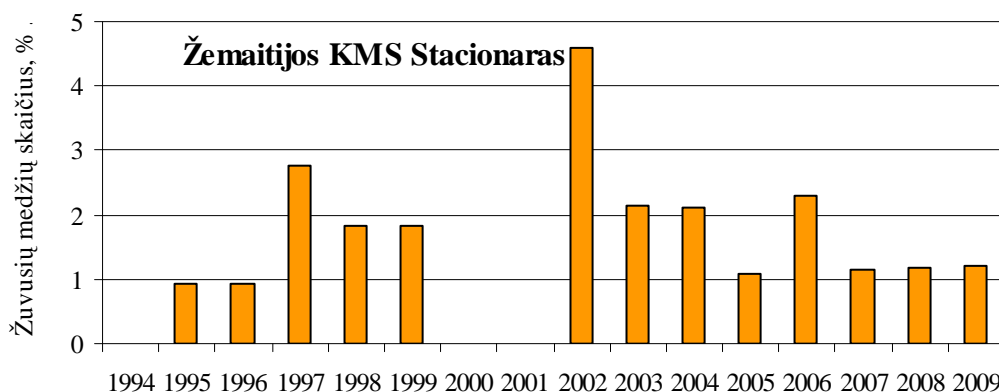


2.5 pav. Atskirų rūšių visų medžių vidutinės defoliacijos kaita Aukštaitijos KMS stacionaruose.

Apibendrinus tyrimų rezultatus nustatyta, kad pušys yra geriausios būklės, o eglės – blogiausios būklės. Per tiriamąjį laikotarpį reikšmingai mažėjo stacionaruose augančių beržų ir pušų vidutinė defoliacija, ypač iki 2004 m. Paskutiniuoju laikotarpiu, t.y. nuo 2005 m. stebimas pušų lajų vidutinės defoliacijos augimas. Tik surinkus visus oro tašos, priežemio ozono bei meteorologinius duomenis bus galima išaiškinti veiksnius galėjusius turėti reikšmingos įtakos tokiai augalijos tyrimų stacionaruose augančių medžių būklės kaitai.

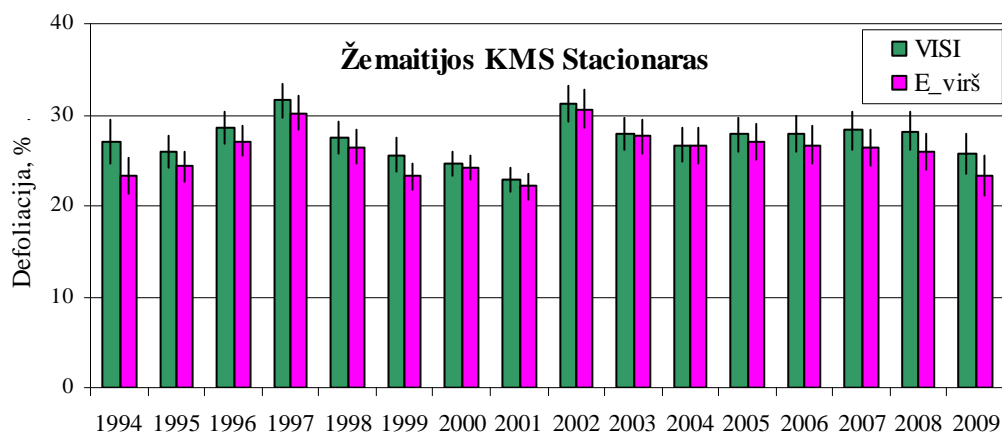
4.2.2 Medyno būklė Žemaitijos KMS stacionare

Žemaitijos stacionare bendras medžių išskritimas per 15 m. laikotarpį siekia 22,9% ar 1,6% per metus. Žuvusių beržų neužregistruota. Nustatyta, kad žuvusios eglės yra įvairaus dydžio, nuo smulkių, atsilikusių augime iki stambių, dominuojančių ir viršaujančių medyne. Pagrindinė šių medžių žūtis priežastis - entokenkėjai ir vejalaužos. 2002 metais net apie 5% eglė buvo pažeistos snieglaužos, o paskutiniaisiais metais, nors eglė žuvimo intensyvumas minimalus, t.y. žūsta maždaug po vieną eglę per metus (tai sudaro 1,2% visų medžių), eglė žuvimo priežastis – žievėgraužis tipografas.



2.6 pav. Žuvusių medžių skaičius Žemaitijos KMS tyrimų stacionare 1995-2007 m.

Pagrindiniai medžių būklės kaitos parametrai Žemaitijos KMS stacionare pateikti 2.7 paveiksluose. Metais, kuriais medžių vidutinė defoliacija buvo didžiausia užregistruotas ir didesnis žuvusių medžių skaičius. Įdomu pažymėti, kad defoliacijos kaitos tendencijoms įtakos neturėjo medžių išsivystymo laipsnis. Vyraujančių ir atsilikusių augime medžių vidutinės defoliacijos kitimo pobūdis metų bėgyje buvo analogiškas. Tik didesnių medžių vidutinė defoliacija buvo mažesnė, o žemesnių, atsilikusių augime – didesnė.



2.7 pav. Visų ir išlikusių gyvų medžių būklės kaita Žemaitijos KMS stacionare

Didžiausias neigiamas defoliacijos pokytis užregistruotas 2002 metais. Pagrindinis veiksnys esminiai sąlygojantis medžių, pagrinde eglių, būklę buvo vasario mėnesį vykusios snieglaužos. Dėl šios priežasties pažeisti medžiai neteko vidutiniškai apie 30% lajos viršutinės dalies, o atskirais atvejais ir visos lajos. Tokiu būdu kenkėjų žalos pakartotinio išplitimo problema vėl tapo aktuali ir 2003 – 2006 m. laikotarpiu eglių žuvimo intensyvumas dėl žievėgraužio viršijo 2% per metus.

Per paskutiniuosius trejus metus (2007 – 2009) eglių žuvimas stabilizavosi, o jų lajų vidutinė defoliacija pradėjo reikšmingai mažėti, ypač virkaujančių eglių. Tokia eglių būklės kaita indikuoja mums apie gerėjančią bendrą miškų ekosistemų būklę, pirmiausiai apie mažėjančią užterštumo lygį ir palankias augimo sąlygas.

Išvados

1. Aukštaitijos KMS stacionaruose pušys yra geriausios būklės, o eglės – blogiausios būklės. Per tiriamąjį laikotarpį reikšmingai mažėjo stacionaruose augančių beržų ir pušų vidutinė defoliacija. Išimtį sudaro 2005-09 metų pušų defoliacija, kuri reikšmingai padidėjo lyginant su 2004 m. Beržų lajų vidutinė defoliacija paskutiniųjų 5 m laikotarpiu turi tendencija mažėti.

2. Žemaitijos KMS stacionare eglių defoliacija per visą tiriamąjį laikotarpį svyravo nuo 25 iki 27 %. 1997-2001 m. laikotarpių jų defoliacija reikšmingai mažėjo. 2002-2007 m. laikotarpis pasižymi padidėjusia eglių vidutine defoliacija ir tik 2008-2009 m. stebimas ženklus eglių būklės pagerėjimas.

3. Palyginus eglių vidutinę defoliaciją augalijos tyrimų stacionaruose, nustatyta, kad Žemaitijos stacionaro eglių vidutinė defoliacija mažesnė negu Aukštaitijos KMS stacionarų, tačiau pagrindinis veiksnys sąlygojantis eglių būklę KMS stacionaruose išlieka žievėgraužio topografo daroma žala.

4.3. Medžių pažeidimai KMS teritorijose.

Pagal Integruoto monitoringo programa medžių pažeidimų tyrimai vykdomi kiekvienais metais. Tyrimo metu atliekamas užregistruotų pažeidimų identifikavimas, pagrindinių priežasčių nustatymas bei pažeidimo intensyvumo įvertinimas.

Pagrindinis darbo tikslas – išaiškinti medžių pažeidimo priežastis bei jų intensyvumą visoje KMS teritorijoje.

Darbo metodika

Medžių pažeidimų vertinimui panaudoti Amerikietiško miškų monitoringo programos metodiniai reikalavimai (FHM Guide, 1984, 1987). Pagal šios programos reikalavimus registruojama medžio pažeidimo sritis, pažeidimo rūšis, intensyvumas bei nustatoma pagrindinė pažeidimo priežastis, jei ją įmanoma identifikuoti. Medžių pažeidimų sritys ir rūšys bei jų intensyvumas pateiktas 4.3.1 lentelėje.

4.3.1 lentelė. Medžių pažeidimų vietos, pažeidimų rūšys ir jų intensyvumas

Pažeidimo rūšis	Ko das	Pažeidimo intensyvumas	Ko das	Medžio pažeidimo sritis	Ko das
Vėžys	1	1-100%	0-9	Nėra pažeidimų	0
Grybų vaisiakūniai ir kt. pūvančios medienos požymiai	2	Nėra	-	Šaknys ir kelminė kamieno dalis	1
Atviros žaizdos	3	1-100%	0-9	Šaknys ir apatinė kamieno dalis	2
Sakotakių pažeidimas	4	1-100%	0-9	Apatinė kamieno dalis	3
Nulaužtas kamienas	11			Visas kamienas	4
Nutrauktos šaknys > 1 m nuo kelmo	13	1-100%	0-9	Viršutinė kamieno dalis	5
Nulenktas kamienas	15	1-100%	0-9	Lajos kamienas	6
Viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas	21	1-100%	0-9	Šakos	7
Sausos ar nulaužytos šakos gyvojoje lajoje.	22	1-100%	1-9	Ūgliai	8
Ūglių šluotos ar vilkūgliai	23	10-99%	1-9	Lapai, spygliai	9
Ūglių ir lapų pažeidimai	24	10-99%	1-9		
Eglinio topografo pažeidimai	25				
Briedžių pažeidimai	33				

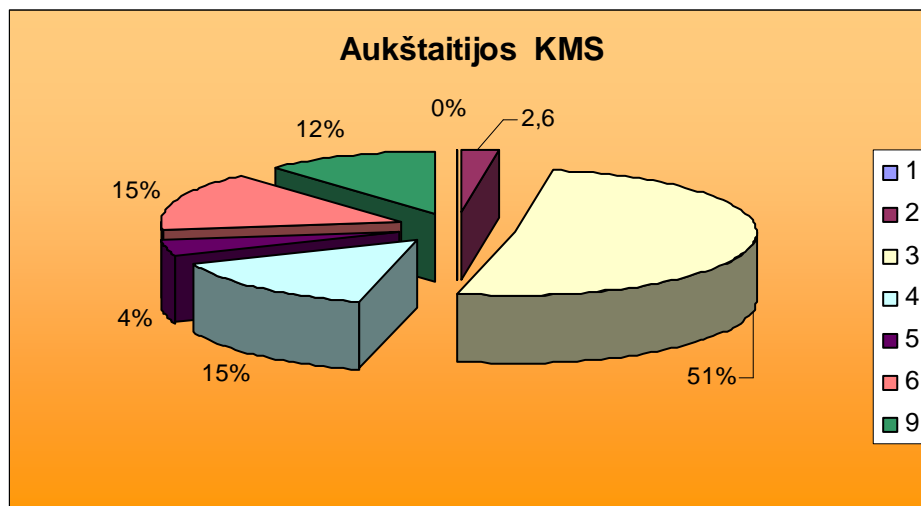
Darbo rezultatai

Vienas iš svarbiausių miškų būklės monitoringo metu atliekamų tyrimų yra medžio pažeidimų nustatymas ir jų intensyvumo įvertinimas. Šių tyrimų metu nustatomi pažeidimų tipai pateikiami metodikoje.

4.3.1 Aukštaitijos KMS medžių pažeidimai bei pagrindinės priežastys

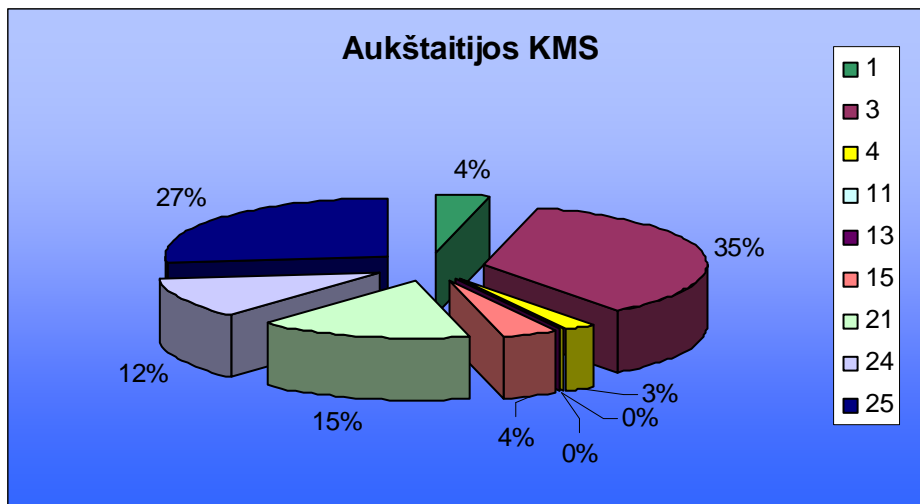
Nustatyta, kad Aukštaitijos KMS teritorijoje iš 526 atrinktų viršaujančių, vyraujančių ir iš dalies stelbiamų miško medžių 78 identifikuoti pažeidimai, kurie iš esmės įtakuoja ar galėjo įtakoti jų būklę. 6 medžiai turėjo 2jų rūšių pažeidimus, kurie galėjo reikšmingai sąlygoti jų būklę. Pažeisti medžiai sudaro 14,8% šių medžių. Palyginus su praėjusiais metais pažeistų medžių padidėjo 1,7%.

Iš 3.1 pav. pateiktos schemos matyti, kad daugiausiai pažeidimų rasta vėl apatinėje kamieno (3). Pažeidimai šioje srityse sudaro 51% visų užregistruotų pažeidimų. Kitoms medžio sritims tenka žymiai mažiau pažeidimų. Visame kamieno (4), lajos kamieno (6) ir lajoje (9) užregistruota maždaug po lygiai pažeidimų, t.y. po 12-15%. Mažiausiai pažeidimų rasta šaknų ir priekelminėje kamieno srityje (1; 2) (3%) ir viršutinėje kamieno dalyje (5) (4%).



3.1 pav. Pažeidimų pasiskirstymas pagal pažeistą medžio sritį

(1. - šaknys ir priekelminė dalis (iki 30 cm); 2. šaknys ir apatinė kamieno dalis; 3. - apatinė kamieno dalis; 4. visas kamienas; 5. - viršutinė kamieno dalis; 6. - lajos kamienas; 9 – lapai, spygliai)



3.2 pav. Pažeidimų ir ligų pasiskirstymas pagal rūšį

Kamieno ir šaknų pažeidimai: 1. – vėžys; 3, - atviros žaizdos; 4. – sakotakių pažeidimas;

11 – nulaužtas kamienas; 13 – nutrauktos šaknys; 15 – nulenkta kamienas

Pažeidimai medžio lajoje: 21 - viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas; 24 – ūglių – lapų pažeidimai;

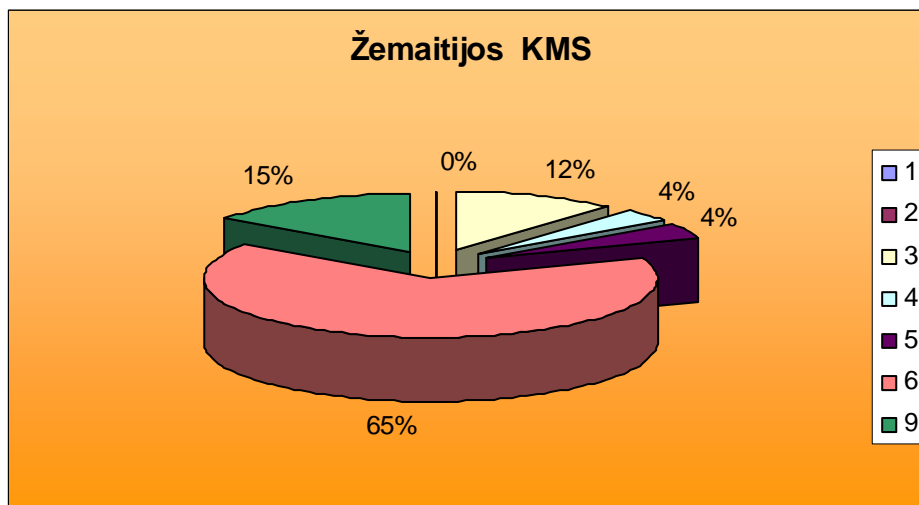
25 – eglinio tipografo pažeidimai.

Iš nustatytų pažeidimų dažniausiai pasikartojantys buvo: atviros žaizdos (3). Šis pažeidimas sudarė 35% visų pažeidimų (3.2 pav.). Tai įvairaus senumo bei intensyvumo elnių nulopyti eglė kamienai. 27% pažeidimų sudarė eglinio topografo pažeidimai, kurie per praėjusius metus vėl padažnėjo. 12% ir 15% visų pažeidimų sudarė ūglių – lapų pažeidimai (24) ir viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas (21), kurių sąlygojo snieglaūžos ar vėjalaūžos.. Kiti užregistruoti pažeidimai nesiekė 5%.

Daugiausiai pažeistos buvo paprastosios eglės, kurios sudarė 85% visų pažeistų medžių. 10% visų pažeidimų teko beržams ir 5% pušims.

Apibendrinus gautų tyrimų rezultatus, nustatyta, kad paskutiniuoju laikotarpiu (2002-2009 m.) pažeidimų priežastys ir pažeidimų sritys medyje praktiškai iš esmės nekito, išskyrus dvigubai padidėjusio eglinio tipografo pažeidimų intensyvumą. Šis pažeidimas lėmė ir išskirtinai aukštą medžių iškritimo intensyvumą ir stacionaruose.

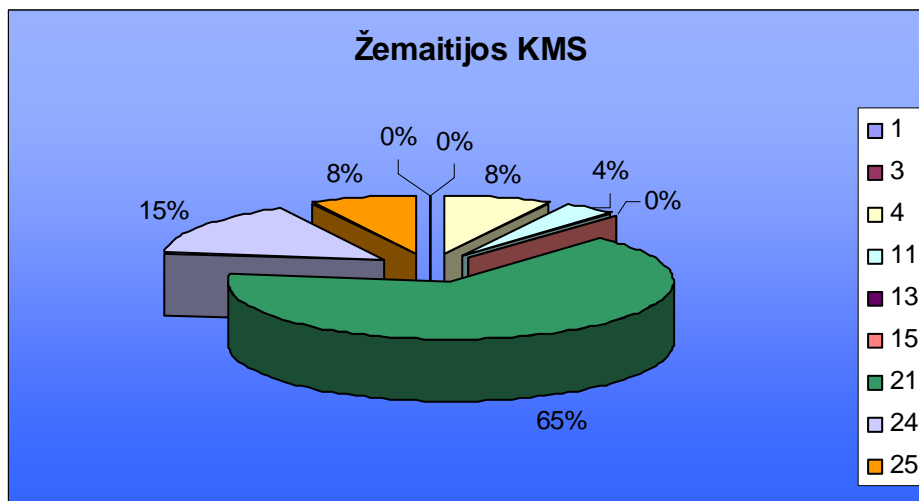
4.3.2 Žemaitijos KMS medžių pažeidimai bei pagrindinės priežastys



3.3 pav. Pažeidimų pasiskirstymas pagal pažeistą medžio sritį
(1. - šaknys ir priekelminė dalis (iki 30 cm); 2. šaknys ir apatinė kamieno dalis; 3. - apatinė kamieno dalis; 4. visas kamienas; 5. - viršutinė kamieno dalis; 6. - lajos kamienas; 9 – lapai, spygliai)

Nustatyta, kad Žemaitijos KMS teritorijoje 7,3% tirtų viršaujančių, vyraujančių ir iš dalies stelbiamų miško medžių buvo pažeisti. Paliginus su praėjusiais metais jų skaičius sumažėjo 1,6%.

Iš 3.3 pav. pateiktos schemos matyti, kad daugiausiai pažeidimų rasta lajos kamieno srityje (6). Pažeidimai šiose srityse 2009 m. viršijo net 65% visų užregistruotų pažeidimų. Kiek mažiau buvo pažeistos lajos (9) sritis – 15% visų pažeidimų. Tai su meteorologiniais veiksniais susiję pažeidimai. Šaknų ir priekelminė (1) bei šaknų ir apatinėje kamieno srityse paskutiniaisiais metais pažeidimų nerasta.



3.4 pav. Pažeidimų ir ligų pasiskirstymas pagal rūšį
Kamieno ir šaknų pažeidimai: 1. – vėžys; 3. - atviros žaizdos; 4. –sakotakių pažeidimas; 11 – nulaužtas kamienas; 15 – nulenkta kamienas
Pažeidimai medžio lajoje:21 - viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas; 24 – ūglių – lapų pažeidimai; 25 – eglinio tipografo pažeidimai.

Nustatyta, kad dažniausiai pasikartojantis pažeidimas buvo viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas (21). Šis pažeidimas sudarė apie 65% visų pažeidimų (3.4 pav.). Tokį didelį šio pažeidimo registracijų skaičių sąlygojo vėl pasikartojančios vėjalaužos ir snieglaužos. Tai turėtų kelti nerimą, nes tokie nusilpę medžiai gali padėti eilinį kartą kenkėjams išplisti. Be šio pažeidimo, tyrimų metu užregistruotos dar 6 priežastys iš kurių aktualiausias turėtų būti eglinio topografo pažeidimai (25). Šio kenkėjo pažeidimai 2009 m. sumažėjo nuo 28% iki 8% visų pažeidimų.

Daugiausiai pažeistos buvo paprastosios eglės, kurios sudarė 80% visų pažeistų medžių. 15% visų pažeidimų teko beržams ir 5% pušims.

Apibendrinus gautų tyrimų rezultatus, nustatyta, kad paskutiniuju laikotarpiu (2002-2009 m.), kaip ir Aukštaitijos KMS, pažeidimų priežastys ir pažeidimų sritys medyje praktiškai iš esmės nepakito, išskyrus beveik 5 kartus padidėjusio eglinio tipografo pažeidimų intensyvumą.

IŠVADOS

1. Aukštaitijos KMS teritorijoje iš 526 atrinktų viršaujančių, vyraujančių ir iš dalies stelbiamų miško medžių 78 identifikuoti pažeidimai, kurie iš esmės įtakojo ar galėjo įtakoti jų būklę. Pažeisti medžiai sudaro 14,8% šių medžių. Palyginus su praėjusiais metais pažeistų medžių padidėjo 1,7%..
2. Aukštaitijos KMS teritorijoje daugiausiai pažeidimų rasta vėl apatinėje kamieno (3). Pažeidimai šioje srityse sudaro 51% visų užregistruotų pažeidimų. Visame kamiene (4), lajos kamiene (6) ir lajoje (9) užregistruota maždaug po lygiai pažeidimų, t.y. po 12-15%. Mažiausiai pažeidimų rasta šaknų ir priekelminėje kamieno srityje (1; 2) (3%) ir viršutinėje kamieno dalyje (5) (4%).
3. Aukštaitijos KMS dažniausiai pasikartojantys buvo: atviros žaizdos (3) - 35% visų pažeidimų. 27% pažeidimų sudarė eglinio topografo pažeidimai, kurie per praėjusius metus vėl padažnėjo. 12% ir 15% visų pažeidimų sudarė ūglių – lapų pažeidimai (24) ir viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas (21), kurį sąlygojo snieglaužos ar vėjalaužos.
4. Žemaitijos KMS teritorijoje 7,3% tirtų viršaujančių, vyraujančių ir iš dalies stelbiamų miško medžių buvo pažeisti. Palyginus su praėjusiais metais jų skaičius sumažėjo 1,6%.
5. Žemaitijos KMS teritorijoje daugiausiai pažeidimų rasta lajos kamieno srityje (6) - 65% visų užregistruotų pažeidimų. Kiek mažiau buvo pažeista lajos (9) sritis – 15% visų pažeidimų. Tai su meteorologiniais veiksniais susiję pažeidimai.
6. Žemaitijos KMS dažniausiai pasikartojantis pažeidimas buvo viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas (21) - 65% visų pažeidimų. Tokį didelį šio pažeidimo registracijų skaičių sąlygojo vėl

pasikartojančios vėjalaužos ir snieglaužos. Eglinio topografo pažeidimų (25) sumažėjo iki 8% visų pažeidimų.

4.4. Žaliųjų oro dumblių gausa

Plevelo genties dumbliai *Pleurococcus vulgaris* ir *Protococcus viridis* - oro užterštumo azoto junginiais bioindikatoriai (Brakenhelm, 1990). Kuo daugiau azoto junginių krituliuose ir atmosferoje, tuo storesniu ir tankesniu sluoksniu šie dumbliai padengia eglės spyglius, tuo greičiau plinta jų kolonijos.

1993 m. Aukštaitijos ir Dzūkijos KMS, o 1994 Žemaitijos KMS uždaruose upelių baseinuose buvo įkurtos žaliųjų oro dumblių gausumo tyrimo stotys. 2008 m. žaliųjų oro dumblių gausumo tyrimai pakartoti aštuntą kartą.

Darbo tikslas: tirti Plevelo genties dumblių gausumą ant eglės spyglių, tiesiogiai ir betarpiškai reaguojantį į oro užterštumą azoto junginiais.

4.1 lentelė. Žaliųjų oro dumblių stebėjimo rezultatai KM stotyse

Eil. Nr.	D1,3 mm	H dm	Spyglių amžius 1,6 m aukštyje	Vid. defol. %	Apaug. dumbl. intensyvumas, balais	Apaug. dumbl. jauniaus. ūglio amžius	Ūglių amžius, m.	
							su 50% spygl	su 5% spygl
.....*	DBH	HEIG	ANF	DEF	COAT	YALG	MED	MAX
Aukštaitijos žaliųjų oro dumblių tyrimų stotis								
1993	132	100	10	5	1,0	2,9	6,7	9,7
1998	114	100	10	5	1,8	2,7	6,0	8,6
2001	129	110	10	5	1,7	2,5	6,0	8,5
2004	134	110	9	10	1,5	3	6,5	9,0
2005	140	115	8,5	15	1,0	2,6	6,1	8,0
2006	120	85	6,3	15	1,3	2,7	5,2	6,0
2007	124	90	6,5	15	1,8	2,0	5,3	6,0
2008	132	95	6,5	10	1,2	2,6	5,5	6,0
2009	139	100	6,0	10	1,1	2,4	5,1	5,5
Dzūkijos žaliųjų oro dumblių tyrimų stotis								
1993	95	86	8	11	2,1	3,1	5,0	8,0
1998	135	86	8	11	1,3	3,8	7,9	11,1
Žemaitijos žaliųjų oro dumblių tyrimo stotis								
1994	65	55	9	8	1,0	3,0	5,3	9,0
1998	78	55	9	8	1,2	3,2	4,3	6,4
2001	127	85	10	5	1,5	2,5	5,1	8,1
2004	222	150	8,7	14,3	1,6	2,0	5,8	7,8
2005	222	150	8,4	15,7	2,0	2,0	5,2	7,4
2006	227	150	8,7	16,0	2,6	1,3	4,8	7,5
2007	230	160	8,5	12,5	2,3	1,5	5,8	7,4
2008	233	165	8,0	9,2	2,5	1,3	5,0	8,0
2009	238	170	7,7	8,3	2,3	1,8	5,5	7,5

Pastaba: * - parametru sutrumpinimas pagal Manual of Integrated Monitoring, 1993

Stebimų eglių defoliacija tiriamuoju laikotarpiu Aukštaitijos KMS buvo apie 10% ir Žemaitijos KMS - svyravo nuo 5% iki 16%. Jų žaliosios šakos prasidėjo 20 - 60 cm aukštyje. Dumблиų padengimo intensyvumas buvo stebimas 160 cm aukštyje.

Palyginus 1993 metų žaliojo oro dumblio paplitimo bei spyglių padengimo intensyvumo tarp atskirų KM stočių tyrimo rezultatus buvo nustatyta, kad labiausiai azoto junginiais turėjo būt užterštas Dzūkijos KMS teritorija. Aukštaitijoje ir Žemaitijoje užterštumas šiais junginiais buvo kiek mažesnis ir beveik nesiskyrė tarpusavyje.

1998 m. pakartojus žaliadumblių gausos tyrimus nustatyta, kad didžiausių gausumu žaliadumbliai pasižymi Aukštaitijos KMS teritorijoje, kas liudytų apie šios teritorijos didžiausią užterštumą azoto junginiais. Kiek mažesniu gausumu pasižymėjo žaliadumbliai Dzūkijos KMS teritorijoje ir mažiausiu gausumu - Žemaitijos KMS teritorijoje.

2001 m. tyrimų rezultatai neišaiškino esminių žaliadumblių gausumo pokyčių tirtose stotyse. Kaip ir ankstesniais metais didesniu gausumu pasižymi Aukštaitijos KM stotis, kas liudytų kad oro baseinas šioje stotyje turėtų būti labiau teršiamas azoto junginiais nei Žemaitijos KM stoties.

2005-2007 m. žaliųjų oro dumblių gausa Žemaitijos KMS dumblių tyrimo stotyje beveik du kartus viršijo dumblių gausą Aukštaitijos KMS. Paskutiniaisiais 2008 metais Aukštaitijos KMS dumblių gausumas ant stebimų eglės spyglių dar labiau sumažėjo, o Žemaitijos KMS, priešingai, dar labiau padidėjo. Parametrai indikuojantys padengimo intensyvumą Žemaitijos KM stotyje reikšmingai viršijo Aukštaitijos KMS dumblių tyrimo stotyje gautus parametrus. Tokiu būdu būtų galima teigti, kad žaliųjų oro dumblių gausos kaita indikuoja tą patį dėsnį, kaip ir kiti rodikliai (medžių defoliacija, epifitinių kerpių gausa ir rūšinė įvairovė) – Žemaitijos KMS baseino foninis užterštumas paskutiniaisiais metais didesnis negu Aukštaitijos KMS baseino, ką patvirtina ir oro bei kritulių tyrimo rezultatai.

2009 m. tyrimų rezultatai parodė, kad KMS baseinuose turėtų mažėti tarša azoto junginiais. Palyginus gautus rezultatus tarp stočių, aukštesnėmis azoto koncentracijomis ore turėtų pasižymėti Žemaitijos KMS.

IŠVADOS

1. Tyrimų pradžioje didžiausių gausumu žaliadumbliai pasižymėjo Aukštaitijos KMS teritorijoje. Kiek mažesniu gausumu pasižymėjo žaliadumbliai Dzūkijos KMS teritorijoje ir mažiausiu gausumu - Žemaitijos KMS teritorijoje.
2. Nuo 2004 m. žaliųjų oro dumblių gausa Žemaitijos KMS dumblių tyrimo stotyje viršija šių dumblių gausą Aukštaitijos KMS dumblių tyrimo stotyje. Parametrai indikuojantys padengimo intensyvumą šioje stotyje reikšmingai viršijo Aukštaitijos KMS dumblių tyrimo stotyje gautus parametrus.

4.5. Epifitinių kerpių rūšinė įvairovė ir gausumas

Kamieno epifitai, o ypač kerpės, jautriau nei ant žemės paviršiaus augantys augalai, reaguoja į oro taršą. Kerpės žudančiai veikia sieros dvideginis SO₂, fluoro vandenilis HF, etilenas ir ozonas O₃ (James, 1973; De Wit, 1983). Laboratoriniais ir lauko bandymais patvirtinta, kad epifitinių kerpių bendrijos, kaip biomonitoriai, yra puikus daugelio teršalų stebėjimo objektas (Skye, 1979; Burton, 1986). Pagal epifitinių kerpių rūšinę įvairovę, jų gniužulų dydį ir būklę, atskirų jautrių ar tolerantiškų užterštumui kerpių rūšių buvimą, atsiradimą ar išnykimą ir pagal jų bendrijų sugebėjimą užimti didesnę plotą, sprendžiama apie oro užterštumo laipsnį ir aplinkoje vykstančius pokyčius. Silpnai išsivystę, pažeisti, bespalviai ar pajuodavę, maži ar žuvę epifitinių kerpių gniužulai dažniausiai parodo aplinkos užterštumą.

Analizuojant epifitinių makrokerpių rūšinę įvairovę ir gausumą, Lietuvoje augančios kerpės sugrupuotos pagal jautrumą teršalams. Atliekant surinktų duomenų analizę buvo atsižvelgiama į epifitinių kerpių jautrumą teršalams, pagal 10 balų Europos miškų kerpių skalę (Lichens as ..., 1993):

1. Jautriausios užterštumui poleofobiškos kerpės - kerpių jautrumas - 5-7 balai:

- * pilkoji laumagaurė (*Bryoria implexa* (Hoffm.) Brodo & D. Hawksw.), tamsioji laumagaurė (*Bryoria fuscescens* (Gyeln.) Brodo & D. Hawksw.) ir kt.. - 6 balai;
- * kedenės (*Usnea Wigg. em Ach. spp.*), žalsvasis kežas (*Melanelia olivacea* (L.) Essl.) - 6 balai;
- * sodinė briedragė (*Evernia prunastri* (L.) Ach.), vamzdiškasis plynkežis (*Hypogymnia tubulosa* (Schaer.) Havaas.) - 5 balai;
- * dulkėtoji ramalina (*Ramalina pollinaria* (Westr.) Ach.), uosinė ramalina (*Ramalina fraxinea* (L.) Ach.), miltuotoji ramalina (*Ramalina farinacea* (L.) Ach.) - 5 balai;

2. Vidutinės poleotolerancijos kerpės - kerpių jautrumas - 3-4 balai:

- * sėleninė briedragė (*Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf.), melsvoji kerpena (*Platismatia glauca* (L.) W.L. Culb. & C.F. Culb.), žalsvoji kerpena (*Tuckermannopsis chlorophylla* (Willd.) Hale (*Cetraria chlorophylla* (Willd. in Humb.) Vain.)), pušinė kerpena (*Vulpicida pinastri* (Scop.) J.-E. Mattsson & M.J. Lai.) - 4 balai;
- * vagotasis kežas (*Parmelia sulcata* Taylor.) - 3 balai;

3. Pakankamai pakenčiančios užterštumą poleotolerantiškos kerpės - kerpių jautrumas - 1-2 balai:

- * putlusis plynkežis (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.), neapibrėžtoji kežuotė (*Parmeliopsis ambigua* (Wulfen.) Nyl.) - 2 balai;
- * sieninė geltonkerpė (*Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr.), daugiavaisė geltonkerpė (*Xanthoria polycarpa* (Hoffm.) Th. Fr. ex Rieber) - 1 balas.

Pirmieji kerpių tyrimai Aukštaitijos KMS atlikti 1993 m., o Žemaitijos KMS 1994 m. Kerpių tyrimo stotyje (KTS) medžių kerpėtumas įvertintas 60, 90, 120 ir 150 cm aukštyje nuo žemės paviršiaus ant medžių kamienų linijiniu metodu (Bräkenhelm, 1990) ir nustatyta jų rūšinė įvairovė. Krūmiškosioms kerpėms (kedenėms, sėleninei briedragei) išmatuotas maksimalaus plaušo ilgis. Pakartotinai tyrimai šiose stotyse atlikti 1996, 1999, 2002 ir 2005 m.

Aukštaitijos IMS KTS kerpės tirtos 140 metų amžiaus pušyne. Čia rastos ir apmatuotos 4 epifitinių makrokerpių rūšys: putlasis plynkežis (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.), sėleninė briedragė (*Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf.), neapibrėžtoji kežuotė (*Parmeliopsis ambigua* (Wulfen) Nyl.) ir šiurės genties kerpės (*Cladonia* spp. (Hill.) Vain.). Žemaitijos KMS kerpės tirtos mišriame eglės-pušies medyne, kurį sudaro brandi eglė, brandi pušų ir kelios jaunesnių eglė kartos. Šiame tankiame, sudėtiniame medyne užregistruotos ir apmatuotos 3 kerpių rūšys: putlasis plynkežis (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.), melsvoji kerpena (*Platismatia glauca* (L.) W.L. Culb. & C.F. Culb.) ir šiurės genties kerpės (*Cladonia* spp. (Hill.) Vain.).

Visose kerpių tyrimo ploteliuose ant pušų kamienų registruojama pakankamai poleotolerantiška SO₂ lapiškoji kerpė - putlasis plynkežis. Melsvoji kerpena jautriausia iš Aukštaitijoje ir Žemaitijoje nuolatos stebimų kerpių rūšių. Šių krūmiškųjų kerpės jautrumas - 4 balai. Tik paskutiniaisiais metais Aukštaitijos IMS stotyje rasta jautri SO₂ koncentracijoms ore *Usnea* spp. Genties kerpė. Jos jautrumo balas – 6.

Darbo rezultatai

1996 m. atlikta antroji epifitinių kerpių apskaita. Kai kurie šios apskaitos duomenys pateikiami 7.1 paveiksle. Aukštaitijos IMS užregistruotos 4 epifitinių makrokerpių rūšys: putlasis plynkežis, neapibrėžtoji kežuotė, šiurė ir sėleninė briedragė. Bendras Aukštaitijos KMS pušų kerpėtumas - 2,52 %. Putliuoju plynkežiu padengta tik 1,34 % pušų kamienų žievės (1993 metais buvo 1,78 %).

Žemaitijos IMS ant pušų ir eglė kamienų užregistruotos 3 epifitinių makrokerpių rūšys (po 3 ant pušų ir eglė medžių) - putlasis plynkežis, šiurė, melsvoji kerpena. Bendras Žemaitijos IMS pušų kerpėtumas - 7,68 %, eglė - 23,52 %. Putliuoju plynkežiu padengta tik 4,72 % pušų kamienų žievės (1994 metais buvo 4,79 %) ir 20,37 % eglė kamienų žievės (1994 metais buvo 20,92 %).

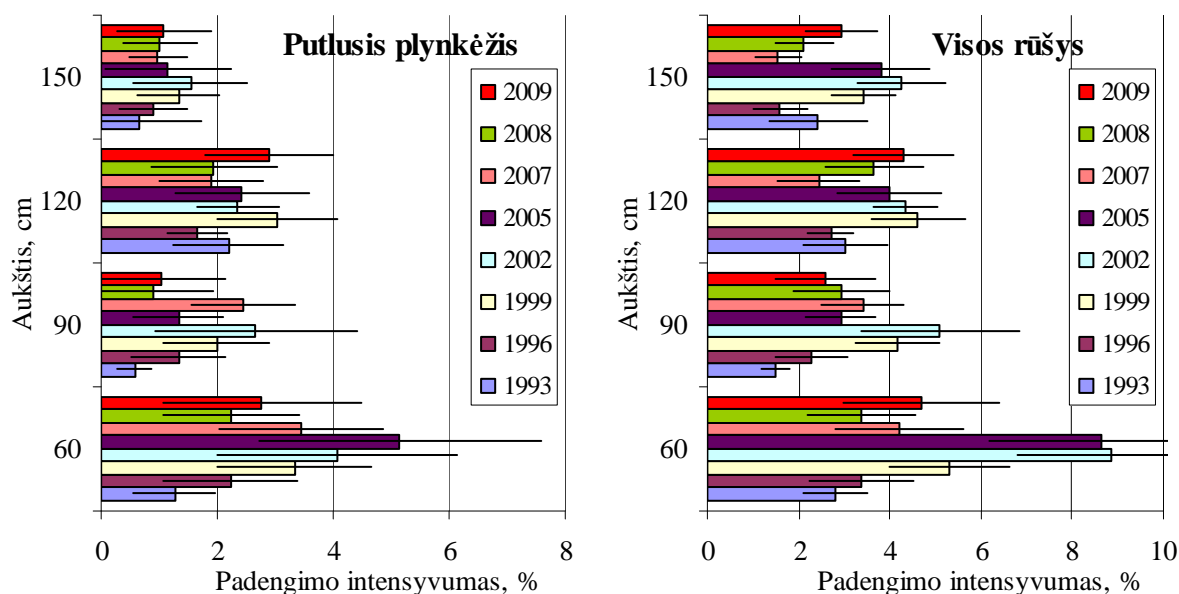
Taigi lyginant su pirma lichenometrine apskaita, absoliutūs padengimo kerpėmis skaičiai liko beveik nepakitę.

Trečios epifitinių kerpių gausumo apskaitos rezultatai rodė, kad labiausiai pušies kamienų kerpėtumas, kaip bendras taip ir putliuoju plynkežiu, padidėjo Žemaitijos IM stotyje, kiek mažiau Aukštaitijos ir mažiausiai Dzūkijos IM stotyje. 1999 m. naujų kerpių rūšių ant tirtų medžių nerasta.

2002 m. Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS buvo atlikta 4-ta epifitinių kerpių rūšinės įvairovės, gausumo bei būklės apskaita. 2008 m. atlikta septintoji epifitinių kerpių apskaita.

4.5.1. Epifitinių kerpių rūšinė įvairovė ir gausumas Aukštaitijos KMS kerpių tyrimo stotyje

Aukštaitijos KMS kerpių tyrimo stotyje gauti epifitinių kerpių gausumo tyrimo rezultatai pateikti 7.1 paveiksle.



7.1 pav. Pušies kamienų kerpėtumo (%) kaita Aukštaitijos KMS teritorijoje 1993-2007m.

Iš pateiktų duomenų matyti, kad epifitinių kerpių padengimo intensyvumas iš esmės didėjo visuose matavimo lygiuose ir ypač žemiausiame – 60 cm tik iki 2005. Paskutiniaisiais metais užregistruotas epifitinių kerpių gausos sumažėjimas ir ypač padengimas putliuoju plynkežiu.

2009 m. tirtų pušų kamienų padengimas epifitinėmis kerpėmis nežymiai, tačiau padidėjo. Ypač tai ženklų 60 ir 120 cm aukštyje. Bendras kerpėtumas paskutiniaisiais metais sudarė 3,6%, o kamienų padengimas tik putliuoju plynkežiu – 1,95%. Šios reikšmės labai artimos daugiamečiui vidurkiui.

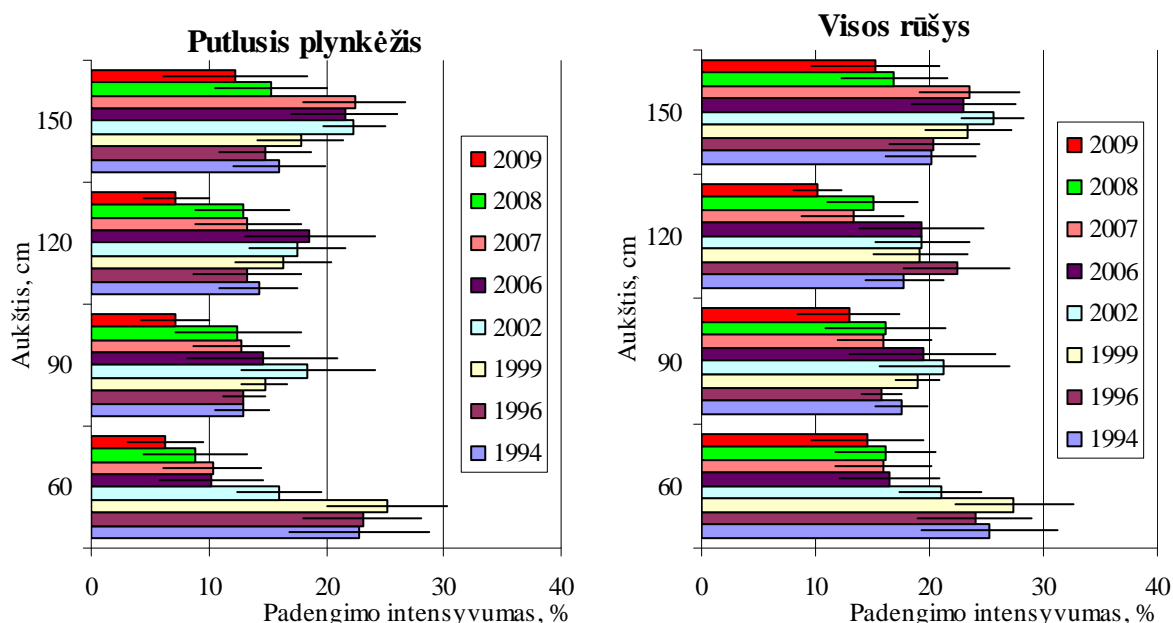
Iš gautų duomenų nustatyta, kad didžiausią įtaką 60 cm aukštyje epifitinių kerpių gausumo padidėjimui turėjo *Cladonia* genties epifitinių kerpių paplitimas.

Epifitinių kerpių rūšinė įvairovė jau daugelį metų nekinta. Tai tris epifitinių kerpių rūšys: putlusis plynkežis, neapibrėžtoji kežuotė ir šiurės genties rūšys.

4.5.2. Epifitinių kerpių rūšinė įvairovė ir gausumas Žemaitijos KMS kerpių tyrimo stotyje

Žemaitijos KMS kerpių tyrimo stotyje. Iš pateiktų duomenų matyti, kad epifitinių kerpių gausumas per paskutinįjį laikotarpį išliko stabilus ar net nežymiai sumažėjo. Intensyviausiai šis procesas pasireiškė apatinėje stebo dalyje – 60 cm aukštyje. Manome, kad pagrindinė priežastis buvo intensyvus medžių apledėjimas 2002 m. vasario mėn., kai daugelio medžių šakos lūžo nuo gausaus sniego ir ledo. Dideli nuokritų kiekiai už šį laikotarpį laidžia teigti, kad epifitinės kerpės daugelyje atveju buvo mechaniškai nubrauktos nuo tiriamų kamienų.

Paskutiniaisiais metais epifitinių kerpių gausa, kaip ir Aukštaitijos KMS, mažėja ir ypač putliuoju plynkėžiu visuose matavimo aukščiuose.



7.2 pav. Medžių kamienų kerpėtumas (%) Žemaitijos KMS teritorijoje 1994-2002m.

Bendras kerpėtumas sumažėjo nuo 23,4% 1999 iki 13,2% 2009, o plynkėžio gausa sumažėjo nuo 18% iki 8,2%. Tai mažiausias kamienų kerpėtumas per visą tiriamąjį laikotarpį.

IŠVADA

Apibendrinant lichenologinius tyrimų rezultatus kompleksiško monitoringo stotyse, galima teigti, kad klimatiniai faktoriai bei naudojami epifitinių kerpių gausumo tyrimo metodai neleido patikimai nustatyti esminių skirtumų tarp Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS. Tačiau gausmo sumažėjimas per paskutiniųjų trijų metų laikotarpį, galėjo būti sąlygoti medžių kamienų žiauberio atsinaujinimo procesų, o taip pat ir vis didėjančių lajų susivėrimu, dėl ko tirtų medžių kamienai gauna vis mažiau šviesos. Pakartojus tyrimus 2010 m. visoje baseino teritorijoje, manome, kad atsiras galimybė tiksliau įvardinti epifitinių kerpių gausos kitimo priežastis.

4.6 Žolinės augmenijos tyrimai pagal ICP IM programą

Įvadas

Žolių (su krūmokšniais) ir samanų (su kerpėmis) struktūros ir gausumo tyrimai intensyvaus monitoringo stotyse yra sudedamoji augalinės dangos integruoto monitoringo dalis.

Darbo tikslas - augalijos komponentų gausumo ir gyvybingumo stebėjimai ir, jais remiantis, augalų bendrijų gamtinės dinamikos ypatybių vertinimas. Šių duomenų ir negyvosios gamtos stebėjimų rezultatų pagalba galima įvertinti ir klimatinių bei antropogeninių faktorių įtaką augalinės dangos pokyčiams.

Metodika

Botaninio monitoringo darbai buvo atlikti naudojant metodiką, kuri parengta pagal MANUAL..., 1998. Vadovaujantis šia metodika įrengtose žolinės dangos intensyvaus tyrimo pastoviose aikštelėse (0,5 m x 0,5 m) - Aukštaitijos ITS - 100 aikštelių (100 ir 102 intensyvaus tyrimo stotys) ir Žemaitijos ITS - 32 aikštelėse, matuoti šie parametrai:

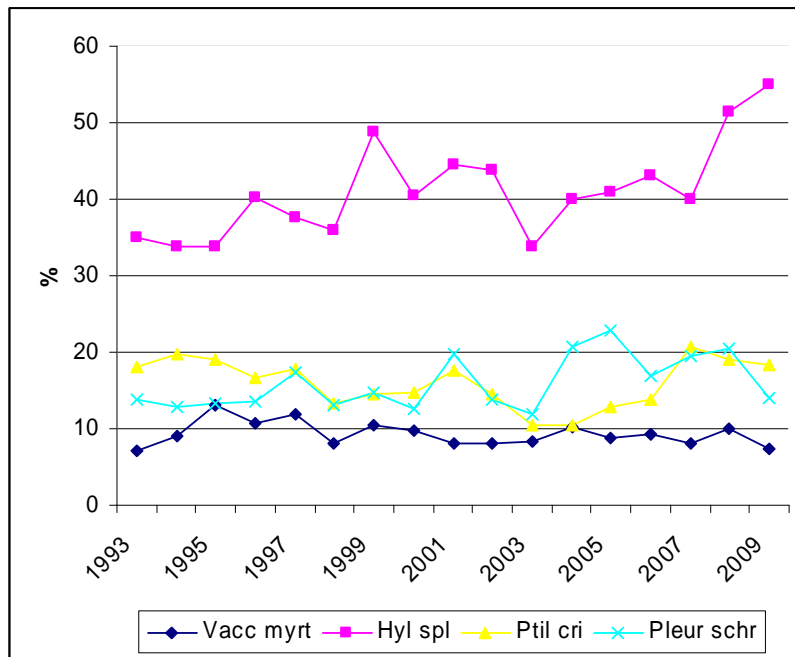
- a) krūmokšnių, žolių, samanų ir kerpių atskirų rūšių projekcinis padengimas (vertinamas procentais, perskaičiavus išreiškiamas procentais vidutiniškai vienai aikštelei),
- b) krūmokšnių, žolių, samanų ir kerpių fertilumas (branda) – vertinamas balais, perskaičiavus išreiškiamas procentais.
- c) krūmokšnių, žolių, samanų ir kerpių atskirų rūšių dažnumas (skaičiuojamas procentais).

Gamtiniai stebėjimai vienu metu visose ITS atlikti birželio mėnesio antroje pusėje. Intensyvaus monitoringo ploteliuose 2008 metais buvo stebima 75 rūšių augalai (52 induočiai ir 22 samanos bei kerpės).

Rezultatai ir jų aptarimas

4.6.1. Aukštaitija – 100

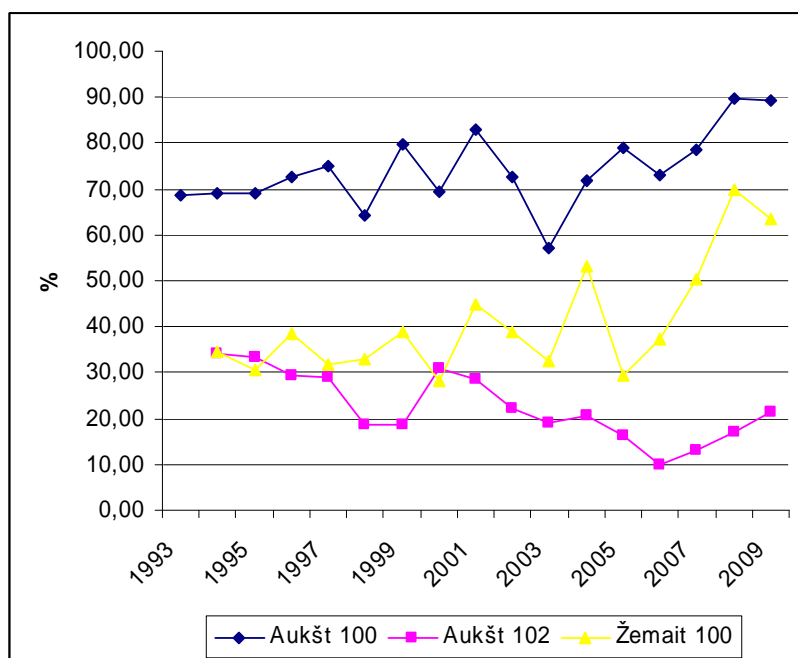
Buvo užregistruota ir stebėta 11 induočių augalų ir 7 samanų rūšys, esančios žolių ir krūmokšnių bei samanų arduose (2 ir 4 priedai). Induočių augalų tarpe išliko tos pačios rūšys, samanų tarpe stebėti nežymūs pokyčiai: vėl užregistruota *Lophocolea heterophylla*, kuri nebuvo rasta praėjusiais metais, tačiau 2008 metais nebeaptikta *Dicranum scoparium*.



3 pav. Aukštaitijos ITS-100 vyraujančių augalų gausumo kitimas 1993-2009 metais

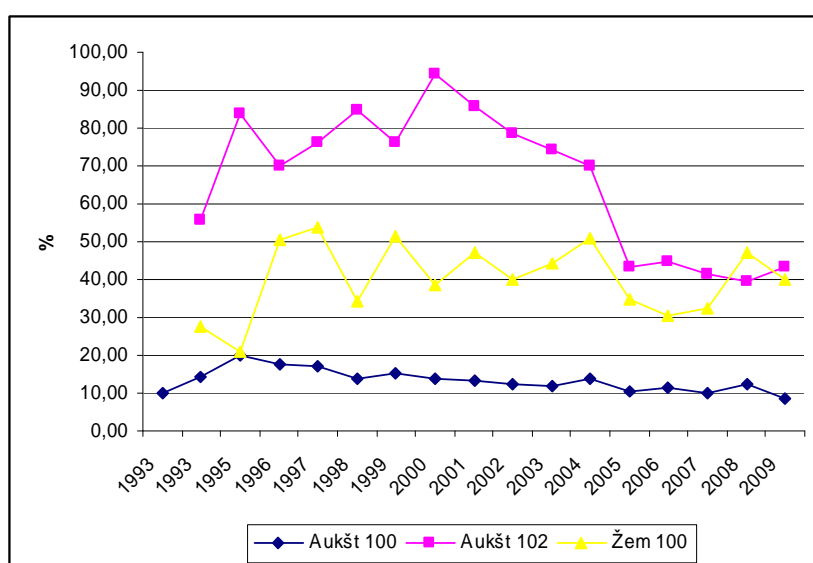
Žolių ir krūmokšnių ardo vidutinis projekcinis padengimas sumažėjo 4,1 %. (1 pav.). Šį sumažėjimą daugiausiai nulėmė vyraujančios rūšies *Vaccinium myrtillus* (3 pav.) ir *Pteridium aquilinum* vidutinio projekcinio padengimo sumažėjimas, kadangi kitų induočių augalų vidutinis projekcinis padengimas sumažėjo nežymiai. *Pteridium aquilinum* – tai rūšis, kurios vidutinis projekcinis padengimas kasmet svyruoja dėl augimo ypatybių (ant apie 1 m per metus pailgėjančio šakniastiebio lapai išauga kasmet kitoje vietoje, ne visada intensyvaus stebėjimo laukeliuose). *Vaccinium myrtillus* – tai rūšis, kuri ypatingai jautri grybinėms ligoms, kurios kasmet daugiau ar mažiau pažeidžia lapus. Tai įtakoja kasmetinius vidutinio projekcinio padengimo svyravimus. 2009 metais dėl grybinių ligų pažeidimai buvo didesni nei 2008 metais, todėl šios rūšies augalų vidutinis projekcinis padengimas sumažėjo.

Samanų dangos vidutinis projekcinis padengimas (2 pav.) išliko beveik stabilus (sumažėjo tik 0,3 %). Skirtingų rūšių vidutinis projekcinis padengimas svyravo (3 pav.), vienu mažėjo (*Ptilium crista-castrensis*, *Pleurozium schreberi*), kitų didėjo (*Hylocomium splendens*), tačiau procentiškai vienu rūšių projekcinio padengimo sumažėjimą atsvėrė kitų padidėjimas. Dominuojančios rūšys išliko tos pačios (*Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*).



1 pav. Žolių ir krūmokšnių ardo projekcinio padengimo kitimas 1993-2009 metais

Pačios dažniausios rūšys išliko tos pačios (2 priedas), jos aptinkamos beveik visuose intensyvaus stebėjimo laukeliuose: *Vaccinium myrtillus*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Ptilium crista-castrensis*. *Dicranum polysetum* dažnumas sumažėjo, ši rūšis aptinkama šiek tiek daugiau nei trečdalyje laukelių, *Calamagrostis arundinacea*, kaip ir praėjusiais metais, penktadalyje. *Goodyera repens* dažnumas sumažėjo iki 12 %, tačiau kasmetinės gausumo ir dažnumo fluktuacijos yra būdingos orchidiniams augalams. Kitų rūšių dažnumas mažas (6-2 %).

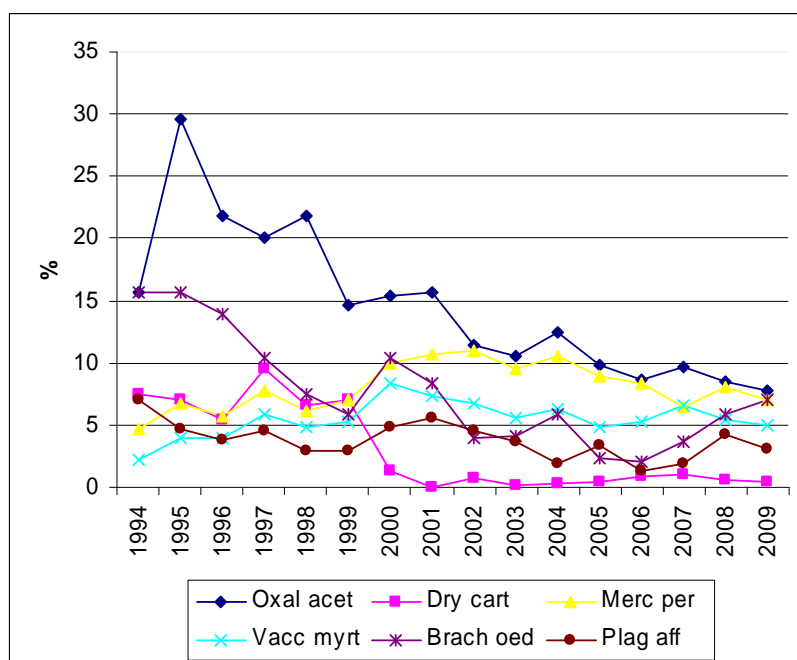


2 pav. Samanų ardo projekcinio padengimo kitimas 1993-2009 metais

Aukštaitijos 102 tyrimo poligone užregistruota ir stebėta 40 induočių augalų ir 14 samanų rūšių, esančių žolių ir krūmokšnių bei samanų arduose (3 ir 4 priedai). 2009 metais neaptiktos *Lysimachia vulgaris*, *Melica nutans*, *Cardamine amara*, *Lophocolea heterophylla*, *Herzogiella seligeri*, *Thuidium delicatulum*, kurios buvo užregistruotos praėjusiais metais, tačiau visų jų vidutinis projekcinis padengimas labai mažas.

Bendras žolių ir krūmokšnių ardo vidutinis projekcinis padengimas nežymiai padidėjo (4,2 %) (1 pav.). Skirtingų rūšių vidutinis projekcinis padengimas nežymiai svyravo, vienu mažėjo (*Mercurialis perennis*, *Equisetum pratense*, *Rubus saxatilis*, *Lycopodium annotinum*), kitų didėjo (*Fragaria vesca*, *Dryopteris expansa*).

Samanų ardo vidutinis projekcinis padengimas (2 pav.) padidėjo panašiai, kaip ir žolių ir krūmokšnių ardo (4,3 %). Panašiai, kaip žolių ir krūmokšnių arde, vienu rūšių projekcinis padengimas mažėjo (*Plagiomnium affine*, *Plagiomnium undulatum*, *Plagiochila asplenoides*, *Dicranum scoparium*), kitų didėjo (*Brachythecium oedipodium*, *Cirriphyllum piliferum*, *Dicranum polysetum*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*). Nors svyravimai nežymūs, nesiekia 1,5 %, tačiau didesnio rūšių skaičiaus vidutinis projekcinis padengimas padidėjo, o tai ir nulėmė viso ardo vidutinio projekcinio padengimo padidėjimą.



4 pav. Aukštaitijos ITS-102 vyraujančių augalų gausumo kitimas 1993-2009 metais

Žolinių augalų tarpe (3 priedas) dažniausia rūšis išliko *Oxalis acetosella*, aptinkama beveik visuose laukeliuose. Daugiau nei pusėje laukelių, kaip ir praėjusiais metais, aptinkamos *Maianthemum bifolium* ir *Equisetum pratense*, o *Lamiastrum galeobdolon* dažnumas šiek tiek sumažėjo. Beveik pusėje laukelių, t. y. žymiai dažniau nei praėjusiais metais aptinkama *Picea abies*, *Vaccinium myrtillus*. Šie poslinkiai įvyko dėl didėjančio išvirtusių medžių kiekio ir padidėjusio šviesos kiekio dėl atsiradusių „šviesos langų“. Kasmetinės dažnumo ir padengimo fluktuacijos yra būdingos ne tik *Lamiastrum galeobdolon*, bet ir kitiems šakniastiebiais plintantiems augalams: *Circaea alpina*, *Mercurialis perennis*, *Rubus saxatilis*. Nežymiai padidėjo *Sobus aucuparia* ir *Trientalis europaea* dažnumas, o retakerių augalų su trumpais šakniastiebiais (*Carex digitata*, *Dryopteris dilatata*, *Luzula pilosa*) – liko nepakitęs.

Samanų ardo dažniausios rūšys, kaip ir 2008 metais, išliko *Brachythecium oedipodium*, aptinkama beveik visuose laukeliuose ir *Plagiomnium affine*, aptinkama daugiau nei pusėje laukelių. *Pleurozium schreberi* dažnumas šiek tiek sumažėjo, ji aptinkama šiek tiek mažiau nei pusėje laukelių (42 %). Šiek tiek daugiau nei ketvirtadalyje laukelių aptinkamos *Dicranum scoparium* ir *Plagiochila asplenioides*, o šiek tiek mažiau nei penktadalyje – *Dicranum polysetum*, *Hylocomium splendens*, *Rhodobryum rozeum*.

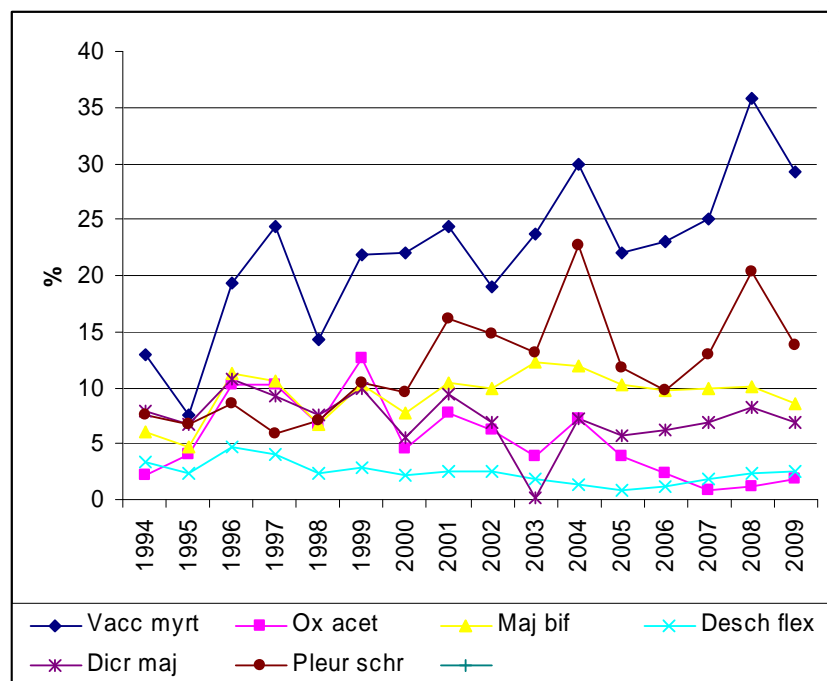
2009 metais, kaip ir praėjusiais, fertilūs (3 priedas) buvo šių rūšių augalai: *Carex digitata*, *Crepis paludosa*, *Dryopteris dilatata*, *Dryopteris expansa*, *Lamiastrum galeobdolon*, *Luzula pilosa*, *Maianthemum bifolium*, *Mercurialis perennis*, *Oxalis acetosella*, *Rubus saxatilis*, *Brachythecium oedipodium*, *Plagiomnium affine*. Tačiau šie metai nebuvo tokie palankūs vegetacijai, kaip praėjusieji, ir visos eilės rūšių (*Carex remota*, *Frangula alnus*, *Paris quadrifolia*, *Stellaria nemora*, *Trientalis europaea*, *Herzogiella seligeri*, *Plagiothecium denticulatum*) nebuvo aptikta fertilių augalų.

Žemaitija

Buvo užregistruota ir stebėta 13 induočių augalų, 12 samanų ir 1 kerpių rūšis, esančių žolių ir krūmokšnių bei samanų arduose (1 ir 4 priedai). Lyginant su praėjusiais metais, nebuvo aptikta *Carex pilulifera*, *Sorbus aucuparia*, *Plagiothecium curvifolium*, *Polytrichum commune*, o naujai įsikūrė *Quercus robur*.

Žolių ir krūmokšnių ardo vidutinis projekcinis padengimas sumažėjo (6,9 %) (1 pav.). Atskirų rūšių vidutinis projekcinis padengimas svyravo – vienu didėjo (*Oxalis acetosella*, *Trientalis europaea*), kitų mažėjo (*Vaccinium myrtillus*, *Maianthemum bifolium*), tačiau pagrindinių dominantų (*Vaccinium myrtillus*, *Maianthemum bifolium*) vidutinio projekcinio

padengimo mažėjimas nulėmė bendrą visos žolinės dangos vidutinio projekcinio padengimo mažėjimą.



5 pav. Žemaitijos ITS vyraujančių augalų gausumo kitimas 1993-2009 metais

Samanų ardo vidutinis projekcinis padengimas panašiai (6,5 %) sumažėjo, kaip ir žolių ir krūmokšnių (1 priedas). Kaip žolių ir krūmokšnių, taip ir samanų arde vienu rūšių vidutinis projekcinis padengimas didėjo (*Brachythecium oedipodium*, *Plagiomnium affine*, *Plagiochila asplenioides*), kitų (*Dicranum majus*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*) mažėjo. Pagrindinių dominantų (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Dicranum majus*) vidutinio projekcinio padengimo svyravimai buvo ryškiausi, tai ir nulėmė bendrą viso ardo vidutinio projekcinio padengimo sumažėjimą.

Dažniausios induočių rūšys išliko tos pačios - *Vaccinium myrtillus* ir *Maianthemum bifolium*, tačiau jų dažnumas sumažėjo iki 84 %. Šiek tiek daugiau nei 2/3 laukelių aptinkamos *Deschampsia flexuosa* ir *Trientalis europaea*, o šiek tiek daugiau nei pusėje - *Oxalis acetosella*. Rūšių dažnumas, kaip ir vidutinis projekcinis padengimas, nežymiai keitėsi – vienu didėjo (*Oxalis acetosella*, *Trientalis europaea*), kitų mažėjo (*Luzula pilosa*, *Picea abies*, *Deschampsia flexuosa*, *Maianthemum bifolium*, *Vaccinium myrtillus*).

Samanų tarpe dažniausios rūšys (*Brachythecium oedipodium* ir *Pleurozium schreberi*) aptinkamos daugumoje (90,6 %) laukelių. Daugiau nei pusėje laukelių aptinkamos *Dicranum majus*, *Hylocomium splendens*, *Plagiomnium affine*, o pusėje ir šiek tiek mažiau nei pusėje – *Dicranum polysetum*, *Plagiochila asplenioides*. Rūšių dažnumas, lyginant su 2009 metais, svyravo: vienu rūšių didėjo (*Brachythecium oedipodium*, *Dicranum majus*, *Plagiochila*

asplenioides, *Plagiomnium affine*, *Ptilium crista-castrensis*), kitų samanų rūšių (*Lophocolea heterophylla*, *Pleurozium schreberi*) ir vienintelės kerpių rūšies (*Hypogymnia physodes*) – mažėjo.

Fertilių rūšių 2009 metais užregistruota mažiau nei praėjusiais: *Vaccinium myrtillus*, *Maianthemum bifolium*, *Trientalis europaea*, *Oxalis acetosella*, *Luzula pilosa*, *Brachythecium oedipodium*, *Atrichum undulatum*. *Atrichum undulatum* fertilumas užregistruotas tik 2009 metais, o visa eilė rūšių, buvusių fertilių 2008 metais (*Deschampsia flexuosa*, *Melampyrum pratense*, *Mycelis muralis*, *Plagiothecium curvifolium*), 2009 metais nežydėjo.

Bendra išvada

2009 metai buvo gana stabilūs klimato atžvilgiu – nebuvo didelių sausrų ar ilgų lietingų laikotarpių. Tai ir nulėmė, kad žolių ir krūmokšnių bei samanų ardu vidutinio projekcinio padengimas bei rūšių dažnumas nežymiai svyravo, priklausomai nuo ITS vietose susiklosčiusių aplinkybių. Aukštaitijos-102 ITS dėl kasmet išvirstančių stambių medžių tose vietose pakinta šviesos režimas. Lokalinių „šviesos langų“ atsiradimas ir nulėmė nedidelį tiek žolių ir krūmokšnių, tiek ir samanų dangos vidutinio projekcinio padengimo padidėjimą. Aukštaitijos-100 ir Žemaitijos ITS nedidelį žolių ir krūmokšnių ardo vidutinio projekcinio padengimo sumažėjimą nulėmė pagrindinio dominanto *Vaccinium myrtillus* lapus pažeidusios grybinės ligos.

Fertilumo atžvilgiu 2009 metai buvo vidutiniški, tačiau blogesni nei 2008, nes fertilių rūšių visose ITS sumažėjo.

Tirtųjų parametrų svyravimai neviršijo gamtiniams procesams būdingų fluktuacijų. Remiantis 2009 metais atliktais Aukštaitijos ir Žemaitijos ITS žolių ir krūmokšnių bei samanų ir kerpių gausumo matavimais galima teigti, kad stebėtos bendrijos išliko stabilios.

PRIEDAI

PRIEDAS 1

ŽEMAITIJOS ITS MONITORINGO LAUKELIŲ VERTINIMO REZULTATAI

Laukelio Nr.	Padengimas (COVE_)	Dažnumas (FREQ_)	Fertilumas (FERT_)
Pr. pad. %			
M			
Kr			
Ž	47,0625		
S/K	69,765625		
<i>Vaccinium myrtillus</i>	35,79375	90,625	92,85714
<i>Maianthemum bifolium</i>	10,103125	93,75	100
<i>Carex pilosa</i>	0,015625	3,125	100
<i>Deschampsia flexuosa</i>	2,403125	75	96,66667
<i>Trientalis europaea</i>	0,925	71,875	100
<i>Oxalis acetosella</i>	1,20625	46,875	100
<i>Luzula pilosa</i>	0,184375	21,875	100
<i>Picea abies</i> juv.	0,0375	21,875	0
<i>Melampyrum pratense</i>	0,303125	18,75	100
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	0,271875	9,375	0
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	0,028125	3,125	0
<i>Mycelis muralis</i>	0,140625	9,375	100
<i>Fragula alnus</i>	0,00625	3,125	0
<i>Sorbus aucuparia</i> juv.	0,00625	3,125	0
<i>Brachythecium oedipodium</i>	8,66875	75	50
<i>Dicranum majus</i>	8,28125	65,625	0
<i>Hypogymnia physodes</i>	0,078125	18,75	0
<i>Dicranum polysetum</i>	1,55625	46,875	0
<i>Hylocomium splendens</i>	10,609375	62,5	0
<i>Lophocolea heterophylla</i>	0,028125	9,375	0
<i>Plagiochila asplenoides</i>	2,284375	37,5	0
<i>Plagiomnium affine</i>	2,9375	50	0
<i>Plagiothecium curvifolium</i>	0,065625	15,625	100
<i>Pleurozium schreberi</i>	20,39375	96,875	0
<i>Ptilium crista-castrensis</i>	12,99375	46,875	0
<i>Polytrichum formosum</i>	0,0125	3,125	0
<i>Sphagnum girgensohnii</i>	0,4	3,125	0
<i>Atrichum undulatum</i>	0,003125	3,125	0
<i>Polytrichum commune</i>	0,2	3,125	0

PRIEDAS 2

AUKŠTAITIJA – 100 ITS MONITORINGO LAUKELIŲ VERTINIMO REZULTATAI

Laukelio Nr.	Padengimas	Dažnumas (FREQ_)	Fertilumas (FERT_)
Pr. pad. %			
M	75,2		
Kr	0,64		
Ž	12,456		
S/K	89,48		
Data			
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	0,4	22	
<i>Convallaria majalis</i> juv.	0,04	2	
<i>Festuca ovina</i>	0,006	6	
<i>Goodyera repens</i>	0,126	20	100
<i>Luzula pilosa</i>	0,1	4	100
<i>Melampyrum pratense</i>	0,022	6	
<i>Pteridium aquilinum</i>	0,72	4	
<i>Sorbus aucuparia</i>	0,18	6	
<i>Trientalis europaea</i>	0,374	18	
<i>Vaccinium myrtillus</i>	10,094	94	
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	0,042	8	
<i>Brachythecium oedipodium</i>	0,006	6	
<i>Dicranum polysetum</i>	0,358	50	
<i>Dicranum scoparium</i>	0,04	2	
<i>Hylocomium splendens</i>	51,36	98	50
<i>Plagiothecium denticulatum</i>	0,002	2	
<i>Pleurozium schreberi</i>	20,43	98	
<i>Ptilium crista-castrensis</i>	19,04	98	50

PRIEDAS 3

AUKŠTAITĪJA – 102 ITS MONITORINGO LAUKELIŲ VERTINIMO REZULTATAI

Laukelio Nr.	Pdengimas	Dažnumas (FREQ_)	Fertilumas (FERT_)
Pr. pad. %			
M	75,2		
Kr	35,38		
Ž	39,252		
S/K	17,172		
Data			
<i>Acer platanoides</i>	0,64	2	
<i>Athyrium filix-femina</i>	1,09	6	
<i>Cardamine amara</i>	0,04	4	
<i>Carex digitata</i>	1,134	22	50
<i>Carex remota</i>	0,38	4	
<i>Chrysosplenium alternifolium</i>	0,5	2	
<i>Corylus avellana</i>	1,12	2	
<i>Circaea alpina</i>	1,668	40	
<i>Cirsium oleraceum</i>	0,33	10	
<i>Crepis paludosa</i>	1,8	8	50
<i>Dryopteris carthusiana</i>	0,65	14	
<i>Dryopteris dilatata</i>	4,02	30	62,5
<i>Dryopteris expansa</i>	0,56	2	100
<i>Elymus caninus</i>	0,002	2	
<i>Equisetum pratense</i>	5,24	60	
<i>Fragaria vesca</i>	0,2	4	
<i>Frangula alnus</i>	0,22	2	50
<i>Geum rivale</i>	0,06	2	
<i>Fraxinus excelsior</i>	0,02	2	
<i>Impatiens noli-tangere</i>	0,01	2	
<i>Lamium galeobdolon</i>	1,53	52	50
<i>Luzula pilosa</i>	0,374	18	50
<i>Lycopodium annotinum</i>	1,58	14	
<i>Lysimachia vulgaris</i>	0,002	2	
<i>Maianthemum bifolium</i>	3,256	70	50
<i>Melica nutans</i>	0,002	2	
<i>Mercurialis perennis</i>	8,06	30	50
<i>Mycelis muralis</i>	0,524	14	50
<i>Oxalis acetosella</i>	8,47	96	50
<i>Paris quadrifolia</i>	0,14	6	50
<i>Picea abies</i>	15,69	42	
<i>Populus tremula</i>	0,34	4	
<i>Rubus idaeus</i>	1,36	16	
<i>Rubus saxatilis</i>	3,34	26	50
<i>Sorbus aucuparia</i>	6,82	28	
<i>Stellaria nemorum</i>	0,3	10	50
<i>Trientalis europaea</i>	0,22	20	100
<i>Urtica dioica</i>	0,01	2	
<i>Vaccinium myrtillus</i>	5,41	40	
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	0,022	6	

<i>Viola riviniana</i>	0,08	2	
<i>Viola epipsila</i>	0,03	4	
<i>Geranium robertianum</i>	0,02	2	
<i>Viola palustris</i>	0,02	2	
<i>Aegopodium podagraria</i>	0,16	2	
<i>Brachythecium oedipodium</i>	5,748	96	50
<i>Cirriphyllum piliferum</i>	0,422	16	
<i>Dicranum polysetum</i>	0,72	18	
<i>Dicranum scoparium</i>	1,144	28	
<i>Herzogiella seligeri</i>	0,012	4	50
<i>Hylocomium splendens</i>	0,334	20	
<i>Lophocolea heterophylla</i>	0,022	14	
<i>Plagiochila asplenioides</i>	3,022	30	
<i>Plagiomnium affine</i>	4,268	64	50
<i>Plagiomnium undulatum</i>	0,9	12	
<i>Plagiothecium denticulatum</i>	0,058	18	50
<i>Pleurozium schreberi</i>	2,094	60	
<i>Ptilium crista-castrensis</i>	0,14	2	
<i>Rhodobryum roseum</i>	0,134	12	
<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	0,99	6	
<i>Thuidium tamariscinum</i>	0,022	4	
<i>Thuidium delicatulum</i>	0,01	2	

4.8. Miško ekosistemų biotos komponentų tyrimo rezultatų apibendrinimas

Tiriamuoju laikotarpiu (1994-2009 m.m.) blogiausia medžių būkle išsiskyrė 1996-97 metai, kada lajų defoliacija viršijo 25 % Žemaitijos KMS, 30% Aukštaitijos KMS ir 35% Dzūkijos KMS. Nuo šio laikotarpio iki 2001 m. medžių lajų defoliacija reikšmingai mažėjo. Pastarųjų 7 metų laikotarpiu, t.y. nuo 2001 iki 2009 m., miškų būklės kaitoje pastebima blogėjimo tendencija ir ypač Žemaitijos KMS teritorijoje. Tokią tirtų medžių būklę galėjo sąlygoti kritulių rūgštingumas, kurio kaitoje buvo išaiškintos tokios pat tendencijos.

Aukštaitijos KMS stacionaruose pušys yra geriausios būklės, o eglės – blogiausios būklės. Per tiriamąjį laikotarpį reikšmingai mažėjo stacionaruose augančių beržų ir pušų vidutinė defoliacija. Išimti sudaro 2005-09 metų pušų defoliacija, kuri reikšmingai padidėjo lyginant su 2004 m. Beržų lajų vidutinė defoliacija paskutiniųjų 5 m laikotarpiu turi tendencija mažėti. Žemaitijos KMS stacionare eglų defoliacija per visą tiriamąjį laikotarpį svyravo nuo 25 iki 27 %. 1997-2001 m. laikotarpį jų defoliacija reikšmingai mažėjo. 2002-2007 m. laikotarpis pasižymi padidėjusia eglų vidutine defoliacija ir tik 2008-2009 m. stebimas ženklus eglų būklės pagerėjimas.

Palyginus eglų vidutinę defoliaciją augalijos tyrimų stacionaruose, nustatyta, kad Žemaitijos stacionaro eglų vidutinė defoliacija mažesnė negu Aukštaitijos KMS stacionarų, tačiau pagrindinis veiksnys sąlygojantis eglų būklę KMS stacionaruose išlieka žievėgraužio topografo daroma žala.

Aukštaitijos KMS teritorijoje iš 526 atrinktų viršaujančių, vyraujančių ir iš dalies stelbiamų miško medžių 78 identifikuoti pažeidimai, kurie iš esmės įtakojo ar galėjo įtakoti jų būklę. Pažeisti medžiai sudaro 14,8% šių medžių. Palyginus su praėjusiais metais pažeistų medžių padidėjo 1,7%. Daugiausiai pažeidimų rasta vėl apatinėje kamieno, lajos kamieno ir lajoje. Dažniausiai pasikartojantys pažeidimai buvo: atviros žaizdos - 35% visų pažeidimų. 27% pažeidimų sudarė eglinio topografo pažeidimai, kurie per praėjusius metus vėl padažnėjo. 12% ir 15% visų pažeidimų sudarė ūglių – lapų pažeidimai ir viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas, kurį sąlygojo snieglaužos ar vėjalaūžos.

Žemaitijos KMS teritorijoje 7,3% tirtų viršaujančių, vyraujančių ir iš dalies stelbiamų miško medžių buvo pažeisti. Palyginus su praėjusiais metais jų skaičius sumažėjo 1,6%. Daugiausiai pažeidimų rasta lajos kamieno srityje 65% visų užregistruotų pažeidimų, kiek mažiau buvo pažeista lajos sritis – 15% visų pažeidimų. Tai su meteorologiniais veiksniais

susiję pažeidimai. Dažniausiai pasikartojantis pažeidimas buvo viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas (21) - 65% visų pažeidimų. Eglinio topografo pažeidimai sumažėjo iki 8%

Kompleksiško monitoringo stotyse dažniausiai pažeidžiamos paprastosios eglės. Todėl galima daryti prielaidą, kad eglinio tipografo žala ir ateinančiais metais turėtų didėti

Tyrimų pradžioje didžiausių gausumu žaliadumbliai pasižymėjo Aukštaitijos KMS teritorijoje. Kiek mažesniu gausumu pasižymėjo žaliadumbliai Dzūkijos KMS teritorijoje ir mažiausiu gausumu - Žemaitijos KMS teritorijoje. Nuo 2004 m. žaliųjų oro dumblių gausa Žemaitijos KMS dumblių tyrimo stotyje viršija šių dumblių gausą Aukštaitijos KMS dumblių tyrimo stotyje. Parametrai indikuojantys padengimo intensyvumą šioje stotyje reikšmingai viršijo Aukštaitijos KMS dumblių tyrimo stotyje gautus parametrus.

Žaliųjų oro dumblių gausos kaita indikuoja tą patį dėsningumą, kaip ir kiti rodikliai (medžių defoliacija, epifitinių kerpių gausa ir rūšinė įvairovė) – Žemaitijos KMS baseino foninis užterštumas paskutiniaisiais metais didesnis negu Aukštaitijos KMS baseino, ką patvirtina ir oro bei kritulių tyrimo rezultatai ir jo neigiamas poveikis miško biotai atrodo kad yra reikšmingesnis negu Aukštaitijos KMS teritorijoje.

Apibendrinant lichenologinius tyrimų rezultatus kompleksiško monitoringo stotyse, galima teigti, kad klimatiniai faktoriai bei naudojami epifitinių kerpių gausumo tyrimo metodai neleido patikimai nustatyti esminių skirtumų tarp Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS. Tačiau gausmo sumažėjimas per paskutiniųjų trijų metų laikotarpį, galėjo būti sąlygoti medžių kamienų žiauberio atsinaujinimo procesų. Pakartojus epifitinių kerpių tyrimus abiejų stočių visoje baseino teritorijoje tikimasi išaiškinti esminius epifitinių kerpių gausos ir rūšių įvairovės kaitos ypatumus bei lemiančias priežastis.

2009 metai buvo gana stabilūs klimato atžvilgiu – nebuvo didelių sausrų ar ilgų lietingų laikotarpių. Tai ir nulėmė, kad žolių ir krūmokšnių bei samanų ardo vidutinio projekcinio padengimas bei rūšių dažnumas nežymiai svyravo, priklausomai nuo ITS vietose susiklosčiusių aplinkybių. Aukštaitijos-102 ITS dėl kasmet išvirstančių stambių medžių tose vietose pakinta šviesos režimas. Lokalinių „šviesos langų“ atsiradimas ir nulėmė nedidelį tiek žolių ir krūmokšnių, tiek ir samanų dangos vidutinio projekcinio padengimo padidėjimą. Aukštaitijos-100 ir Žemaitijos ITS nedidelį žolių ir krūmokšnių ardo vidutinio projekcinio padengimo sumažėjimą nulėmė pagrindinio dominanto *Vaccinium myrtillus* lapus pažeidusios grybinės ligos. Fertilumo atžvilgiu 2009 metai buvo vidutiniški, tačiau blogesni nei 2008, nes fertilių rūšių visose ITS sumažėjo.

Aplinkos užterštumo sieros ir azoto junginiais lygis KMS teritorijose nesiekia nustatytų kritinių reikšmių, kurias viršijus miško ekosistemose būtų stebimi reikšmingi neigiami pokyčiai, tačiau gauti rezultatai leidžia teigti, kad ir mažesnės koncentracijos nei kritinės daro patikimą poveikį ne tik sumedėjusios augalijos, bet ir visos miško ekosistemų biotos būklei, t.y. atskirų ekosistemos komponentų rūšinei įvairovei ir gausumui.

Išaiškintus pušynų būklės pokyčius KM stotyse reikšmingai sąlygojo tiesioginis oro teršalų NO_3^- , NH_4^+ ir SO_4^{2-} aerosolių poveikis. Šių junginių iškritos taip pat kaip ir pažemio ozonas nepadidino reikšmingai pušynų būklės kaitos paaiškinamumo lygį, lyginant su oro teršalų paaiškinamumu (r^2 – determinacijos koeficientas). Netiesioginis rūgštinančių komponentų poveikis per dirvožemį, dirvožemio, gruntinį bei paviršinį vandenį buvo dar silpnesnis, tačiau reikšmingas kompleksiskame poveikyje su oro teršalais ir jų iškritomis. Jei pastarųjų poveikiu buvo galima paaiškinti net iki 75% pušynų būklės kaitos, tai netiesioginis rūgštinančių komponentų poveikis padidino paaiškinamumo lygį net 15%, iki 89%.

Priešingai pušynų būklę sąlygojantiems aplinkos veiksniams, netiesioginis ypač N komponentų poveikis beržų defoliacijos kaitai buvo reikšmingesnis ($r^2=0.355$) negu šių komponentų tiesioginis poveikis per lapus ($r^2=0.258$). Dėl šios priežasties mes padarėme išvadą, kad spygliai, kurie išsilaiko ant pušų ūglių vidutiniškai Lietuvoje 2-3 metus, atrodo, kad yra geresni aerosolių kolektoriai nei lapuočių medžių lapai, o spygliuočiai jautresni aplinkos užterštumui rūgštinančiomis komponentėmis negu lapuočiai medžiai. Tik padidintas eglės medžių iškritimo intensyvumas dėl žievėgraužio tipografo (*Ips typographus* L.) žalos neleido patvirtinti suformuluotą mūsų hipotezę. Nepaisant šių priežasčių, galima teigti, kad azoto komponentų tiesioginis poveikis, per medžių lapus ir spyglius, medžių būklei yra neigiamas, kai tuo tarpu netiesioginis per dirvožemį ir jo vandenys – teigiamas.

Detaliau tyrinėjant rūgštinančių komponentų kompleksiską poveikį pušynų būklei, nustatyta, kad tirtų teršalų suminis sezoninis poveikis yra reikšmingesnis, negu iki šiol tyrimuose naudotų vidutinių metinių koncentracijų poveikis. Reikšmingiausių poveikiu pušynų būklei išsiskiria rūgštinančių komponentų neigiamas poveikis šaltuoju metų laikotarpiu. Ši išvada gali būti pateikiama kaip vienas iš teiginių, patvirtinančių spygliuočių didesnę jautrumą teršalams negu lapuočių.

Atskirais atvejais vidutinės koncentracijos poveikis slepia galimą skirtingą tirtos komponentės poveikį metų bėgyje, ypač jei jis keičiasi iš neigiamo į teigiamą. Toks sezoninis poveikis būdingas nitratams. Šaltuoju laikotarpiu šis poveikis neigiamas, šiltuoju – teigiamas.

Dėl šios priežasties NO₃ oro koncentracijos ir jų iškritos turėtų būt tarp pagrindinių pušynų būklę sąlygojančių teršalų – S junginių ir pažemio ozono.

Oro temperatūros ir kritulių kiekio poveikis pušynų būklei taip pat keičiasi iš teigiamo į neigiamą metų bėgyje. Tačiau, jei klimato kaita vyks pagal išaiškintas tendencijas (šaltuoju metu laikotarpiu oro temperatūra kils, o kritulių kiekis mažės), tai tokia kaita turėtų švelninti neigiamą aplinkos teršalų poveikį medžių būklei ateityje.

Augalų bendrijų monitoringas turi prasmę tik jį tęsiant ilgą laiką, kadangi augalų gyvenimą įtakoja daug aplinkos faktorių. Vieni augalų populiacijos gausumo ir gyvybingumo ciklai susiję su gamtiniais ciklais, kiti - su pačių augalų amžiumi. Dabartiniu metu, esant aktyviai antropogeninei veiklai, didelę įtaką gyvajai gamtai daro antropogeninė tarša. Trumpalaikių stebėjimų metu stebimos tik trumpos įvairių ciklų atkarpos ir išvelgti dėsningumus sudėtinga arba neįmanoma. Dėsningumai išryškėja tik ilgalaikių stebėjimų metu. Tada galima atskirti su gamtinės aplinkos, augalų populiacijos ciklais susijusius augalų gyvybingumo ir gausumo svyravimus nuo antropogeninės taršos sukeltų augalų gyvybingumo ir gausumo svyravimų. Todėl ir šiuos 1993 metais pradėtus tyrimus tęsti tikslinga, kadangi rūšių įvairovės ir gausumo pakitimams stebėti atliktas tik 1 tyrimų pakartojimas yra nepakankamas, o augalijos kaitų stebėjimo pakartojimai, numatyti po 20-25 metų dar nebuvo atlikti.

Impact of climate changes on forest responses to acid deposition and ozone in Lithuania

Algirdas Augustaitis^{1*}, Ingrida Augustaitienė¹, Almantas Kliucius¹,
Dalia Šopauskienė², Rasele Girgzdiene²

¹ Lithuanian University of Agriculture, LT-53362 Kaunas distr., Lithuania,

² Institute of Physics, Savanoriu 231, LT-02300, Vilnius, Lithuania,

*E-mail address of the corresponding author: algirdas.augustaitis@lzuu.lt

Summary

Climate changes which should increase air temperature by 3.5°C per 100 years may affect sustainable forest development, its adaptation to unfavorable environmental conditions and first of all acid deposition and surface ozone. However, at present, it is still unclear whether local meteorological conditions affected by climate change will reduce or enhance air pollution effects on forest function and health. This study presents relationships between defoliation of the prevailing tree species in Lithuania – Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and air pollutants and meteorology to the aim to detect potential effects of changes in precipitation amount and air temperature over selected periods on forest response to air concentration of acidifying species and their wet deposition as well as surface ozone. The obtained results might help to develop reliable scenarios of climate change and air pollution effects on forest adaptation and mitigation ability. The findings revealed that since 1994 in the eastern part of Lithuania the amount of precipitation which over the dormant period tended to decrease and over vegetation - to increase, significant resulted in variation of air concentration and wet deposition of acidifying species over the respective periods. Both these opposite tendencies in precipitation resulted in: first - reduction of pine vulnerability to acid deposition, second – enhanced resiliency of pine trees mainly to surface ozone damages because the detected increase in mean summertime temperature resulted directly in higher O₃ concentrations.

Key words: climate change, acidifying compounds, ozone, interaction, pine defoliation.

Introduction

The variation of forest growth and vitality conditions in relation to natural and anthropogenic factors is of main concern for researchers who are studying the impact of air pollution on forest ecosystems (Paoletti et al., 2003). Long range transboundary pollution and ensuing acidification of the environment were implicated as major causes of forest decline on a regional scale (Knabe, 1981; Bauer, 1982; Mehne-Jakobs, 1990). In contrast to SO₂, the continuing rise in the emissions of precursor substances (NO, NO₂) (Fowler, et al., 1998; Ryerson, et al., 2001) resulted in a rise in ozone concentrations (Matyssek, and Innes, 1999; Coyle, et al., 2003; Fuhrer, 2000). If since the middle of the last century ozone (O₃) air pollution has been recognized as a major phytotoxic agent in North America and South Europe (Smith, 1981; Reich, and Amundson, 1985; Schmieden, and Wild, 1995; Manning, 2005; Hill, et al., 1970; Alonso, et al., 2002; Bytnerowicz, et al., 2002), then recently in Central and Northern Europe (Utrainen, and Holopainen, 2000; Muzika, et al., 2004; Karlsson, et al., 2002). The findings of our earlier study allowed us to make an assumption, that temporal and spatial changes in pine defoliation are first of all related to air concentrations of acidifying compounds, their deposition and meteorology, while ozone concentrations only reinforced the integrated impact of these factors (Augustaitis et al., 2005, 2007; Augustaitis and Bytnerowicz, 2008). Seasonal effects of the considered pollutants are attributed to knowledge gaps because in some cases their mean values can hide their possible effect, especially when the effect changes from positive to negative over the season, like NO₃ air concentration and its deposition (Augustaitis et al., 2010).

Climate is among key factors comprising the global change threat to forest condition (Percy, Ferretti, 2004; Langner et al., 2005; Zlatev and Moseholm, 2008; Jacob, Winner, 2009). Its effect on the distribution and deposition of air pollutants can alter air quality (Meleux et al., 2007), because chemical reactions and the biogenic emissions are dependent on the temperature (Zlatev and Moseholm, 2008). Vice versa, pollutants can modify responses of ecosystems to specific climatic change impacts (Bytnerowicz et al., 2007).

Therefore, a better understanding of the integrated effects of air pollution and climate change on forests is of paramount importance in order to maximize forest research, monitoring and management and environmental policies efficiency, to the aim to **develop reliable scenarios of climate change and air pollution effects on forest adaptation and mitigation** ability (COST action FP0903).

In the present study, as a working hypothesis we wanted to see if the detected changes in mean temperature and amount of precipitation of different periods through the interaction with air concentrations of ozone, acidifying compounds and their deposition could have had some additional effect on crown defoliation of the prevailing tree species in Lithuania – Scots pine (*Pinus sylvestris* L.).

In order to meet the objectives the following research tasks were carried out:

- an analysis of temporal variation in data on crown defoliation of pine stands;
- an analysis of seasonal variation in data on air pollutant concentrations, their deposition and meteorological parameters and their interdependence;
- a correlative and multiple regression analysis of data on pine defoliation versus seasonal changes in meteorology, air concentration of acidifying compounds, their deposition and surface ozone;
- a estimation of the effect of local meteorological condition affected by climate change on key air pollutant variations in order to predict pine stand condition under global environmental changes in Lithuania.

The findings might help to develop reliable scenarios of climate change and air pollution effects on forest adaptation and mitigation ability. To evaluate and increase our understanding in this field, long-term integrated multidisciplinary efforts are necessary. The Integrated Monitoring Programme, which has been annually performed since 1994 in Lithuania, provides all the necessary data to meet the objectives of the study.

2. Materials and methods.

2.1. Study sites and their location.

The study was based on monitoring data on crown defoliation of more than 3000 Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees from 20 permanent observation stands (POS) annually obtained between 1994 and 2009 in Aukštaitija national park (ANP), located in the eastern part of Lithuania (Fig. 1). These stands were classified according to stand maturity: 4 sapling stands (45 to 50 years), 5 middle aged stands (61 – 80 years), 4 premature stands (81-100 years), 3 mature stands (101-120 years) and 4 over mature stands (> 121 years). Main characteristics of the considered stands are compiled in table 1.

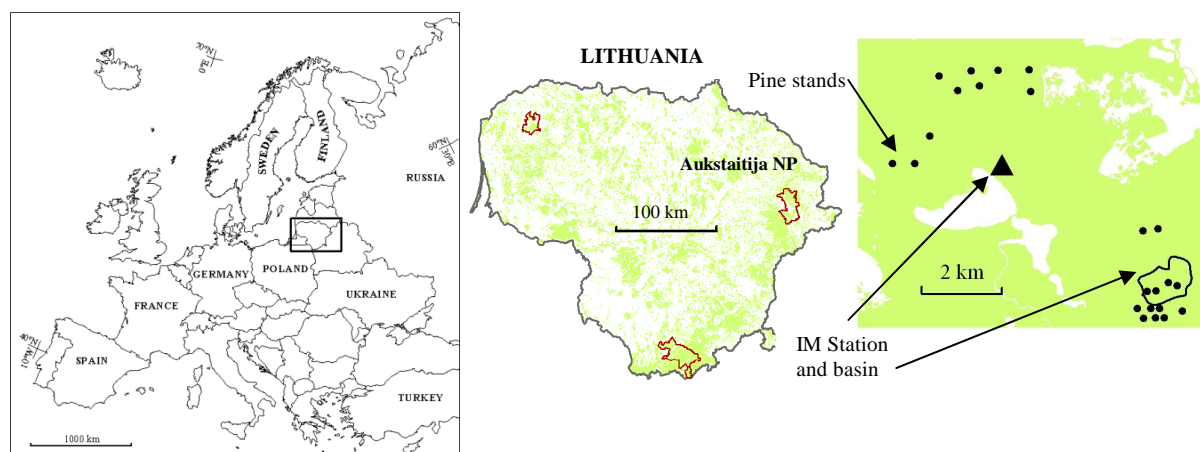


Fig. 1. Location of Aukstaitija NP, Integrated Monitoring Station (▲) and basins in it and permanent observation pine stands.

Table 1. Characteristics of the permanent observation stands (POS) at the beginning of observation (1994)

POS index	Stand and site parameters						
	Age	Mean diameter	Mean height	Sum of basal area	Volume	Tree density	Forest type
	class	cm	m	m ² ·ha ⁻¹	m ³ ·ha ⁻¹	unit·ha ⁻¹	
Aukstaitija National Park							
ANP-01	5	40.4	32.6	39	577	260	Vac-myr
ANP-02	4	38.4	29.1	36	479	245	Vac-myr
ANP-03	2	18.5	19.6	14	141	422	Vac-myr
ANP-04	5	41.4	29.5	31	417	221	Vac-myr
ANP-05	2	18.5	19.7	17	173	600	Vac-myr
ANP-06	5	42.4	31.0	32	456	220	Vac-myr
ANP-07	2	17.8	19.4	17	173	611	Vac-myr
ANP-08	5	41.7	29.9	28	380	193	Vac-myr
ANP-09	2	21.2	20.9	27	281	521	Vac-myr
ANP-10	1	16.8	17.2	20	181	772	Vac-myr
ANP-11	3	33.0	27.8	24	310	263	Vac-myr
ANP-12	3	32.8	27.0	29	359	297	Vac-myr
ANP-13	3	32.9	25.5	25	292	272	Vac-myr
ANP-14	1	17.5	14.6	20	148	717	Vac-myr
ANP-15	1	18.8	16.7	20	168	656	Vac-myr
ANP-16	4	32.4	27.5	22	279	225	Vac-myr
ANP-17	2	31.4	27.1	24	308	275	Vac-myr
ANP-18	3	27.8	24.5	22	254	336	Vac-myr
ANP-19	1	22.1	21.5	30	315	733	Vac-myr
ANP-20	4	34.5	28.1	22	285	220	Vac-myr

Note: Forest type: Vac-myr – *Pinetum vacciniosum-myrtilosum*.

Air concentrations of surface ozone (O₃), sulphur dioxide (SO₂), sulphate (SO₄²⁻), the sum of nitrate species ($\Sigma\text{NO}_3^- = \text{NO}_3^- + \text{HNO}_3$), the sum of ammonium species ($\Sigma\text{NH}_4^+ = \text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) and wet deposition of SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ as well as general meteorological data were obtained from the Integrated Monitoring Station (IMS) established in this national park (Sopauskiene et al., 2001; Augustaitis et al., 2005, 2010).

2.2. Main predictor variables and methods of their estimation.

Air pollution and deposition.

The air sampling was carried out at weekly intervals. The sampling equipment for SO₂ and particulate sulphate consisted of a two-stage filter pack sampler with a cellulose filter (Whatman 40). SO₂ was collected by retention of particles using Whatman 40 filter impregnated with potassium hydroxide (KOH). ΣNO₃⁻ and ΣNH₄⁺ were collected using an open-face separate sampler with alkaline (KOH) and oxalic acid impregnated Whatman 40 filters, respectively.

Weekly precipitation samples were collected in a polyethylene bulk-collector from December to March, and in an automatic wet-only sampler during the remaining months. All samples were stored at 4°C until laboratory analysis .

Ion chromatography using Dionex 2010i with conductivity detection was used for the chemical analysis of anions in precipitation and in water extracts from the impregnated Whatman 40 filters. The NH₄⁺ concentration in precipitation as well as in the solutions extracted from Whatman 40 filters impregnated with oxalic acid was analysed spectrophotometrically, using the indophenol blue method. Precipitation pH and electrical conductivity were determined with a pH glass electrode and an electric conductance meter, respectively (Sopauskiene and Jasineviciene, 2006).

Ozone concentrations were measured continuously using commercial UV-absorption ozone monitors O₃ 41M (Environnement S.A., France) and ML9811 (Monitor Labs) with an air inlet at the height of 2.5 m above the ground. The instruments were calibrated periodically every year. Hourly data on peak ozone value, their annual average and average from April through August were used in the analysis. AOT40 values, which define the potential risk of O₃ for vegetation (Fuhrer, et al., 1997), were calculated according to the requirements of the 2002/3/EC directive (LRTAB, 2004).

The measurements and analytical procedures were based on a quality assurance/quality control (QA/QC) programme as described in the EMEP CCC manual for sampling, chemical analysis, and quality assessment (EMEP, 1977).

Meteorological parameters

The effect of meteorological conditions on pine defoliation was analysed by beginning in autumn of the previous year (in September) and ending in summer of the current

year (in August). The quality of the data was assured according to the requirements of the World Meteorological Organization (WMO,1983) and ICP IM methodology (UN-ECE,1993).

Dendrometric parameters

Data on tree and stand parameters (mean diameter and height of trees, tree density, basal area and tree volume per hectare) were available from the permanent observation stands established according to the methodology developed by Lithuanian scientists (Juknys et al., 2003). A three-stage sampling pattern was used for the collection of the field material: (1) sampling of the research stands; (2) sampling of the circular plots within each research stand; (3) sampling of trees for more detailed measurements of the tree crown parameters and tree ring analysis (data are not included). Each pine stand included twelve circular sample plots with an average of 15-20 trees in each plot. The sample plots were distributed systematically in a grid system. Stem diameter and crown defoliation for all sample trees were assessed annually in August, due to which considered response variables (meteorology and pollutants) were analysed over the period from September of the previous year to August of the current year. European forest monitoring methodology was employed to assess tree defoliation (UN-ECE, 1994).

2.3. Statistical methods

The Fisher test was used to test for significant differences in mean defoliation of Scots pine stands between (spatial changes) and within (temporal changes) the stands. Forward stepwise regression was chosen as the appropriate method to develop relationships between Scots pine stands defoliation and considered pollutants using the linear multiple regression technique of “Statistica 6.0” software. In order to detect effect of climate changes on air quality, relationships between air pollutant concentrations, aqueous pollutant concentrations in atmospheric wet deposition and the response meteorological parameters were derived. To detect seasonal effect of meteorological parameters and pollutants on pine condition and their interdependence, the values of these parameters were computed over the different periods:

- i. - over dormant period: a) September-December; b) September-February; c) September-April; d) January-April and e) March-April;
- ii. - over vegetation - May-August.

The quality of the calculated models, was assessed by establishing the coefficient of determination (R^2) and the level of statistical significance (p).

3. Results

3.1. Temporal changes in mean defoliation of Scots pine trees

F-test statistics revealed statistically significant differences in spatial and temporal variance of the pine stand mean defoliation within each POS as well as among them (Table 2).

Table 2. Fisher test data on spatial and temporal changes in mean defoliation of Scots pine trees (ANOVA 2 factorial analysis)

Source of variation	Statistical parameters of <i>F</i> - test					
	SS	df	MS	F	F crit	p
Among years	1681,4	15	112,1	40,34	1,702	0.000
Among stands	771,6	19	40,61	14,61	1,623	0.000

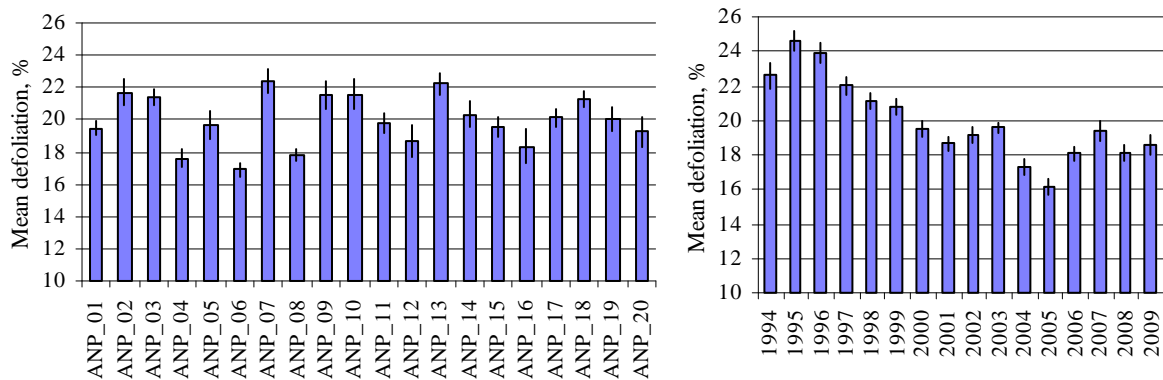


Fig. 2. Spatial and temporal changes in pine crown defoliation

The highest level of mean defoliation of pine trees in Aukstaitija NP was observed in 1995 (Fig. 2). Thereafter, the crown conditions were gradually improving until 2005, approximately by an average of 1% per year. This trend in pine crown defoliation was statistically significant ($p < 0.05$). Since 2005 crown defoliation increase has been observed approximately by an average of 0.5% per year ($p > 0.05$).

3.2. Seasonal variation of air temperature and precipitation, and their effect on pine defoliation

Mean annual precipitation in Aukstaitija NP over 16yr period was 705 mm and did not demonstrate significant trend (decrease by 2 mm per year, $p = 0.74$). However, seasonal changes in the precipitation amount were a little more significant. Over September and December it decreased by -3.2 mm per year ($p = 0.21$), over January and April by -4.5 mm per year ($p = 0.15$), and over the vegetation increased by +5.9 mm per year ($p = 0.28$). Despite insignificance of the trend of sum of precipitation over September - December over the whole investigated period, between 1994 and 2004 the precipitation amount decreased by 15.2 mm per year, whereas between 2004 and 2009 increased by 9.2 mm per year ($p < 0.05$). Opposite

changes were detected over the vegetation. Until 2005 precipitation amount increased by 17.4 mm per year, whereas afterwards until 2009 decreased by 32.6 mm per year. Such variation in the precipitation amount due to the analogical character of variation could have significant effect on mean defoliation of pine stands and many of the considered pollutants.

The mean annual temperature for long term period made +6.7°C and tended to increase between 1994 and 2009 by 0.038°C per year. This increase was in full agreement with data presented by the SRES A1 B Project (3.5°C per 100 years) (IPCC, 2007), and was most pronounced in the first half of the dormant period (September–December) when it made 0.16°C per year (p=0.034). From January to April mean monthly temperature had a tendency towards decreasing by -0.05 per year (p=0.68) while over the vegetation period (May-August) it was stable (p=0.995). It is highly probable that only changes in temperature over the first half of the dormant period due to their high variation had considerable effect on pine defoliation changes.

Forward stepwise regression was chosen to derive relationships between Scots pine stands defoliation and meteorology. According to created multidimensional model, precipitation amounts (Pr1) could have explain about 23% in variability of the pine stands mean defoliation (Table 1). The direct correlation derived between pine defoliation and precipitation amount in the first half of the dormant period was found to be the strongest, followed by a weaker direct correlation with precipitation in the second half of the dormant period, i.e. from January to April. These relationships revealed the improvement of pine stands condition (lower defoliation level) when precipitation amount decreased. Negative correlation was established between defoliation and precipitation during the vegetation period, i.e., from May to August, when more abundant precipitation resulted in a better tree crown condition. The detected changes in precipitation amount of the selected periods should have result in better pine stand condition in future.

Table 1. Correlative and multiple regression analysis of Scots pine stands defoliation vs. meteorological parameters: precipitation (Pr, mm) and temperature (Tm, °C)

Parameters	Periods							Model R ²
	IX-XII	I-IV	II-IV	IX-II	III-IV	IX-IV	V-VIII	
	Precipitation, (mm)							
r	0.334	0.224	0.263	0.272	0.230	0.349	-0.375	
p	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	
Pr1(3.316)	+		+				-	0.230
Pr2(3.316)				+	+		-	0.191

Pr3(2.317)						+	-	0.191
	Temperature (°C)							
r	-0.323	0.056	0.083	-0.199	0.066	-0.138	0.043	
p	p=0.000	p=0.314	p=0.137	p=0.000	p=0.239	p=0.013	p=0.446	
Tm1(2.317)	-	+						0.116
Tm2(2.317)				-	+			0.075
Tm3(1.318)						-		0.019

Note: Effect of pollutants: (+) - direct, (-) – adverse; significant correlation in bold.

Effect of temperature over the first half of dormant period, as it was expected significantly and adversely affected pine defoliation variation indicating that higher temperature should have resulted in lower defoliation level. Effects over the other months were not as significant as those of precipitation. According to created multidimensional model, mean temperature (Tm1) of the different periods explained up to 12 % of mean defoliation variability of pine stands (Table 1).

To generalize the obtained relationships three models were developed. The effect of both meteorological parameters (precipitation and temperature) of the dormant period was found to be the most significant in all variants of pine defoliation (F) models. Over the vegetation period only precipitation amount had significant effect on pine crown condition:

$$F = 20.55 + 0.0204 \times Pr_{(IX-XII)} - 0.5780 \times Tm_{(IX-XII)} - 0.0082 \times Pr_{(V-VIII)} \quad ; \quad R^2 = 0.269; p < 0.000 \quad (1)$$

$$F = 16.99 + 0.0153 \times Pr_{(IX-II)} + 0.0158 \times Pr_{(III-IV)} - 0.736 \times Tm_{(IX-II)} - 0.0064 \times Pr_{(V-VII)}; \quad R^2 = 0.269; p < 0.000 \quad (2)$$

$$F = 17.52 + 0.0156 \times Pr_{(IX-IV)} - 0.729 \times Tm_{(IX-IV)} - 0.0072 \times Pr_{(V-VIII)}; \quad R^2 = 0.254; p < 0.000 \quad (3)$$

Decrease in precipitation amount over the dormant period and increase in mean monthly temperature from September to December represent climate change condition over the 16 year long period in the eastern part of Lithuania where pine stands were monitored. If further climate changes follow the detected tendencies, pine stand condition should improve. However, without detection of well known seasonal interdependencies between meteorology and variation of pollutants, we can not conclude that.

3.3 Seasonal variability of air pollution and acid deposition, and their possible effect on pine defoliation

IMS data showed a significant decrease in pollutants until the year 2000 (Augustaitis et al., 2005; Sopauskiene and Jasineviciene, 2006; Sopauskiene et al., 2001). The air concentrations of both sulphur compounds (SO₂ and SO₄²⁻) decreased by 82% (from 2.73 to

0.49 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$). Wet deposition of sulphur decreased by 64% (from 685 to 250 mgS/m^2). This marked decrease in annual sulphur compounds was most likely the result of a reduction in SO_2 emissions in Europe including Lithuania (CLRTAP, 2005). The decrease in ΣNH_4^+ air concentration made 67% (from 3 to 1 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$) and in wet deposition 65% (from 500 to 175 mgN/m^2) (Sopauskiene and Jasineviciene, 2006).

Between 2000 and 2009 further significant decrease in SO_2 and ΣNH_4^+ air concentrations up to 0.3 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ and 0.9 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ respectively, was observed, meanwhile aerosol SO_4^{2-} and ΣNO_3^- air concentrations were stable at the level of 0.7 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ and 0.45 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$. Wet deposition of sulphur and its concentration in precipitation between these years further decreased up to 200 mgS/m^2 and 0.4 mgS/l respectively, meanwhile NH_4^+ deposition and concentration in precipitation contrary to its air concentration started to increase again and in 2009 made 250 mgN/m^2 and 0.5 mgN/l .

Changes in ΣNO_3^- air concentration, its deposition and concentration in precipitation were the least pronounced. Only ΣNO_3^- air concentration alike its concentration in precipitation had a tendency to decrease from 0.55 to 0.42 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ and from 0.42 to 0.32 mgN/l , respectively, while NO_3^- deposition was rather stable over the whole considered period and fluctuated around 220 mgN/m^2 .

Our earlier study revealed the significance of seasonal variation of many of the considered air pollutants and acid deposition. In most cases, the highest concentrations were detected over the dormant period, the only exception being the highest value of mean monthly O_3 concentration, which was observed in March and April. No significant differences were found between SO_4^{2-} and NH_4^+ monthly deposition (Augustaitis et al., 2010). The detected seasonal variation in air pollutant concentrations and acid deposition indicated that values of acidifying species obtained over the period from September to December explained in most cases more than 90% of variability in their annual values. Consistently this period was excluded from others to simplify the detection of climate changes effect on pine condition responses to air pollution and acid deposition.

Multiple regression analysis showed that among air concentrations of the acidifying species ΣNH_4^+ ions demonstrated the strongest relationship with pine defoliation, followed by a weaker relationship with sulphur species. In contrast, sulphur aqueous concentrations in precipitation and wet deposition demonstrated the strongest relationship with pine defoliation. Significance of the effect of NO_3^- changes in all considered substances explaining pine defoliation variation was the lowest.

Data on surface ozone concentrations demonstrated significant differences between and within the years. However, there was no regular pattern in temporal variation in the annual mean concentration (ozone concentrations fluctuated between 51-54 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), and mean its values from April through August as well as in the AOT40. These changes in O_3 concentrations were typical for other parts of the Central Europe (Solberg, et al., 2005; Bytnerowicz, et al., 2002b; Bytnerowicz, et al., 2004). Higher ozone concentrations were mostly observed when air masses were transported from Western Europe (Girgzdiene, et al., 2006). The effect of the mean monthly value of ozone on pine defoliation changed from positive (January-May) to negative (June-November), however, this effect in most cases was not significant ($p>0.05$). The effect of mean value of ozone over the period from June to August on pine condition was significant ($r=0.187$, $p=0.001$).

Table 2. Correlative and multiple regression analysis of Scots pine stands defoliation vs. air pollution and acid deposition

Parameters	Periods							Model R^2
	IX-XII	I-IV	II-IV	IX-II	III-IV	IX-IV	V-VIII	
Air concentration, ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)								
SO_2 r	0.560	0.541	0.479	0.591	0.488	0.576	0.516	
p	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	
SO_2 (2.317)	+	+						0.336
SO_4^{2-} r	0.630	0.518	0.512	0.592	0.558	0.592	0.538	
p	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	
SO_4^{2-} (1.318)	+							0.397
ΣNH_4^+ r	0.518	0.643	0.624	0.563	0.624	0.598	0.558	
p	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	
NH_4^+ (3.316)	+	+					+	0.426
ΣNO_3^- r	0.334	0.348	0.222	0.475	0.039	0.411	-0.008	
p	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	$p=0.488$	p=0.000	$P0.885$	
NO_3^- (3.316)	+	+		+			-	0.189
Deposition, ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$)								
SO_4^{2-} r	0.602	0.501	0.479	0.602	0.374	0.600	0.351	
p	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	
SO_4^{2-} (3.316)	+	+						0.367
NH_4^+ r	0.519	0.502	0.483	0.519	0.335	0.532	0.124	
p	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.026	
NH_4^+ (3.316)	+	+						0.283
NO_3^- r	0.188	0.332	0.194	0.255	0.317	0.147	-0.367	
p	p=0.001	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	
NO_3^- (3.316)		+					-	0.179
Concentration in precipitation, ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)								
SO_4^{2-} r	0.642	0.596	0.512	0.656	0.419	0.652	0.561	
p	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	

SO ₄ ²⁻ (3.316)	+	+						0.432
NH ₄ ⁺ r	0.516	0.479	0.444	0.527	0.198	0.518	0.493	
p	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	
NH ₄ ⁺ (3.316)	+						+	0.362
NO ₃ ⁻ r	0.200	0.360	0.279	0.317	0.144	0.342	0.182	
p	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.010	p=0.000	p=0.001	
NO ₃ ⁻ (3.316)		+					+	0.176

Note: Effect of pollutants: (+) - direct, (-) – adverse. Significant relationships in bold.

3.3 Integrated effect of considered pollutants on pine defoliation

Studies of the integrated effect of considered pollutant species and their character allowed us to select possibly the most dangerous pollutants and periods when they had the greatest effect on Scots pine in Lithuania. Our earlier studies revealed that during the dormant period integrated effect of the acidifying species is, in most cases, more significant to changes in pine stands condition than during vegetation (Augustaitis et al., 2010). A few fold higher air concentrations of sulphur compounds and a little lower of ammonium over the dormant period, and their strong correlation with pine defoliation made these contaminants key factors resulting in pine defoliation under regional pollution load in Lithuania, what was in full agreement with earlier findings not only in Lithuania but also in other parts of Europe (Lorenz and Mues, 2007).

Recent studies showed that air concentration of ΣNH_4^+ , its deposition and concentration in precipitation seemed to have the most significant effect on Scots pine condition, integrated effect of which explained more than 45% variability in pine defoliation. For the first time over the whole period of investigation the effect of air concentrations of SO₂ and aerosol SO₄²⁻ with their deposition and concentrations in precipitation was a little lower. Explanation rate fluctuated between 41.3 and 44.6%. Gradual increase in NH₄⁺ deposition and its concentration in precipitation since 2002, which well coincided with increasing in pine crown defoliation, could be attributed to the deciding factor this phenomenon.

Integrated effect of ΣNH_4^+ air concentration, their deposition (DNH₄⁺) and aqueous concentration in precipitation (CNH₄⁺) on pine defoliation is described by the following equation:

$$F=15.41+1.162\times\Sigma\text{NH}_4^+(\text{V-VIII})+0.801\times\Sigma\text{NH}_4^+(\text{IX-XII})+3.403\times\text{CNH}_4^+(\text{IX-XII});$$

$$R^2 = 0.452; p<0.000 \quad (10)$$

$$F = 14.83+0.459\times\Sigma\text{NH}_4^+(\text{IX-XII})+2.05\times\Sigma\text{NH}_4^+(\text{I-IV})+0.014\times\text{DNH}_4^+(\text{I-IV});$$

$$R^2 = 0.451; p<0.000 \quad (11)$$

Integrated effect of SO^2 air concentration with S deposition (DSO_4^{2-}) and its aqueous concentration in precipitation (CSO_4^{2-}) on pine defoliation is described by the following equations:

$$F = 15.81+1.669\times\text{SO}_{2(\text{V-VII})} + 5.73\times\text{CSO}_4^{2-}(\text{IX-XII}) \quad ; \quad R^2= 0.436; p<0.000 \quad (4)$$

$$F = 16.48+1.914\times\text{SO}_{2(\text{V-VII})} + 0.63\times\text{SO}_{2(\text{IX-XII})} +0.0196\times\text{DSO}_4^{2-}(\text{IX-XII}); R^2= 0.413; p<0.000 \quad (5)$$

Integrated effect of aerosol SO_4^{2-} air concentration, its deposition (DSO_4^{2-}) and aqueous concentration in precipitation (CSO_4^{2-}) on pine defoliation is described by the following equations:

$$F = 15.98+1.142\times\text{SO}_4^{2-}(\text{IX-XII}) + 4.20\times\text{CSO}_4^{2-}(\text{IX-XII}) \quad ; \quad R^2= 0.446; p<0.000 \quad (6)$$

$$F = 16.42+1.636\times\text{SO}_4^{2-}(\text{IX-XII}) + 0.014\times\text{DSO}_4^{2-}(\text{IX-XII}); \quad R^2= 0.437; p<0.000 \quad (7)$$

Effect of air concentration of ΣNO_3^- , its deposition (DNO_3^-) and aqueous concentration in precipitation (CNO_3^-) demonstrated the lowest explanation rate. Effect of these species of pollutants explained up to 30% variability in pine defoliation:

$$F = 14.07+9.1\times\Sigma\text{NO}_3^-(\text{IX-XII})-0.043\times\text{DNO}_3^-(\text{V-VIII})+0.053\times\text{DNO}_3^-(\text{IX-XII}); R^2= 0.290; p<0.000 \quad (8)$$

$$F = 7.32+8.79\times\Sigma\text{NO}_3^-(\text{IX-XII}) + 8.08\times\text{CNO}_3^-(\text{IX-XII})+9.77\times\text{CNO}_3^-(\text{I-VI}); R^2= 0.273; p<0.000 \quad (9)$$

Significance of the surface ozone in integrated effect with the other considered pollutants on pine defoliation was quite variable. Mean value of surface ozone over June-August increased effect of ΣNO_3^- air concentration, its deposition and aqueous concentration in precipitation most significant. Determination coefficient increased by 3-4%, followed by 2% of determination coefficient of the effect with SO^2 air concentration, S deposition and its aqueous concentration in precipitation. The least significant effect of surface ozone was detected in integrated effect with ΣNH_4^+ air concentration, its deposition and aqueous concentration in precipitation. In this relationship surface ozone concentration increased the coefficient of determination up to only 1%. Nonetheless the effect of ozone in integrated effect with the considered acidifying species on pine defoliation variability was statistically significant ($p<0.05$).

Character of pollutants – air concentrations, deposition and aqueous concentrations in precipitation – revealed that air concentrations of the considered pollutants had most significant effect on pine condition; a little lower was the integrated effect of aqueous

concentrations of the considered pollutants in precipitation and the lowest was the effect of their deposition. Created equation are as follow:

- effect of the air concentrations of the considered pollutants:

$$F = 15.82 + 0.0177 \times O_{3(VI-VIII)} + 1.015 \times SO_{2(IX-XII)} - 5.745 \times NO_{3(V-VIII)}^{-} + 0.343 \times NH_{4(IX-XII)}^{+} + 2.112 \times NH_{4(I-IV)}^{+} ; R^2 = 0.466; p < 0.000 \quad (12)$$

- effect of the wet deposition (D) of the considered pollutants:

$$F = 16.43 + 0.0218 \times DSO_{4(IX-XII)}^{2-} + 0.021 \times DNH_{4(V-VIII)}^{+} - 0.045 \times DNO_{3(V-VIII)}^{-} + 0.021 \times DNO_{3(I-IV)}^{-} ; R^2 = 0.440; p < 0.000 \quad (13)$$

- effect of the aqueous concentration in precipitation (C) of the considered pollutants:

$$F = 16.42 + 5.949 \times CSO_{4(IX-XII)}^{2-} + 3.366 \times CNH_{4(V-VIII)}^{+} - 7.031 \times CNO_{3(V-VIII)}^{-} ; R^2 = 0.453; p < 0.000 \quad (14)$$

Generalizing the created models and obtained results common multiple regression model of Scots pine defoliation in the eastern part of Lithuania was elaborated. According to it surface ozone concentration over June-August, air concentration of ΣNH_4^+ , SO_2 and wet deposition of sulphur over the first half of dormant period (September-December) as well as wet deposition of NO_3^- over the vegetation could have explain up to 48% temporal variability in pine defoliation under regional pollutant load in Lithuania.

Integrated effect of the considered pollutants:

$$F = 13.05 + 0.0621 \times O_{3(VI-VIII)} + 1.146 \times SO_{2(IX-XII)} + 0.673 \times NH_{4(IX-XII)}^{+} + 0.014 \times DSO_{4(IX-XII)}^{2-} - 0.0083 \times DNO_{3(V-VIII)}^{-} ; R^2 = 0.478; p < 0.000 \quad (15)$$

Taking into account the stable or downward tendencies in SO_2 and NH_4^+ air concentrations as well as SO_4^{2-} wet deposition and upward tendency of NO_3^- wet deposition, reduction of pine vulnerability to acid deposition and enhancing resiliency of pine trees mainly to surface ozone, summertime concentration of which under climate changes have a tendency to increase, should be expected. The considered meteorological parameters, direct integrated effect of which explained up to 30% variation in pine defoliation, in integrated effect with surface ozone and acidifying species was not significant. Only their indirect effect on pine crown condition, through the closed interdependencies with selected pollution species (Langner et al., 2005; Sanderson et al., 2006; Bytnerowicz et al., 2007; Zlatev and Moseholm, 2008; Jacob, Winner, 2009) is the object of a very deep discussion when investigating forest adaptation and mitigation ability under global environmental changes.

Discussion

Air pollution and climate change are two key factors comprising the global change threat to forest health and sustainability (Percy, Ferretti, 2004;). Their impacts on forest ecosystems have been traditionally treated separately. However, their combined effects on forest ecosystem may significantly differ from a sum of separate effects due to an array of various synergistic or antagonistic interactions (Langner et al., 2005; Bytnerowicz et al., 2007). To capture synergies and avoid overlaps between two lines of traditional research, what is suggested by many of authors (Swart et al., 2004; Bytnerowicz et al., 2007); we expressed pine defoliation changes through the changes in main environment pollution data whereas meteorological data were chosen only like predisposing factors of pollution changes. Due to the topic of great interest of the potential impact of climate change on the distribution and reduction of air pollutants (Langner et al., 2005) we tried to evaluate the integrated effect of meteorological parameters on air concentrations of considered pollutants and especially on amount of acid deposition. In this way we hoped to join scientists' community for solving one of the most actual to date problems – the effect of climate changes on forest responses to regional pollution.

It is well known that both the intensity of precipitation and increase in temperature determine the atmospheric concentration and deposition of acidifying compounds (Mayerhofer et al., 2002; Buda, Walle, 2002, Langner et al., 2005; Sanderson et al., 2006; Bytnerowicz et al., 2007; Jacob, Winner, 2009). The obtained data revealed that precipitation in conjunction with temperature had positive impact on SO₂ air concentration and SO₄²⁻ deposition what well agreed with the state of knowledge in this field (Buda, Walle, 2002).

$$\text{SO}_{2(\text{IX-XII})} = -0.2075 + 0.0064 \times \text{Pr}_{(\text{IX})} + 0.0147 \times \text{Pr}_{(\text{IX-XII})} / \text{Tm}_{(\text{IX-XII})} ; \quad R^2 = 0.342; p < 0.042 \quad (19)$$

$$\text{DSO}_4^{2-}{}_{(\text{IX-XII})} = -71.27 + 0.568 \times \text{Pr}_{(\text{IX-XII})} + 12.01 \times \text{Pr}_{(\text{IX})} / \text{Tm}_{(\text{IX})} ; \quad ; R^2 = 0.693; p < 0.000 \quad (17)$$

Detected key meteorological parameters affecting variation of S pollution species, demonstrated downward trend over the considered period. If the trend will remain in the near future, the effect of SO₂ air concentration and SO₄²⁻ deposition on Scots pine stands in Lithuania should not enhance their additional vulnerability.

The statement that climate change increases NH₄⁺ air concentration and deposition mainly during the dormant season (Buda, DeWalle, 2002) agreed well with the obtained

results. Created regression model indicated that precipitation amount over this period is the key parameter reflecting the changes in NH_4^+ air concentration best:

$$\text{NH}_4^+_{(IX-XII)} = 2.358 + 0.042 \times \text{Pr}_{(IX)} - 0.0182 \times \text{Pr}_{(IX-XII)} + 0.018 \times \text{Pr}_{(IX-XII)} / \text{Tm}_{(IX-XII)}; \\ R^2 = 0.754; p < 0.000 \quad (20)$$

Climate change increases the amount of produced nitric acid and deposited down to soils, which in turn may result in further acidification of soils what will worsen the problem of acidification in future (Sanderson et al., 2006). Therefore, precipitation due to below-cloud scavenging of HNO_3 was the key factor affecting changes in NO_3^- wet deposition (Buda, Walle, 2002). In our case precipitation amount over the vegetation period, which over the considered period demonstrated a trend towards increasing should increase NO_3^- deposition, however, in forest ecosystem where N often is the limiting nutrient, NO_3^- deposition may increase wood production and accumulation of soil organic matter (Holland et al., 1997), thus demonstrating fertilization effect and increasing foliage biomass. Therefore, recently negative effect of NO_3^- deposition could be expected through the effect on soil mediated parameters, mainly enforcing acidifying processes in the soil.

$$\text{DNO}_3^-_{(V-VIII)} = 650.4 + 2.773 \times \text{Pr}_{(V-VIII)} - 41.16 \times \text{Tm}_{(V-VIII)} - 40.58 \times \text{Pr}_{(V-VIII)} / \text{Tm}_{(V-VIII)}; \\ R^2 = 0.693; p < 0.000 \quad (18)$$

Surface ozone, as a phytotoxic pollutant and an agent of climate change, is still considered to be the most important air pollutant for forests. Average ozone concentrations are expected to substantially increase during summertime in future climate conditions. This is mostly due to higher temperatures and reduced cloudiness and precipitation over Europe (Meleux et al., 2007). Relationship between summertime temperature and surface ozone concentration is well known (Cox and Chu, 1995; Ordonez et al., 2005; Camalier et al., 2007). Confirming this, we could state that a key parameter resulting in summertime ozone concentration in Lithuania is temperature as well, while amount of precipitation, which adversely depends on temperature, only reinforces its direct effect (Langner et al., 2005). It confirms the statement of Camalier et al. (2007) who found that as much as 80% of the variance in the maximum daily 8-h average ozone in the eastern U.S. can be explained by temperature (positive) and relative humidity (negative) as the two most important predictor variables. In our case, the integrated effect of these meteorological parameters could explain up to 50% variation in summer time ozone mean concentration:

$$\text{O}_3_{(VI-VIII)} = 7.32 - 0.0172 \times \text{Pr}_{(VI-VIII)} + 3.109 \times \text{Tm}_{(VI-VIII)}; \quad ; R^2 = 0.447; p < 0.000 \quad (16)$$

As it was mentioned, summer time air temperature changed towards increasing by 0.046°C per year, following towards increasing in precipitation by 4.3 mm per year ($p > 0.05$). Such changes should lead to increase in biogenic emissions of isoprene, a biogenic precursor of ozone. This process, which promotes an increase in surface ozone concentrations over southern and central Europe (Langner et al., 2005; Zlatev and Moseholm, 2008; Jacob, Winner, 2009), should increase ozone concentration in Lithuanian as well, what will negatively affect pine crown condition.

Generalizing the obtained results, we can conclude that if air concentrations of the considered pollutants and acid deposition remained stable in future, the changing climate should reduce the negative effect of air pollutants of acidifying species and their deposition, and result in better or at least stable pine stand condition, despite the rise in negative effect of surface ozone. Only more and more frequent extreme conditions like heat and drought over the vegetation period, frequencies of which are too difficult to forecast could cause adverse changes in Scots pine stand condition and sustainability.

Conclusion

Surface ozone, acidifying species, and climate change are key factors that resulted in Scots pine stands condition and sustainability in Lithuania. Complete implementation of the Gothenburg Protocol helped to significantly reduce concentrations of the main acidifying species in air and their deposition, what resulted in significant pine stand condition improvement. Despite these international efforts recently N species remain at the same level or start to demonstrate upwards trend, especially ammonium, what should result in further acidification of soils and act to worsen the problem of forest ecosystem acidification in future. Close interdependence between summertime surface ozone concentration and summertime meteorology indicated substantial increase in its concentration in future climate conditions what should lead to deterioration of pine stand condition as well. These opposite changes in the considered pollution species and their affects do not enable to predict reliable further pine condition changes without comprehensive studies of the direct effect of meteorological parameters on pine condition and indirect - on air pollutants and acid deposition. The Integrated Monitoring Programme, which has been annually performed since 1994 in Lithuania, provides all the necessary data to join scientists' community for solving one of the most actual problems, i.e. to evaluate the effect of climate changes on forest response to

changing pollution load. Primary results obtained in Scots pine stands growing under regional pollution load in the eastern part of Lithuania indicated that decrease in precipitation and increase in temperature over the dormant period following the decrease of deposition of acidifying species leads to decrease of the negative effect of acidifying species on pine crown condition. Slight increase in precipitation over vegetation, adversely to drought affect, enhanced resiliency of pine trees to negative effect of acidifying species and surface ozone damages, ensuring stable or improved pine stand condition in Lithuania. Only extreme climate conditions remain the main threat to sustainable forest development in future.

References:

- Alcamo, J., Mayerhofer, P., Guardans, R., van Harmelen, T., van Minnen, J., Onigkeit, J., Posch, M., de Vries, B., 2002. An integrated assessment of regional air pollution and climate change in Europe: findings of the AIR-CLIM Project. *Environmental Science and Policy* 5, 257-272.
- Alonso, R., Bytnerowicz, A., and Arbaugh, M. (2002) Vertical distribution of ozone and nitrogenous pollution in air quality class I area, the San Gorgonio Wilderness, Southern California. *TheScientificWorldJOURNAL* 2, 10–26.
- Augustaitis, A. 2003. Impact of regional pollution load on scots pine (*Pinus sylvestris* L.) tree condition. *Ekologia*. 22: 30-41.
- Augustaitis, A., Augustaitiene, A., Kliucius, A., Bartkevicius, E., Mozgeris, G., Sopauskiene, D., Eitminaviciute, I., Arbaciauskas, K., Mazeikyte, R., Bauziene, I, 2005. Impact of acidity components in the air and their deposition on biota in forest ecosystems. *Baltic Forestry* 2, 84-93.
- Augustaitis, A., Augustaitiene, I., Deltuvas, R. (2007). Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) crown defoliation in relation to the acid deposition and meteorology in Lithuania. *Water, Air, and Soil Pollution*, 182, 335-348.
- Augustaitis, A. and Bytnerowicz, A., 2008. Contribution of ambient ozone to Scots pine defoliation and reduced growth in the Central European forests: a Lithuanian case study. *Environmental Pollution*, doi:10.1016/j.envpol.2008.01.042 (in press).
- Bauer, F. 1982. Kommt es forstlich zur Katastrophe? *Allgemeine Forstzeitschrift* 29, 865-867.
- Burton, K. W., Morgan, E. and Roig, A.: 1983, *Plant and Soil* 73, 327.**
- Bytnerowicz, A., Szaro, R., Karnosky, D., Manning, W., McManus, M., Musselman, R., and Muzika, R.M. (2002a) Importance of international research cooperative programs for better understanding of air pollution effects on forest ecosystems in Central Europe. In *Effect of Air Pollution on Forest Health and Biodiversity in Forest of the Carpathian Mountains*. Szaro, R.C., Bytnerowicz, A., and Oszlanyi, J., Eds. NATO Science Service. pp. 13–22.
- Bytnerowicz, A., Godzik, B., Fraczek, W., Grodzinska, K., Krywult, M., Badea, O., Barancok, P., Blum, O., Cerny, M., Godzik, S., Mankovska, B., Manning, W., Moravcik, P., Musselman, R., Oszlanyi, J., Postelnicu, D., Szdziej, J., Varsavova, M., and Zota, M. (2002b) Distribution of ozone and other air pollutants in forests of the Carpathian Mountains in central Europe. *Environ. Pollut.* **116**, 3–25.
- Bytnerowicz, A., Godzik, B., Grodzinska, K., Fraczek, W., Musselman, R., Manning, W., Badea, O., Popescu, F., and Fleischer, P. (2004) Ambient ozone in forests of the central and eastern European mountains. *Environ. Pollut.* **130**, 5– 16.
- Bytnerowicz, A., Omasa, K., Paoletti, E. 2007. Integrated effects of air pollution and climate change on forests: A northern hemisphere perspective. *Environmental Pollution* 147: 438-445
- Camalier, L., Cox, W., Dolwick, P., 2007. The effects of meteorology on ozone in urban areas and their use in assessing ozone trends. *Atmospheric Environment*, 41, 7,127–7,137.
- Cox, W.M., Chu, S.-H., 1995. Assessment of interannual ozone variation in urban areas from a climatological perspective. *Atmospheric Environment*, 30, 2615–2625.
- Coyle, M., Fowler, D., and Ashmore, M. (2003) New directions: implications of increasing tropospheric background ozone concentrations for vegetation. *Atmos. Environ.* 37, 153–154.
- CLRTAP 2005. Twenty-Five Years of International Cooperation on the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution 1979-2004. UN-ECE. 10 pp.
- De Vries, W., Klap, J. and Erisman, J.W. 2000. Effects of environmental stress on forest crown condition in Europe. Part I: Hypotheses and approach to the study. *Water, Air, and Soil Pollution* 119, 317-333.
- Davies, T.D., Pierce, C.E., Robinson, H.J., Dorling, S.R. 1992. Towards an assessment of the influence of climate on wet acid deposition in Europe. *Environmental Pollution*, 75, 111-119.

- De Vries, W., Vel, E., Reinds, G. J., Deelstra, H., Klap, J. M., Leeters, E.E.J.M., Hendriks, C.M.A., Kerkvoorden, M., Landmann, G., Herkendell J., Hausmann, T. and Erisman, J. W., 2003, Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe: 1. Objectives, set-up and evaluation strategy. *Forest ecology and management* 174, 77-95.
- Driscoll, Ch.T., Driscoll, K.M., Mitchell, M.J. and Raynal, D.J. 2003. Effects of acidic deposition on forest and aqueous ecosystems in New York State. *Environmental Pollution*, 123: 327-336.
- EMEP 1977. *Manual of sampling and Chemical Analysis*, EMEP/CHEM 3/77. Norwegian Institute for Air Research. Oslo.
- Evans, L. S.: 1984, *Botanica Review* 50, 449
- Fowler, D., Flechard, C., Skiba, U., Coyle, M., and Cape, J.N. (1998) The atmospheric budget of oxidized nitrogen and its role in ozone formation and deposition. *New Phytol.* 139, 11–23.
- Fuhrer, J., Skärby, L., and Ashmore, M.R. (1997) Critical levels of ozone effects in Europe. *Environ. Pollut.* **97**, 18–29.
- Fuhrer, F. (2000) Introduction to the special issue on ozone risk analysis for vegetation in Europe. *Environ. Pollut.* 109, 359–360.
- Girgzdiene, R., Bycenkiene, S., and Girgzdys, A. (2006) Variations and trends of AOT40 and ozone in the rural areas of Lithuania. *Environ. Monit. Assess.* DOI.10.1007/S10661-006-9283-9289.
- Guardans, R., 2002. Estimation of climate change influence on the sensitivity of trees in Europe to air pollution concentrations. *Environmental Science and Policy* 5, 319e333.
- Hill, A.C., Heggstad, H.E., and Linzon, S.N. (1970) Ozone. In *Recognition of Air Pollution Injury to Vegetation: A Pictorial Atlas*. Jacobson, J.S. and Hill, A.C., Eds. Air Pollution Control Association, Pittsburgh, PA. B1–B6.
- IPCC, 2007. Climate change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Solomon, S., et al. (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. <http://www.ipcc.ch/>
- Juknys, R, Vensloviene, J., Stravinskiene, V., Augustaitis, A. and Bartkevicius, E. 2003. Scots pine (*Pinus sylvestris L.*) growth and condition in a polluted environment: From decline to recovery. *Environmental Pollution* 125, 205-212.
- Karlsson, P.E., Tuovinen, J.-P., Simpson, D., Mikkelsen, T., Ro-Poulsen, H., 2002. Ozone exposure indices for ICP-Forest Observation Plots within the Nordic countries. IVL-rapport B1498, p. 54.
- Knabe, W. 1981. Immissionsökologische Waldzustandserfassung in Nordrhein-Westfalen. *Allgemeine Forstzeitschrift* 26, 641-643.
- Klap, J., Voshaar, J.O., Vries, W.D. and Erisman, J.W. 1997. Relation between crown condition and stress factors. In: Ch. Muller-Edzards, W. de Vries, and J.W. Erisman (eds.) *Ten Years of Monitoring Forest Condition in Europe. Studies on Temporal Development, Spatial Distribution and Impact of Natural and Anthropogenic Stress Factors*. UN-ECE pp. 277-298.
- Klap, J. M., Oude Voshaar, J. H., De Vries, W. and Erisman, J. W. 2000. Effects of Environmental Stress on Forest Crown Condition in Europe. Part IV: Statistical Analyses of Relationships. *Water, Air, and Soil Pollution* 119, 387-420.
- Langner, J., Bergstro, R., Foltescu, V. 2005. Impact of climate change on surface ozone and deposition of sulphur and nitrogen in Europe. *Atmospheric Environment* 39 (2005) 1129–1141

- Leemans, R., Eickhout, B., 2004. Another reason for concern: regional and global impacts on ecosystems for different levels of climate change. *Global Environmental Change* 14, 219–228.
- Lorenz, M., Mues, V., 2007. Forest health status in Europe. *The ScientificWorld Journal* 7 (S1), 22-27.
- LRTAB (2004) LRTAB Mapping Manual. UNECE. <http://www.icpmapping.org>.
- Manning, W.J. (2005) Establishing a cause and effect relationship for ambient ozone exposure and tree growth in the forest: progress and an experimental approach. *Environ. Pollut.* 137, 443–454.
- Matyssek, R. and Innes, J.L. (1999) Ozone - a risk factor for trees and forests in Europe? *Water Air Soil Pollut.* 116, 199–226.
- Mayerhofer, P., Alcamo, J., Posch, M., Van Minnen, J.G. 2001. Regional air pollution and climate change in Europe. *Water, Air, and Soil Pollution* 130, 1151-1156.
- Mayerhofer, P., de Vries, B., den Elzen, M., van Vuuren, D., Onigkeit, J., Posch, M., Guardans, R., 2002. Long-term, consistent scenarios of emissions, deposition, and climate change in Europe. *Environmental Science and Policy* 5, 273-305.
- Meleux, F., Solmon, F., Giorgi, F. 2007. Increase in summer European ozone amounts due to climate change. *Atmospheric Environment* 41, 7577–7587.
- Muzika, R.M., Guyette, R.P., Zielonka, T., Liebhold, A.M., 2004. The influence of O₃, NO₂ and SO₂ on growth of *Picea abies* and *Fagus sylvatica* in the Carpathian Mountains. *Environmental Pollution* 130, 65e71.
- Ordóñez, C., Mathis, H., Furger, M., Henne, S., Hoglin, C., Staehelin, J., Prevot, A.S.H., 2005. Changes of daily surface ozone maxima in Switzerland in all seasons from 1992 to 2002 and discussion of summer 2003. *Atmos. Chem. Phys.* 5, 1187–1203.
- Paoletti, E., Augustaitis, A., Bytnerowicz, A., Bucher, J., Ferretti, M., Johnson, D., Karnosky, D.F., Mankovska, B., Muller, G. and Percy, K.E. 2003. State of science and knowledge gaps with respect to air pollution impacts on forests. *Ekologia (Bratislava)* 22, 8-17.
- Paoletti, E., 2005. Ozone slows stomatal response to light and leaf wounding in a Mediterranean evergreen broadleaf, *Arbutus unedo*. *Environmental Pollution* 134, 439-445.
- Paoletti, E., Schaub, M., Matyssek, R., Wieser, G., Augustaitis, A., Bastrup-Birk, A.M., Bytnerowicz, A., Guñthardt-Goerg, M.S., Müller-Starck, G., Serengil, Y. 2010. Advances of air pollution science: From forest decline to multiple-stress effects on forest ecosystem services. *Environmental Pollution*, doi:10.1016/j.envpol.2009.11.023.
- Raes, F., Seinfeld, J.H. 2009. New Directions: Climate change and air pollution abatement: A bumpy road. *Atmospheric Environment*, 43, 5132–5133
- Reich, P.B. and Amundson, R.G. (1985) Ambient levels of ozone reduce net photosynthesis in trees and crop species. *Science* 230, 566–570.
- Ryerson, T.B., Trainer, M., Holloway, J.S., Parrish, D.D., Huey, L.G., Sueper, D.T., Frost, G.J., Donnelly, S.G., Schauffler, S., Atlas, E.S., Kustler, W.C., Goldan, P.D., Hübler, G., Meagher, J.F., and Feshenfeld, F.C. (2001) Observations of ozone formation in power plant plumes and implications for ozone control strategies. *Science* 292, 719–723.
- Sitch, S., Cox, P.M., Collins, W.J., Huntingford, C., 2007. Indirect radiative forcing of climate change through ozone effects on the land-carbon sink. *Nature* 448, 791–795.
- Sanderson, M.G., Collins, W.J., Johnson, C.E., Derwent, R.G., 2006. Present and future acid deposition to ecosystems: The effect of climate change. *Atmospheric Environment* 40, 1275-1283.
- Schmieden, U. and Wild, A. (1995) The contribution of ozone to forest decline. *Physiol. Plant.* 94, 371–378.

- Sillman, S., Samson, P.J., 1995. The impact of temperature on oxidant formation in urban, polluted rural and remote environments. *Journal of Geophysical Research*, 100, 11497–11508.
- Smith, W. (1981) *Air Pollution and Forests*. Springer-Verlag, New York. 379 p.
- Solberg, S., Derwent, R.G., Hov, O., Langner, J., and Lindskog, A. (2005) European abatement of surface ozone in a global perspective. *Ambio* **34**, 47–53.
- Sopauskiene, D., Jasineviciene, D. and Stapcinskaite, S. 2001. The effect of changes in European anthropogenic emissions on the concentrations of sulphur and nitrogen components in air and precipitation in Lithuania. *Water, Air, and Soil Pollution* 130, 517-522.
- Sopauskiene, D. and Jasineviciene, D.: 2006. Changes in precipitation chemistry in Lithuania for 1981-2004. *Journal of Environmental Monitoring* 8, 347-352.
- Swart, R., Amann, M., Raes, F., Tuinstra, W., 2004. A good climate for clean air: linkages between climate change and air pollution. *Climatic Change* 66, 263-269.
- Utrainen, J., Holopainen, T., 2000. Impact of increased springtime O₃ exposure on Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings in central Finland. *Environmental Pollution* 109, 479-487.
- UN-ECE. 1994. *Manual on methods and Criteria for Harmonised Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forests*. ICP. 178 pp.
- UN-ECE 1993. *Manual for Integrated Monitoring Programme Phase 1993-1996. Environmental Report 5*. Helsinki Environmental Data Centre. National Board of Waters and the Environment.
- UN-ECE 2005. *The Condition of Forests in Europe 2005*. Executive Report, Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH), Geneva, 34 pp.
- WMO 1983. *Guide of Meteorological Practices*. 2nd edition WMO-No. 100. Geneva.
- Zlatev, Z., Moseholm, L. 2008. Impact of climate changes on pollution levels in Denmark. *Ecological Modelling* 217 305–319

LITERATŪRA

- Aber, J. D. (1992). Nitrogen cycling and nitrogen saturation in temperate forest ecosystems. *TRENDS IN ECOLOGY & EVOLUTION*. 7: 220-224.
- Aber, J., W. McDowell, K. Nadelhoffer, A. Magill, G. Berntson, M. Kamakea, S. McNulty, W. Currie, L. Rustad and I. Fernandez (1998). Nitrogen saturation in temperate forest ecosystems. *Bioscience*. 48: 921-934.
- Achermann, B., Bobbink, R., 2003. Workshop summary. In: Achermann, B., Bobbink, R. (Eds.), *Empirical Critical Loads for Nitrogen*. Swiss Agency for Environment, Forest and Landscape, Berne, Switzerland, pp. 11e18.
- Alewell, C., Armbruster, M., Bittersohl, J., Evans, C.D., Meesenburg, H., Moritz, K. and Prechtel, A. 2001. Are there signs of aquatic recovery after two decades of reduced acid deposition in the low mountain ranges of Germany? *Hydrol.Earth Syst.Sci.* 367-378.
- Armolaitis K., 1998. Nitrogen pollution on the local scale in Lithuania: vitality of forest ecosystems. *Environmental pollution*, 102: 55-60.
- Armolaitis K., Stakenas V., 2001: The recovery of damaged pine forests in an area formerly polluted by nitrogen. *The Scientific World*, 1 (S2), p. 384-393.
- A. Augustaitis, D. Sopauskiene, Z. Gulbinas, M. Samuila, G. Sakalauskiene, L. Stoskus, H. Klovaite. 2002. Report on national ICP IM activities in Lithuania. In Kleemola, S. and Forsius, M. (Eds.), 11th Annual Report 2002. UN ECE Convention on Long-rang Transboundary Air Pollution. International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems. *The Finnish Environment*, 567: 75-78.
- Augustaitis A., Juknys R, Kliucius A., Augustaitiene I. 2003. The changes of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) tree stem and crown increment under decreased environmental pollution. *Ekologia (Bratislava)*, Volume 22, Supplement 1: 30-36.
- Augustaitis, A., Augustaitiene, A., Kliucius, A., Bartkevicius, E., Mozgeris, G., Sopauskiene, D., Eitminaviciute, I., Arbaciauskas, K., Mazeikyte, R., Bauziene, I.: 2005, 'Impact of acidity components in the air and their deposition on biota in forest ecosystems', *Baltic Forestry*. 2, 84-93.
- Baker, J.P., Bernard, D.P., Christensen, S.W., Sale, M.J. 1990. Biological Effects of Changes in Surface Water Acid-base Chemistry. Report SOS/T 13, National Acid Precipitation Assessment Program, Washington, DC.
- [Blood et al., 1989](#)
- Boxman, A.W., van Dam D., van Dijk H.F.G., Hogervorst R.F. and Koopmans C.J. 1995. Ecosystem responses to reduced nitrogen and sulphur inputs into two coniferous forest stands in the Netherlands. *Forest Ecology and Management*, 71: 7-29.
- Chappelka, A.H. and Freer-Smith, P.H.: 1995, 'Predisposition of trees by air pollutants to low temperatures and moisture stress', *Environmental Pollution*. 87, 105--117.
- Cronan, C.S., Grigal, D.F., 1995. Use of calcium/aluminium ratios as indicators of stress in forest ecosystems. *Journal of Environmental Quality* 24, 209-226.
- De Vries, W., Klap, J. and Erisman, J.W.: 2000, 'Effects of environmental stress on forest crown condition in Europe. Part I: Hypotheses and approach to the study', *Water, Air, and Soil Pollution*. 119, 317--333.
- De Vries, W., Reinds, G.J., Klap, J., Leeuwen, E. and Erisman, J.W. 2003. Effects of environmental stress on forest crown condition in europe. part iii: estimation of critical deposition and concentration levels and their exceedances. *Water, Air, and Soil Pollution* 119: 363--386.
- De Vries, W., Vel, E., Reinds, G. J., Deelstra, H., Klap, J. M., Leeters, E.E.J.M., Hendriks, C.M.A., Kerkvoorden, M., Landmann. G., Herkendell J., Haussmann, T., and Erisman, J.

- W.: 2003a, 'Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe: 1. Objectives, set-up and evaluation strategy', *Forest ecology and management*. 174, 77--95.
- De Vries, W. Reinds, G.J., Vel, E. 2003b. Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe 2: Atmospheric deposition and its impacts on soil solution chemistry. *Forest ecology and management*. 174, 97-115.
- Deleporte, S. and Tillier, P. 1999. Long-term effects of mineral amendments on soil fauna and humus in an acid beech forest floor. *Forest ecology and manag.*, 118: 245-252.
- Eitminavičiūtė I., Navickienė V. 2000. Species diversity of microarthropods in soil of natural and degraded ecosystems. *Ekologija*. Nr. 3: 9-14.
- EMEP.: 1977, *Manual of sampling and chemical analysis*, EMEP/CHEM 3/77. Norwegian Institute for Air Research.
- EMEP, 2004. EMEP Assessment, Part I, European Perspective. Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway. <http://www.emep.int>
- Falkengren-Grerup, U., Hornung, M. and Strengbom, J.: 2002, 'Working group 1--Forest habit', in B. Achermann and R. Bobbink (eds.) *Proceedings of Empirical Critical Loads for Nitrogen*. Expert workshop, Berne, 11-13 November 2002, pp. 21--26.
- Frati, L., Caprasecca, E., Santoni, S., Gaggi, C., Guttova, A., Gaudino, S., Pati, A., Rosamilia, S., Pirintsos, S.A. and Loppi, S. 2006. Effects of NO₂ and NH₃ from road traffic on epiphytic lichens. *Environmental Pollution* 142, 58-64.
- Gulbinas Z. 2000. Soil Monitoring System in Lithuania. *Soils in Central and Eastern European Countries, in the New Independent States, in Central Asian Countries and in Mongolia. Present situation and future perspectives* (eds. Lahmar, R., Dosso, M., Ruellan, A., Montanarella, L.). EUR 19723 EN © European Communities. Italy: 249--255.
- Gulbinas, Z., Samuila, M.. 2002. Results of Integrated Monitoring in Small Wooded Catchments in Lithuania". *Geological Quarterly*, 46 (1), Warszawa, p. 81 - 97.
- Harriman, R., Watt, A. W., Christie, A. E. G., Collen, P., Moore, D. W, McCartney, A. G, Taylor, E. M and Watson, J. 2001. Interpretation of trends in acidic deposition and surface water chemistry in Scotland during the last three decades. *Hydrol.Earth System Science*. 5: 407-420.
- Jefferies, R.L., Maron, J.L., 1997. The embarrassment of riches: atmospheric deposition of nitrogen and community and ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution*, 12, 74-78.
- Juknys, R. 2001. Environmental pollution trends and impact to the forest state and growth in Lithuania. In I.Linkov and J.Palma-Oliveira (eds.) *Assessment and Management of Environmental Risks*, 341-348.
- Juknys, R., Stravinskiene V. and Vencloviene J. 2002. Tree-ring analysis for assessment of anthropogenic changes and trends. *Environmental Monitoring and Assessment*, 77: 81-97.
- Juknys, R, Vensloviene, J., Stravinskiene, V., Augustaitis, A. and Bartkevicius, E.: 2003, 'Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growth and condition in a polluted environment: from decline to recovery', *Environmental Pollution*. 125, 205--212.
- Keller, W., Gunn, J.M. and Yan, N.D. 1999. Acid rain - perspectives on lake recovery. *Journal of Aquatic Ecosystem Health and Recovery*, 6: 207-216.
- Kleemola S. and Forsius M. 2006. Trend assessment of bulk deposition, throughfall and runoff water/soil water chemistry at ICP IM sites. *The Finnish Environment*, 30, 22-48.
- Koposzki, H. 1992. Effects of acid and nitrogen deposition on the mesofauna, especially the collembolan. In M Tesche and S Feiler (eds), *Proceedings of Air Pollution and Interactions between Organisms in Forest Ecosystems*, 15th IUFRO International Meeting of Specialists on Air Pollution Effects on Forest Ecosystems.

- Lindberg, N. and Persson, T. 2004. Effects of long-term nutrient fertilisation and irrigation on the microarthropod community in a boreal Norway spruce stand. *Forest ecology and management*, 188: 125-135.
- Manion, P.D. and Lachance, D.: 1992, 'Forest decline concepts: an overview', in: P.D. Manion and D. Lachance (eds.), *Forest decline concepts*, St. Paul, Minnesota, USA, pp. 181--190.
- Mazeikyte R., Balciauskas L. 2003. Heavy metal concentrations in bank voles (*Clethrionomys glareolus*) from protected and agricultural territories of Lithuania. *Acta Zoologica Lituanica* 13 (1): 48-60.
- McKane, R.B., Johnson, L.C., Shaver, G.R., Nadelhoffer, K.J., Rastetter, E.B., Fry, B., Giblin, A.E., Kielland, K., Kwiatkowski, B.L., Laundre, J.A., Murray, G., 2002. Resource-based niches provide a basis for plant species diversity and dominance in arctic tundra. *Nature* 415, 68e72.
- McNulty, S. G., J. D. Aber and S. D. Newman (1996). Nitrogen saturation in a high elevation New England spruce-fir stand. *Forest Ecology and Management*. 84: 109-121.
- Miller, A.E., Bowman, W.D., 2002. Variation in nitrogen-15 natural abundance and nitrogen uptake traits among co-occurring alpine species: do species partition by nitrogen form? *Oecologia* 130, 609-616.
- Nordin, A., Strengbom, J. and Ericson, L. 2006. Responses to ammonium and nitrate additions by boreal plants and their natural enemies. *Environmental Pollution* 141, 167- 174
- Percy K.E. 2002. Is air pollution an important factor in forest health? In R.C. Szaro, A. Bytnerowicz and J. Oszlanyi (ed.) *Effect of air pollution on forest health and biodiversity in forest of the Carpatian Mountains*. NATO Science Service. 23-42.
- Percy, K.E. and Ferretti, M. 2004. Air pollution and forest health: toward new monitoring concepts. *Environmental Pollution*, 130: 113-126.
- Raddum, G. G. and Fjellheim, A. 2003. Liming of River Audna, Southern Norway. A large scale experiment of benthic invertebrate recovery. *AMBIO*, 32 (3): 230-234
- Roberts, T. M., Skeffington, R. A. and Blank, L. W.: 1989, Causes of Type 1 Spruce Decline in Europe *Forestry* 62(3), 179–222.
- Samuila, M. 2000. Simulation of Some Hydrological Parameters in Small Wooded Catchments Nordic Hydrological Conference 2000, Vol. 1, 291 298. Uppsala, Sweden.
- Schulze, E. D. (1989). Air pollution and forest decline in a spruce (*Picea abies*) forest. *Science*. 244: 776-783.
- Shortle, W. C. and K. T. Smith (1988). Aluminum-induced calcium deficiency syndrome in declining red spruce. *Science*. 240: 1017-1018.
- UN-ECE.: 1993, *Manual for Integrated Monitoring Programme. Phase 1993-1996. Environmental Report 5*. Helsinki: Environmental Data Centre. National Board of Waters and the Environment.
- UN-ECE.: 1994, *Manual on methods and criteria for harmonised sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*. ICP, 178 pp.
- UN/ECE, 1997. Ten Years of Monitoring Forest Condition in Europe. Studies on Temporal Development, Spatial Distribution and Impacts of natural and Anthropogenic Stress Factors. ICP.
- Vilkamaa, P. and Huhta, V. 1986. Effects of fertilization and pH upon communities of Collembola in pine forest soil. *Annales Zoologicae fennici*, 23: 167-174.
- Wright R.F. (1998). Effect in increased CO₂ and temperature on runoff chemistry at a forested catchment in southern Norway (CLIMEX Project). *Ecosystems*, 1: 216–225.
- Wright, R.F., Larssen, T., Camarero, L., Cosby, B.J., Ferrier, R., Helliwell, R., Forsius, M., Jenkins, A., Kopaček, J., Moldov, F., Posch, M., Rogora, M. and Schopp, W. 2005. Recovery of acidified European surface waters. *Environment science & technology*, February 1: 64-72.

MIŠKO EKOSISTEMŲ SUMEDĖJUSIOS AUGMENIJOS TYRIMAS PAGAL ICP IM PROGRAMĄ (SANTRAUKA)

Aštuntajame dešimtmetyje vis didėjantis aplinkos užterštumas privertė žmoniją suprasti, kad be objektyvios, pakankamai unifikuotos ir laiku pateiktos informacijos apie gamtinės aplinkos būklę ir pagrindinių jos komponentų antropogeninių pokyčių tendencijas, neįmanoma sukurti efektyvios aplinkos kokybės valdymo sistemos ir racionaliai naudoti gamtos išteklius. Todėl 1979 m. Europos sandraugos valstybės pasirašė “Konvenciją dėl tolimų atmosferos teršalų pernašų” (“*Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*” – CLRTAP), tapusią vienu pagrindinių įrankių, saugant ekosistemas nuo oro teršalų Europoje bei Šiaurės Amerikoje.

Šiaurės šalių Ministrų Taryba 1992 metais pasiūlė visoms trims nepriklausomybę atkūrusioms Baltijos valstybėms prisijungti prie Tarptautinės kompleksinio (integruoto) monitoringo programos ir skyrė tam reikalingą finansinę bei metodinę paramą. 1993 metais ekologinio monitoringo kompleksiško principui įgyvendinti pagrindiniuose Lietuvos kraštovaizdžiuose buvo įsteigtos 3 kompleksiško monitoringo stotys (KMS) minimalaus antropogeninio poveikio vietose, derinant jas prie nacionalinių parkų infrastruktūros. Stebėjimai šiuose stotyse traktuojami kaip globalinis foninis monitoringas (Lietuvos gamtinė aplinka, 1994). 1993 metais buvo įsteigtos Aukštaitijos ir Dzūkijos KM stotys, o 1994 m. - trečioji - Žemaitijos KM stotis. Visos šios stotys įsteigtos minėtų NP rezervacinėse zonose. Šiose stotyse kompleksškai stebimi praktiškai visi gamtinės aplinkos komponentai ir juos jungiantys medžiagų srautai, kas sudaro galimybę įvertinti ne tik jų poveikį biotai, bet ir nustatyti tiriamų nedidelių upelių baseinų įvairių medžiagų balansą.

Pagrindinis Kompleksiško ekosistemų monitoringo tikslas - nustatyti, vertinti ir prognozuoti sąlygiškai natūralių ekosistemų būklę bei jos ilgalaikius pokyčius, įvertinus tolimųjų oro teršalų (ypač sieros ir azoto junginių) pernašų, ozono ir sunkiųjų metalų kaitą bei poveikį procesams vykstantiems ekosistemose, atsižvelgiant į regioninius ypatumus ir klimato pokyčius. Stebėjimų metodika ir stebimi parametrai sudaro galimybes panaudoti kaupiamą informaciją regioninių ir globalinių procesų pasekmėms vertinti bei modeliuoti ekosistemų lygmenyje. Visą tai užtikrina mokslinės ir statistiškai patikimos, nuoseklios ir ilgalaikės aplinkos veiksnių duomenų sekos, saugomos ECODATA duomenų bazėje.

Sąlygiškai natūralių ekosistemų KM programos visapusiškas įgyvendinimas įgalina spręsti uždavinius susijusius ne tik su Tolimų oro teršalų pernašų konvencijos ir jos protokolų reikalavimais, bet ir su Tarpvalstybinių vandentakių ir ežerų apsaugos bei naudojimo konvencijos, Jungtinių Tautų klimato kaitos konvencijos ir Kioto protokolo, Biologinės įvairovės konvencijos bei Vienos konvencijos dėl ozono sluoksnio apsaugos reikalavimais.

Šioje ataskaitoje pateikti medynų būklės duomenys Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS baseinų teritorijoje, medynų struktūriniai pokyčiai ir jų vystymosi dinamika augalijos tyrimų

stacionaruose, nuokritų sezoninė dinamika bei fotosintetiškai aktyvios saulės spinduliuotės tyrimai Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS teritorijose.

I. KLIMATINIŲ VEIKSNIŲ IR SAULĖS FOTOSINTETIŠKAI AKTYVIOS SPINDULIUOTĖS TYRIMAI KMS TERITORIJOSE

Tiriamuoju laikotarpiu vidutinės temperatūros kaita KMS teritorijose nebuvo tokia ženkli. Vidutinė metinė oro temperatūra Aukštaitijos KMS didėjo tik $0,039^{\circ}\text{C}$ per metus, o Žemaitijos KMS dar mažiau, tik $0,026^{\circ}\text{C}$ per metus. Atskirais metų sezonais vidutinė temperatūra kito skirtingai, tačiau analogiškai abiejose KM stočių teritorijose. Reikšmingiausiai didėjo rudens mėnesių vidutinė temperatūra, apie $0,12^{\circ}\text{C}$ per metus abiejose stotyse (AIMS $+1,22^{\circ}\text{C}$ ir ŽIMS $+1,16^{\circ}\text{C}$ per 10 m.). Žiemos mėnesiais temperatūra didėjo kiek silpniau (AIMS $+0,37^{\circ}\text{C}$ ir ŽIMS $+0,74^{\circ}\text{C}$ per 10 m.), o pavasarį temperatūra turėjo mažėjimo tendenciją (AIMS $-0,02^{\circ}\text{C}$ ir ŽIMS $-0,16^{\circ}\text{C}$ per 10 m.). Intensyvios vegetacijos laikotarpiu oro temperatūra Aukštaitijos KM stotyje taip pat palaipsniui mažėjo, t.y. po $-0,1^{\circ}\text{C}$ per 10 m., ką, matyt, sąlygojo didėjantis kritulių kiekis per šį laikotarpį. Žemaitijos KM stotyje oro temperatūra vegetacijos laikotarpiu pakankamai ženkliai mažėjo, po $-0,07^{\circ}\text{C}$ per metus. Taigi, gauti rezultatai rodo, kad rudens ir žiemos laikotarpiu vyksta oro temperatūros didėjimas, o pavasarį ir intensyvaus augimo laikotarpiu temperatūra arba stabili ar turi mažėjimo tendenciją.

Aukštaitijos KMS dešimt metų (1999–2009) stebint dirvožemio temperatūrą (5, 10 ir 20 cm gyliuose) nustatyta, kad vidutinė reikšmės buvo stabilios, o pagrindinis pokytis buvo temperatūros amplitudės mažėjimas.

Nuo 1998 m. kas 3–4 metus Aukštaitijos stotyje kartojasi šaltos žiemos, kai dirvožemis iššąla giliau, negu 25 cm. Šaltomis žiemomis 1998–1999 m. ir 2002–2003 m. iššalas laikėsi 4,5 mėn., o 2005–2006 m. žiemą trumpiau – 3,5 mėn., bet pasiekė rekordinį 36 cm gylį. Šiltomis žiemomis (1999–2000, 2001–2002, 2003–2004, 2005 m.) dirvožemis būdavo iššalęs mažiausiai 2,5 mėnesio. 2008–2009 metų žiema buvo vidutinė: giliausias iššalas tebuvo 8 cm (kaip šiltą žiemą), bet laikėsi palyginus ilgai, daugiau kaip 4 mėnesius, taip kaip šaltą žiemą.

1999–2009 m. periodo upelio vandens vidutinė temperatūra buvo: Aukštaitijos KMS $6,35^{\circ}\text{C}$, o Žemaitijoje $6,85^{\circ}\text{C}$. 2009 m. upelio vandens vidutinė temperatūra buvo aukštesnė už 1999–2008 m. vidurkį Aukštaitijos IMS $0,6^{\circ}\text{C}$, o Žemaitijos KMS – žemesnė $0,2^{\circ}\text{C}$. Temperatūros kaitos trendas abiejose stotyse yra teigiamas, LT01 temperatūra kyla vidutiniškai $0,12^{\circ}\text{C}$ per metus, o LT03 – triskart lėčiau, vidutiniškai $0,04^{\circ}\text{C}$ per metus. Tai šiltėjančio klimato padarinys.

Metinis kritulių kiekis per 16 m. laikotarpį Aukštaitijos KM stotyje mažėjo $-3,0$ mm per metus, o Žemaitijos KM stotyje $-2,9$ mm per metus. 2009 m. Aukštaitijoje iškrito daugiausiai

kritulių per visą stebėjimų laikotarpį, 33% daugiau, negu stebėjimo laikotarpio vidurkis, o Žemaitijos stebėjimų stotyje kritulių iškrito 2% mažiau, negu klimatinė norma ir 5% mažiau už stebėjimo laikotarpio vidurkį.

Atskirais sezonais kritulių kiekis KM stotyse kito analogiškai, tik nežymiai skyrėsi kaitos intensyvumas. Per tiriamąjį laikotarpį (1994-2009) kritulių kiekis mažėjo rudenį (rugsėjo – lapkričio mėn.) -2,6 mm/m. ir -2.8mm/m. atitinkamai AIM ir ŽIM stotyse. Mažėjimo intensyvumas buvo žemesnis žiemą (gruodžio-vasario mėn.) -1,8 ir -3.9 mm/m., o pavasarį ŽIM stotyje kritulių kiekis mažėjo net -7,0 mm/m., kai AIM stotyje tik -2,1 mm/m. Intensyvios vegetacijos laikotarpiu, t.y. nuo birželio iki rugpjūčio mėnesio, kritulių kiekis didėjo abiejose stotyse: AIM stotyje po 3,0 mm/m. ir net 10 mm/m. ŽIM stotyje.

Metinis kritulių kiekis per tiriamąjį laikotarpį turi tendenciją mažėti abiejose KM stotyse. Reikšmingiausiai kritulių mažėjo rudenį (rugsėjo-lapkričio mėn.) ir žiemą (gruodžio-vasario mėnesiais), o didėjo intensyvios vegetacijos mėnesiais, kas turėtų ateityje teigiamai sąlygoti miškų būklę. Tačiau tokios išaiškintos kritulių kiekio kaitos tendencijos sąlygojo skirtingą gruntinio vandens lygio kaitą. Jei Aukštaitijos KMS teritorijoje gruntinio vandens lygis turėjo tendenciją mažėti, tai Žemaitijos KMS – priešingai, gruntinio vandens lygis augo ir ypač giliausiojo gręžinio. ,

2009 metais Aukštaitijoje iškrito ekstremaliai daug kritulių, bet gruntinio vandens lygis visuose sekliuosiuose gręžiniuose nukrito iki žemiausio lygio per visą stebėjimų laikotarpį, o gilusis gręžinys visai išdžiūvo. Visuose gręžiniuose gruntinio vandens lygio tendencija yra neigiama

Žemaitijoje 2009 metais kritulių kiekis atitiko klimatinę normą, be to praėjusieji, 2008 ir 2007 m., buvo drėgnesni už normą ir gruntinio vandens lygis giliausiame gręžinyje buvo pakilęs aukščiausiai per stebėjimo laikotarpį, bet visus 2009 metus lygis krito. 1 ir 2 gręžiniuose nuo 1996 metų gruntinio vandens lygio tendencija yra teigiama, 3 gręžinyje, nors ir tendencija neigiama, bet pastaruosius trejus metus lygis artimas vidutiniam

Dirvožemio drėgmė vegetacijos laikotarpiu susijusi su dirvožemio išalimo intensyvumu: seklaus ir trumpo išalimo metais, 2004, 2005, 2007 ir 2008 dirvožemis 0–40 cm gylyje kaupė vidutiniškai 37-47 mm vandens (2008 m. mažiausiai, 37 mm), tai gilaus išalimo 2003 ir 2006 – 49-51 mm.

Žemaitijos KMS 2008 m. dirvožemyje susikaupė didžiausias per stebėjimo laikotarpį vandens kiekis. Buvo nustatytos didžiausios per stebėjimo laikotarpį vandens atsargos

vegetacijos laikotarpio pradžioje 50–60 mm, o vegetacijos laikotarpio pabaigoje vandens atsargos dirvožemyje mažėjo, bet liko aukštame lygyje.

Tokiu būdu kritulių kiekis ir oro temperatūra sąlygojo dirvožemio drėgmės mažėjimą Aukštaitijos KMS po 0,63 mm per metus, o Žemaitijos KMS didėjimą – po 1,3 mm per metus.: seklaus ir trumpo išalimo metais,

Iš visų geosistemos komponentų (dirvožemio, vandens, paviršinio vandens) atrenkant ekosistemos būklę geriausiai charakterizuojantį rodiklį pasirinktas upelio vanduo (paviršinis vanduo), kurio savybės atspindi visos geosistemos vandens balanso išnešimo grandį. Upelio vandeniui būdingas mažiausias buferiškumas (palyginti su dirvožemiu ir uolienomis), todėl upelio vandens savybių pokyčiai yra suminis rezultatas procesų, kurie vyksta visame santykinai natūralios ekosistemos baseine.

Hidrologiniai ir klimatiniai parametrai buvo suranguoti ir išryškėjo keli vandens savybių (nuotėkio ir debito) bei šilumos charakteristikų (vidutinės temperatūros ir metinės temperatūros amplitudės) ciklai. 1999–2003 m. nuotėkis ir debitas buvo mažiausi, o 2004–2006 m. (LT01) ir 2005–2007 (LT03) – didžiausi.

2009 m. Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS baseinuose augančių medžių lapijos indeksas, nustatytas pagal sugertos FAR spinduliuotės kiekį, mažėjo. Palyginus Gautus indeksus tarp stočių, nustatyta, kad Žemaitijos KMS baseine augančių medžių lapijos indeksas didesnis negu Aukštaitijos KMS, ką patvirtina ir medžių lajų defoliacijos duomenys. Paskutiniaisiais metais, kada lapijos indeksas Žemaitijos KMS pradėjo viršyti lapijos indeksą medžių augančių Aukštaitijos KMS, jų lajų būklė taip pat tapo geresnė. Todėl būtų galima teigti, kad FAR matavimai atspindi tirtų miškų būklę ir produktyvumą. Detalesnei analizei reiktų pradėti analizuoti ir atviros vietos saulės spinduliuotės kaitą, kas ir yra vykdoma KM stotyse, o gautus rezultatus bandyti sieti su oro vidutine temperatūra ir kritulių kiekiu.

Kompleksiško monitoringo stotyse, Preiloje išaiškintas ozono kaitos trendas ir toliau nepasitvirtina. Nuo 1995 m. šiose stotyse stebimas šiltojo laikotarpio ozono vidutinių koncentracijų mažėjimo tendencija. Pradedama mažėti ir šaltojo laikotarpio ozono koncentracijos, kas sąlygoja metinių ozono koncentracijų mažėjimą visuose KMS stotyse.

Palyginus maksimalių koncentracijų kaitą tarp kompleksiško monitoringo stočių, nustatyta, kad daugelį metų reikšmingai mažėjančios maksimalios ozono koncentracijos maždaug nuo 200-2001 metų vėl pradėjo didėti. Manome, kad tolimesni tyrimai leis atskleisti šios tendencijos pagrindines priežastis.

III. ORO TERŠALŲ, ŠLAPIŲJŲ IŠKRITŲ IR JŲ TRANSFORMACIJŲ BEI KAUPIMOSI MIŠKO EKOSISTEMOSE TYRIMAI KMS TERITORIJOSE

Atmosferos užterštumo lygį sieros ir azoto junginiais virš Lietuvos lemia šių teršalų emisijos iš vietinių taršos šaltinių, o taip pat dėl tolimų oro teršalų pernašų iš Vakarų bei Pietų Europos valstybių. Dėl atmosferos dinamiškumo ir nuolat vykstančių atmosferos valymosi nuo teršalų procesų (šlapiojo ir sausojo), dujinių ir aerolinių priemaišų koncentracijos atmosferoje kinta. Be to, jų koncentracijos atmosferoje kinta ir laike, ir erdvėje dėl dujinių ir aerolinių teršalų nevienodos atmosferoje buvimo trukmės, kurią nulemia fizinės bei cheminės teršalų savybės.

SO₂ metinės koncentracijos per tiriamąjį laikotarpį Aukštaitijoje sumažėjo – nuo 2.73 (1994 m.) iki 0.31 μgS·m⁻³ (2009 m.), o Žemaitijoje – nuo 2.22 (1995 m.) iki 0.24 μgS·m⁻³ (2009 m.). Analizuojant SO₂ metinių koncentracijų dinamiką, išsiskiria jų ryškus mažėjimas iki 1997 m., o per pastaruosius 3 metus SO₂ koncentracijos kinta gan nedideliame intervale.

NO₂ metinės koncentracijos eigoje Aukštaitijoje 1999 – 2009 m. buvo stebima mažėjimo tendencija nuo 0.66 iki 0.59 μgN/m³. Žemaitijoje matomas vidutinių metinių koncentracijų didėjimas nuo 0.69 μgN/m³ (1999 m.) iki 1.10 μgN/m³ (2006 m.) ir sumažėjimas per pastaruosius trejus metus. Preiloje azoto dioksido metinių koncentracijų kaitoje nėra vienareikšmės tendencijos iki 2006 m. ir mažėjimas nuo 2007 m.

SO₄²⁻ metinių koncentracijų kaita rodo jų sumažėjimą nuo 3.32 iki 0.65 μgS·m⁻³ Aukštaitijoje ir nuo 2.03 iki 0.53 μgS·m⁻³ Žemaitijoje.

ΣNO₃⁻ metinės koncentracijos Aukštaitijoje sumažėjo nuo 0.57 iki 0.36 μgN·m⁻³, Žemaitijoje nuo 0.66 iki 0.38 μgN·m⁻³. Ypač ryškus mažėjimas registruojamas nuo 2005 m.

ΣNH₄⁺ koncentracijų ore kaitos tendencija panaši į aerolinių SO₄²⁻. Vidutinė metinė koncentracija mažėjo Aukštaitijoje nuo 2.23 iki 0.88 μgN/m³, Žemaitijoje nuo 2.20 iki 0.81 μgN/m³,

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

junginiai. Kritulių cheminės analizės rezultatai parodė, kad pagrindinių teršalų vidutinės metinės koncentracijos mažėja rytų kryptimi. Krituliai, kurių $\text{pH} < 5.0$, vyravo sausio – kovo ir rugsėjo – gruodžio mėnesiais. Žemaitijos KMS teritorijos kritulių rūgštingumas paskutiniaisiais metais buvo didesnis negu Aukštaitijos KMS teritorijoje.

Šlapiųjų srautų analizė parodė, kad per pastaruosius 16 metų: sieros šlapiasis srautas į ekosistemas sumažėjo Aukštaitijoje 53 % ir Žemaitijoje 69 %, amoniakinio azoto - sumažėjo 49 % Aukštaitijoje ir 40 % Žemaitijoje, nitratinio azoto sumažėjo - 30 % Aukštaitijoje ir 15 % Žemaitijoje. Nustatyta, kad visiems tirtiems atmosferos ore sieros ir azoto junginiams yra būdingas didelis koncentracijų kaitos intervalas. Sezoniškumas yra ryškiausias SO_2 , NO_2 ir sum.NO_3 ir didesnės jų koncentracijos atmosferos ore matuotos per šaltąjį metų laikotarpį, (vasario – kovo ir lapkričio – gruodžio mėn.). Mažesnių nei būdingos sausio mėnesiui sieros (SO_2 ir aer.SO_4) ir azoto (NO_2 , sum.NO_3 ir sum.NH_4) junginių koncentracijų priežastimi, matyt, galėtų būti aukštesnė nei daugiametė šio mėnesio oro temperatūra centrinėje Europoje ir Lietuvoje, o tuo pačiu mažesnė SO_2 emisija bei spartesnis atmosferos vertikalusis maišymasis, didelis kritulių kiekis per šį mėnesį ir dažniausiai pasikartojančios oro masių pernašos į Lietuvą iš šiaurinių-šiaurės vakarinių regionų. Pagrindiniai tirtų teršalų šaltiniai yra centrinėje ir pietinėje Europoje.

Sulfatų koncentracijos padidėjimą siejame su sieros junginių (sulfatų ir sieros dvideginio) nuplovimu nuo lajos. Azoto jungių (NH_4^+ ir NO_3^-) srautų padidėjimas bei sumažėjimas siejami su šių komponentų nuplovimu nuo lajos ar jų išplovimu iš lajos ir šių junginių absorbcija lajoje, atitinkamai. Atmosferiniams krituliams krentant per medžių lają, cheminių priemaišų, išskyrus azoto junginius, koncentracijos ir jų kiekiai iškritose į polajį yra didesni nei atviroje vietoje. Sulfatų koncentracijos padidėjimas polajiniuose krituliuose gali būti siejamas su sieros junginių (sulfatų ir sieros dvideginio) nuplovimu nuo lajos. Azoto junginių koncentracijų pokyčiai polajiniuose krituliuose gali būti siejami su jų išplovimu iš lajos, nuplovimu nuo lajos, o taip pat ir dėl azoto junginių absorbcijos lajoje. Didžiausias koncentracijų ir srautų padidėjimas abiejose IM stotyse rastas kaliui. Tai rodo šio elemento išplovimą iš lajos. Didesni cheminių priemaišų kiekiai iškritose Žemaitijoje, palyginti su Aukštaitija, yra dėl skirtingo lajos tankio: Aukštaitijos stotyje – vyrauja pušynai, Žemaitijos stotyje – vyrauja eglėnai.

Išaiškinti oro teršalų ir jų šlapiųjų srautų pokyčiai reikšmingai sąlygojo šių taršos komponentų koncentracijų ir srautų pokyčius dirvožemio, gruntiniame ir paviršiniame vandenyje.

Visuminio azoto koncentracija dirvožemio vandenyje turi tendencija didėti abiejose stotyse, nors su polajiniais krituliais šių junginių reikšmingai mažėja per visą tiriamąjį laikotarpį Aukštaitijos KMS, o Žemaitijos KMS pastebima mažėjimo tendencija..

Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS per 16 metų stebimi keturi beveik sinchroniški gruntinio vandens lygio svyravimo ciklai, kurių amplitudė, pradžia ir pabaiga priklauso nuo gręžinio gylio: kuo giliau gręžinys, tuo didesnė gruntinio vandens lygio svyravimo amplitudė, o giliausiuose gręžiniuose 2-6 mėnesiais vėluoja ciklo pradžia ir pabaiga. Šie ciklai gerai koreliuoja su kritulių kiekio ciklais.

1994-2009 Aukštaitijos stotyje daugumos medžiagų koncentracijos turi tendenciją augti (išskyrus sulfatų S, K, Cl ir Si), o Žemaitijos – yra stabilios arba mažėja (išskyrus visuminio azoto koncentraciją, kuri didėja)

2009 m. gruntinio vandens debitas buvo vidutinis abiejose stotyse, o nuotekio intensyvumas Aukštaitijoje mažiausias, o Žemaitijoje didžiausias nuo 1998 m. 2004–2009 m. gruntinio vandens elektrinis laidumas, pH ir šarmingumas mažai keičiasi, Ca, Mg, sulfatų koncentracijos, palyginti su 2008 m. sumažėjo.

2009 m. Aukštaitijos stotyje didžiausios per stebėjimo laikotarpį buvo K, Si, Al koncentracijos, o Žemaitijos stoties gruntiniame vandenyje žymiai padidėjo visuminio fosforo, fosfatų azoto junginių koncentracijos

Vidutinis upelio vandens debitas 2009 metais Aukštaitijos monitoringo stotyje ypač nedidelis, mažiausias per 16 metų. Upelio vandens debitas mažėja ketvirtus metus iš eilės, nuo 2006 m. Palyginti su 2008 m. vandens rūgštumas mažėjo, šarmingumas didėjo. Mn ir Fe koncentracijos padidėjo. Aukštaitijos monitoringo stotyje specifinis laidumas ir šarmingumas yra didžiausi per stebėjimų laikotarpį. Labiausiai susijusi su debitu yra chloro koncentracija. Kitų tirpiausias medžiagas sudarančių elementų K, Na, Mg, Ca, sulfatų koncentracijos upelio vandenyje 2009 m., palyginti su 2007–2008 m., stabilios (Na) arba išaugo abiejose stotyse.

Aukštaitijos upelio vandens šarmingumo, tirpių medžiagų koncentracijų padidėjimą 2009 m. lėmė aukšta temperatūra ir maža jos amplitudė, Žemaitijoje šiluminiai veiksniai buvo santykinai nepalankūs medžiagų tirpumui.

Žemaitijos KMS 2007–2009 m. Nustatyta aukšta aliuminio, o 2008–2009 m. fosfatų koncentracija. Abiejose stotyse sumažėjo arba laikėsi žemame lygyje visuminės organinės anglies, amonio koncentracija. Nitratų ir visuminio azoto bei fosforo ir silicio koncentracija 2009 m., palyginti su 2008 m. Aukštaitijos stotyje nepakito, o Žemaitijoje padidėjo.

Cheminių elementų išnešimas dirvožemio vandeniu neatspindi viso baseino medžiagų balanso, bet charakterizuoja automorfinio dirvožemio indėlio į medžiagų išnešimo iš ekosistemos dinamiką.

2009 metais Aukštaitijos stotyje iš dirvožemio buvo išnešta daugiau pagrindinių augalų mitybos elementų, o Žemaitijoje azoto, fosforo ir sieros išnešimas buvo tarp mažiausių per 15 metų. Organinio azoto, visuminio fosforo ir sulfatų sieros išnešimas iš 0–20 cm gylio Aukštaitijos IMS 2009 m. padidėjo, palyginti su 2007–2008 m.

Dirvožemio vandens srauto tūrio ir intensyvumas Žemaitijoje 2009 m. buvo tarp mažiausių nuo 1998 m., todėl N, P, S išplovimas buvo tarp mažiausių taip pat. Galima daryti prielaidą, kad šiluminės sąlygos 2009 m., kaip ir hidrologinės, buvo nepalankios medžiagų išplovimui (upelio vandens temperatūra buvo viena iš mažiausių).

Atsižvelgiant į gruntinio vandens lygio svyravimus, ir medžiagų koncentracijas sudarytos medžiagų balanso schemos gruntinio vandens sistemoje. Aukštaitijos IMS 2009 m. mineralinio azoto balanso saldo buvo artimas nuliui, o Žemaitijos IMS mineralinio azoto balanso saldo išsiskyrė, kaip ir 2007 metais, didele teigiama reikšme. Šioje stotyje nitratai ir amonis buvo panaudoti ekosistemoje, o ne išplauti gruntiniais vandenimis.

Cheminių elementų išnešimas upelio vandeniu gerai atspindi viso baseino medžiagų balanso išlaidų dalį. Upelio nuotėkis Aukštaitijos KMS 2009 m. buvo mažiausias, per visą stebėjimų laikotarpį. Palyginti su 2008 metais visuminio azoto ir fosforo išnešimas sudarė 34%, Ca, Mg, K, Na, Cl, Si apie 50–54%, o mineralinio azoto ir sulfatų apie 57–58 %.

Priežastinių ryšių analizė parodė, kad dažniausiai dirvožemio, gruntinių ir paviršinio vandens užterštumas NH_4^+ jonais siejamas su jų koncentracijomis ore, krituliuose bei su jų bendru srautu. Šios koncentracijos didėja, didėjant NH_4^+ koncentracijoms ore, krituliuose bei iškritoms. Dirvožemio, gruntinių ir paviršinio vandens užterštumas NO_3^- junginiais mažiau siejamas su jų koncentracijomis ore, krituliuose bei iškritomis. Tačiau jų pokyčiai pakankamai dažnai gerai koreliuoja su NH_4^+ koncentracijų ore ir krituliuose bei iškritų kaita. Tai dažniausiai aiškinama šių junginių sąlygojamais dirvožemio nitrifikacijos procesais (De Vries et al., 2003b). Kaip išskirtinį ir mažai būdingą atvejį reiktų paminėti išaiškintą reikšmingą tarpusavio ryšį tarp NO_3^- koncentracijų krituliuose ir dirvožemio vandenyje Dzūkijos KMS. Smėlis, kuris pasižymi geromis filtracinėmis savybėmis, atrodo, kad lemia šį išaiškintą ryšį.

Upelio vandens užterštumą N junginiais lėmė šių junginių koncentracijos ore, krituliuose bei jų iškritos. Reikšmingiausi tokie ryšiai išaiškinti Aukštaitijos KMS, o kiek

silpnesni – Žemaitijos KM stotyje. Per trumpos duomenų sekos neleido išaiškinti analogiškų ryšių Dzūkijos KMS.

Papildomai reiktų pažymėti, kad priešingai procesams susijusiems su N junginių kaita ir balansu, upelio vandens užterštumas SO_4^{2-} junginiais atvirkščiai proporcingas SO_2 koncentracijų kaitai ore ir SO_4^{2-} iškritoms. Per tiriamąjį laikotarpį ženkliai mažėjant oro taršai sieros junginiais jei jų iškritoms, upelio vandenyje sulfatų koncentracijos didėja. Labiausiai tikėtina, kad pastaruoju laikotarpiu ekosistemose vyksta išsivalymo procesas, kurio metu susikaupę sulfatai yra išplaunami. Kaip įrodymą tokio proceso egzistavimo galima būtų pateikti ir atvirkštinės priklausomybes gerėjančios miškų būklės ir didėjančių sulfatų koncentracijų upelio vandenyje.

Didėjanti N junginių išnaša su upelio vandenimis Žemaitijos KMS gali būti siejama ne tik su kritulių užterštumu šiais junginiais, bet taip pat ir su organinių medžiagų mineralizacijos bei nitifikacijos procesų spartėjimu šylant klimatui. Kitų autorių duomenys rodo, kad nitratų koncentracija upelio vandenyse, dėl dirvožemio vandens temperatūros didėjimo, didėja iki 0.19-0.45 mg/l (Wright, 1998). NO_3^- didesnės koncentracijos upelio vandenyse nei 0.19 mg/l buvo nustatytos Aukštaitijos KMS 1995 ir 2002-2003, o Žemaitijos KMS - 1997, 2001 ir 2002. Šiuo laikotarpiu oro vidutinė temperatūra kasmet vidutiniškai didėjo iki 10 kartų sparčiau negu išaiškinta daugiametė norma.

III. SUNKIŲJŲ METALŲ SRAUTAI, JŲ KAUPIMASIS EKOSISTEMOSE IR IŠPLOVIMAS

Žemės paviršiaus apkrova sunkiaisiais metalais buvo didesnė vakarinėje Lietuvos dalyje (Žemaitijos IMS) nei rytinėje Lietuvos dalyje (Aukštaitijos IMS). Didesnę žemės paviršiaus apkrovą vakarų Lietuvoje sunkiaisiais metalais 2009 m. lėmė tai, kad oro masės, iš kurių krituliais išplaunami sunkieji metalai, vakarų Lietuvoje yra labiau užterštos nei rytų Lietuvoje. Žemės paviršiaus apkrova gyvsidabriu didesnė rytinėje Lietuvos dalyje, ką patvirtina ir Hg koncentracijos samanose matavimai. Analizuojant 2007 ir 2008 metų benz(a)pireno ir sunkiųjų metalų koncentracijos duomenis Aukštaitijos IMS atmosferos ore buvo stebima ryški sezoninė eiga. Šios eigos praktiškai nebuvo arba buvo tik silpnai stebima analizuojant 2007–2009 m kritulių duomenis. Pagrindinė priežastis – didelė oro masių trajektorijų kaita bei kritulių nereguliarumas.

Nustatyta, kad benz(a)pireno srautas į žemės paviršių kito nuo 0,075 iki 0,875 $\mu\text{g m}^{-2}\text{mėn}^{-1}$ Aukštaitijos IMS ir nuo 0,384 iki 1,153 $\mu\text{g m}^{-2}\text{mėn}^{-1}$ Žemaitijos IMS. Abiejose stotyse benz(a)pireno koncentracija krituliuose ir jo srautas į žemės paviršių turėjo išreikštą sezoniškumą.

Sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio vandenyje yra stebimos nuo 2000 metų. 2008 m. daugiausia analizuota metalų koncentracijos rudenį. Dideli nukrypimai nuo vidurkio buvo būdingi Ni koncentracijai dirvožemio vandenyje Aukštaitijos monitoringo stotyje, 20–40 cm gylyje ir Žemaitijoje Cr koncentracijai 0–20 cm gylyje. Pastarojo elemento padidėjimą turėjo sąlygoti žymiai padidėjusi Cr koncentracija krituliuose – iki 1,0 $\mu\text{g/l}$. Cu ir Zn koncentracijos pastaraisiais metais yra didesnės, negu stebėjimo laikotarpio pradžioje (išskyrus Žemaitijos stoties rudens duomenis). Cd ir Pb koncentracijos laikosi žemame lygyje. Aukštaitijos stotyje 2009 m. vidurkį viršijo Zn, Ni ir Cu koncentracija, ypač 20–40 cm gylyje, o Žemaitijoje sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio vandenyje laikosi vidutiniame ir žemame lygyje.

2009 m. Aukštaitijos stotyje padidėjo Cu ir Cd koncentracija, o sekliausiajame, pirmajame, gręžinyje ypač padidėjo Cd koncentracija. Žemaitijos gruntiniame vandenyje sunkiųjų metalų koncentracijos 2009 m. buvo, palyginti su 2000-2008 m. mažos. Cu ir Zn koncentracija, kaip ir 2008 m., liko mažiausia per stebėjimų laikotarpį.

Sunkiųjų metalų koncentracijų augimas Aukštaitijos IMS tolygiai vyksta giliuosiuose gręžiniuose ir tris metus iš eilės ir pasireiškia metalų rinkinio gausėjimu, todėl priežasties reikėtų ieškoti regiono ūkinės veiklos pokyčiuose.

Aukštaitijos KMS upelio vandenyje sunkiųjų metalų Cr, Pb, Ni ir Cd koncentracija nuo 2003 metų neturi pastebimų kitimo tendencijų, laikosi žemiausiame lygyje per stebėjimo laikotarpį. Aukštaitijos KMS upelio vandenyje sunkiųjų metalų Cr, Pb, Ni ir Cd koncentracija nuo 2003 metų neturi pastebimų kitimo tendencijų, laikosi žemiausiame lygyje per stebėjimo laikotarpį. 2007–2009 m., palyginti su 2005 ir 2006 m. mažėja Cu ir Zn koncentracija. Žemaitijos KMS paskutiniaisiais metais sumažėjo Cu ir Zn koncentracija. Neviršydami maksimalios 2001 m. reikšmės Cr, Pb, Cd koncentracijos turi tendenciją didėti. Ni koncentracija, laikosi minimaliame lygyje.

Nuokritų dinamika yra vienas iš cheminių elementų judėjimo tarpsnių ekosistemoje. Nuo jų kiekio bei užterštumo priklauso toksinių medžiagų absorbcijos intensyvumas, kuris sąlygoja įvairių medžiagų balansą, o tuo pačiu ir bendrą miško ekosistemos būklę bei produktyvumą. Aukštaitijos KMS perbrendusiame, brukniniame pušyne (AKMS_01) vidutiniškai susidaro apie 3414 kg/ha nuokritų, iš kurių apie 55% sudaro spygliai, 28 % pušies žievė ir maždaug po 9% kankorėžiai ir beržų lapai. Žemaitijos bręstančiame eglyne susidaro apie 4582kg/ha nuokritų. Net 77% visų nuokritų sudaro eglės spygliai. Medžių žievės nuokritose praktiškai nerasta. 14% visų nuokritų sudaro sausos, smulkios eglės šakelės. Kankorėžių kiekis nuokritose svyruoja nuo 0 iki 13%.

Aukštaitijos KMS būdingiausiame pušyne metalų metinius kiekius statistiškai reikšmingiau sąlygoja jų koncentracija nuokritose, kai tuo tarpu Žemaitijos KMS būdingiausiame eglyne – nuokritų kiekis. Cd ir Zn koncentracijos Aukštaitijos KMS yra didesnės nei Žemaitijos KMS nuokritose. Likusių tirtų metalų koncentracijos Žemaitijos KMS nuokritose 1,5-3 kartus yra didesnės nei Aukštaitijos KMS nuokritose.

Žemaitijos KMS nuokritų rinkimo stotyje Pb, Na, Mn ir K srautas su nuokritomis viršijo 75%, o Cu ir Cr – 40 % atitinkamų metalų srautą su nuokritomis Aukštaitijos KM stotyje. Tik Cd ir Zn srautai su nuokritomis pastaraisiais metais KM stotyje yra lygūs.

2009 m. KM stotyse beveik 2 kartus sumažėjo nuokritų kiekis. Tai mažiausi kiekiai per visą tiriamąjį laikotarpį, kurio priešasčių nustatyti nepavyko. Dėl tokio ženklaus nuokritų kiekio sumažėjimo iš esmės sumažėjo ir su nuokritomis patenkančių metalų srautai į miško paklotę.

IV. MIŠKO EKOSISTEMŲ MONITORINGAS KOMPLEKSNIO MONITORINGO TERITORIJOSE

Tiriamuoju laikotarpiu (1994-2008 m.m.) blogiausia medžių būkle išsiskyrė 1996-97 metai, kada lajų defoliacija viršijo 25 % Žemaitijos KMS, 30% Aukštaitijos KMS ir 35% Dzūkijos KMS. Nuo šio laikotarpio iki 2001 m. medžių lajų defoliacija reikšmingai mažėjo. Pastarųjų 7 metų laikotarpiu, t.y. nuo 2001 iki 2009 m., miškų būklės kaitoje pastebima blogėjimo tendencija ir ypač Žemaitijos KMS teritorijoje. Tik paskutiniai 2008 m. iš visų ankstesniųjų metų išsiskyrė visų medžių rūšių lajų būklės pagerėjimu abiejose tyrimo stotyse. Tokią tirtų medžių būklę galėjo sąlygoti kritulių rūgštingumas, kurio kaitoje buvo išaiškintos tokios pat tendencijos. Tačiau jau 2009 m. tirtų medžių vidutinis lajų būklės rodiklis iš esmės vėl pablogėjo. Vidutinė lajų defoliacija padidėjo iki 24,8%. Intensyviausiai blogėjo eglė ir pušų lajų būklė. Vidutinė defoliacija padidėjo atitinkamai nuo 25,8 iki 28,4% ir nuo 15,0 iki 17,7%. Tik beržų lajų defoliacija jau kelis metus pastoviai mažėja, t.y. nuo 23,2% 2007 metais iki 18,2% 2009. Žemaitijos KMS, priešingai Aukštaitijos KMS 2009 m. buvo užregistruotas vienas reikšmingiausių tirtų medžių lajų būklės pagerėjimų. Vidutinė visų medžių lajų defoliacija sumažėjo nuo 24% iki 20,7%. Kaip ir praėjusiais metais toliau mažėjo eglė lajų defoliacijos laipsnis, kiek silpniau pušų ir mažiausiai reikšmingas buvo beržų lajų defoliacijos laipsnio sumažėjimas.

Aukštaitijos KMS stacionaruose pušys yra geriausios būklės, o eglės – blogiausios būklės. Per tiriamąjį laikotarpį reikšmingai mažėjo stacionaruose augančių beržų ir pušų vidutinė defoliacija. Išimtį sudaro 2005-09 metų pušų defoliacija, kuri reikšmingai padidėjo lyginant su 2004 m. Beržų lajų vidutinė defoliacija paskutiniųjų 5 m laikotarpiu turi tendencija mažėti.

Žemaitijos KMS stacionare eglė defoliacija per visą tiriamąjį laikotarpį svyravo nuo 25 iki 27 %. 1997-2001 m. laikotarpių jų defoliacija reikšmingai mažėjo. 2002-2007 m. laikotarpis pasižymi padidėjusia eglė vidutine defoliacija ir tik 2008-2009 m. stebimas ženklus eglė būklės pagerėjimas.

Palyginus eglė vidutinę defoliaciją augalijos tyrimų stacionaruose, nustatyta, kad Žemaitijos stacionaro eglė vidutinė defoliacija mažesnė negu Aukštaitijos KMS stacionarų, tačiau pagrindinis veiksnys sąlygojantis eglė būklę KMS stacionaruose išlieka žievėgraužio topografo daroma žala.

Aukštaitijos KMS teritorijoje iš 526 atrinktų viršaujančių, vyraujančių ir iš dalies stelbiamų miško medžių 78 identifikuoti pažeidimai, kurie iš esmės įtakojo ar galėjo įtakoti jų būklę. Pažeisti medžiai sudaro 14,8% šių medžių. Palyginus su praėjusiais metais pažeistų medžių padidėjo 1,7%. Daugiausiai pažeidimų rasta apatinėje kamieno dalyje - 51% visų užregistruotų pažeidimų, lajos kamieno ir lajoje. Šiose srityse užregistruota maždaug po lygiai pažeidimų, t.y. po 12-15%. Mažiausiai pažeidimų rasta šaknų ir priekelminėje kamieno srityje.

Dažniausiai pasikartojantys pažeidimai: atviros žaizdos - 35% visų pažeidimų ir eglinio tipografo pažeidimai - 27% pažeidimų. 12% ir 15% visų pažeidimų sudarė ūglių – lapų pažeidimai ir viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas, kuri sąlygojo snieglaužos ar vėjalaužos.

Žemaitijos KMS teritorijoje 7,3% tirtų viršaujančių, vyraujančių ir iš dalies stelbiamų miško medžių buvo pažeisti. Paliginus su praėjusiais metais jų skaičius sumažėjo 1,6%. Daugiausiai pažeidimų rasta lajos kamieno srityje - 65% visų užregistruotų pažeidimų. Kiek mažiau buvo pažeista lajos sritis – 15% visų pažeidimų. Dažniausiai pasikartojantis pažeidimas - viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas - 65% visų pažeidimų. Tokį didelį šio pažeidimo registracijų skaičių sąlygojo vėl pasikartojančios vėjalaužos ir snieglaužos. Eglinio topografo pažeidimų sumažėjo iki 8% visų pažeidimų.

Tyrimų pradžioje didžiausių gausumu žaliadumbliai pasižymėjo Aukštaitijos KMS teritorijoje. Kiek mažesniu gausumu pasižymėjo žaliadumbliai Dzūkijos KMS teritorijoje ir mažiausiu gausumu - Žemaitijos KMS teritorijoje. Nuo 2004 m. žaliųjų oro dumblių gausa Žemaitijos KMS dumblių tyrimo stotyje viršija šių dumblių gausą Aukštaitijos KMS dumblių tyrimo stotyje. Parametrai indikuojantys padengimo intensyvumą šioje stotyje reikšmingai viršijo Aukštaitijos KMS dumblių tyrimo stotyje gautus parametrus.

Apibendrinant lichenologinius tyrimų rezultatus kompleksiško monitoringo stotyse, galima teigti, kad klimatiniai faktoriai bei naudojami epifitinių kerpių gausumo tyrimo metodai neleido patikimai nustatyti esminių skirtumų tarp Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS. Tačiau gausmo sumažėjimas per paskutiniųjų trijų metų laikotarpį, galėjo būt sąlygoti medžių kamienų žiauberio atsinaujinimo procesu, o taip pat ir vis didėjančių lajų susivėrimu, dėl ko tirtų medžių kamienai gauna vis mažiau šviesos. Pakartojus tyrimus 2010 m. visoje baseino teritorijoje, manome, kad atsiras galimybė tiksliau įvardinti epifitinių kerpių gausos kitimo priežastis.

2009 metai buvo gana stabilūs klimato atžvilgiu – nebuvo didelių sausrų ar ilgų lietingų laikotarpių. Tai ir nulėmė, kad žolių ir krūmokšnių bei samanų ardo vidutinio projekcinio padengimas bei rūšių dažnumas nežymiai svyravo, priklausomai nuo ITS vietose susiklosčiusių aplinkybių. Aukštaitijos-102 ITS dėl kasmet išvirstančių stambių medžių tose vietose pakinta šviesos režimas. Lokalinių „šviesos langų“ atsiradimas ir nulėmė nedidelį ženklų žolių ir krūmokšnių, tiek ir samanų dangos vidutinio projekcinio padengimo padidėjimą. Aukštaitijos-100 ir Žemaitijos ITS nedidelį žolių ir krūmokšnių ardo vidutinio projekcinio padengimo sumažėjimą nulėmė pagrindinio dominanto *Vaccinium myrtillus* lapus pažeidusios grybinės ligos.

Fertilumo atžvilgiu 2009 metai buvo vidutiniški, tačiau blogesni nei 2008, nes fertilių rūšių visose ITS sumažėjo.

Aplinkos užterštumo sieros ir azoto junginiais lygis KMS teritorijose nesiekia nustatytų kritinių reikšmių, kurias viršijus miško ekosistemose būtų stebimi reikšmingi neigiami pokyčiai, tačiau gauti rezultatai leidžia teigti, kad ir mažesnės koncentracijos nei kritinės daro patikimą poveikį ne tik sumedėjusios augalijos, bet ir visos miško ekosistemų biotos būklei, t.y. atskirų ekosistemos komponentų rūšinei įvairovei ir gausumui.

Išaiškintus pušynų būklės pokyčius KM stotyse reikšmingai sąlygojo tiesioginis oro teršalų NO_3^- , NH_4^+ ir SO_4^{2-} aerozolių poveikis. Šių junginių iškritos taip pat kaip ir pažemio ozonas nepadidino reikšmingai pušynų būklės kaitos paaiškinamumo lygį, lyginant su oro teršalų paaiškinamumu (r^2 – determinacijos koeficientas). Netiesioginis rūgštinančių komponentų poveikis per dirvožemį, dirvožemio, gruntinį bei paviršinį vandenį buvo dar silpnesnis, tačiau reikšmingas kompleksiskame poveikyje su oro teršalais ir jų iškritomis. Jei pastarųjų poveikiu buvo galima paaiškinti net iki 75% pušynų būklės kaitos, tai netiesioginis rūgštinančių komponentų poveikis padidino paaiškinamumo lygį net 15%, iki 89%.

Detaliau tyrinėjant rūgštinančių komponentų kompleksiską poveikį pušynų būklei, nustatyta, kad tirtų teršalų suminis sezoninis poveikis yra reikšmingesnis, negu iki šiol tyrimuose naudotų vidutinių metinių koncentracijų poveikis. Reikšmingiausių poveikiu pušynų būklei išsiskiria rūgštinančių komponentų neigiamas poveikis šaltuoju metų laikotarpiu. Ši išvada gali būti pateikiama kaip vienas iš teiginių, patvirtinančių spygliuočių didesnę jautrumą teršalams negu lapuočių.

Atskirais atvejais vidutinės koncentracijos poveikis slepia galimą skirtingą tirtos komponentės poveikį metų bėgyje, ypač jei jis keičiasi iš neigiamo į teigiamą. Toks sezoninis poveikis būdingas nitratams. Šaltuoju laikotarpiu šis poveikis neigiamas, šiltuoju – teigiamas. Dėl šios priežasties NO_3 oro koncentracijos ir jų iškritos turėtų būti tarp pagrindinių pušynų būklę sąlygojančių teršalų – S junginių ir pažemio ozono.

Oro temperatūros ir kritulių kiekio poveikis pušynų būklei taip pat keičiasi iš teigiamo į neigiamą metų bėgyje. Tačiau, jei klimato kaita vyks pagal išaiškintas tendencijas (šaltuoju metu laikotarpiu oro temperatūra kils, o kritulių kiekis mažės), tai tokia kaita turėtų švelninti neigiamą aplinkos teršalų poveikį medžių būklei ateityje.