



LIETUVOS ŽEMĖS ŪKIO UNIVERSITETAS
Miškų monitoringo laboratorija

**MIŠKO EKOSISTEMŲ SUMEDĖJUSIOS
AUGMENIJOS IR KITŲ PARAMETRŲ
SAVYBIŲ TYRIMAI PAGAL
ICP IM PROGRAMĄ**

Sutarties Nr. 4F10-100

Kaunas 2010 m.

LIETUVOS ŽEMĖS ŪKIO UNIVERSITETAS

**MIŠKO EKOSISTEMŲ SUMEDĖJUSIOS AUGMENIJOS IR KITŲ
PARAMETRŲ SAVYBIŲ TYRIMAI PAGAL
ICP IM PROGRAMA**

Sutarties Nr. 4F10-100

**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 makrobentos 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 tirtų parametrų pokyčiai per 2005-2010 m. laikotarpį, pagal galimybes išanalizuotos ir detalizuotos jų priežastis ir pateiktos išvados bei prognozės. Taip pat atliktos ir už visą laikotarpį tirtų parametrų analizės. Ataskaitoje 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 penki pagrindiniai skyriai. Pirmajame skyriuje pateikti meteorologinių sąlygų įvertinimas, jų poveikis geosistemoms, taip pat saulės fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės bei pažemio ozono tyrimų rezultatai. Pabaigoje 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, pateikiamas 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 eglė spyglių tyrimo rezultatai.

Penktas skyrius skirtas aplinkos veiksnių galimam poveikiui miško ekosistemų būklei išaiškinti bei prognozuoti.

Turinys

	Psl.
ĮVADAS	9
I KLIMATINIŲ VEIKSNIŲ IR SAULĖS FOTOSINTETIŠKAI AKTYVIOS SPINDULIUOTĖS TYRIMAI KMS TERITORIJOSE	10
1.1 Klimatinių veiksnių kaita 1993-2010 m laikotarpiu	11
1.1.1. <i>Kritulių kiekio dinamika KM stočių teritorijose</i>	11
1.1.2. <i>Vidutinės oro temperatūros kaita KM stočių teritorijose</i>	13
1.1.3. <i>Dirvožemio temperatūros kaita KM stočių teritorijose.</i>	16
1.1.4. <i>KM stočių upelio vandens temperatūra.</i>	18
1.1.5. <i>Ištirpusio deguonies kiekis KM stočių upelio vandenyje</i>	19
<i>IŠVADOS</i>	20
1.2 Vandens balansas pagrindinėse geosistemos grandyse.	21
1.2.1. <i>Dirvožemio vanduo</i>	21
1.2.2. <i>Gruntinis vanduo</i>	25
1.2.3. <i>Paviršinis vanduo</i>	29
<i>IŠVADOS</i>	31
1.3 Fotosintetiškai aktyvios saulės spinduliuotės po augalijos dangą tyrimai KMS teritorijose	33
1.3.1. <i>Aukštaitijos KMS teritorijoje</i>	34
1.3.2. <i>Žemaitijos KMS teritorijoje</i>	36
<i>IŠVADOS</i>	37
1.4 Pažemio ozono koncentracijų tyrimai	38
1.4.1. <i>Preilos EMEP stoties teritorijoje.</i>	43
1.4.2. <i>Ozono koncentracijos pokyčių per 2005-2010 metų laikotarpį apžvalga ir prognozė</i>	53
1.4.3. <i>Kompleksiško monitoringo stočių teritorijose</i>	56
<i>IŠVADOS</i>	59
1.5 Tyrimo rezultatų apibendrinimas	61
II ORO TERŠALŲ, ŠLAPIŲJŲ IŠKRITŲ IR JŲ TRANSFORMACIJŲ BEI KAUPIMOSI MIŠKO EKOSISTEMOSE TYRIMAI KMS TERITORIJOSE	64
2.1 Dujinių ir aerosolinių priemaišų ore tyrimai pagal EMEP ir ICP IM programas.	64
<i>IŠVADOS</i>	81
2.2 Pagrindinių cheminių priemaišų foninių koncentracijų bei fizinių parametru atmosferos iškritose ir polajiniuose krituliuose tyrimai pagal EMEP ir ICP IM programas.	83
<i>IŠVADOS</i>	97

	Psl.
2.3 Pagrindinių cheminių priemaišų bei fizinių parametų polajiniuose krituliuose tyrimų pagal ICP IM programą rezultatai	99
2.3.1 <i>Aukštaitijos KMS stotis</i>	99
2.3.2. <i>Žemaitijos KMS stotis</i>	104
<i>IŠVADOS</i>	110
2.4 Gruntinio, dirvožemio bei paviršinio vandens ir dirvožemio monitoringas pagal ICP IM programą	111
2.4.1. <i>Dirvožemio vandens savybių kitimas</i>	112
2.4.2. <i>Gruntinio vandens savybių kitimas</i>	118
2.4.3. <i>Upelio vanduo ir medžiagų išnešimas iš ekosistemos</i>	123
2.5 Medžiagų balanso išnešimo sudedamosios dinamika	127
2.5.1. <i>Azoto, fosforo ir sieros išnešimas iš dirvožemio</i>	127
2.5.2. <i>Azoto, fosforo ir sieros išnešimas gruntinio vandens sistemoje</i> . . .	130
2.5.3. <i>Medžiagų išnešimas upeliu</i>	132
2.5.4. <i>Dirvožemio savybės. Pirminiai duomenys</i>	135
<i>IŠVADOS</i>	136
2.6 Pagrindinių maistinių elementų koncentracijų lapijoje ir nuokritose tyrimų pagal ICP IM programą rezultatai.	137
2.6.1 <i>Aukštaitijos KMS stotis</i>	139
2.6.2. <i>Žemaitijos KMS stotis</i>	145
2.6.3. <i>Pagrindinių elementų transformacijų krituliuose ir lapijoje ypatumai</i>	155
<i>IŠVADOS</i>	153
2.7 KMS teritorijoje augančių medynų biomasės, bioelementų pokyčiai ir priaugis.	155
2.7.1 <i>Aukštaitijos KMS augančių medynų biomasė bei pagrindinių bioelementų kiekiai</i>	155
2.7.2. <i>Žemaitijos KMS teritorijos medynų biomasė bei pagrindinių bioelementų kiekiai</i>	158
<i>IŠVADOS</i>	165
2.8 Intensyviai besikeičiančių klimatinių veiksnių poveikis medžių augimui. .	167
<i>IŠVADOS</i>	168
2.9 Oro teršalų, šlapiųjų iškritų ir jų transformacijų bei kaupimosi miško ekosistemose tyrimo rezultatų apibendrinimas.	169
LITERATŪRA	174
III SUNKIŲJŲ METALŲ SRAUTAI, JŲ KAUPIMASIS EKOSISTEMOSE IR IŠPLOVIMAS	175
3.1 Sunkiųjų metalų ir policiklinių aromatinių angliavandenilių ore bei atmosferos iškritose tyrimai	176
<i>IŠVADOS</i>	188

		Psl.
3.2	Sunkieji metalai geosistemoje	189
3.2.1.	Sunkieji metalai dirvožemio vandenyje.	189
3.2.2.	Sunkieji metalai gruntiniame vandenyje.	192
3.2.3.	Sunkieji metalai paviršiniame (upelio) vandenyje.	193
	<i>IŠVADOS</i>	194
	LITERATŪRA	194
3.3	Nuokritų ir su jomis į dirvožemį patenkančių metalų sezoninė dinamika . .	196
3.3.1.	<i>Aukštaitijos KMS nuokritų sezoninė dinamika.</i>	196
3.3.2.	<i>Žemaitijos KMS nuokritų sezoninė dinamika</i>	202
3.3.3.	Metinių metalų srautų su nuokritomis palyginimas tarp KMS . . .	206
	<i>IŠVADOS</i>	209
3.4	Sunkieji metalai dirvožemyje.	210
3.5	Sunkieji metalai samanose	211
	<i>IŠVADOS</i>	212
	LITERATŪRA	213
3.6	Trace metal budgets for forested catchments in Europe	214
3.6.1.	<i>Results.</i>	218
3.3.3.	<i>Discussion.</i>	222
	<i>References</i>	226
3.7	Sunkiųjų metalų srautų miško ekosistemose tyrimo rezultatų apibendrinimas.	228
IV	MIŠKO EKOSISTEMŲ MONITORINGAS IM	
	TERITORIJOSE	230
4.1.	Miškų būklės dinamika integruoto monitoringo stočių teritorijose	230
4.1.1.	<i>Aukštaitijos KMS medynų būklė.</i>	230
4.1.2.	<i>Žemaitijos KMS medynų būklė</i>	234
	<i>IŠVADOS</i>	238
4.2.	Medynų būklė augalijos tyrimų stacionaruose.	239
4.2.1.	<i>Medynų būklė Aukštaitijos KMS stacionaruose</i>	240
4.2.2.	<i>Medynų būklė Žemaitijos KMS stacionaruose.</i>	244
	<i>IŠVADOS</i>	245
4.3.	Medžių pažeidimai KMS teritorijose	246
4.3.1.	<i>Aukštaitijos KMS medžių pažeidimai ir pagrindinės priežastys</i> . .	247
4.3.2.	<i>Žemaitijos KMS medžių pažeidimai ir pagrindinės priežastys</i> . . .	249
4.3.3.	<i>KM stočių teritorijose augančių medžių pažeidimų ir pagrindinių priežasčių kaita</i>	250
	<i>IŠVADOS</i>	251
4.4.	Žaliųjų oro dumblių gausa	253
	<i>IŠVADOS</i>	254

	Psl.
4.5. Epifitinių kerpių rūšinė įvairovė ir gausumas	255
4.5.1. Aukštaitijos KMS kerpių tyrimo stotyje	257
4.5.2. Žemaitijos KMS kerpių tyrimo stotyje	257
IŠVADOS	258
4.6. Žolinės augmenijos tyrimai pagal ICP IM programą	259
4.6.1 AUKŠTAITIJOS KMS augalijos tyrimo stacionatrai	260
4.6.2 ŽEMAITIJOS KMS augalijos tyrimo stacionatras	267
4.6.3 Augalinės dangos pokyčiai KMS stacionaruose	260
IŠVADOS	260
PRIEDAI	272
4.7. Miško ekosistemų biotos komponentų tyrimo rezultatų apibendrinimas. . .	276
V APLINKOS NATŪRALIŲ IR ANTROPOGENINIŲ VEIKSNIŲ	
POVEIKIS MIŠKŲ BŪKLEI	279
5.1. Oro teršalų ir jų sąlygotų geosistemoms parametrų poveikis miško ekosistemų būklei keičiantis klimatui.	281
5.1.1 Aukštaitijos KMS miškų būklę sąlygojantys veiksniai.	282
5.1.2 Žemaitijos KMS miškų būklę sąlygojantys taršos komponentai. . .	286
5.2. Natūralių aplinkos veiksnių poveikis miško ekosistemoms	289
5.2.1 Meteorologinių veiksnių poveikis medžių lajų būklei.	290
5.2.2 Meteorologinių veiksnių poveikis pušynų defoliacijai Aukštaitijos KMS ir jos prognozė.	293
5.3. Kompleksiškas regioninio oro užterštumo ir natūralių aplinkos veiksnių poveikis pušynų būklei bei jos prognozė.	296
5.4. Kompleksiškas regioninio oro užterštumo ir natūralių aplinkos veiksnių poveikis KMS teritorijose augančių medžių būklei	299
5.5 Kompleksiško monitoringo stočių teritorijose augančių miškų būklės kaitos sąlygojančių veiksnių analizės apibendrinimas.	300
Literatūra.	309
V SANTRAUKA	312

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 oro taršos, iškritų ir polajinių kritulių bei medynų būklės duomenys, jų struktūriniai pokyčiai bei vystymosi dinamika augalijos tyrimų stacionaruose, nuokritų sezoninė dinamika bei fotosintetiškai aktyvios saulės spinduliuotės tyrimai Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS teritorijose. Šių duomenų kaita aptašyta už visą laikotarpį išskiriant atskirai paskutinįjį 2005-2010 m. laikotarpį.

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 1994-2010 m laikotarpiu

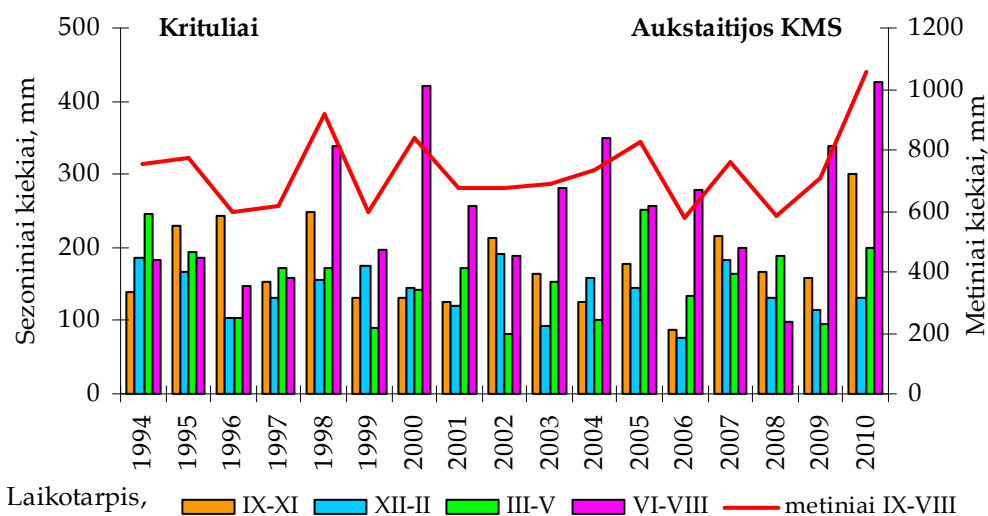
Lietuvos Hidrometeorologijos tarnybos pateikti duomenys rodo, kad per pastaruosius 2 šimtmečius (http://www.meteo.lt/klim_lt) stebėti ir klimato šaltėjimai, ir šiltėjimai. Tačiau, palyginus pastarojo laikotarpio ir praėjusio šimtmečio vidurio klimatinės normas, nustatytas temperatūros padidėjimo $0,8^{\circ}\text{C}$ 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). Detalesniai analizei panaudoti aplinkinių meteo stočių duomenys, kurie geriausiai atitiko meteo duomenis nustatytus KM stotyse. Tokiu būdu Aukštaitijos KMS stoties parametrus geriausiai atitiko Dūkšto MS duomenys, o Žemaitijos KMS – Vėžaičių MS duomenys. Šių stočių duomenys buvo panaudoti trūkstamiems duomenims pildyti bei duomenų sekai ilginti, nustatant galimus klimatinių veiksnių poveikiu miško ekosistemoms, ypač medžių augimui – medžių kamienų dendrochronologinei analizei.

1.1.1. Kritulių kiekio dinamika KM stočių teritorijose

1994–2010 metais kritulių kiekis ir Aukštaitijos, ir Žemaitijos monitoringo stotyse turėjo tendencija didėti. Aukštaitijos NP per paskutiniuosius 40 m. kritulių kiekis pagal Dūkšto MS duomenis diėjo po 1 mm per metus, tačiau ši kaita buvo nereikšminga ($p < 0,05$). Per turiamąjį laikotarpį (1993-2010 m.) šioje MS stotyje kritulių kiekis kito intensyviau, t.y. didėjo po 6 mm per metus, o Aukštaitijos KMS beveik po 4,3 mm per metus. Tam tikrą įtaką kritulių kiekio kaitai galėjo turėti ir tai, kad KM stotis yra įkurta mišku apaugusiame plote.

Tiriamuoju laikotarpiu kritulių kiekis klimatinę normą (1972-2010 m. vidurkį) viršijo 1998, 2000, 2005 ir 2010 m., o nesiekė 1992, 1996, 1999, 2006 ir 2008 m. (1.1 pav.).

2010 m. Aukštaitijoje iškrito daugiausiai kritulių per visą stebėjimų laikotarpį, 33% daugiau, negu stebėjimo laikotarpio vidurkis. Didžioji kritulių dalis iškrito vgetacijos laikotarpiu, t.y. birželio-rugpjūčio mėnesiais.

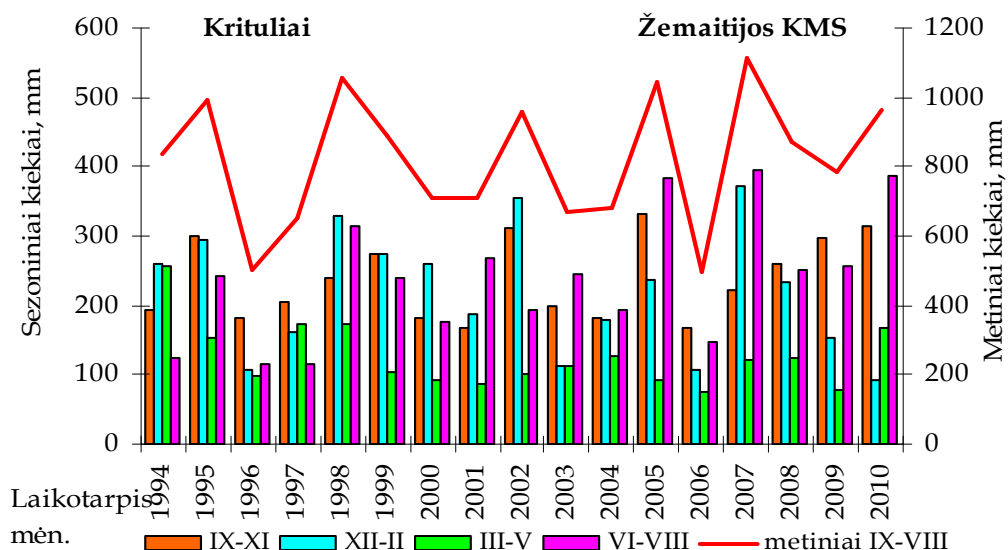


1.1 pav. Įvairių sezonų ir metinių kritulių kiekio kaita Aukštaitijos KMS 1994-2010 m.

Atskirais sezonais kritulių kiekis per tiriamąjį laikotarpį (1994-2010) mažėjo žiemą (gruodžio-vasario mėn.) -2 mm per metus ir pavasarį (kovo - gegužės mėn.) -1 mm per metus, išliko stabilus rudenį (rugsėjo-lapkričio mėn.) ir intensyviai didėjo vasarą (birželio – rugpjūčio mėn.), intensyvaus augimo laikotarpiu, po 6,7 mm per metus.

1995–2010 metais kritulių kiekis Žemaitijos monitoringo stotyje turėjo tendencija taip pat didėti. Žemaitijos NP per paskutiniuosius 40 m. kritulių kiekis pagal Vėžaičių MS duomenis diėjo po 1 mm per metus, kaip ir Aukštaitijos NP. Per turiamąjį laikotarpį (1994-2010 m.) šioje MS stotyje kritulių kiekis kito intensyviau, t.y. didėjo po 11,5 mm per metus, o Žemaitijos KMS beveik po 5,3 mm per metus. Nežymų kritulių kiekio sumažėjimą galėjo lemti ir tai, kad KM stotis yra įkurta mišku apaugusiame plote.

Žemaitijos stebėjimų stotyje metinis kritulių kiekis klimatinę normą (daugiametį 1972-2010 m. vidurkį Vėžaičių meteorologinė stotis, 906,8 mm) viršijo 1995, 1998, 2002, 2005, 2007 ir 2010 m., o nesiekė ypač 1992, 1996, 2006 ir 2008 m. (1.2 pav.).



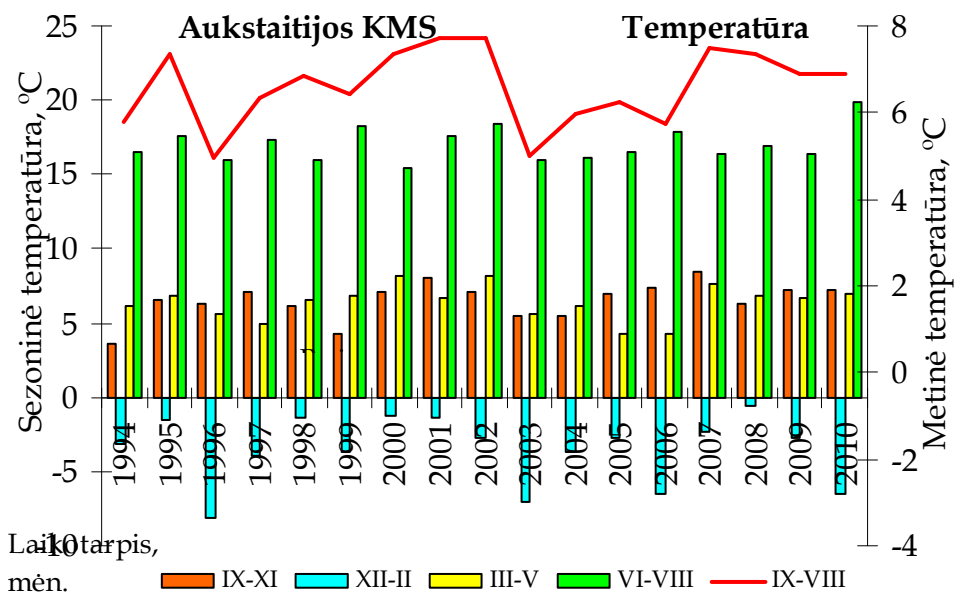
1.2 pav. Įvairių sezonų ir metinių kritulių kiekio kaita Žemaitijos KMS 1995-2009 m.

Atskirais sezonais kritulių kiekis Žemaitijos KM stotyse kito skirtingai negu Aukštaitijos KMS. Per tiriamąjį laikotarpį (1994-2010) kritulių kiekis mažėjo žiemos ir ankstyvo pavasario mėnesiais, maždaug po 4 mm per metus. Rudenį buvo registruojamas kritulių kiekio augimas po 3,4 mm per metus, o per vegetacijos laikotarpiu kritulių kiekis didėjo intensyviausiai, net po 10,9 mm per metus.

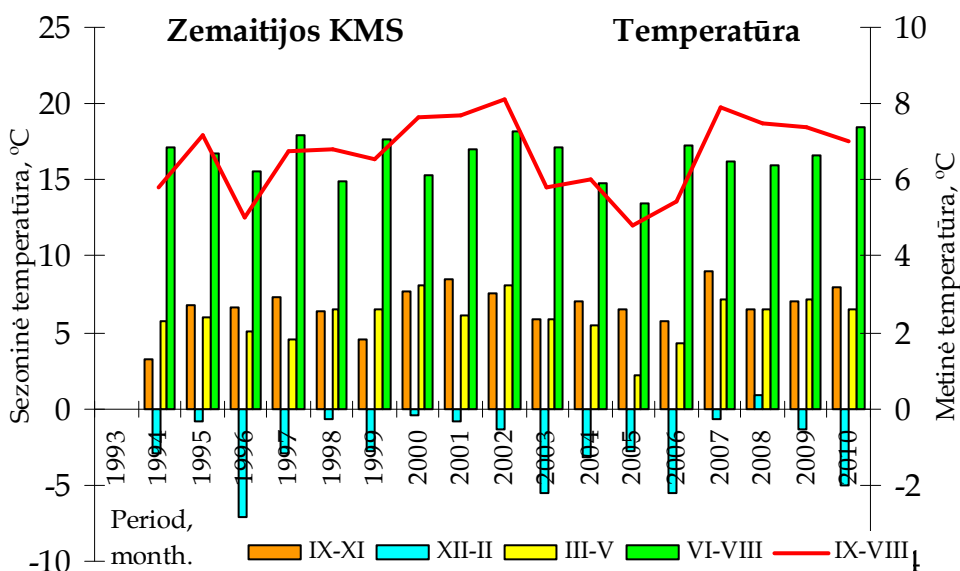
1.1.2. Vidutinės oro temperatūros kaita KM stočių teritorijose

Klimato atšilimas ir jo poveikio aplinkai vertinimas - pastarojo laikotarpio problema. Artimiausių tiriamoms teritorijoms meteorologinių stočių (MS) duomenų analizė parodė, kad per paskutinįjį 40 m. laikotarpį Aukštaitijoje oro temperatūra vidutiniškai didėjo 0,040°C (Dūkšto MS), Dzūkijoje – 0,026°C (Varėnos MS) ir Žemaitijoje – 0,018°C per metus (Telšių 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 būt 1°C aukštesnė nei XX a. pabaigoje, t.y. didėti po 0,033°C per metus (Bukantis ir kt., 2001).

Per stočių veiklos laikotarpį Aukštaitijos NP pagal Dūkšto MS duomenys oro vidutinė temperatūra didėjo po 0,071 °C per metus, o Žemaitijos NP pagal Telšių MS duomenis po 0,074°C per metus, t.y beveik 3 kartus intensyviau negu daugiametis vidurkis. Kompleksiško monitoringo stotyse šis temperatūros kylimas siekė abiejose stotyse lygia po 0,038°C per metus. Ženklų šiltėsimo sumažėjimą, lyginant su įprastinėmis meteorologinių stočių duomenimis, lėmė miškas, kuris švelnina klimato šiltėsimą.



1.3 pav. Įvairių sezonų ir metinės vidutinės temperatūros kaita Aukštaitijos KMS 1994-2010m.



1.4 pav. Įvairių sezonų ir metinės vidutinės temperatūros kaita Žemaitijos KMS 1995-2010 m.

Atskirais metų sezonais pagal oro temperatūros daugiametę kaitą Dūkšto meteorologinėje stotyje vidutinė temperatūra Aukštaitijos NP taip pat tik didėjo. Rudens laikotarpiu mažiausiai, tik po $+0,27^{\circ}\text{C}$ per 10 m. laikotarpį, kiek intensyviau žiemą ir pavasarį, po maždaug $+0,37$ ir $+0,38^{\circ}\text{C}$ per 10 m. laikotarpį atitinkamai ir intensyviausiai vasaros laikotarpiu – po $+0,59^{\circ}\text{C}$ per 10 m. laikotarpį. Tyrimai Aukštaitijos KMS iš dalies patvirtino nustatytus trendus. Nuo tyrimų pradžios, t.y., nuo 1993 oro vidutinė temperatūra atskirais sezonais kito taip: rudenį temperatūra didėjo intensyviausiai po $1,14^{\circ}\text{C}$ per 10 m., vasarą kiek

mažiau – po 0,53 °C per 10 m., pavasarį – po 0,12 °C per 10 m. ir žiemos laikotarpiu mažėjo po -0,23 °C per 10 m.

Šalčiausi per tiriamąjį laikotarpį buvo 1996 ir 2003 metai, kada oro vidutinė temperatūra nesiekė 5°C. Tokiam temperatūros sumažėjimui didžiausios įtakos turėjo žemiausios gruodžio – vasario mėn. temperatūros, kurios buvo žemesnės nei -7°C. Šilčiausi 2002-2003 m., kai vidutinė oro temperatūra beveik siekė 8 °C ir ją reikšmingiausiai sąlygojo rudens ir vasaros mėnesių temperatūros.

Paskutiniuju laikotarpiu reikšmingiausi pokyčiai registruojami nuo 2003 m., kai vidutinė temperatūra per 7 m. laikotarpį augo reikšmingai ($p < 0,05$) po 0,27 °C per metus. Per atskirus sezonus taip pat buvo registruojama temperatūros augimas atitinkamai: rudenį ir žiemą, po 0,24 °C per m., pavasarį – po 0,27°C per m. ir vasarą – po 0,35 °C per m. Toks ženklus oro temperatūros augimas šiuo paskutiniuju laikotarpiu turėjo sąlygoti reikšmingus procesus miško ekosistemoje. Dūkšto stotyje šiais laikotarpiais oro temperatūra kylo po 0,23 – 0,27 °C per m. intensyvumu.

Žemaitijos NP atskirais metų sezonais pagal oro temperatūros daugiametę kaitą Telšių meteorologinėje stotyje (1924-2010 m.) vidutinė temperatūra, labai panašiai kaip ir Aukštaitijos NP taip pat tik didėjo. Rudens laikotarpiu mažiausiai, tik po +0,06°C per 10 m. laikotarpį, kiek intensyviau žiemą ir pavasarį, po maždaug +0,29 ir +0,26 °C per 10 m. laikotarpį atitinkamai. Vasaros laikotarpiu, skirtingai nei Aukštaitijos NP, oro temperatūra didėjo, bet tik 0,15 °C per 10 m. laikotarpį, kai tuo tarpu Aukštaitijos NP siekė net +0,59°C per 10 m. laikotarpį. Tyrimai Žemaitijos KMS iš dalies patvirtino nustatytus trendus. Nuo tyrimų pradžios, t.y., nuo 1994 oro vidutinė temperatūra atskirais sezonais kito taip: rudenį temperatūra didėjo intensyviausiai po 1,14 °C per 10 m., žiemą ir pavasarį – po 0,20 – 0,24 °C per 10 m. ir vasaros laikotarpiu mažėjo po -0,03 °C per 10 m.

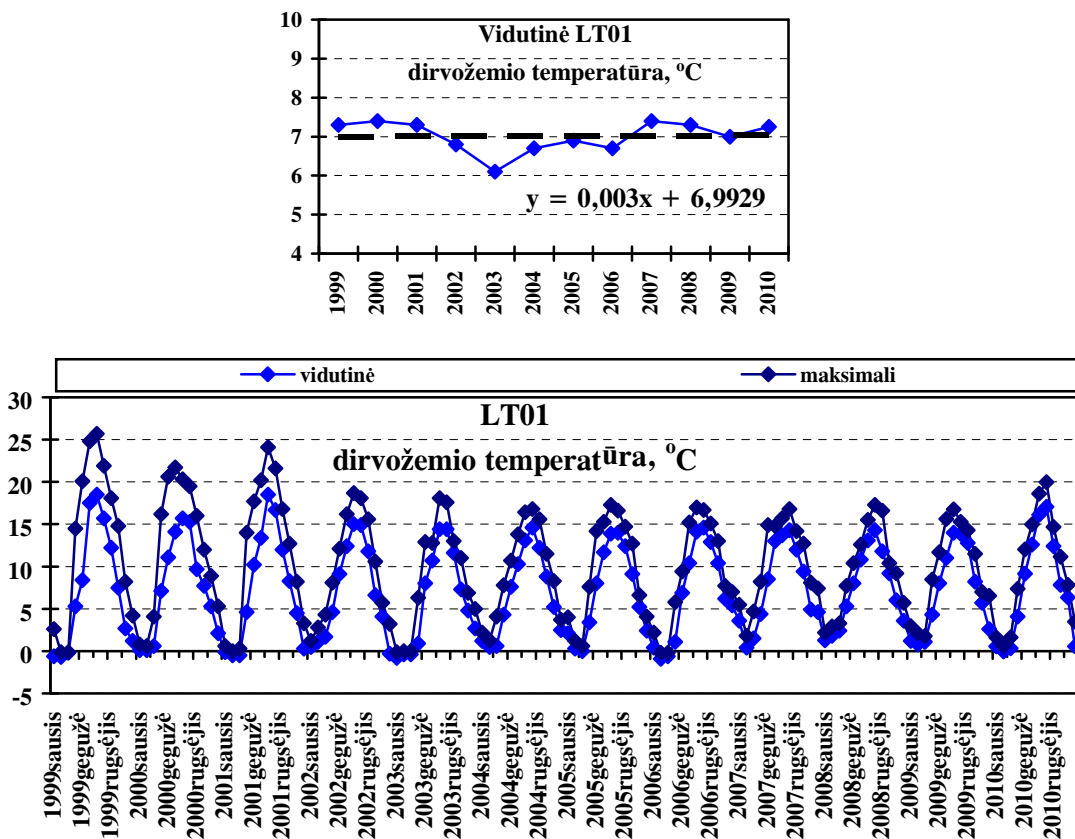
Šalčiausi per tiriamąjį laikotarpį buvo 1996 ir 2005 metai, kada oro vidutinė temperatūra buvo apie 5°C. Tokiam temperatūros sumažėjimui didžiausios įtakos turėjo 1996 m. žemiausios gruodžio – vasario mėn. temperatūros, kurios buvo žemesnės nei -7°C, o 2005 m. žemiausios pavasario ir ypač vasaros mėnesių temperatūros. Šilčiausi buvo 2002 ir 2007 m., kai vidutinė oro temperatūra beveik siekė 8 °C ir ją reikšmingiausiai sąlygojo rudens ir vasaros mėnesių temperatūros.

Paskutiniuju laikotarpiu reikšmingiausi pokyčiai registruojami nuo 2005 m., kai vidutinė temperatūra per 5 m. laikotarpį augo reikšmingai ($p < 0,05$) po 0,46 °C per metus. Per atskirus sezonus taip pat buvo registruojama temperatūros augimas: rudenį po 0,26 °C ir žiemą po 0,09°C per m., o pavasarį ir vasarą net po 0,84°C per m. ir 0,65 °C per m. Toks

ženklus oro temperatūros augimas šiuo paskutiniuoju laikotarpiu taip pat turėjo sąlygoti reikšmingus procesus miško ekosistemoje Žemaitijos KMS.

1.1.3. Dirvožemio temperatūros kaita KM stočių teritorijose

Aukštaitijos KMS per dvylika metų (1999-2010 m.) dirvožemio temperatūros (5, 10 ir 20 cm gyliuose) vidutinė reikšmė buvo stabili ir siekė 7 °C, metų vidutinės reikšmės svyravo nuo 6,1 iki 7,4 °C. Didžiausias metų vidutinės temperatūros reikšmės (7,3-7,4 °C) buvo registruojamos 1999-2001 ir 2007-2010 m. laikotarpiu, o mažiausia vidutinė metinė reikšmė nustatyta 2003 m. Tokias dirvožemio temperatūros kaitos tendencijas reikšmingiausiai sąlygojo, būtent, šaltojo laikotarpio (sausio – balandžio mėn.) dirvožemio temperatūros. 2003 m. vidutinė šių 4 mėnesių dirvožemio temperatūra vienintelį kartą buvo žemesnė už 0 °C. (1.5 pav.).

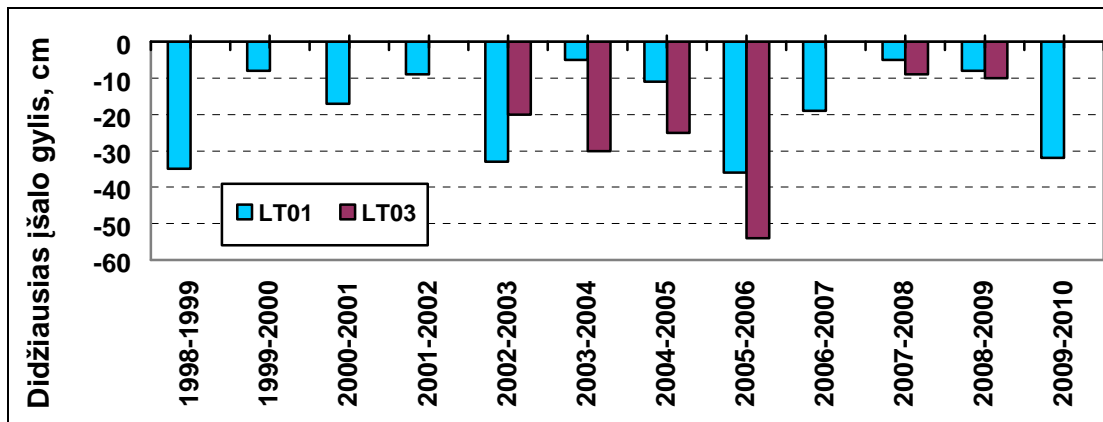


1.5 pav. Aukštaitijos KMS dirvožemio temperatūra (5, 10 ir 20 cm gyliuose).

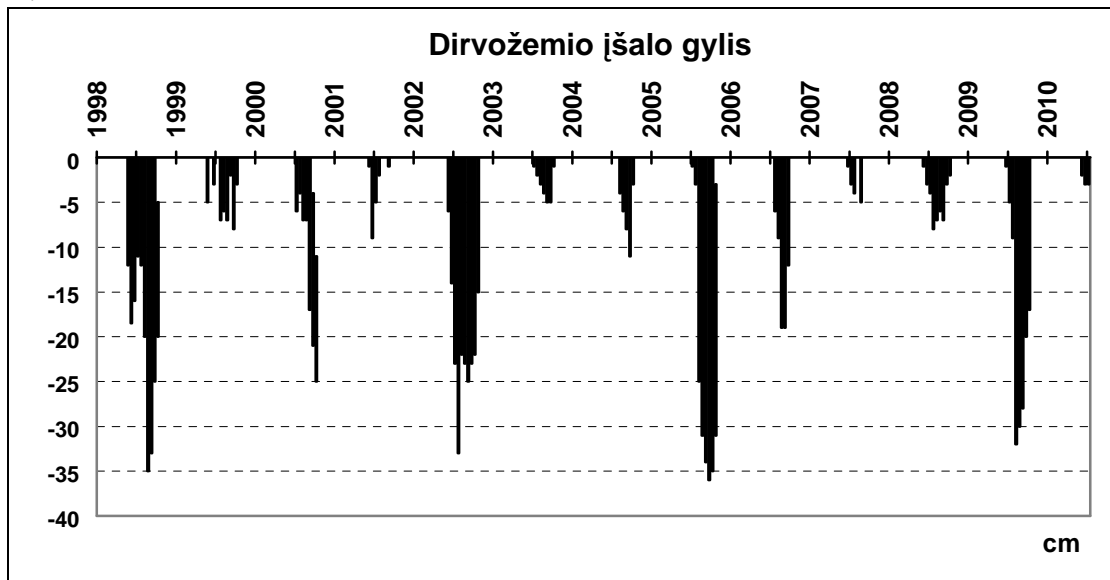
Nors per 1 m. laikotarpį vidutinė metinė dirvožemio temperatūra yra stabili, šaltuoju ir šiltuoju laikotarpiu jos kaita iš esmės skiriasi. Mėnesiais, kada dirvožemio temperatūra žemiausia (sausis – kovas), dirvožemio temperatūra reikšmingai kyla po 0,12°C per metus, o šilčiausiais mėnesiais (liepa - rugpjūtis) – reikšmingai mažėja po 0,18°C per metus.

Reikšmingiausias pokytis registruojamas nuo 2003 m. Per paskutiniuosius 7 metus dirvožemio vidutinė temperatūra kylo po 0,208 °C per metus.

A.



B.



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

Dirvožemio temperatūra tiesiogiai siejasi ir su dirvožemio įšalo gyliu, kas savo ruožtu sąlygoja esminius gyvybinius ir cheminius procesus vykstančius geo- ekosistemoje.

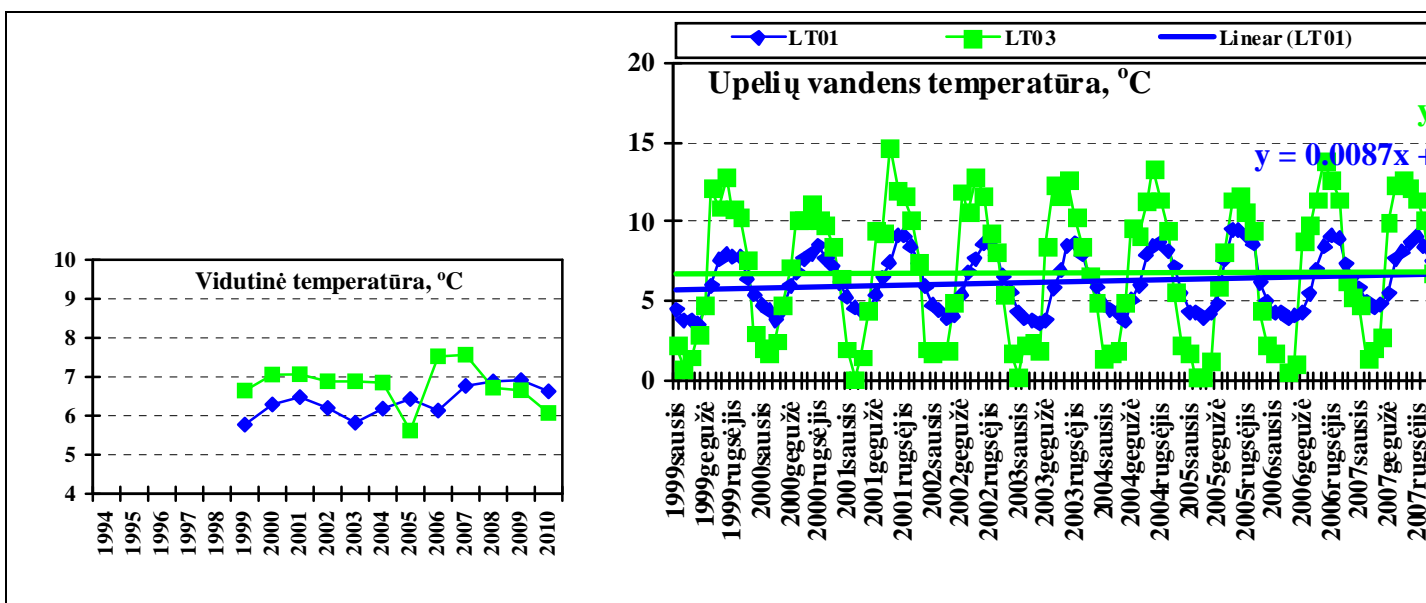
Nuo 1998 m. kas 3–4 metus Aukštaitijos stotyje kartojasi šaltos žiemos, kai dirvožemis iššala giliau, negu 30 cm. Šaltomis žiemomis 1998–1999 m. ir 2002–2003 m. iššalas laikėsi 4,5 mėn., o 2005–2006 m. žiemą trumpiau – 3,5 mėn., bet pasiekė rekordinį 36 cm gylių. 2009–2010 metų žiema buvo šalta, dirvožemis 4 mėnesius buvo išalęs, iš jų 1,5 mėnesio giliau nei 25 cm. Šiltomis žiemomis (2000, 2002, 2004, 2005, 2008, 2009 m.) dirvožemis būdavo išalęs mažiausiai 2,5 mėnesio, o iššalo gylis viršydavo 5 cm. (1.6 pav.).

Paskutiniuoju 2005-2010 m. laikotarpiu esminių skirtumų išalo duomenų sekoje neregistruojama.

1.1.4. KM stočių upelio vandens temperatūra

Upelio vandens temperatūros kaitos trendas abiejose stotyse yra teigiamas, LT01 temperatūra kyla vidutiniškai 0,01°C per metus, o LT03 – 0,02°C per metus (1.7 pav.).

Aukštaitijos stotyje 2010 m. didesnė nei 10 °C upelio vandens temperatūra buvo fiksuojama net 2 mėnesius - rugpjūtį ir rugsėjį, bet neviršijo 2009 m. rekordinės reikšmės (10,5 °C) ir amplitudė buvo 6,2 °C, antra po didžiausios 2009 metų (6,4 °C). Žemaitijos stotyje 2004–2005 ir 2008–2010 m. metais aukštesnė negu 10 °C vandens temperatūra laikėsi 3 mėnesius – tai minimali reikšmė per stebėjimo laikotarpį. Upelio temperatūros vidurkis antras mažiausių, amplitudė, kaip ir Aukštaitijoje, buvo viena iš didesnių, (4 lentelė).



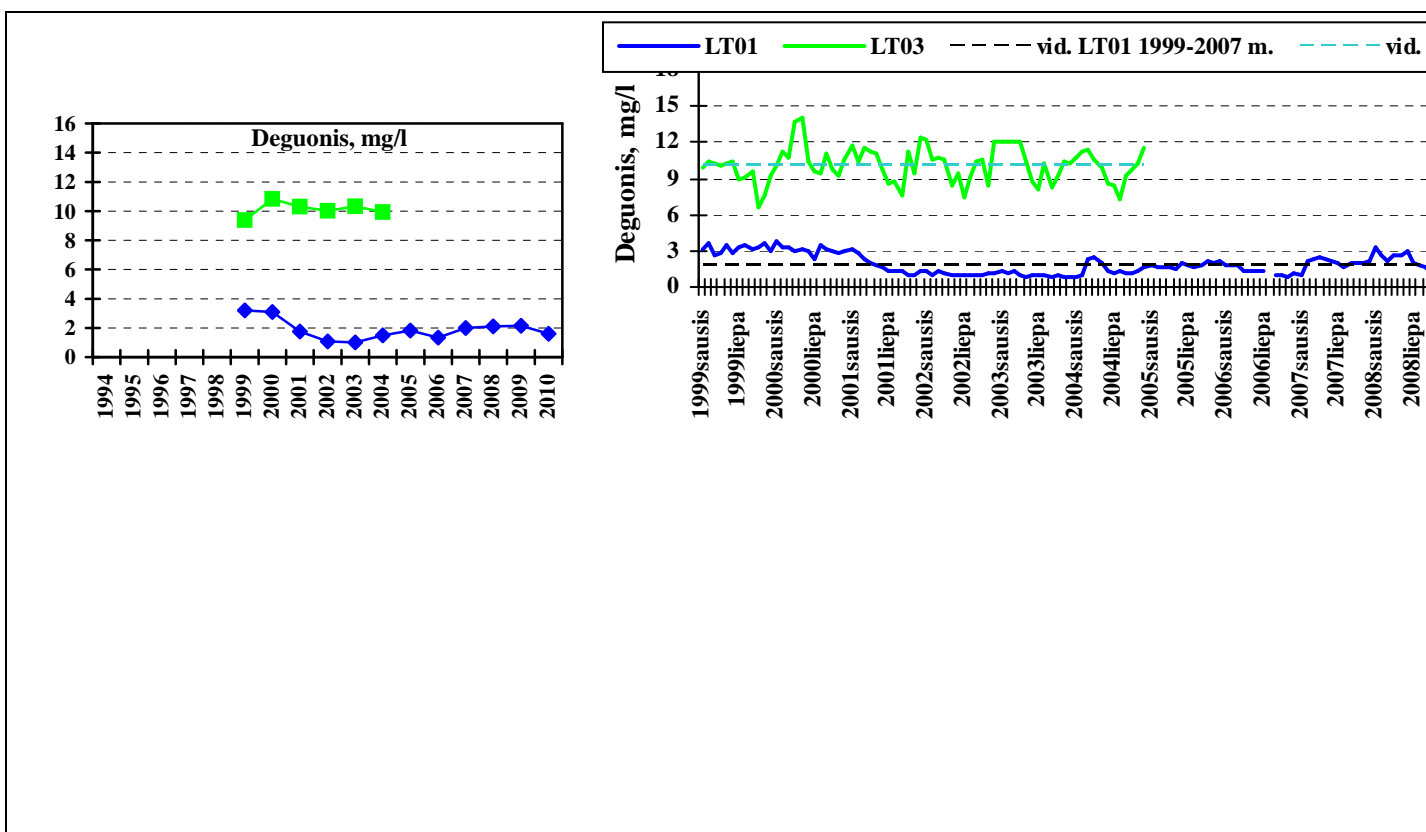
1.7 pav. Upelių vandens temperatūra.

Aukštaitijos KMS paskutiniuoju laikotarpiu (2005-2010 m.) upelio vandens temperatūra, proporcingai oro temperatūrai, kylo intensyviau nei per visą tiriamąjį laikotarpį, o Žemaitijos KMS vandens temperatūros kaitai įtakos turėjo 2005 ir 2010 m. kai vidutinė vandens temperatūra nukrito iki savo minimalių reikšmių.

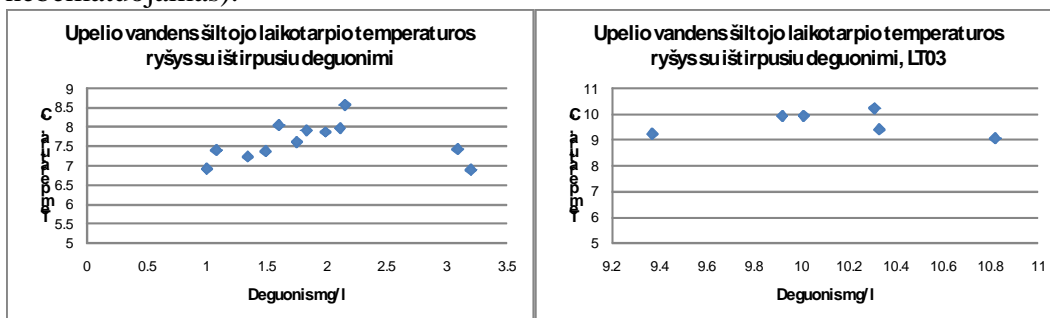
1.1.5. Ištirpusio deguonies kiekis KM stočių upelio vandenyje.

Ištirpusio deguonies kiekis Aukštaitijos stoties upelio vandenyje trejus metus buvo didesnis už vidutinę reikšmę (1999-2008 m. vidurkis 1,89 mg/l), o 2010 metais tapo panašus į

vidurkį, 1,60 mg/l. Mažiausiai deguonies upelio vandenyje buvo 2002–2003 m., apie 1 mg/l. 2004–2005 ir 2007–2009 metais ištirpusio deguonies kiekis buvo didesnis už vidurkį dėl upelio vandens temperatūros padidėjimo ir režimo. 2010 metais sumažėjus temperatūrai ir vandens augalų (producentų) vešėjimui, upelio vandenyje deguonies sumažėjo (1.8 pav.). Aukštaitijos stotyje ryšys tarp upelio vandens temperatūros ir ištirpusio deguonies yra tiesioginis (išimti sudaro 1999-2000 metai), Žemaitijoje šis ryšys mažiau pastebimas, 2000 ir 2003 metais.



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



1.9 pav. Vandenyje ištirpusio deguonies ryšys su upelio vandens temperatūra šiltuoju laikotarpiu.

Nuo 2003 m. Aukštaitijos KMS upelio vandenyje didėja deguonies kiekis po 0,15 mg/l per metus. Išaiškintas tiesioginis upelio temperatūros ir deguonies kiekio jame ryšys

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°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 išliko praktiškai stabili.

Paskutiniuju laikotarpiu reikšmingiausi pokyčiai registruojami Aukštaitijos KMS nuo 2003 m., kai vidutinė temperatūra per 7 m. laikotarpį augo reikšmingai ($p < 0,05$) po 0,27 °C per metus, Žemaitijos KMS nuo 2005 m., kai vidutinė temperatūra per 5 m. laikotarpį augo reikšmingai ($p < 0,05$) po 0,46 °C per metus. Toks ženklus oro temperatūros augimas šiuo paskutiniuju laikotarpiu sąlygojo reikšmingus procesus miško ekosistemose.

Aukštaitijos KMS nuo 2003 m. dirvožemio vidutinė temperatūra kyla po 0,208 °C per metus, Žemaitijos KMS tyrimai nevykdomi. Šiuo laikotarpiu neregistruojami esminiai skirtumai įšalo duomenų sekoje.

Aukštaitijos KMS paskutiniuju laikotarpiu (2005-2010 m.) upelio vandens temperatūra, proporcinagi oro temperatūrai, kylo intensyviau nei per visą tiriamąjį laikotarpį, o Žemaitijos KMS vandens temperatūraos kaitai įtakos turėjo 2005 ir 2010 m. kai vidutinė vandens temperatūra nukrito iki savo minimalių reikšmių.

Nuo 2003 m. Aukštaitijos KMS upelio vandenyje didėja deguonies kiekis po 0,15 mg/l per metus. Išaiškintas tiesioginis upelio temperatūros ir deguonies kiekio jame ryšys. Žemaitijos KMS oro koncentracijos upelio vandenyje neregistruojamos.

1.2. Vandens balansas pagrindinėse geosistemos grandyse

1.2.1 Dirvožemio vanduo

Dirvožemio drėgmė vegetacijos laikotarpiu susijusi su dirvožemio išalimo intensyvumu: seklaus ir trumpo išalimo metais, 2004, 2005, 2007, 2008, 2009 dirvožemis 0–40 cm gylyje kaupė vidutiniškai 37-47 mm vandens (2008 m. mažiausiai, 37 mm), o gilaus išalimo 2003, 2006 ir 2010 – apie 50 mm (1.10 ir 1.11 pav., LT01). 2010 metais. Žemaitijos monitoringo stoties dirvožemyje daugiausia drėgmės susikaupė 2001 ir 2007–2010 metais.

Dirvožemio vandens srautai 2010 metais Aukštaitijos IMS buvo vidutiniai per stebėjimų laikotarpį, nepaisant rekordinio kritulių kiekio (1.12 pav., LT01).

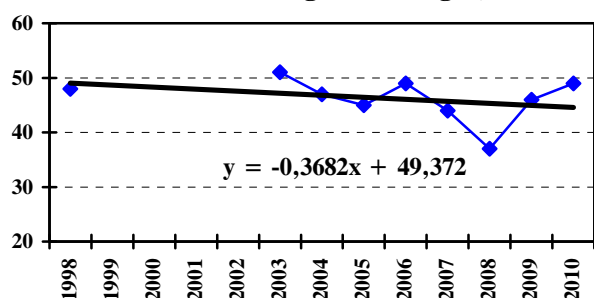
Žemaitijos monitoringo stotyje pastaruosius ketverius metus dirvožemio vandens atsargos turi tendenciją didėti, kai tuo tarpu Aukštaitijos KMS mažėti.

Žemaitijos KMS tarp dirvožemio vandens srauto ir kritulių kiekio buvo tiesioginis ryšys, o 2006-2007 metais ryšys tapo atvirkštiniu, o 2008-2010 m. vėl tapo tiesioginiu (6 pav., LT03).

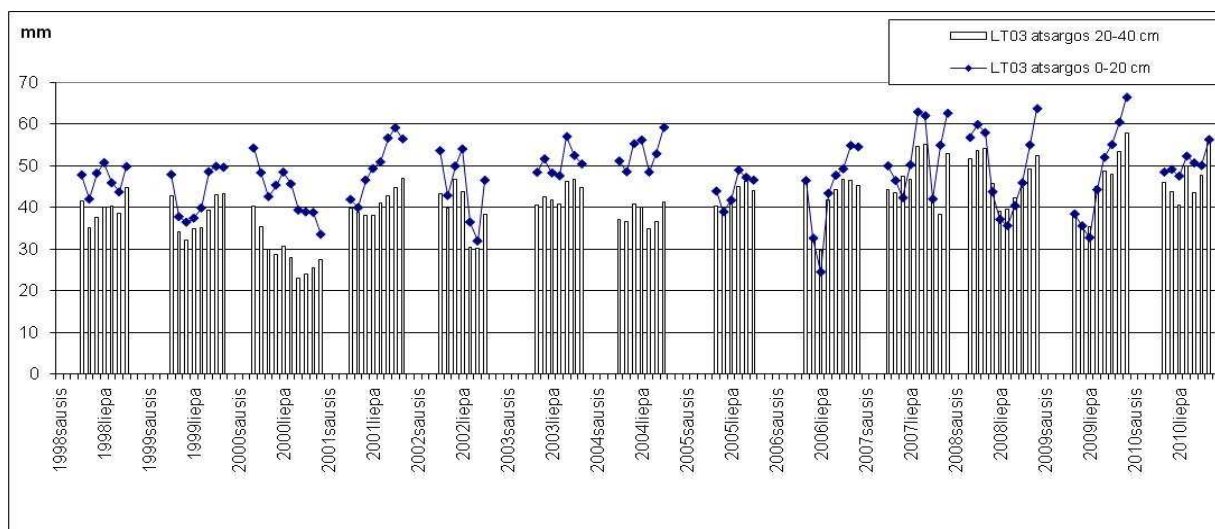
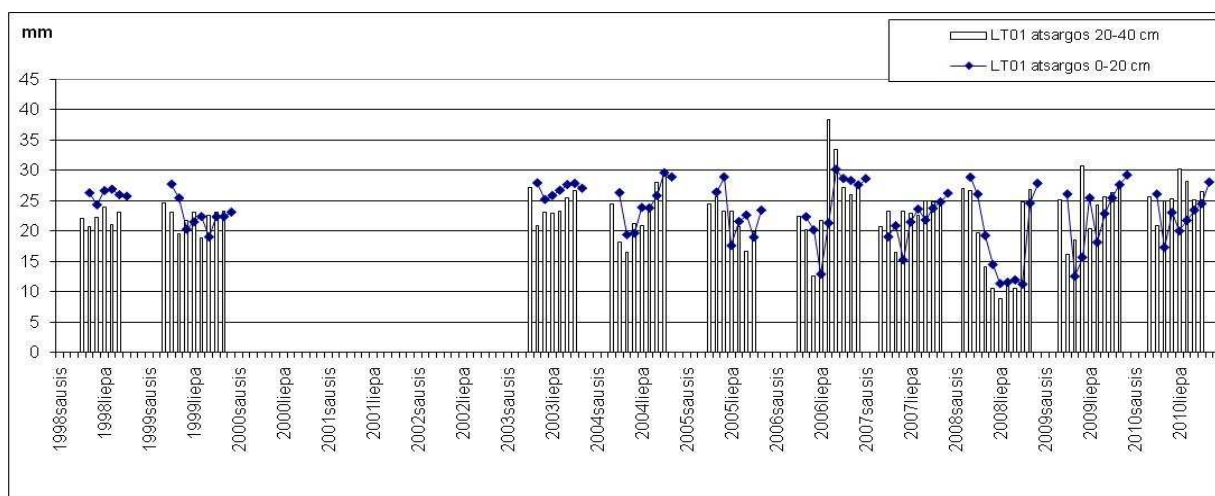
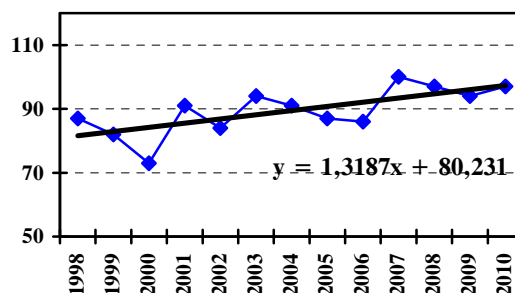
Atvirkštinio ryšio tarp kritulių kiekio ir dirvožemio vandens srauto pagrindinės priežastys yra hidroterminis režimas ir didelis kritulių režimo kontrastingumas, pavyzdžiui, dažnesnės liūtys, kada kritulių vanduo nespėja susigerti į dirvožemį, nuteka paviršiumi, antra, vandens atsargos dirvožemyje, kai dirvožemis, nepaisant vidutinio kritulių kiekio nesukaupia daug vandens ir dalis kritulių naudojama dirvožemiui sudrėkinti, didelis srautas nesusiformuoja. Taigi, dėl kontinentalesnio klimato, atvirkštinis ryšys tarp kritulių kiekio ir dirvožemio vandens srauto dažnesnis Aukštaitijos IMS (6 pav.).

Dirvožemio vandens sunkimosi intensyvumas abiejose stotyse buvo tarp pačių intensyviausių per stebėjimų laikotarpį (7 pav.).

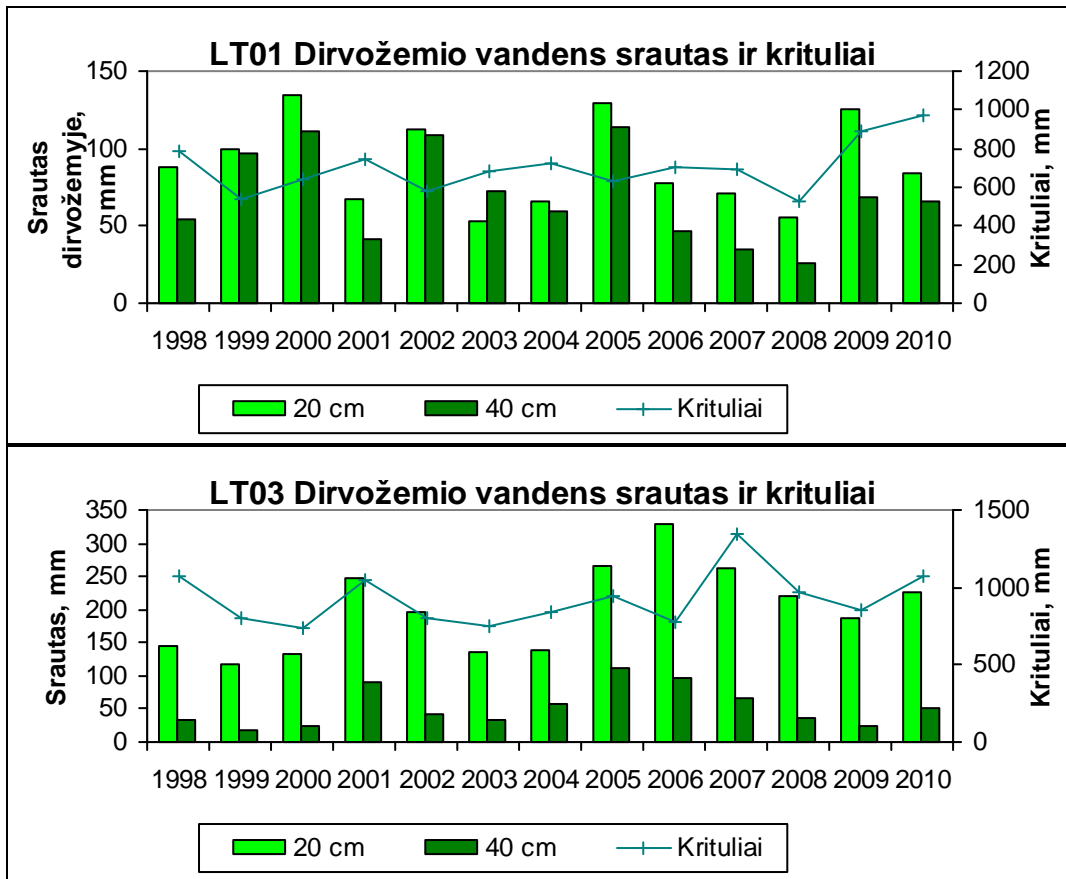
LT01
dirvožemio drėgmės atsargos, mm



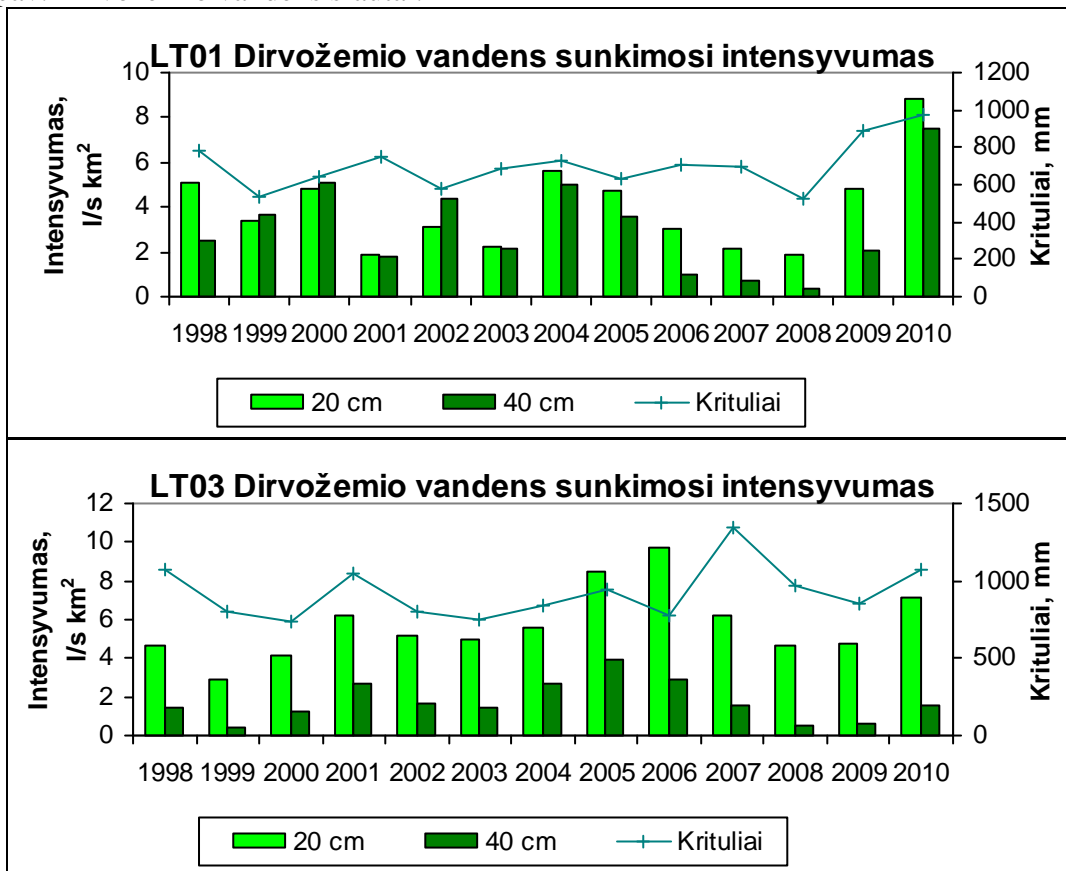
LT03
dirvožemio drėgmės atsargos, mm



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



1.11 pav. Dirvožemio vandens srautai.



1.12 pav. Dirvožemio vandens sunkimosi intensyvumas.

1 lentelė. Medžiagų išplovimo iš dirvožemio veiksnų vertinimas Aukštaitijos KMS (LT01).

Metai	Gylis, cm:	Srautas		Intensyvumas		Dirvožemio temperatūros vidurkis	Temperatūros amplitudė	Įšalas (kliūtis srautui)
		0-20	20-40	0-20	20-40			
1998		6	9	3	7	N. d.	N. d.	N. d.
1999		5	4	7	5	8	12	11
2000		1	2	5	2	11	11	6
2001		10	11	12	10	8	10	8
2002		4	3	8	4	4	9	3
2003		13	5	10	8	1	5	12
2004		11	8	2	3	2	3	2
2005		2	1	6	6	5	7	4
2006		8	10	9	11	2	4	9
2007		9	12	11	12	11	8	7
2008		12	13	13	13	8	1	1
2009		3	6	4	6	6	6	5
2010		7	7	1	1	7	2	10

Paryškinta: *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. Maža išalo rango reikšmė (išalo gylio ir trukmės sandauga) yra sekus ir trumpas dirvožemio išalimas, palankus medžiagų išplovimui šaltuoju laikotarpiu.

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

Metai	Gylis, cm:	Srautas		Koncentravimas (filtravimo intensyvumas)	
		0-20	20-40	0-20	20-40
1998		9	10	10	8
1999		13	13	13	13
2000		12	11	12	10
2001		4	3	4	4
2002		7	7	7	5
2003		11	9	8	9
2004		10	5	6	3
2005		2	1	2	1
2006		1	2	1	2
2007		3	4	5	7
2008		6	8	11	12
2009		8	12	9	11
2010		5	6	3	6

Žemaitijos KMS (2 lentelėje) vandens judėjimo rodikliai susigrupavo vienodai, tiek intensyvumas tiek srauto tūris kito kartu visoje 0–40 cm dirvožemio storumėje. Išryškėjo, kad 2001 ir 2005–2006 m. laikotarpiai buvo palankiausi medžiagų išplovimui. 2010 metais dirvožemio srautas buvo vidutiniškai palankus medžiagų išsiplovimui, išskyrus 0–20 cm dirvožemio horizontą, kur filtravimo intensyvumas buvo trečias pagal dydį per stebėjimo laikotarpį.

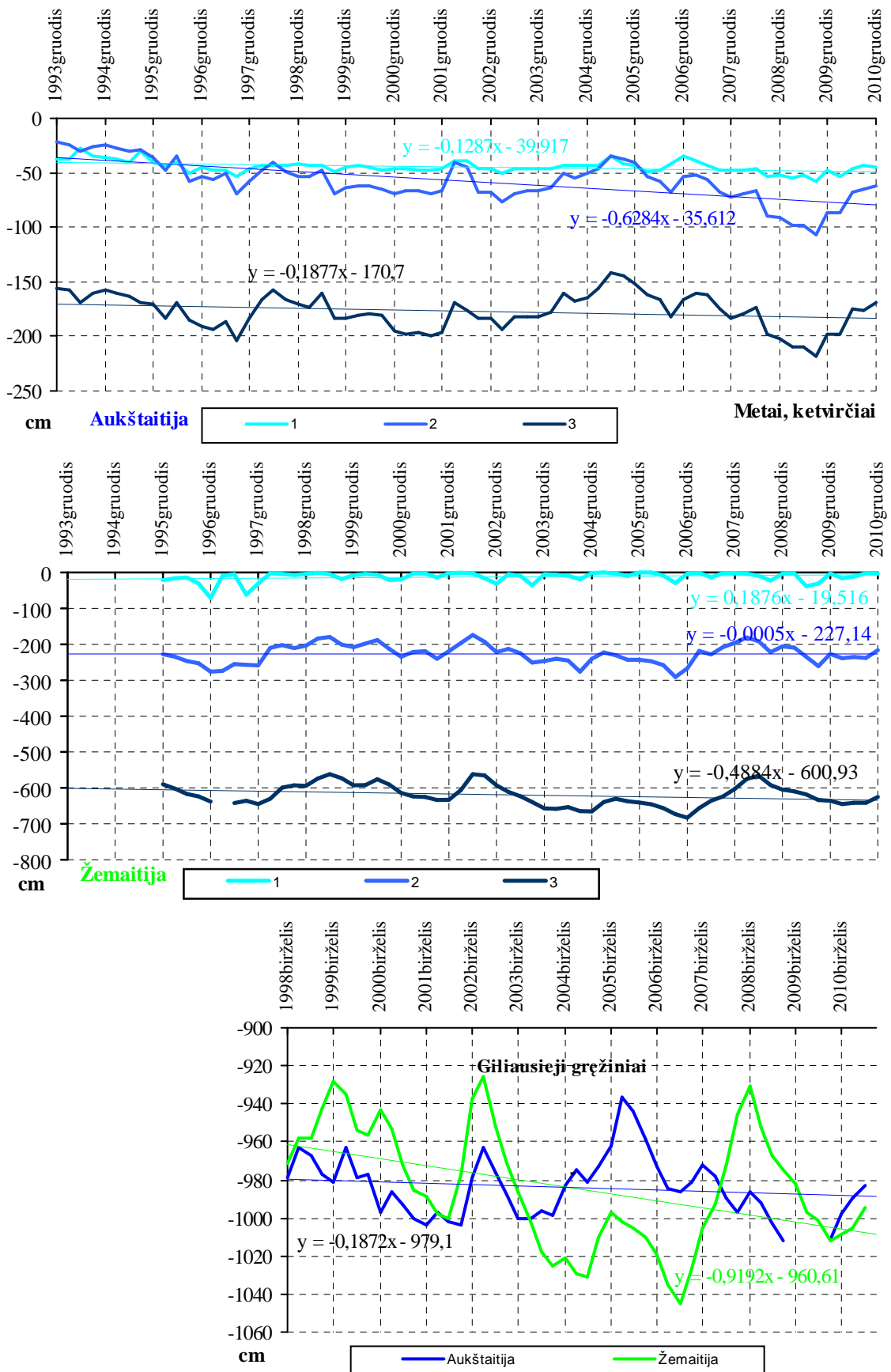
Aukštaitijos KMS situacija sudėtingesnė. Pagal dirvožemio vandens srauto tūrį palankiausi išplovimui buvo 2000 ir 2005 m., o pagal intensyvumą – 1998, 2000, 2004 ir 2010 m. Įšalo rodiklis rodo, kad palankiausios sąlygos išplovimui buvo 2004 ir 2008 m. (1 lentelė).

Kiekvienas veiksnys turi skirtingą svorį, kiekvienos medžiagos atžvilgiu. Išsamiau išplovimo veiksnių poveikis analizuojamas skyriuose apie medžiagų koncentracijas ir balansą dirvožemyje.

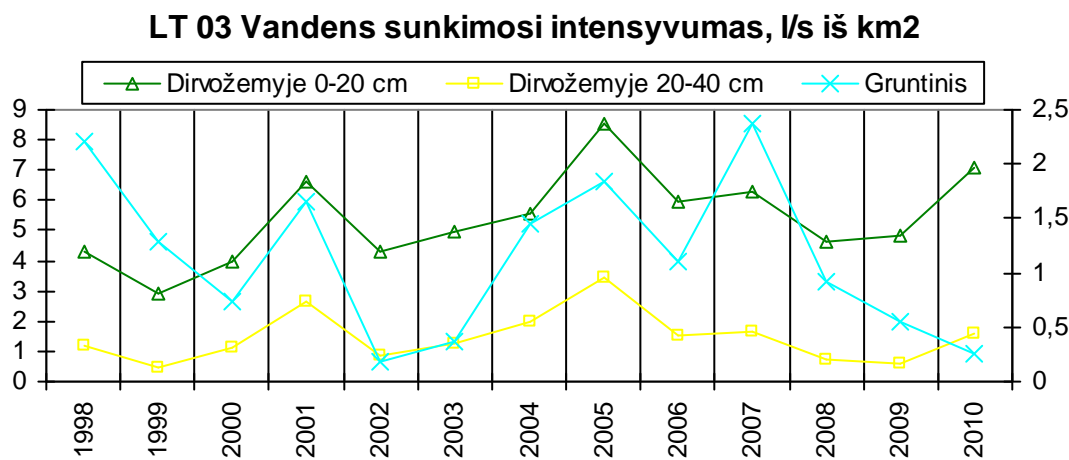
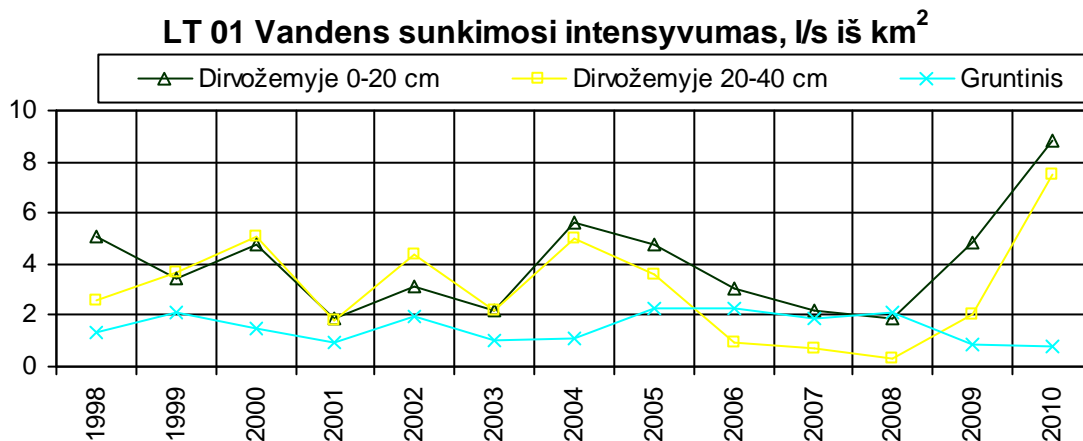
2.2.2. Gruntinis vanduo

2010 metais Aukštaitijoje iškrito ekstremaliai daug kritulių ir gruntinio vandens lygis visuose grėžiniuose ėmė kilti, nors dar nepasiekė vidutinio stebėjimo laikotarpio lygio (1.13 pav.).

Žemaitijoje 2010 metais kritulių kiekis viršijo ir klimatinę normą ir 1986–1990 metų lygį, 1998 ir 2001 metais, bet ne didesnis nei 2007 metų, grėžinių vandens lygis 1 ir 2 grėžiniuose pakilo iki vidutinio (1.14 pav.).

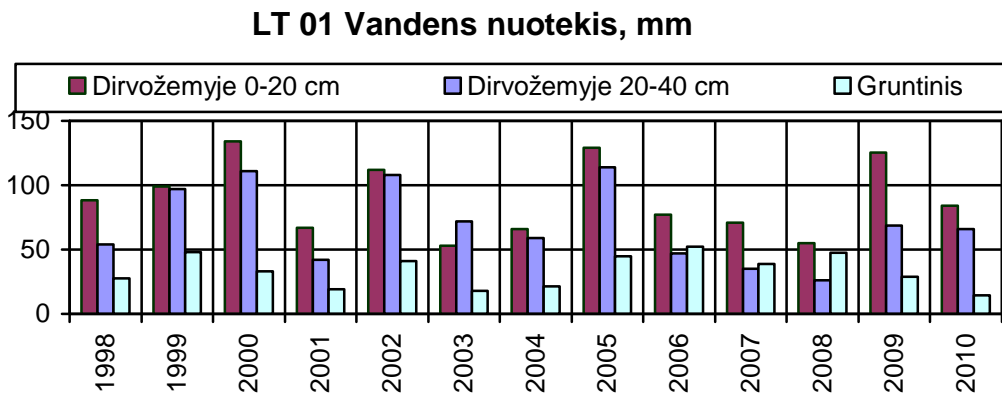


1.13 pav. Vidutinis gruntinio vandens lygis gręžiniuose Nr. 1, 2, 3 ir 4. Trūkis Aukštaitijos kreivėje – išdžiūvęs gręžinys.



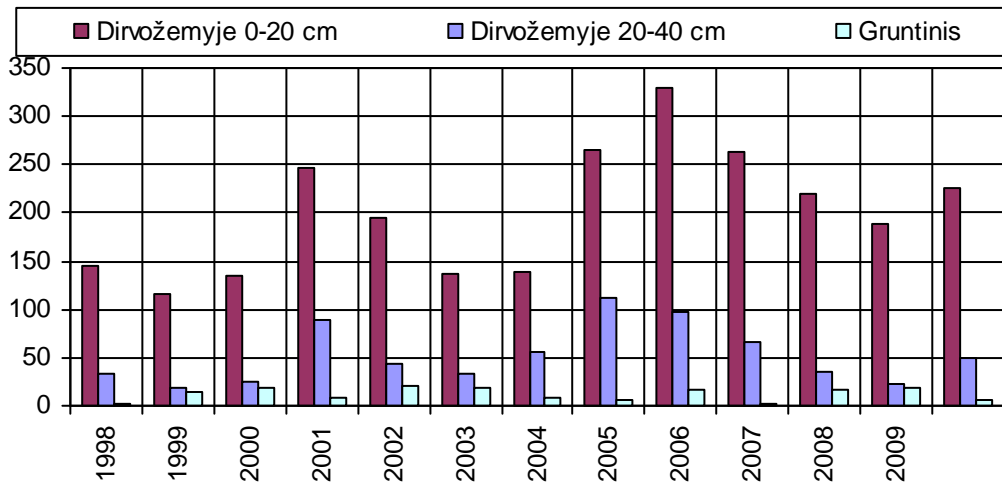
1.14 pav. Gruntinio vandens nuotėkio intensyvumas.

Aukštaitijos KMS gruntinio vandens sunkimosi intensyvumas ir nuotėkis 2010 metais buvo mažiausias per visą stebėjimų laikotarpį. Tai susiję su nukritusio gruntinio vandens lygio atsikūrimo procesu (1.15-1.16 pav., 3 lentelė).



1.15 pav. Gruntinio vandens nuotėkis Aukštaitijos KMS.

LT 03 Vandens nuotekis, mm



1.16 pav. Gruntinio vandens nuotėkis Žemaitijos KMS.

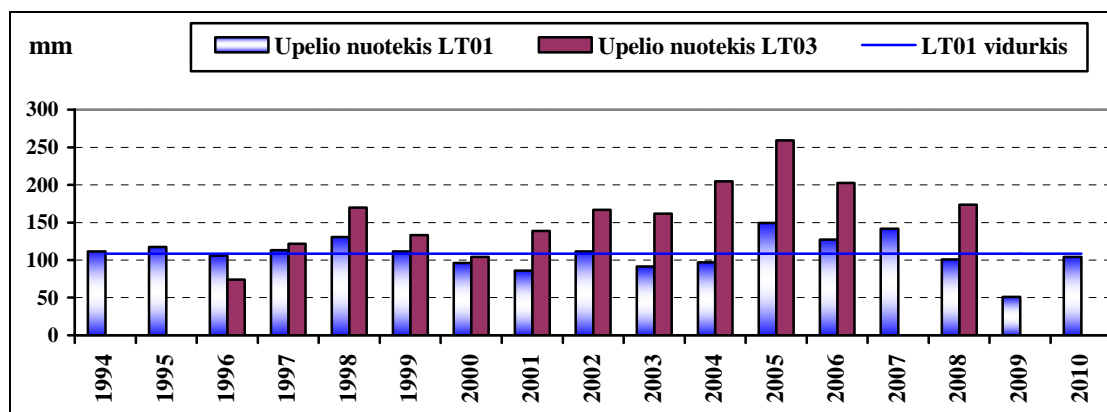
Ranguojant gruntinio vandens nuotėkio srautų ir jų intensyvumo charakteristikomis sudaryta 3 lentelė, kuria naudojantis pagrindžiamos medžiagų koncentracijos ir srautų gruntiniame vandenyje kitimo fizinės priežastys, sąsajos su vandens srauto tūriu ir sunkimosi intensyvumu (2.3.2 ir 2.4 skyriai).

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

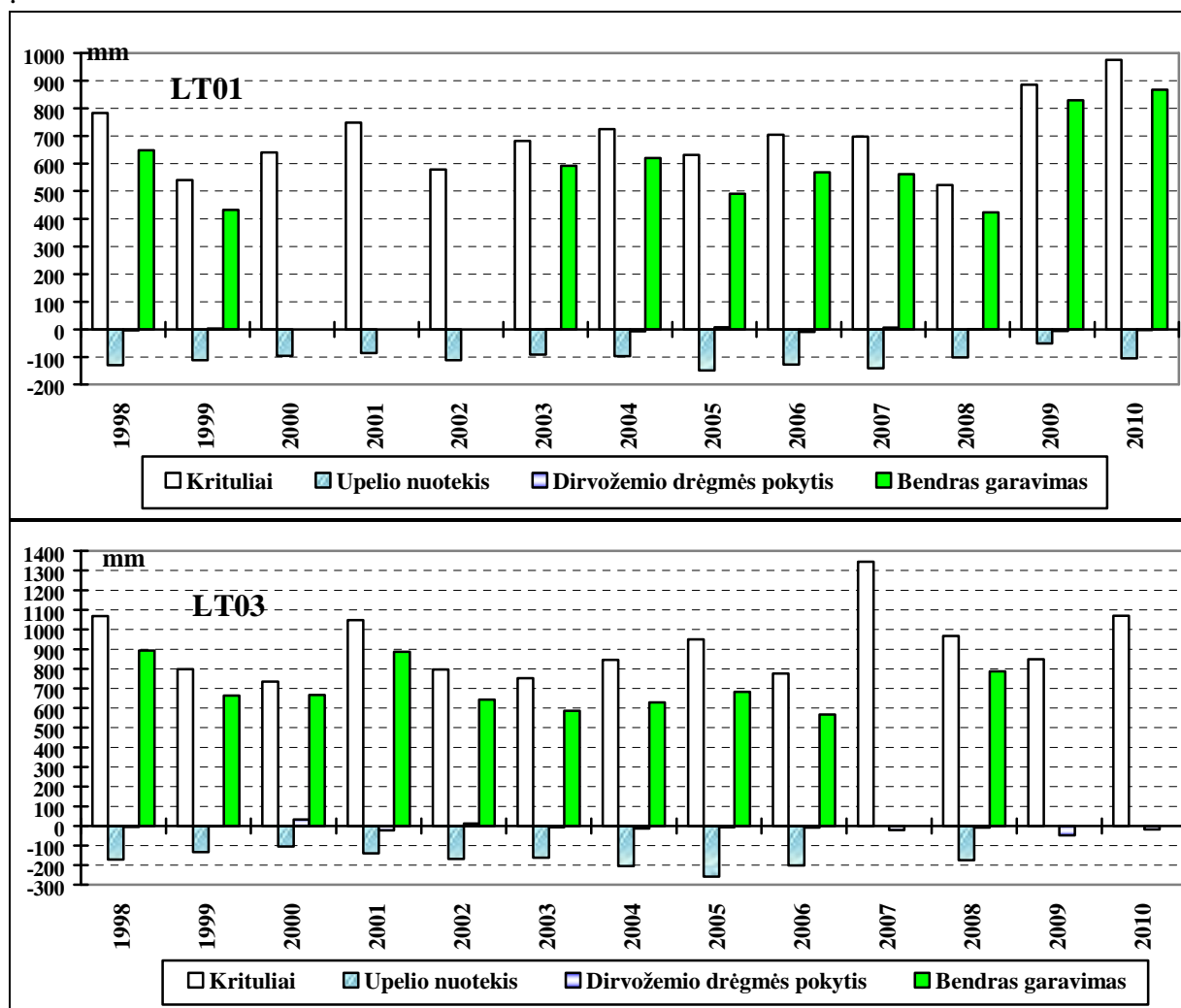
Metai	Srautas (nuotėkis)		Nuotėkio intensyvumas (vidutinis debitas)	
	LT01	LT03	LT01	LT03
1998	9	12	8	2
1999	2	7	4	6
2000	7	4	7	9
2001	11	9	11	4
2002	5	1	5	13
2003	12	2	10	11
2004	10	8	9	5
2005	4	10	2	3
2006	1	6	1	7
2007	6	13	6	1
2008	3	5	3	8
2009	8	3	12	10
2010	13	11	13	12

2.2.3 Upelio vandens ir kitos vandens balanso sudedamosios

2010 m. upelio nuotėkis Aukštaitijos IMS buvo artimas stebėjimų laikotarpio vidurkiui (1.17 pav.). Upelio nuotėkis nesusijęs su metų kritulių kiekiu, nes Aukštaitijoje iškrito daugiau kritulių už klimatinę normą.



1.17 pav. Upelių nuotėkio modulis. Žemaitijos stotyje nuotėkis nebuvo išmatuotas, nes sulūžo įranga.



1.18 pav. Vandens balanso sudedamųjų dinamika.

Naudojant duomenis apie upelio nuotėkį, dirvožemio drėgmės pokyčius (0-40 cm gylyje) ir kritulius pagal elementarią vandens balanso lygtį (Ruseckas, 2008) apskaičiuotas bendras garavimas (1.18 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 vandenių, o vandens atsargų pokytis nuo 40 cm gylio iki gruntinio vandens lygio yra lygus nuliui, vandens atsargos ne vegetacijos laikotarpiu kinta tolygiai. Pagal šį, skaičiavimą, bendro garavimo reikšmė sudaro vidutiniškai LT01 84%, o LT03 – 80%, skaičiuojant nuo viso kritulių kiekio.

Aukštaitijos KMS 2010 metais bendras garavimas buvo didžiausias per visą stebėjimų laikotarpį. Neturėdami upelio nuotėkio duomenų, negalime apskaičiuoti bendro garavimo Žemaitijos KMS. 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 lentelė. Medžiagų išplovimo veiksnių upelio vandeniui vertinimas (rangavimas).

Metai	Nuotėkis		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	12	10	11	5
2000	14	11	14	11	7	4	8	12
2001	16	8	16	8	5	3	8	1
2002	8	6	8	6	8	6	7	10
2003	15	7	15	7	11	5	5	4
2004	13	2	13	2	9	7	6	5
2005	1	1	1	1	6	12	3	8
2006	4	3	2	3	10	2	4	2
2007	2	N. d.	5	N. d.	3	1	10	9
2008	12	4	12	4	2	8	11	11
2009	17	N. d.	17	N. d.	1	9	1	7
2010	11	N. d.	11	N. d.	4	11	2	3

Upelių vandens fizikiniai duomenys suranguoti ir naudoti medžiagų koncentracijų ir išplovimo dinamikos interpretacijai. Pavyzdžiui, palankiausi medžiagų išplovimui pagal nuotekį 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 m. (4 lentelė). 2010 m. Aukštaitijos KMS susidarė sąlygos, palankesnės tirpių druskų išplovimui, negu 2009 m.

IŠVADOS

1. 2010 m. Aukštaitijoje iškrito daugiausiai kritulių per visą stebėjimų laikotarpį, Žemaitijos stotyje kritulių kiekis nebuvo didžiausias, bet taip pat, kaip ir Aukštaitijoje viršijo klimatinius vidurkius, pirmą kartą po 2001 metų abiejose stotyse kritulių vidurkiai viršyti sinchroniškai. 1994–2008 metais monitoringo stotyse, palyginti su 1985–1990 metų laikotarpiu, buvo sausesnis, vidutinis kritulių kiekis artimas klimatinei normai (1961–1990). Tikėtina, kad prasideda šlapmetis, panašus į 1985–1990 metų.
2. Vandens atsargos dirvožemyje Aukštaitijoje pasiekė aukščiausią, 2003 metų lygį, o Žemaitijoje didėjo (nuo 1999 m.). 2010 m. dirvožemio srauto tūris Aukštaitijoje buvo vidutinis, o intensyvumas – didžiausias dėl ypatingai stipraus pavasario polaidžio. Žemaitijoje dirvožemio vandens srautas ir sunkimosi intensyvumas buvo vidutiniai, tik viršutiniuose dirvožemio horizontuose (0-20 cm) trečias tarp didžiausių.
3. 2010 m. gruntinio vandens debitas buvo mažas. Gruntinis vanduo visuose grežiniuose kilo, kompensuodamas sausmečio metu nukritusį gruntinio vandens lygį. Gruntinio vandens dinaminės atsargos stebėjimo laikotarpiu Aukštaitijoje yra stabilios, o Žemaitijoje – linkusios didėti.
4. Sąlygos medžiagų išplovimui upeliu Aukštaitijos KMS 2010 m. buvo vidutiniškai palankios. Žemaitijos KMS 2010 m. šiluminės sąlygos medžiagų išnešimui buvo nepalankios, hidrodinaminių sąlygų negalime vertinti dėl sugedusio limnigrafo.
5. 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 2009-2010 m. vėl išaugo, ir viršijo 2004-2007 m. lygį. Tirpių medžiagų koncentracijos buvo mažiausios per stebėjimo laikotarpį. Per stebėjimo laikotarpį Aukštaitijos stotyje daugumos medžiagų koncentracijos turi tendenciją augti (išskyrus

sulfatus, K, Cl ir Si), o Žemaitijos – yra stabilios arba mažėja (išskyrus visuminio azoto koncentraciją, kuri didėja)

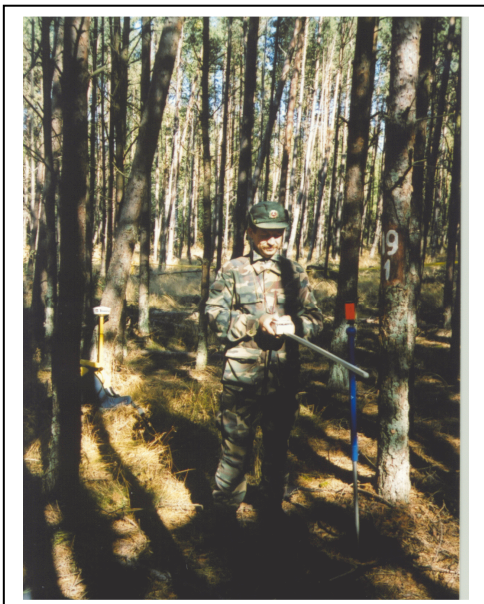
6. 2004–2010 m. gruntinio vandens elektrinis laidumas, pH ir šarmingumas stabilus. Gruntiniame vandenyje mažėja tirpių medžiagų, ypač Ca, Mg, sulfatų koncentracijos. Pastaruosius 2 metus augalų mitybos makroelementų N ir P migracija į gruntinius vandenį padidėjo, tikėtina, dėl išaugusio bendro garavimo ir šiluminių ekstremumų dirvožemyje.
7. Upelių vandens rūgštingumas 2010 metais buvo mažas, šarmingumas, specifinis laidumas ir daugumos tirpių medžiagų koncentracijos išliko panašios į praėjusių metų lygį arba sumažėjo. Ypač sumažėjo sulfatų koncentracija. Šiluminiai veiksniai (aukšta temperatūra ir maža svyravimo amplitudė) lėmė ištirpusios organinės anglies ir biogeninių elementų koncentracijų padidėjimą upelio vandenyje.
8. 2010 metais fizinės sąlygos medžiagų išplovimui iš dirvožemio buvo palankesnės Aukštaitijos stotyje, o iš gruntinio vandens zonos – Žemaitijos. Pačios palankiausios sąlygos išplovimui per stebėjimo laikotarpį buvo LT01 2004–2005 m., o Žemaitijoje 2005–2006 m.

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 danga 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 sukianti augalų fotosintezę. Tačiau dažniausiai tiriant FAS po augalijos danga 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 danga 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 reiktų 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 išdėstyto 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

2010 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. Gauti rezultatai pateikti 6.1 lentelėje, o jų kaita per 8-rių metų laikotarpį 5.3 lentelėje. Tyrimų rezultatai rodo, kad paskutiniaisiais metais Fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės intensyvumas turi tendencija didėti. Mažiausia šio parametro reikšmė buvo registruojama 2006 m. Atvirkščiai proporcingai šiems parametrams kito lapijos indeksas, kurio didžiausia reikšmė buvo nustatyta būtent 2006 m., o po šių metų medžių lajų lapijos indeksas mažėja. Išaiškinta FAR spinduliuotės ir LAI indekso kaita pakankamai gerai sutampa su medžių lajų vidutinės defoliacijos kaita. Vidutinės defoliacijos reikšmė mažiausia buvo 2004 m., o nuo šių metų iki 2010 m. turėjo tendenciją didėti.

Gauti rezultatai pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. FAR pagrindinių komponentų reikšmės Aukštaitijos KMS 2010m.

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	118	273	61	74,7	8,4	4,5	0,118	0,668	3,327
A_02	395	997	184	276,2	2,7	5,4	0,376	0,660	1,541
A_03	73	165	25	49,8	10,0	6,6	0,100	0,658	3,633
A_04	192	357	132	84,8	5,8	2,7	0,173	0,674	2,716
A_05	178	275	61	77,1	6,3	4,5	0,158	0,674	2,851
A_06	314	879	85	283,3	3,8	10,3	0,261	0,640	2,173
A_07	36	62	22	16,2	2,2	2,8	0,446	0,662	1,268
A_08	113	204	67	50,7	6,5	3,0	0,155	0,630	3,064
A_09	45	79	25	19,5	16,3	3,2	0,061	0,632	4,569
A_10	69	105	33	32,2	2,9	3,2	0,344	0,669	1,664
A_11	105	177	64	46,2	12,4	2,8	0,081	0,674	3,888
A_12	65	87	34	16,2	2,5	2,6	0,406	0,638	1,461
A_13	107	135	55	26,6	1,6	2,5	0,630	0,640	0,747
A_14	82	105	63	18,5	3,7	1,7	0,274	0,624	2,142
A_15	162	507	45	171,3	7,4	11,3	0,135	0,636	3,257
A_16	89	167	23	53,4	2,2	7,3	0,445	0,665	1,267
A_17	72	145	37	35,9	9,4	3,9	0,106	0,598	3,858
A_18	19	33	11	7,2	3,2	3,0	0,317	0,595	1,985
A_19	8	13	3	3,9	5,2	4,3	0,193	0,563	2,981
A_21	55	94	35	22,2	2,2	2,7	0,462	0,627	1,272
A_22	50	73	25	18,6	20,2	2,9	0,050	0,659	4,742
A_23	99	135	81	20,6	7,1	1,7	0,141	0,605	3,332
A_24	24	35	13	6,7	4,1	2,7	0,243	0,591	2,456
A_25	39	63	22	12,9	2,5	2,9	0,394	0,588	1,622
A_26	45	73	3	23,6	3,8	24,3	0,266	0,585	2,322
A_27	67	84	53	11,2	3,7	1,6	0,267	0,632	2,158
A_28	139	265	79	74,2	8,7	3,4	0,116	0,661	3,394
A_29	54	77	27	16,3	8,9	2,9	0,113	0,563	3,956
A_30	117	361	25	111,4	6,8	14,4	0,146	0,624	3,181
A_31	61	131	13	37,6	16,4	10,1	0,061	0,663	4,390
A_32	178	543	23	199,0	5,6	23,6	0,178	0,664	2,708
A_33	358	531	113	155,0	2,5	4,7	0,398	0,657	1,458
A_34									
A_35									
A_36	98	215	23	68,0	8,9	9,3	0,112	0,628	3,601
A_37	143	379	47	140,5	3,5	8,1	0,285	0,582	2,207
A_38									
A_39	36	61	15	16,9	19,7	4,1	0,051	0,674	4,607
A_40	228	453	64	166,3	4,2	7,1	0,240	0,666	2,228
A_41	26	69	11	19,8	35,6	6,3	0,028	0,641	5,771
A_42	35	49	19	10,7	21,5	2,6	0,046	0,630	5,039
A_43	103	359	17	116,7	6,8	21,1	0,148	0,627	3,153
A_44	102	275	39	83,9	8,3	7,1	0,120	0,598	3,640
A_45	79	233	23	71,3	9,2	10,1	0,109	0,595	3,824
A_46	60	113	15	30,5	3,4	7,5	0,298	0,674	1,873
A_47									
A_48	61	134	23	48,0	4,9	5,8	0,202	0,595	2,758
A_49	71	209	34	63,7	7,1	6,1	0,141	0,598	3,366
A_50	18	27	7	7,3	8,5	3,9	0,117	0,586	3,753
Vidut.	102	218	42	64,4	7,7	6,3	0,21	0,63	2,92

1.3.2. Žemaitijos KMS teritorija

Žemaitijos KMS fotosintetiškai aktyvios saulės spinduliuotės matavimai atlikti 28 tyrimo ploteliuose. Likusiuose 7-se ploteliuose, dėl suardytos medyno struktūros vykdyti šiuo laikotarpiu FAS matavimus netikslinga. FAS praleidimo po lajomis koeficientas bei lapijos paviršiaus indeksas (LAI) pateikti 5.2 lentelėje, o jų kaita 6 lentelėje.

6 lentelė. FAR pagrindinių komponentų reikšmės Žemaitijos KMS 2010m.

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	140,7	235	92	55,9	2,3	2,6	0,44	0,659	1,28
Ž_03	28,0	53	15	12,2	11,0	3,5	0,09	0,667	3,75
Ž_04	10,6	19	3	5,8	3,5	6,3	0,29	0,636	2,04
Ž_05	18,4	27	13	5,3	2,7	2,1	0,37	0,530	1,91
Ž_06	51,9	73	23	17,9	1,9	3,2	0,52	0,549	1,22
Ž_07									
Ž_08	16,1	27	8	7,1	5,9	3,4	0,17	0,502	3,56
Ž_09	10,7	24	3	8,4	5,8	8,0	0,17	0,629	2,89
Ž_10									
Ž_11									
Ž_12	10,3	19	3	7,1	2,4	6,3	0,41	0,528	1,71
Ž_13	53,1	67	43	9,3	3,4	1,6	0,30	0,551	2,25
Ž_14	103,6	163	65	36,8	4,2	2,5	0,24	0,634	2,34
Ž_15	29,9	49	15	12,0	3,2	3,3	0,31	0,505	2,31
Ž_16	2,1	3	1	1,1	28,0	3,0	0,04	0,528	6,40
Ž_17	150,6	563	41	186,9	4,0	13,7	0,25	0,665	2,16
Ž_18	88,0	124	47	30,7	2,3	2,6	0,44	0,598	1,41
Ž_19	71,0	97	49	18,5	2,8	2,0	0,36	0,602	1,77
Ž_20	44,3	121	23	34,6	9,6	5,3	0,10	0,583	3,97
Ž_21									
Ž_22									
Ž_23	11,6	25	2	7,3	2,4	12,5	0,41	0,542	1,66
Ž_24	11,7	17	3	6,2	128,0	5,7	0,01	0,644	7,81
Ž_25	558,3	1500	63	546,0	2,7	23,8	0,37	0,634	1,61
Ž_26	126,7	233	55	71,5	1,6	4,2	0,63	0,631	2,75
Ž_27	260,0	725	45	238,7	3,2	16,1	0,32	0,588	2,01
Ž_28	85,1	117	64	17,7	12,5	1,8	0,08	0,600	4,32
Ž_29									
Ž_30	30,1	68	5	20,6	2,3	13,6	0,44	0,549	1,51
Ž_31	108,7	167	39	48,6	1,7	4,3	0,57	0,590	0,97
Ž_32									
Ž_34	202,3	539	44	158,9	2,7	12,3	0,37	0,625	1,65
Ž_35	53,9	75	23	18,4	1,5	3,3	0,65	0,627	0,71
Ž_36	20,0	35	5	9,4	4,7	7,0	0,22	0,631	2,52
Ž_37	113,9	175	71	44,2	1,8	2,5	0,57	0,655	0,89
Vidut.	86,1	191	31	58,5	9,2	6,3	0,33	0,596	2,41

Ankstesnių tyrimų rezultatai parodė, kad tarp lapijos paviršiaus ploto indekso ir medyno produktyvumo bei būklės parametru ryšys daugelyje atveju yra patikimas, tačiau nežymiai silpnesnis už ryšį tarp originalių FAS išmatuotų reikšmių ir tokių medyno parametru, 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 danga mažėjant, medžių bei lapijos biomasė kartu su medyno lajų glaudumu bei medžių skerspločių suma didėja.

2008 m. Žemaitijos KMS baseine, skirtingai nei ankstesniais metais, vėl didėjo medžių glaudumas bei LAI, kas rodo apie bendros lapijos masės padidėjimą. Žemaitijos KMS baseine tirti rodikliai didėjo 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.

7 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	9,0	9,4	0,21	2,98
2010	LT-01	102	218	42	64	7,7	6,3	0,21	2,92
2002	LT-03	169	346	58	108	11,3	9,3	0,17	2,49
2004	LT-03	76	125	44	29	4,4	4,8	0,29	1,58
2005	LT-03	122	291	45	91,0	8,3	11,3	0,25	2,89
2006	LT-03	95	150	54	34,5	5,5	3,4	0,27	2,62
2007	LT-03	106	205	51	56,1	6,7	4,4	0,25	2,19
2008	LT-03	143	393	27	140,1	21,6	17,1	0,13	4,45
2009	LT-03	83	216	27	67,4	14,4	11,8	0,18	3,82
2010	LT-03	86	191	31	58,5	9,2	6,3	0,33	2,51

2010 m. Žemaitijos KMS būklė pablogėjo kas ir atsispindėjo FAR matavimo duomenyse.

IŠVADA

2010 m. Žemaitijos KMS baseinuose augančių medžių lapijos indeksas, nustatytas pagal sugertos FAR spinduliuotės kiekį toliau mažėjo. Didžiausią įtaką šiam procesui turėjo dėl žievėgraužio tipografo žalos praėjusiais metais išdžiūvę medžiai ir pakankamai gausios vėjavartos ir snieglaužos. Aukštaitijos KMS FAR ir LAI išliko stabilūs. Išanalizavus šių rodiklių kaitos ypatumus, būtų galima teigti, kad FAR matavimai pakankamai gerai 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 (8 lentelė) bei ilgalaikiai tikslai (9 lentelė). Ilgalaikiai tikslai turi būti keičiami, atskaitos tašku imant 2020 m. bei atsižvelgiant į pažangą, padarytą siekiant sumažinti nacionalinius išmetamųjų teršalų kiekius. AOT 40 (išreikštas $(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{valandų}$) yra skirtumo tarp valandinių koncentracijų, didesnių už $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (= 40 dalių vienam milijardui) ir $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ suma per nustatytą laikotarpį, naudojant tik vienos valandos vertes, matuotas nuo 8:00 iki 20:00 val. Vidurio Europos laiku kiekvieną dieną.

8 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

9 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 (10 lentelė).

10 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 km x 150 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 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 km x 150 km plote neturi viršyti absoliučios $20000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ (10 ppm x h) ribos.

Ozono koncentracijos atmosferos pažemio sluoksnyje monitoringas leidžia nustatyti ozono lygio pokyčius per ilgą laikotarpį, ozono kitimo tendenciją bei šaltinius, nustatyti kritinius jo lygius bei įvertinti galimą poveikį 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 nustatyta periodą skaičius. AOT40 vertė augmenijos apsaugai skaičiuota iš ozono koncentracijos duomenų per gegužę-liepą, o miškų apsaugai per balandį-rugsėį.

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

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

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

Ozono koncentracijos duomenų analizei naudojama papildoma informacija pateikta Rhenish Institute for Environmental Research at the University of Cologne, European Environment Information and Observation Network, EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) 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. 11 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.

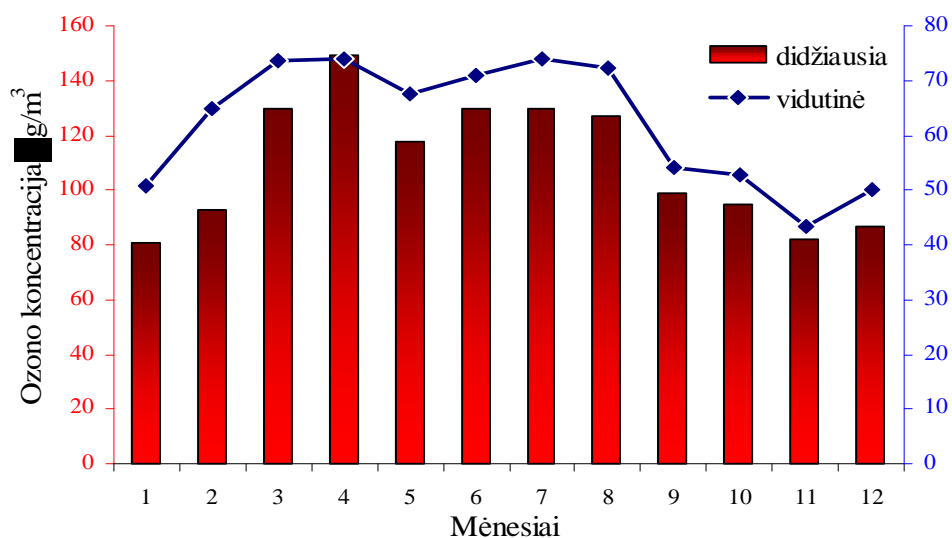
Vidutinių ir didžiausių ozono koncentracijų sezoninė eiga 2010 metais monitoringo stotyje pateikta 2 paveiksle. Vidutinės ozono koncentracijos sezoninė eiga stotyje pasižymi plačiu piku pavasario-vasaros mėnesiais su nedideliu sumažėjimu gegužės mėnesį. Didžiausios ozono valandinės koncentracijos užregistruotos balandžio mėnesį, o vasaros laikotarpiu birželio - rugpjūčio mėnesiais didžiausios valandinės koncentracijos buvo labai panašios, t.y. 127 - 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ reikšmių intervale.

Didžiausia ozono koncentracija (149,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 2010 metais Preilos stotyje buvo išmatuota balandžio 30 dieną. Pagal EURAD modelio prognozę tą dieną ozono koncentracija turėjo būti panašiam lygyje. Apskritai, ozono koncentracijų prognozė tuo

metu rodė didelėje Europos dalyje padidintą ozono lygį, o Lietuvoje tik prie jūros pietinėje dalyje, kur yra Preilos monitoringo stotis.

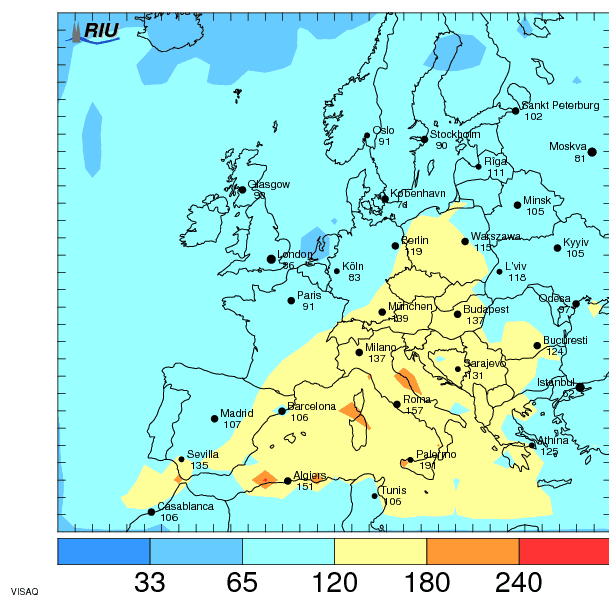
11 lentelė. Ozono koncentracijos patikimų duomenų kiekis (valandų skaičius ir procentai) Preilos stotyje 2010 metais

Mėnuo	Val. sk.	%
Sausis	744	100
Vasaris	672	100
Kovas	739	99,3
Balandis	720	100
Gegužė	739	99,3
Birželis	720	100
Liepa	719	96,6
Rugpjūtis	737	99,1
Rugsėjis	660	91,7
Spalis	694	93,3
Lapkritis	691	96,0
Gruodis	744	100



1.20 pav. Vidutinių ir didžiausių mėnesio ozono koncentracijų sezoninės eigos

Preilos stotyje 2010 metais

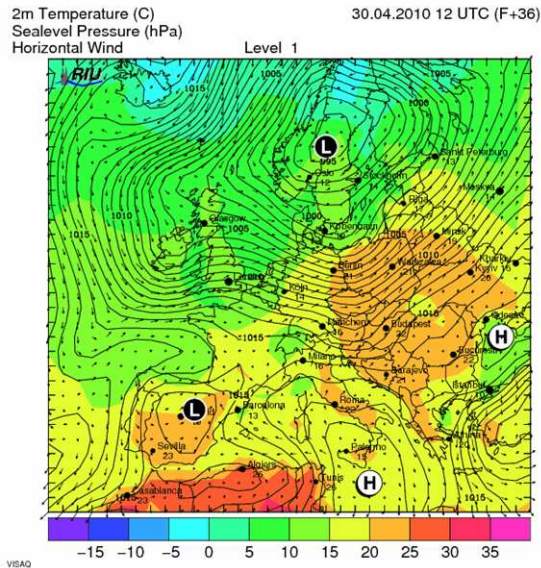


1.20 pav. Ozono koncentracijų virš $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pasiskirstymas Europoje 2009 metų balandžio - rugsėjo mėnesiais.

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

Tai lėmė meteorologinės sąlygos ir sinoptinė situacija. Tuo metu Lietuvoje buvo aukšta oro temperatūra (30 balandžio pasiekė $+24,4^\circ\text{C}$, o naktį buvo apie $+10^\circ\text{C}$), t.y., išmatuota buvo labai artima pateikiamai oro temperatūros reikšmei pagal EURAD modelį (1.20 pav.).

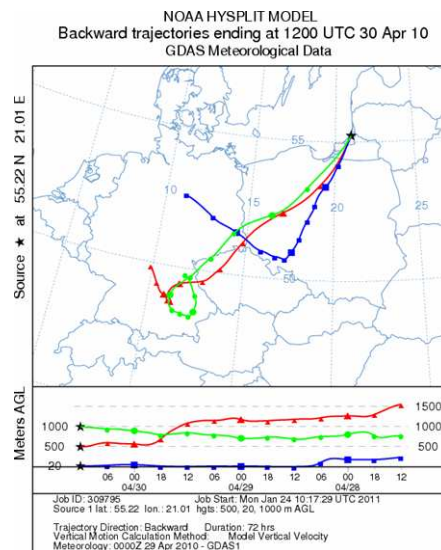
Vėjo greitis siekė apie 6 m/s ir vyravo pietvakarių krypties vėjai. Sinoptinė situacija ir meteorologinės sąlygos buvo palankios ne tik užteršto oro pernašai bet ir vietiniam fotocheminiam ozono susidarymui. Atgalinės oro masių pernašos trajektorijos rodo (1.22 pav.), kad Lietuvą pasiekė oro masės iš pietvakarių, praeidamos užterštus Europos regionus, Lenkiją, kur tuo metu galėjo susidaryti ir nemažos ozono koncentracijos. Reikia pažymėti, kad didelės ozono koncentracijos balandžio mėnesio paskutiniuosius dienomis yra stebimos beveik kiekvienais metais.



1.21 pav. Sinoptinės situacijos ir meteorologinių parametų prognozė

2010 metų balandžio 30 d.

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

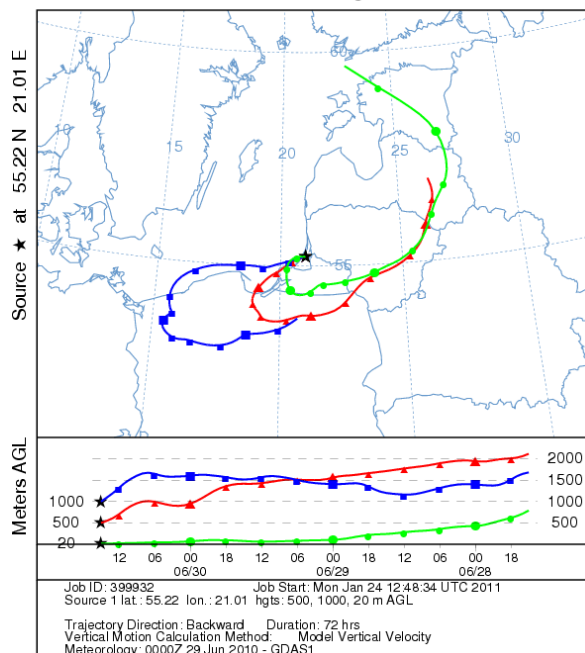


1.22 pav. Oro masių pernašos atgalinės trajektorijos, 2010 metų balandžio 30 d.

Šaltinis: <http://ready.arl.noaa.gov/hysplitout>

Panaši situacija buvo susiklosčiusi ir birželio 30 dieną, tačiau ozono koncentracija buvo pasiekusi tik $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tą dieną Preilos stotį pasiekė oro masės praėjusios Lenkijos šiaurinę teritoriją (1.22 pav.) ir virš Baltijos jūros, kur jau keletas dienų buvo stebimos padidintos ozono koncentracijos. Reikia pažymėti, kad prognozė rodė panašias koncentracijas ir šis lygis apėmė plačią Europos teritoriją (1.23 pav.).

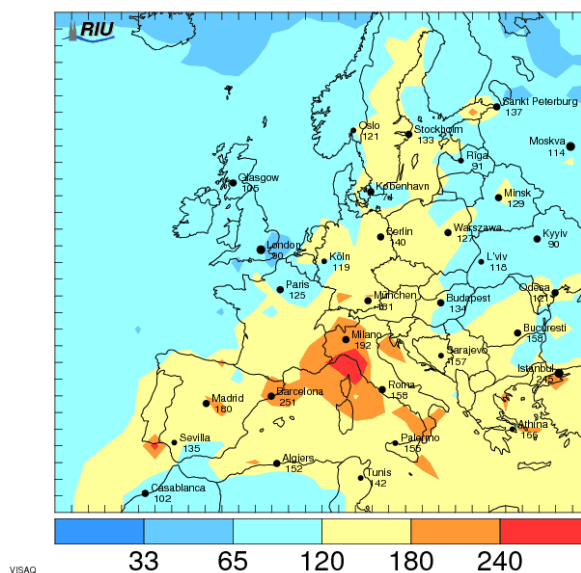
NOAA HYSPLIT MODEL
 Backward trajectories ending at 1500 UTC 30 Jun 10
 GDAS Meteorological Data



1.23 pav. Oro masių pernašos atgalinės trajektorijos, 2010 metų birželio 30 d.

Šaltinis: <http://ready.arl.noaa.gov/hysplitout>

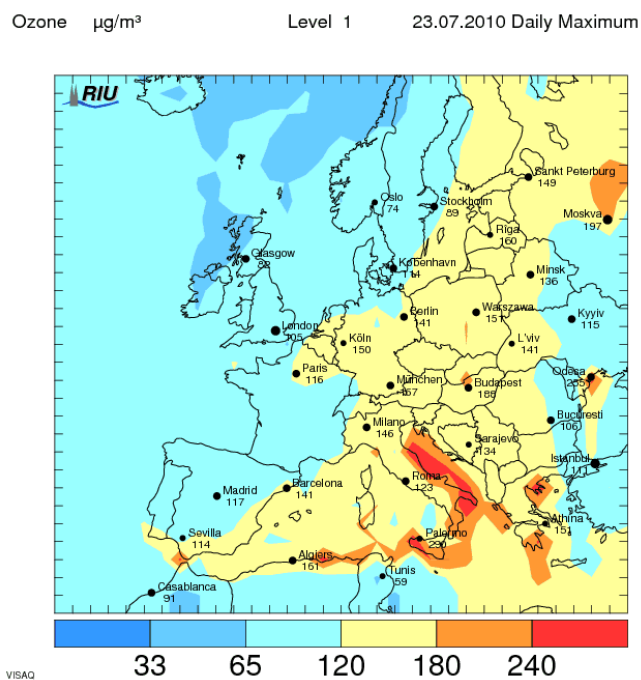
Ozone $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Level 1 30.06.2010 Daily Maximum



1.24 pav. Didžiausių valandinių ozono koncentracijų prognozė 2010 metų birželio 30 d.

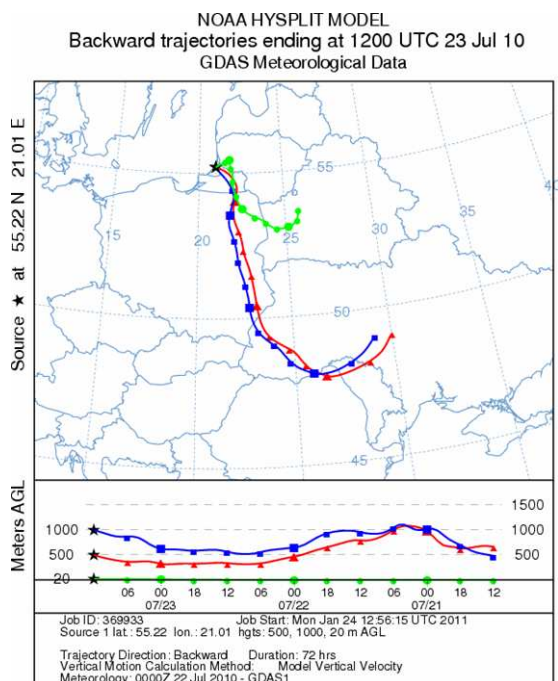
Šaltinis: http://www.eurad.uni-koeln.de/index_e.html

Padidintų ozono koncentracijų epizodas buvo stebėtas ir liepos 23 dieną, tačiau koncentracijos nesiekė žmonėms pavojingo lygio. Šis epizodas apėmė didžiąją Europos dalį. Pasinaudojus oro masių pernašos atgalinių trajektorijų analize, matosi, kad šis padidintas ozono lygis ($130 \mu\text{g}/\text{m}^3$) buvo sąlygotas užteršto oro pernaša per Lenkiją iš pietinių Europos regionų. Taip pat buvo didelė tikimybė vietinio fotocheminio ozono susidarymo, kadangi tas laikotarpis pasižymėjo aukšta oro temperatūra (virš $+25^\circ\text{C}$), mažu vėjo greičiu (vidutinis greitis neviršijo $4\text{m}/\text{s}$). Pagal Lietuvos valstybinio oro monitoringo matavimų duomenis tai buvo epizodas ir su padidintomis kietųjų dalelių KD_{10} ir $\text{KD}_{2,5}$ koncentracijomis [10].



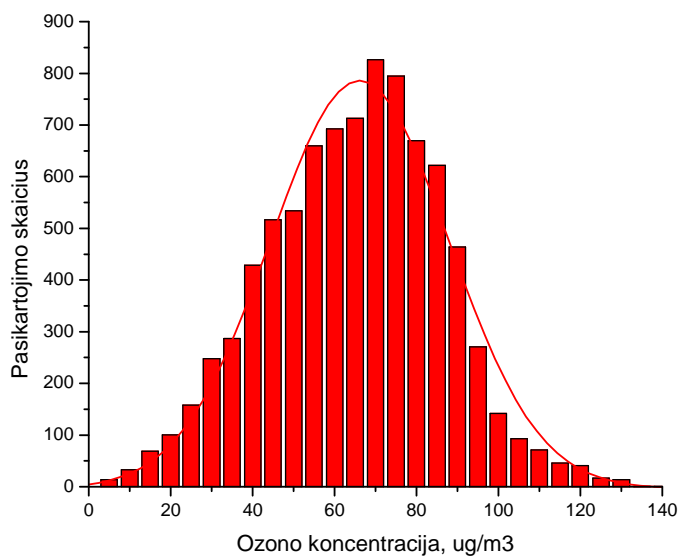
1.25 pav. Didžiausių ozono koncentracijų prognozė 2010 metų liepos 23 d.

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



1.26 pav. Oro masių pernašos atgalinės trajektorijos, 2010 metų liepos 23 d.

Šaltinis: <http://ready.arl.noaa.gov/hysplitout>



1.27 pav. Ozono valandinių koncentracijų dažnio pasiskirstymas Preilos stotyje 2010 metais

Buvo išanalizuotas visų ozono valandinių duomenų dažninis pasiskirstymas stotyje, kuris gali būti aprašytas Gauso pasiskirstymu (1.27 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.

12 ir 13 lentelėse pateikiama ozono koncentracijos statistika Preilos stotyje už 2010 metus. Apskaičiuotos AOT40 vertės augmenijos apsaugai (12 lentelė) stotyje neviršijo 2008/50/EB direktyvos VII priede pateiktos siektinos vertės, t.y., 18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$, tuo pačiu ir 5-ių metų vidurkis neviršijo šio lygio. Ilgalaikis tikslas - 6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ per 2010 metus nebuvo pasiektas (12 lentelė).

Vertinant ozono poveikį žmogaus sveikatai yra naudojami du indikatoriai: pagal 2002/3/EB (2008/50/EB) direktyvą (2 lentelė) bei Pasaulio sveikatos organizacijos siūlomas bei direktyvoje 2001/81/EB priimtas AOT60. Remiantis pažemio ozono koncentracijos duomenimis nustatyta, kad pavojingas poveikis žmogaus sveikatai per 2010 metus nebuvo stebėtas.

13 lentelė

Atskiri ozono slenkstinių verčių viršijimo atvejai:

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

Stotis	Mėnuo ir diena	Didžiausia paros 8 h vidutinė ozono koncentracija, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Preila	Balandžio 30	140
	Liepos 23	121

Pažemio ozono koncentracijos statistiniai parametrai Preilos monitoringo stotyje

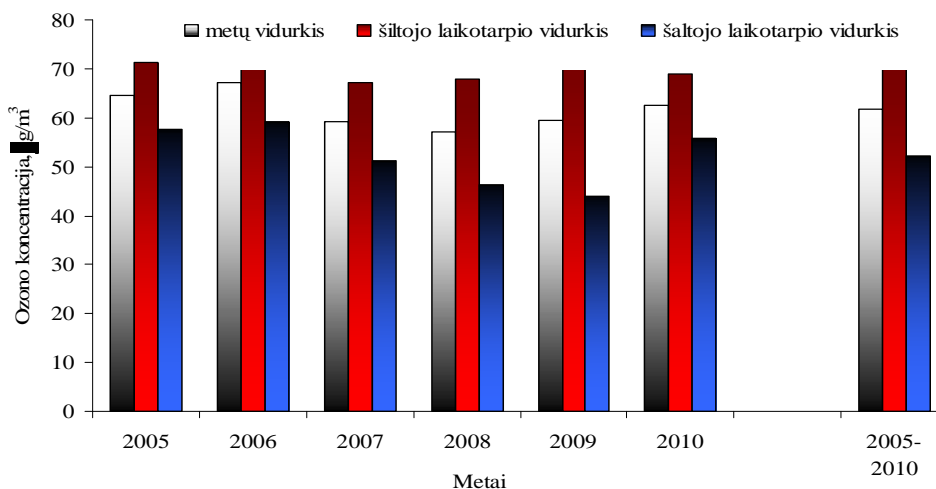
Parametras	<i>Vertė</i>	<i>Vienetai</i>	Laikotarpis	Direktyva	Pastabos
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Metinis vidurkis	62,5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		2002/3/EB 2008/50/EB	
Patikimų duomenų skaičius:					
kalendoriniai metai	8579 (97,9 %)	valandų skaičius	sausis -gruodis	2002/3/EB 2008/50/EB	ne daugiau kaip 8760
vasaros metas	4295 (97,8 %)	valandų skaičius	balandis-rugsėjis	2002/3/EB 2008/50/EB	ne daugiau kaip 4392
žiemos metas	4284 (98,1 %)	valandų skaičius	sausis-kovas ir spalis-gruodis	2002/3/EB 2008/50/EB	ne daugiau kaip 4368
Didžiausia mėnesio reikšmė:					
balandis	149,5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
gegužė	117,8	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
birželis	130,0	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
liepa	129,9	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
rugpjūtis	127,2	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			

rugsėjis	98,6	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
<i>Žmonių sveikatos apsauga</i>					
Maksimalus 8 valandų vidurkis $>120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	3*	dienų skaičius	kalendoriniai metai	2002/3/EB 2008/50/EB	* plačiau 6 lentelėje
Informavimo slenkstinės vertės - valandos vidurkis $>180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - viršijimas	0	valandų skaičius		2002/3/EB 2008/50/EB	
1	2	3	4	5	6
Pavojaus slenkstinės vertės - valandos vidurkis $>240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - viršijimas	0	valandų skaičius		2002/3/EB 2008/50/EB	
AOT60	299	$\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$	sausis-gruodis	2001/81/EB	ne daugiau kaip 5800
<i>AOT40 miškų apsaugai</i>	13126 (13313)	$\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$	balandis-rugsėjis	2002/3/EB 2008/50/EB	Skliaustuose pateiktos reikšmės perskaičiuotos pagal 3 formulę
Patikimų duomenų skaičius	2151	valandų skaičius	balandis-rugsėjis, 8-20 val.		ne daugiau kaip 2196
AOT40 augmenijos apsaugai	7895 (8022)	$\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$	gegužė-liepa	2001/81/EB 2002/3/EB	Skliaustuose pateiktos reikšmės perskaičiuotos pagal 3 formulę
Patikimų duomenų skaičius	1092	valandų skaičius	gegužė-liepa, 8-20 val.		ne daugiau kaip 1104

Gyventojų informavimo slenkstis ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nebuvo viršytas. Siektina žmonių sveikatos apsaugai vertė, t.y., kad didžiausias paros 8 valandų vidurkis $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nebūtų viršijamas daugiau nei 25 paras per kalendorinius metus, imant trejų metų vidurkį, taip pat nebuvo viršytas. Tačiau ilgalaikiai tikslai dar nėra pasiekti, t.y., užregistruoti atvejai, kai paros didžiausias 8 valandų vidurkis viršijo $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Visi atvejai, kai stotyje buvo viršytas šis lygis pateikti 6 lentelėje. AOT60 reikšmės 2010 metais neviršijo leistinos absoliučios $5800 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ ribos, tačiau viršijo žmonių sveikatai nustatytą kritinį lygį $\text{AOT } 60 = 0$.

1.4.2. Ozono koncentracijos pokyčių per 2005-2010 metų laikotarpį apžvalga ir prognozė

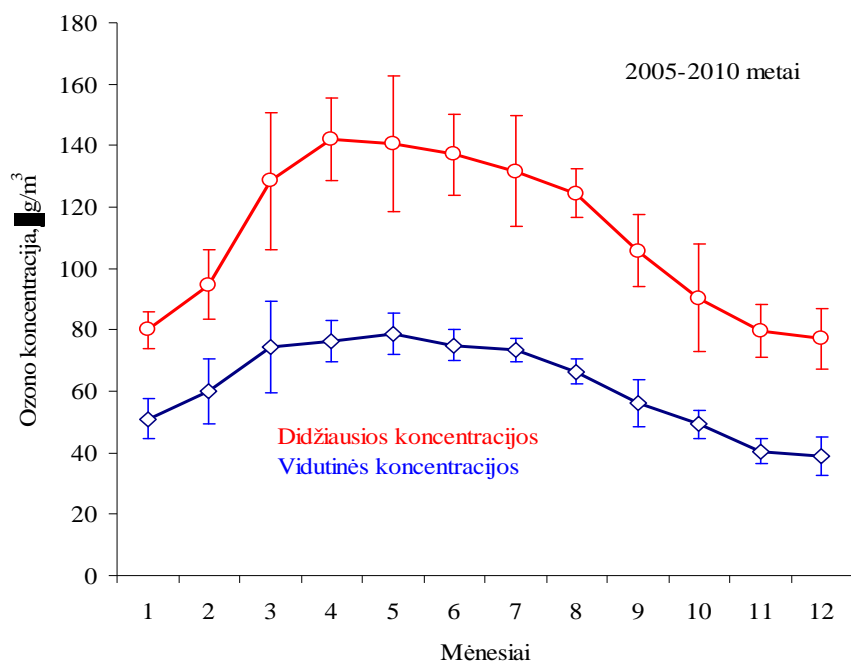
Vidutinė metinė ozono koncentracija per 2005-2010 metų laikotarpį buvo intervale $(61,7 \pm 3,8) \mu\text{g}/\text{m}^3$. Didžiausia koncentracija ($67,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) buvo nustatyta 2006 metais, o mažiausia ($57,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 2008 metais (1.28 pav.).



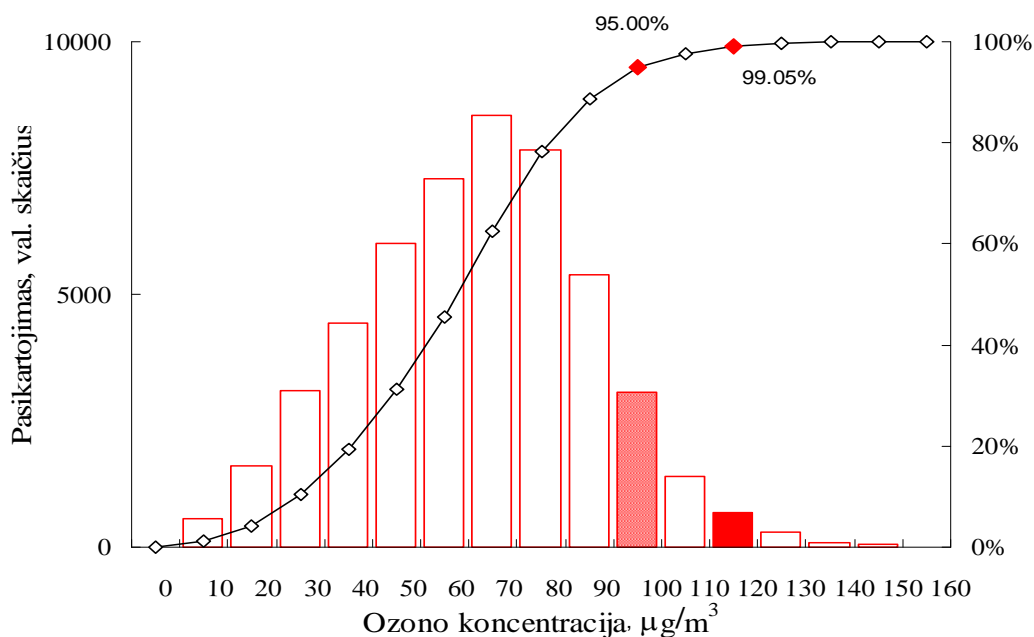
1.28 pav. Ozono koncentracijos vidutinių reikšmių kaita per 2005–2010 m. Preilos stotyje atskirais laikotarpiais: šiltuoju (balandis-rugsėjis), šaltuoju (spalis-kovas) ir kalendoriniais metais

Pagrindinė vidutinės ozono metinės koncentracijos kaitos priežastis yra koncentracijų pokyčiai šaltojo laikotarpio mėnesiais, ypač vasario - kovo mėnesiais (1.29 pav.). Didžiausi

sezoniniai pokyčiai per šį laikotarpį buvo stebimi vasario - kovo ir rugsėjo mėnesiais (13 pav.).



1.29 pav. Vidutinės ozono koncentracijos (\pm standartinis nuokrypis) sezoninė eiga per 2005 – 2010 metų laikotarpį.



1.30 pav. Valandinių ozono koncentracijų pasikartojimo per 2005-2010 metus histograma

Vidutinė šiltojo laikotarpio ozono koncentracija mažai kito, nors didžiausios ozono valandinės koncentracijos per aptariamą laikotarpį buvo išmatuotos skirtingais mėnesiais, tačiau jos neviršijo $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, išskyrus 2006 m. gegužės mėnesį, kai vieną valandą ozono koncentracija pasiekė $181,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ir tokiam lygiui susidaryti galėjo turėti įtakos vietiniai Lietuvos teritorijoje vykę fotocheminiai procesai. Tai buvo laikotarpis, kada degė miškas

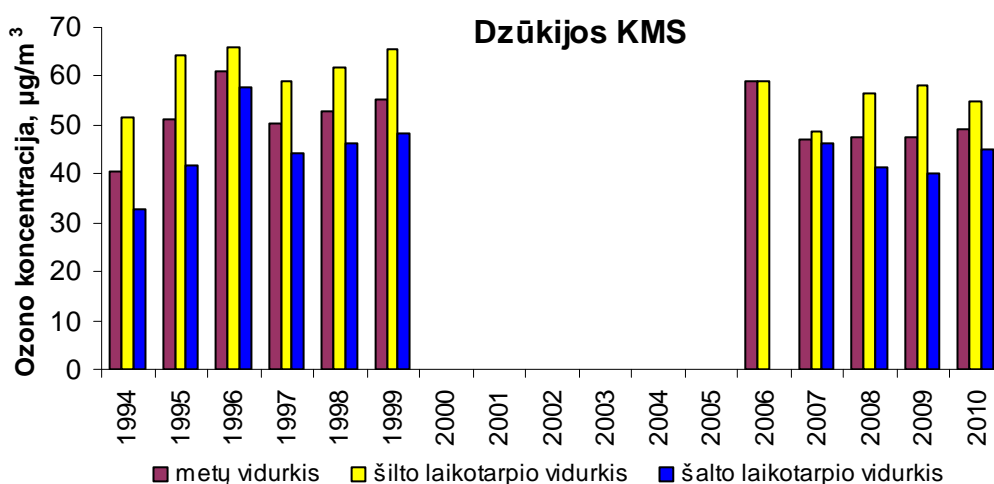
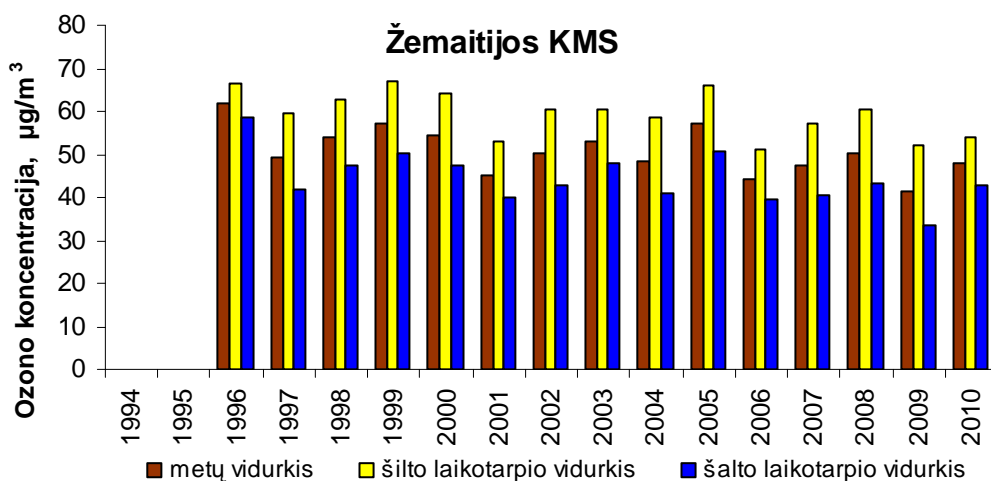
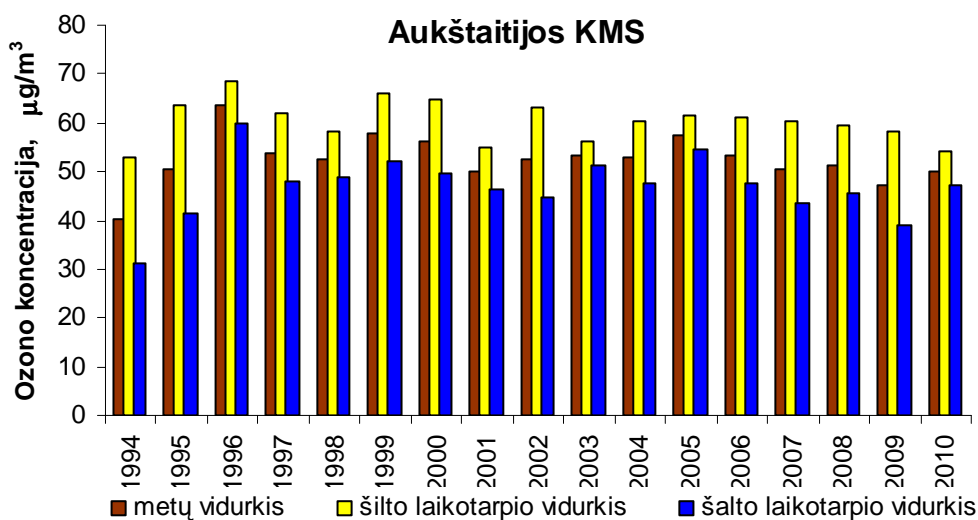
Neringoje. Pikinių ozono koncentracijų susidarymą Preilos stoties aplinkoje lėmė užteršto oro pernašos iš kitų Europos regionų. Didelių ($> 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ozono koncentracijų pasikartojimas per 2005-2010 metų laikotarpį stebėtas mažiau nei 1 % laiko (1.30 pav.).

Apskaičiuotos AOT40 vertės augmenijos apsaugai Preilos stotyje neviršijo 2008/50/EB direktyvos VII priede pateiktos siektinos 5 metų vidutinės vertės, t.y., $18000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$. Penkerių metų vidurkis buvo 14899 ir $13973 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ atitinkamai per 2005-2009 ir 2006-2010 metų laikotarpius. Ilgalaikis tikslas - $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ per 2005-2010 metus nebuvo pasiektas.

Siektina žmonių sveikatos apsaugai vertė, t.y., kad didžiausias paros 8 valandų vidurkis $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nebūtų viršijamas daugiau nei 25 paras per kalendorinius metus, imant trejų metų vidurkį, per 2005-2010 metų laikotarpį nebuvo viršyta. Nors atskirais metais ta reikšmė yra skirtinga, bet paprastai neviršija 10 dienų, tik 2005 ir 2006 metais jos buvo 11 ir 20 dienų, atitinkamai, tačiau 3 metų vidurkis nebuvo viršytas. Tačiau ilgalaikiai tikslai dar nėra pasiekti, t.y., užregistruoti atvejai, kai paros didžiausias 8 valandų vidurkis viršijo $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dažniausiai šie atvejai buvo stebėti, kai užterštos oro masės pasiekdavo Lietuvą iš pietinių-vakarinių Europos regionų. Todėl, vertinant pernašų iš kitų šalių indėlį į bendrą Lietuvos oro baseino užterštumo lygį yra būtina nuolatinai matuoti ozono koncentraciją vakarinėje Lietuvos dalyje esančioje stotyje, neužterštoje vietovėje ir kurioje yra vykdoma plati kitų teršalų monitoringo programa.

Kadangi duomenų analizė rodo, kad didelės ozono koncentracijos dažniausiai yra susijusios su užteršto oro pernaša iš kitų regionų, tai tolimesnis ozono ir su jo koncentracija susijusių kitų parametrų (AOT40, AOT60 ir panašiai) lygiai ir ateityje priklausys pagrindė nuo išmestų į atmosferą ozono pirmtakų kiekio kitose regionuose, nes Lietuvos indėlis į fotocheminį ozono susidarymą yra nedidelis. Pastaruosius penkerius metus ozono koncentracijos lygis vasaros mėnesiais mažai keitėsi ir kitose Europos foninėse stotyse [11], tačiau, kadangi ozono lygis labai priklauso ir nuo meteorologinių sąlygų pokyčių atskirais metais, tai ozono stebėseną foninėse stotyse yra labai svarbi. Šaltojo meto ozono koncentracijos augimas, stebimas ne tik Lietuvoje bet ir visoje Europoje.

1.4.3 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)

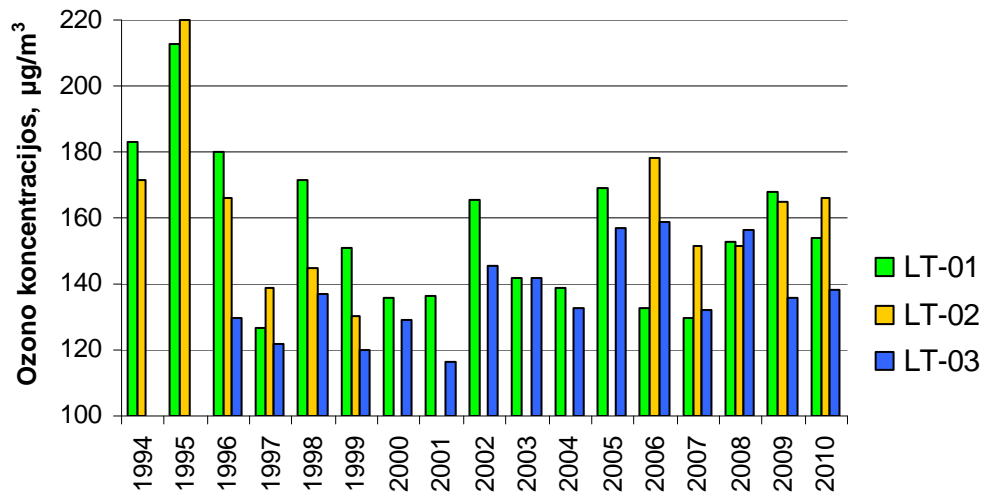
Kompleksiško monitoringo stotyse, Preiloje išaiškintas ozono kaitos trendas nepasitvirtino. Nuo 1996 m. šiose stotyse stebimas ozono vidutinių koncentracijų mažėjimo tendencija. Aukštaitijos KMS stotyje per 1996–2010 m. laikotarpį ozono vidutinė metinė reikšmė pradėjo mažėti reikšmingai ($p < 0,05$) ir šiltuoju ir šaltuoju laikotarpiu. Intensyviausiai ozono koncentracijos mažėjo šaltuoju laikotarpiu, t.y. po $-0,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus. Šiltuoju laikotarpiu mažėjimo intensyvumas buvo kiek silpnesnis ir siekė po $0,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus. Toks mažėjimas lėmė ir vidutinių metinių ozono koncentracijų reikšmingą mažėjimą po $0,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus.

Paskutiniu metu laikotarpiu (2005-2010 m.) ozono koncentracijų mažėjimo intensyvumas praktiškai buvo 3 kartus didesnis negu daugiametis. Šaltuoju laikotarpiu po $-1,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus, šiltuoju – po $-1,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus ir vidutinių metinių reikšmių – po $-1,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus. Nereikšmingas buvo tik šaltojo laikotarpio mažėjimas, kuris vyko intensyviausiai.

Žemaitijos KMS stotyje per 1996–2010 m. laikotarpį ozono vidutinė metinė reikšmė mažėjo taip pat reikšmingai ($p < 0,05$) ir šiltuoju ir šaltuoju laikotarpiu. Šis mažėjimas buvo intensyvesnis nei Aukštaitijos KMS. Intensyviausiai ozono koncentracijos mažėjo taip pat šaltuoju laikotarpiu, po $-0,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus. Šiltuoju laikotarpiu mažėjimo intensyvumas buvo kiek silpnesnis ir siekė po $0,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus. Toks mažėjimas lėmė ir vidutinių metinių ozono koncentracijų reikšmingą mažėjimą po $0,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus.

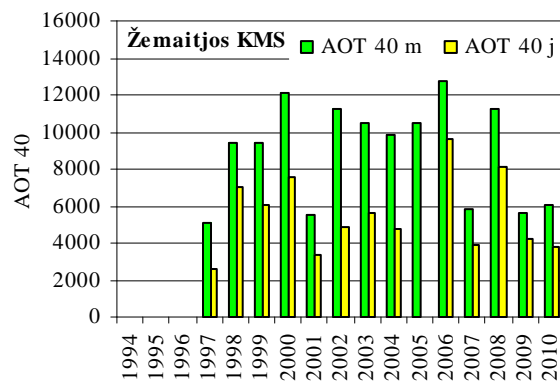
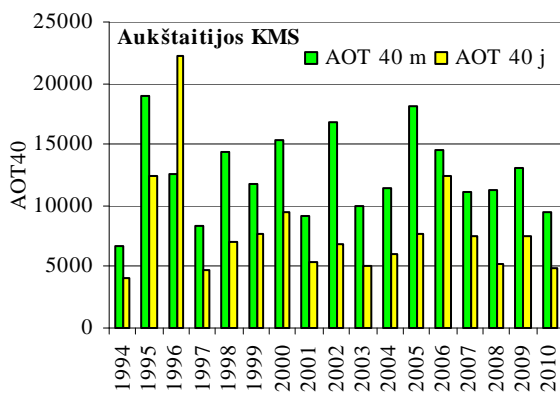
Paskutiniu metu laikotarpiu (2005-2010 m.) ozono koncentracijų mažėjimo intensyvumas praktiškai buvo 2 kartus didesnis negu daugiametis ir praktiškai susilygino su Aukštaitijos KMS. Šaltuoju laikotarpiu po $-1,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus, šiltuoju – po $-1,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus ir vidutinių metinių reikšmių – po $-1,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus. Skirtingai nei Aukštaitijos KMS, per šį laikotarpį mažėjimo intensyvumas buvo nereikšmingas.

Dzūkijos KM stotyse ozono kaitoje mažėjimo tendencijos buvo panašios kaip ir Aukštaitijos KMS. Šaltuoju laikotarpiu koncentracijos mažėjo po $-0,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus, šiltuoju – po $-0,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus ir vidutinių metinių reikšmių – po $-0,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus. Reikšmingai mažėjo tik šiltojo laikotarpio ozono vidutinės koncentracijos, kurių mažėjimo intensyvumas skirtingai nei kitų stočių buvo didžiausias.



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 pasitvirtino tik paskutiniuoju 2005-2010 m. laikotarpiu. Aukštaitijos KMS šis AOT40 miškams mažėjimo trendas reikšmingas, o jAVams – ne. Žemaitijos KMS mažėjimo trendas abiejų APT40 indeksų nereikšmingas.

IŠVADOS

Vidutinė metinė ozono koncentracija 2010 metais EMEP stotyje Preiloje buvo $62,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, t.y., didesnė nei 2009 metais. Pagrindinė priežastis yra ozono koncentracijos padidėjimas šaltuoju metų laikotarpiu, t.y., spalio - kovo mėnesiais. Didžiausia ozono koncentracija ($149,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 2010 metais Preilos stotyje buvo išmatuota balandžio 30 dieną, kurios kilmė yra sietina su užteršto oro masių pernaša iš Lenkijos bei galimu intensyvesniu vietiniu fotocheminiu susidarymu dėl palankių jam meteorologinių sąlygų.

Apskaičiuotos AOT40 vertės miškų apsaugai stotyje neviršijo ($13126 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ ir $13313 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ perskaičiuotasis) 2002/3/EB direktyvos III priede pateikto leistino lygio, t.y., $20000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$, ir buvo mažesnės nei 2009 metais.

Per 2010 metus gyventojų informavimo ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) slenkstis nebuvo viršytas; pavojaus ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) slenkstis nebuvo pasiektas. Siektina žmonių sveikatos apsaugai vertė, t.y., kad didžiausias paros 8 valandų vidurkis $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nebūtų viršijamas daugiau nei 25 paras per kalendorinius metus, imant trejų metų vidurkį, stotyje nebuvo viršytas. Tačiau ilgalaikiai tikslai dar nėra pasiekti, t.y., užregistruotas atvejis, kai paros didžiausias 8 valandų vidurkis viršijo $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. AOT60 reikšmės 2010 metais neviršijo leistinos absoliučios $5800 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ ribos, tačiau viršijo žmonių sveikatai nustatytą kritinį lygį $\text{AOT } 60 = 0$.

Per pastaruosius 5 metus nenustatytas didžiausios (pikinės) ozono koncentracijos neviršijo $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tai gali būti sietina su mažai pakitusių ozono pirmtakų emisijomis kaimyninėse šalyse. Didžiausių (pikinių) ozono koncentracijų susidarymas Preilos stoties aplinkoje yra stebėtas kai užterštos oro masės ateina iš kitų Europos regionų. Didelių ($> 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ozono koncentracijų pasikartojimas per 2005-2010 metų laikotarpį stebėtas mažiau nei 1% laiko. Pagrindinė vidutinės ozono metinės koncentracijos kaitos priežastis yra koncentracijų pokyčiai šaltojo laikotarpio mėnesiais.

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

Vidutinių ozono koncentracijų lygis turėtų išlikti panašiam lygyje arba šiek tiek didėti, dėl foninio ozono lygio didėjimo Europoje ypač šaltuoju metų laikotarpiu.

Kompleksiško monitoringo stotyse, Preiloje išaiškintas ozono kaitos trendas ir toliau nepasitvirtina. Nuo 1996 m. šiose stotyse stebimas reikšmingas šaltojo ir šiltojo laikotarpio

ozono vidutinių koncentracijų mažėjimas, kas sąlygoja metinių ozono koncentracijų reikšmingą 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.

Paskutiniuoju laikotarpiu (2005-2010 m.) Aukštaitijos KMS ozono koncentracijų mažėjimo intensyvumas praktiškai buvo 3 kartus didesnis negu daugiametis. Šaltuoju laikotarpiu po $-1,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus, šiltuoju – po $-1,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus ir vidutinių metinių reikšmių – po $-1,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus. Nereikšmingas buvo tik šaltojo laikotarpio mažėjimas, kuris vyko intensyviausiai. Žemaitijos KMS ozono koncentracijų mažėjimo intensyvumas praktiškai šiuo laikotarpiu buvo 2 kartus didesnis negu daugiametis ir praktiškai susilygino su Aukštaitijos KMS. Šaltuoju laikotarpiu po $-1,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus, šiltuoju – po $-1,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus ir vidutinių metinių reikšmių – po $-1,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus. Skirtingai nei Aukštaitijos KMS, per šį laikotarpį mažėjimo intensyvumas buvo nereikšmingas.

Kompleksiško monitoringo stočių AOT 40 reikšmių kaitoje išaiškintos ozono koncentracijų tendencijos pasitvirtino tik paskutiniuoju 2005-2010 m. laikotarpiu. Aukštaitijos KMS šis AOT40 miškams mažėjimo trendas reikšmingas, o jAVams – ne. Žemaitijos KMS mažėjimo trendas abiejų APT40 indeksų nereikšmingas.

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

Klimato kaitos sąlygota 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 išliko praktiškai stabili.

Reikšmingiausi pokyčiai registruojami Aukštaitijos KMS nuo 2003 m., kai vidutinė temperatūra per 7 m. laikotarpį augo po 0,27 °C per metus ($p<0,05$), Žemaitijos KMS nuo 2005 m., kai vidutinė temperatūra per 5 m. laikotarpį augo po 0,46 °C per metus ($p<0,05$). Toks ženklus oro temperatūros augimas šiuo paskutiniuoju laikotarpiu sąlygojo reikšmingus procesus miško ekosistemose.

Metinis kritulių kiekis per tiriamąjį laikotarpį turėjo 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.

Aukštaitijos KMS nuo 2003 m. dirvožemio vidutinė temperatūra kyla po 0,208 °C per metus, Žemaitijos KMS tyrimai nevykdomi. Šiuo laikotarpiu neregistruojami ir esminiai skirtumai įšalo duomenų sekoje.

Aukštaitijos KMS paskutiniuoju laikotarpiu (2005-2010 m.) upelio vandens temperatūra, proporcingai oro temperatūrai, kylo intensyviau nei per visą tiriamąjį laikotarpį, o Žemaitijos KMS vandens temperatūraos kaitai įtakos turėjo 2005 ir 2010 m. kai vidutinė vandens temperatūra nukrito iki savo minimalių reikšmių.

Nuo 2003 m. Aukštaitijos KMS upelio vandenyje didėja deguonies kiekis po 0,15 mg/l per metus. Išaiškintas tiesioginis upelio temperatūros ir deguonies kiekio jame ryšys. Žemaitijos KMS oro koncentracijos upelio vandenyje neregistruojamos.

Vandens atsargos dirvožemyje Aukštaitijoje pasiekė aukščiausią, 2003 metų lygį, o Žemaitijoje didėjo (nuo 1999 m.). 2010 m. dirvožemio srauto tūris Aukštaitijoje buvo vidutinis, o intensyvumas – didžiausias dėl ypatingai stipraus pavasario polaidžio. Žemaitijoje dirvožemio vandens srautas ir sunkimosi intensyvumas buvo vidutiniai.

Gruntinio vandens dinaminės atsargos stebėjimo laikotarpiu Aukštaitijoje yra stabilios, o Žemaitijoje – linkusios didėti. 2010 m. gruntinio vandens debitas buvo mažas.

Gruntinis vanduo visuose gręžiniuose kilo, kompensuodamas sausmečio metu nukritusį gruntinio vandens lygį.

Sąlygos medžiagų išplovimui upeliu Aukštaitijos KMS 2010 m. buvo vidutiniškai palankios. Žemaitijos KMS 2010 m. šiluminės sąlygos medžiagų išnešimui buvo nepalankios, hidrodinaminių sąlygų negalime vertinti dėl sugedusio limnigrafo.

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 2009-2010 m. vėl išaugo, ir viršijo 2004-2007 m. lygį. Tirpių medžiagų koncentracijos buvo mažiausios per stebėjimo laikotarpį. Per stebėjimo laikotarpį Aukštaitijos stotyje daugumos medžiagų koncentracijos turi tendenciją augti (išskyrus sulfatus, K, Cl ir Si), o Žemaitijos – yra stabilios arba mažėja (išskyrus visuminio azoto koncentraciją, kuri didėja)

2004–2010 m. gruntinio vandens elektrinis laidumas, pH ir šarmingumas stabilus. Gruntiniame vandenyje mažėja tirpių medžiagų, ypač Ca, Mg, sulfatų koncentracijos. Pastaruosius 2 metus augalų mitybos makroelementų N ir P migracija į gruntinius vandenis padidėjo, tikėtina, dėl išaugusio bendro garavimo ir šiluminių ekstremumų dirvožemyje.

Upelių vandens rūgštingumas 2010 metais buvo mažas, šarmingumas, specifinis laidumas ir daugumos tirpių medžiagų koncentracijos išliko panašios į praėjusių metų lygį arba sumažėjo. Ypač sumažėjo sulfatų koncentracija. Šiluminiai veiksniai (aukšta temperatūra ir maže svyravimo amplitudė) lėmė ištirpusios organinės anglies ir biogeninių elementų koncentracijų padidėjimą upelio vandenyje.

2010 metais fizinės sąlygos medžiagų išplovimui iš dirvožemio buvo palankesnės Aukštaitijos stotyje, o iš gruntinio vandens zonos – Žemaitijos. Pačios palankiausios sąlygos išplovimui per stebėjimo laikotarpį buvo LT01 2004–2005 m., o Žemaitijoje 2005–2006 m.

Vidutinė metinė ozono koncentracija 2010 metais EMEP stotyje Preiloje buvo 62,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, t.y., didesnė nei 2009 metais. Pagrindinė priežastis yra ozono koncentracijos padidėjimas šaltuoju metų laikotarpiu, t.y., spalio - kovo mėnesiais. Didžiausia ozono koncentracija (149,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 2010 metais Preilos stotyje buvo išmatuota balandžio 30 dieną, kurios kilmė yra sietina su užteršto oro masių pernaša iš Lenkijos bei galimu intensyvesniu vietiniu fotocheminiu susidarymu dėl palankių jam meteorologinių sąlygų.

Apskaičiuotos AOT40 vertės miškų apsaugai stotyje neviršijo (13126 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ ir 13313 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ perskaičiuotasis) 2002/3/EB direktyvos III priede pateikto leistino lygio, t.y., 20000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$, ir buvo mažesnės nei 2009 metais.

Per pastaruosius 5 metus nenustatytas didžiausios (pikinės) ozono koncentracijos neviršijo $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tai gali būti sietina su mažai pakitusių ozono pirmtakų emisijomis kaimyninėse šalyse. Didžiausių (pikinių) ozono koncentracijų susidarymas Preilos stoties aplinkoje yra stebėtas kai užterštos oro masės ateina iš kitų Europos regionų. Didelių ($> 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ozono koncentracijų pasikartojimas per 2005-2010 metų laikotarpį stebėtas mažiau nei 1% laiko. Pagrindinė vidutinės ozono metinės koncentracijos kaitos priežastis yra koncentracijų pokyčiai šaltojo laikotarpio mėnesiais.

Vidutinių ozono koncentracijų lygis turėtų išlikti panašiam lygyje arba šiek tiek didėti, dėl foninio ozono lygio didėjimo Europoje ypač šaltuoju metų laikotarpiu.

Kompleksiško monitoringo stotyse, Preiloje išaiškintas ozono kaitos trendas ir toliau nepasitvirtina. Nuo 1996 m. šiose stotyse stebimas reikšmingas šaltojo ir šiltojo laikotarpio ozono vidutinių koncentracijų mažėjimas, kas sąlygoja metinių ozono koncentracijų reikšmingą 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.

Paskutiniu metu laikotarpiu (2005-2010 m.) Aukštaitijos KMS ozono koncentracijų mažėjimo intensyvumas praktiškai buvo 3 kartus didesnis negu daugiametis. Šaltuoju laikotarpiu po $-1,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus, šiltuoju – po $-1,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus ir vidutinių metinių reikšmių – po $-1,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus. Nereikšmingas buvo tik šaltojo laikotarpio mažėjimas, kuris vyko intensyviausiai. Žemaitijos KMS ozono koncentracijų mažėjimo intensyvumas praktiškai šiuo laikotarpiu buvo 2 kartus didesnis negu daugiametis ir praktiškai susilygino su Aukštaitijos KMS. Šaltuoju laikotarpiu po $-1,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus, šiltuoju – po $-1,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus ir vidutinių metinių reikšmių – po $-1,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus. Skirtingai nei Aukštaitijos KMS, per šį laikotarpį mažėjimo intensyvumas buvo nereikšmingas.

Kompleksiško monitoringo stočių AOT 40 reikšmių kaitoje išaiškintos ozono koncentracijų tendencijos pasitvirtino tik paskutiniu metu 2005-2010 m. laikotarpiu. Aukštaitijos KMS šis AOT40 miškams mažėjimo trendas reikšmingas, o jAVams – ne. Žemaitijos KMS mažėjimo trendas abiejų APT40 indeksų nereikšmingas.

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

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, sieros dioksido (SO_2 , dujos), azoto dioksido (NO_2 , dujos), sulfatų (aerSO_4^{2-} , t.y. aerzolinėse dalelėse), suma nitratų (sumNO_3 , t.y. dujinė azoto rūgštis ir nitratai aerzolinėse dalelėse) ir suma amonio (sumNH_4 , t.y. dujinis amoniakas ir amonis aerzolinėse dalelėse), rinkti kiekvienos savaitės bandiniai IM stotyse (LT01 ir LT03), o Preiloje (LT15) – kiekvienos paros bandiniai Teršalų koncentravimui iš atmosferos oro naudoti celiulioziniai filtrai “Whatman 40” ir rinktuvai su specialiai gaminamais stiklo filtrais. Vadovaujantis EMEP paruoštomis rekomendacijomis [5], ruošiami ekspozicijai filtrai ir atliekama ant filtrų surinktų teršalų cheminė analizė. Naudojant dviejų pakopų NILU sistemos filtrų laikiklius, sulfatai (aerSO_4) koncentruojami ant pirmoje pakopoje esančio “Whatman 40” filtro, kuris yra atviras atmosferai, o sieros dioksido koncentravimui naudojamas antroje filtro laikiklio pakopoje šarmu impregnuotas “Whatman 40” filtras. Sumos nitratų (sumNO_3) ir sumos amonio (sumNH_4) junginių koncentravimui iš atmosferos “Whatman 40” filtrai, prieš juos eksponuojant laboratorijoje impregnuoti amonio junginių koncentravimui rūgštimi ir šarmu – nitratams, dedami į vienos pakopos NILU sistemos filtrų laikiklius. Azoto dioksido koncentravimui stiklo filtrai paruošiami laboratorijoje juos impregnuojant šarminiu natrio jodido tirpalu. Visi filtrų impregnavimo darbai atliekami cheminėje laboratorijoje specialioje išvalyto atmosferos oro kameroje.

Dujinių ir aerzolinių teršalų bandiniai iš stočių LT01 ir LT03 grąžinami į Aplinkos apsaugos agentūros aplinkos tyrimų departamentą ir, atlikus cheminę oro bandinių analizę, tyrimų rezultatai persiunčiami Fizikos institutui. Oro bandiniai iš Preilos analizuojami Fizikos

institute, ekstrahuojant 24 valandas 20-30 ml dejonizuotu vandeniu, kurio varža >15 MΩ/cm. Anijonų (sulfatų, nitratų) koncentracijos tiriamos vandeniniuose tirpaluose jonų chromatografijos metodu, naudojant jonų mainų chromatografą "DIONEX 2010I" su kolonėlėmis AG4A-SC ir AS4A-SC, iš tokių atmosferos oro bandinių: SO₂, aerSO₄²⁻ ir sumNO₃⁻. Analitinė nenutrūkstamo srauto sistema "CONTIFLO" naudojama spektrofotometriniam amonio jonų koncentracijų tyrimui indofenoliniu metodu atmosferos sumNH₄⁺ 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 stotims ruošiami ir analizuojami "tušti", t.y. eksponavimui paruošti bet neeksponuoti filtrai. Atmosferoje teršalų radimo ribos yra tokios: SO₂ – 0.02 μgS/m³, NO₂ – 0.08 μgN/m³, SO₄²⁻ – 0.02 μgS/m³, sumNO₃⁻ – 0.014 μgN/m³ ir sumNH₄⁺ – 0.027 μgN/m³. Tiriamųjų dujinių ir aerosolinių teršalų cheminės analizės paklaidos yra mažesnės nei 10 %.

Tyrimų rezultatai

Pateikti 2.1 lentelėje pateikti tyrimų duomenys rodo visų tirtų teršalų koncentracijų didelius kaitos intervalus IM stotyse ir Preiloje: SO₂ nuo 0.05 iki 2.11 μgS/m³ (LT 01), nuo 0.02 iki 1.90 μgS/m³ (LT 03) ir Preiloje nuo 0.05 iki 2.84 μgS/m³ (savaitės vidutinės), nuo 0.02 iki 5.18 μgS/m³ (paros); NO₂ nuo 0.18 iki 2.83 μgN/m³ (LT 01), nuo 0.24 iki 3.20 μgN/m³ (LT 03) ir Preiloje nuo 0.44 iki 2.81 μgN/m³ (savaitės vidutinės), nuo 0.17 iki 8.36 μgN/m³ (paros); sulfatai nuo 0.10 iki 1.85 μgS/m³ (LT 01), nuo 0.06 iki 1.69 μgS/m³ (LT 03) ir Preiloje nuo 0.43 iki 2.0 μgS/m³ (savaitės vidutinės), nuo 0.32 iki 3.59 μgS/m³ (paros); sumNO₃ nuo 0.06 iki 1.36 μgN/m³ (LT 01), nuo 0.10 iki 1.51 μgN/m³ (LT 03) ir Preiloje nuo 0.25 iki 1.49 μgN/m³ (savaitės vidutinės), nuo 0.08 iki 3.54 μgN/m³ (paros); sumNH₄ nuo 0.24 iki 2.19 μgN/m³ (LT 01), nuo 0.21 iki 2.74 μgN/m³ (LT 03) ir Preiloje nuo 0.43 iki 2.84 μgN/m³ (savaitės vidutinės), nuo 0.07 iki 8.66 μgN/m³ (paros). Ypatingai visose stotyse dideli variacijos koeficientai gauti SO₂ koncentracijoms: 104 –118 %. Mažesni jie yra NO₂ koncentracijoms: nuo 49 % Preiloje iki 93 % Aukštaitijos IMS; sumNO₃ ir sumNH₄ nuo 41 % iki 62 %

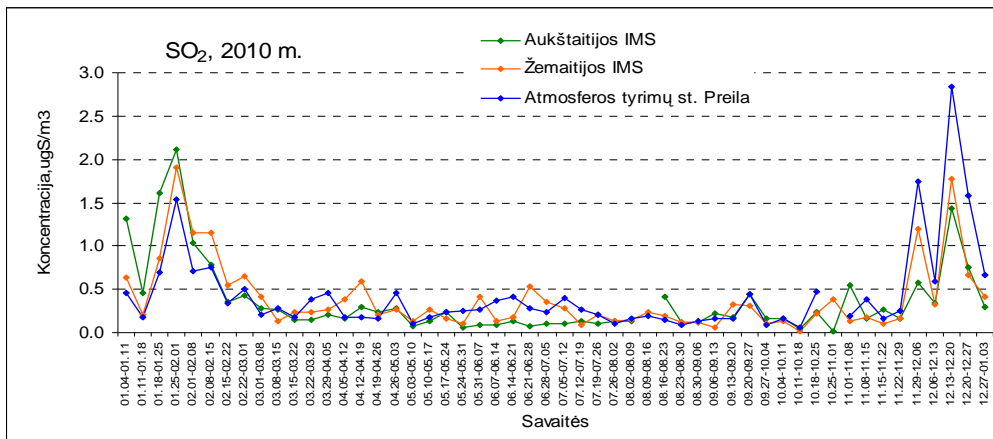
Dujinių ir aerosolinių teršalų koncentracijų dinamiką IMS ir Preiloje per 2010 m. iliustruoja 2.1 – 2.7 paveikslai. Tyrimų duomenys rodo (2.1, 2.2 ir 2.3 pav.), kad žymiai

mažesnės nei 2010 m. vidutinės SO₂ ir NO₂ koncentracijos buvo nuo kovo iki lapkričio mėn.: SO₂ – 0.17, 0.22 ir 0.28 μgS/m³, atitinkamai LT01, LT03 ir LT15. Tai galėjo būti dėl gan lietingo periodo. Aukštaitijoje daugiausiai kritulių (>100 mm/mėn.) iškrito per birželio – rugpjūčio mėn. ir tai sudarė 50% metinio kiekio. Žemaitijos IM stotyje gausiausiai lijo (>100 mm/mėn.) per liepos – rugsėjo ir gruodžio mėn. ir kritulių kiekis sudarė 58% metinio kiekio, o Preiloje per lietingus rugpjūčio – rugsėjo ir lapkričio mėn. iškrito 56% metinio kiekio. Mažesni kritulių kiekiai buvo sausio, vasario, balandžio, spalio ir gruodžio mėn. Be to, mažesnės šio laikotarpio SO₂ koncentracijos galima aiškinti emisijos sezoniškumu, bei didesne oksidacijos į sulfatus (SO₄²⁻) sparta.

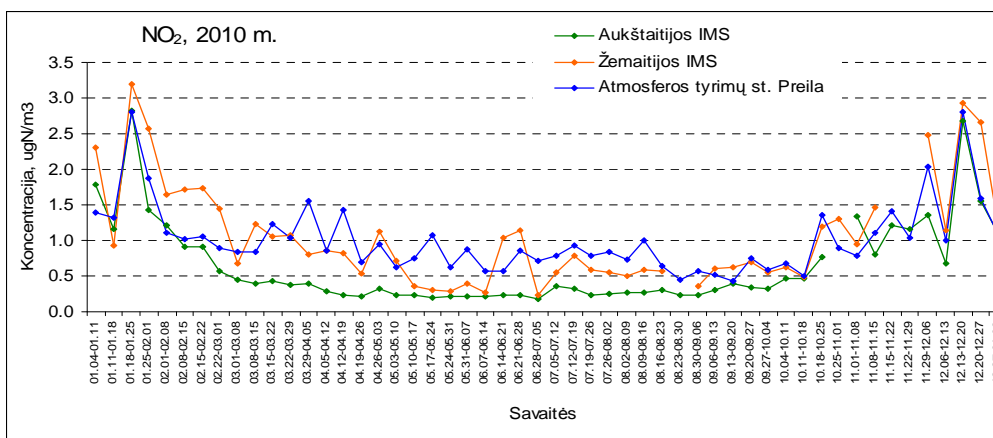
1 lentelė. Dujinių ir aerosolinių teršalų koncentracijų 2010 m. ore statistinės vertės Aukštaitijos IMS (LT01) ir Žemaitijos IMS (LT03), atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (LT15) ; a - skliaustuose aerSO₄²⁻ be jūros įtakos

Komponentė, matavimo vienetas	Vertė	Vieta			
		LT01	LT03	Preila	
		savaitės		savaitės	paros
SO₂ μgS/m ³	min	0.05	0.02	0.05	0.02
	max	2.11	1.90	2.84	5.18
	vidutinė 2010 m.	0.36	0.39	0.42	0.42
	standart. nuokrypis	0.43	0.40	0.50	0.68
	variacijos. koef., %	118	104	118	161
NO₂ μgN/m ³	min	0.18	0.24	0.44	0.17
	max	2.83	3.20	2.81	8.36
	vidutinė 2010 m.	0.66	1.06	1.02	1.02
	standart. nuokrypis	0.61	0.73	0.50	0.77
	variacijos. koef., %	93	69	49	75
aerSO₄²⁻ μgS/m ³	min	0.10	0.06	0.43	0.32 (0.05)
	max	1.85	1.69	(0.13) ^a	3.59 (3.42)
	vidutinė 2010 m.	0.67	0.56	2.0 (1.83)	1.08 (0.71)
	standart. nuokrypis	0.39	0.34	1.08 (0.71)	0.52 (0.54)
	variacijos. koef., %	57	62	0.32 (0.35)	48 (76)
sumNO₃ μgN/m ³	min	0.06	0.10	0.25	0.08
	max	1.36	1.51	1.49	3.54
	vidutinė 2010 m.	0.50	0.51	0.70	0.70
	standart. nuokrypis	0.31	0.31	0.31	0.49
	variacijos. koef., %	62	61	44	71
sumNH₄ μgN/m ³	min	0.24	0.21	0.43	0.07
	max	2.19	2.74	2.84	8.66
	vidutinė 2010 m.	1.08	1.03	1.43	1.43
	standart. nuokrypis	0.44	0.54	0.66	1.05
	variacijos. koef., %	41	53	46	73

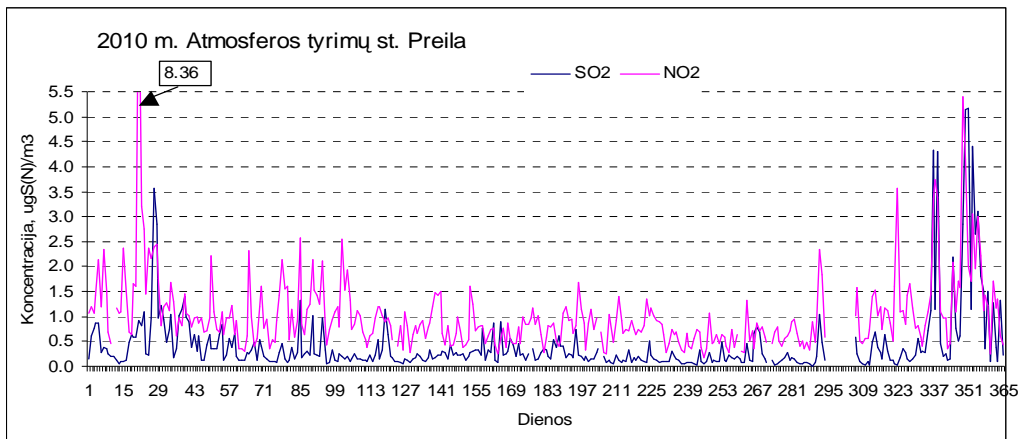
NO₂ koncentracijos nuo kovo iki lapkričio mėn. buvo: NO₂ – 0.31, 0.63 ir 0.79 μgN/m³, atitinkamai LT01, LT03 ir LT15. Preiloje NO₂ paros koncentracija (3 pav.) žiemos mėn. (ypač sausio ir gruodžio mėn.) buvo kelis kartus didesnė nei 2010 m. vidutinė ir apie 5 – 8 kartus didesnė nei vasaros mėn.



2.1 pav. Sieros dioksido savaitės vidutinių koncentracijų dinamika Aukštaitijos IMS (LT01), Žemaitijos IMS (LT03) ir atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (LT15)

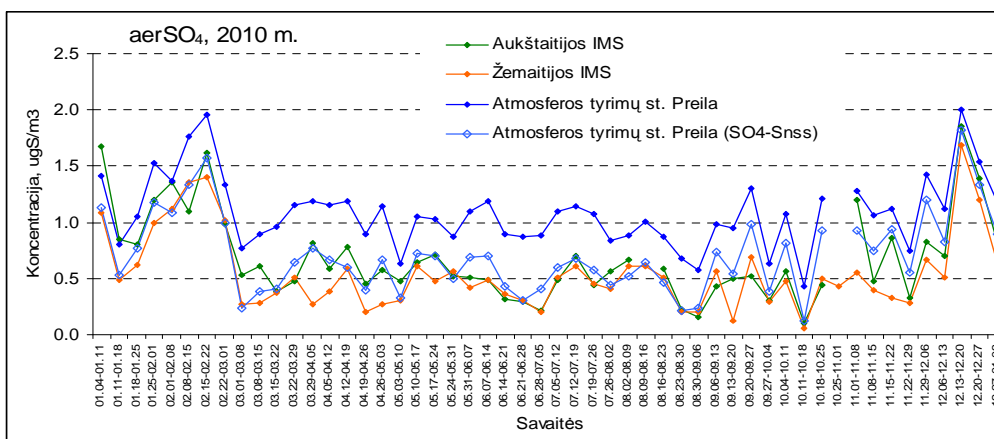


2.2 pav. Azoto dioksido savaitės vidutinių koncentracijų dinamika Aukštaitijos IMS (LT01), Žemaitijos IMS (LT03) ir atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (LT15)

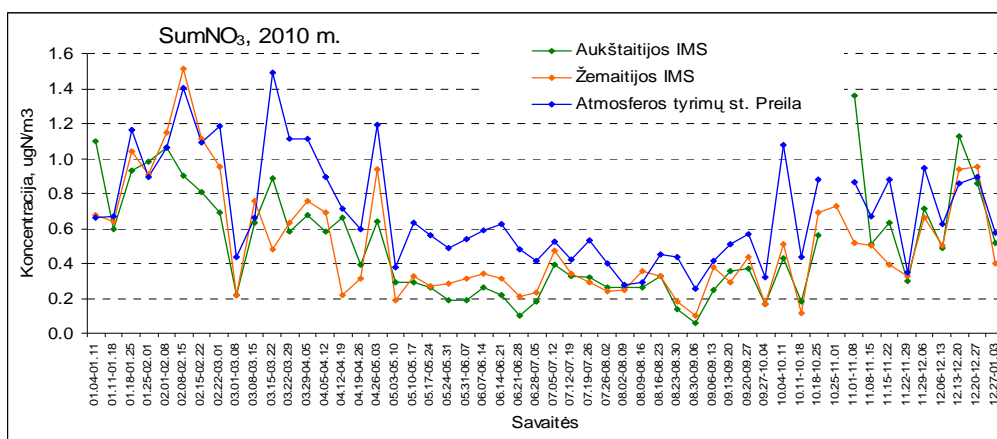


2.3 pav. Sieros dioksido ir azoto dioksido vienos paros koncentracijų dinamika atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (LT15)

Nuo kovo iki lapkričio mėn. (2.4 pav.) vyraavo savaitinės sulfatų koncentracijų vertės nuo 0.15 iki 0.70 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ ir jų kaitoje stebimas nedidelis skirtumas tarp stočių. Pirmomis kovo mėn. savaitėmis sulfatų iš Baltijos jūros įnašas siekė 300 %. Žiemos mėnesiais aerSO_4 koncentracijos stotyse kito nuo 0.5 iki 2.0 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$.

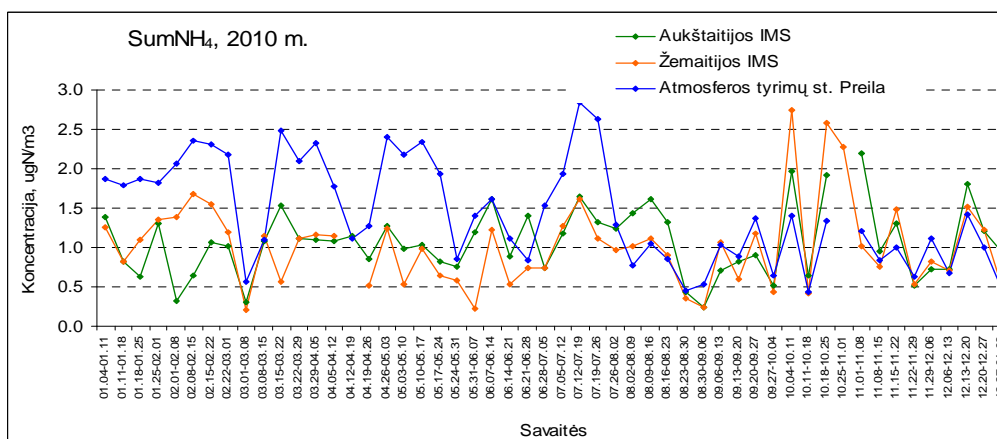


2.4 pav. Sulfatų aerozolio dalelėse savaitės vidutinių koncentracijų dinamika Aukštaitijos IMS (LT01), Žemaitijos IMS (LT03) ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (LT15)



2.5 pav. Sumos nitratų junginių savaitės vidutinių koncentracijų dinamika Aukštaitijos IMS (LT01), Žemaitijos IMS (LT03) ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (LT15)

Abiejose IM stotyse ir Preiloje sumNO₃ koncentracijos mažesnės nei 2010 m. vidutinė metinė dažniausiai kartojosi nuo gegužės iki lapkričio mėn. (2.5 pav.), o žiemos mėnesiais jos matuotos 2 – 3 kartus didesnės nei 2010 m. vidutinė. Tyrimo vietose sumNO₃ koncentracijų kaitos pobūdis panašus.



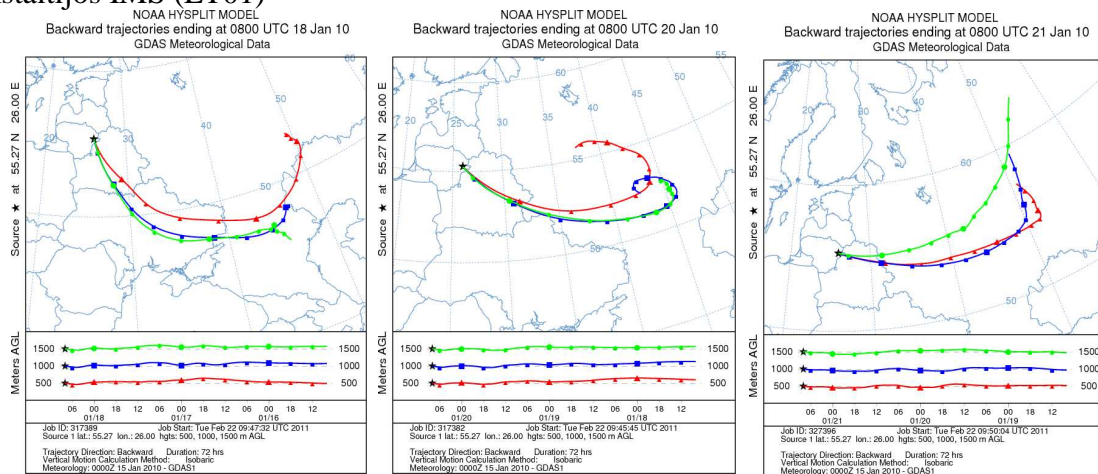
2.6 pav. Sumos amonio junginių savaitės vidutinių koncentracijų dinamika Aukštaitijos IMS (LT01), Žemaitijos IMS (LT03) ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (LT15)

Nestebimas sezoniškumas sumNH₄ koncentracijų kaitoje (2.6 pav.): tiek mažesnės, tiek didesnės nei 2010 m. vidutinės koncentracijos matuotos visais mėnesiais. Didelių, o taip pat ir mažesnių sumNH₄ koncentracijų epizodai laike sutampa su aer.SO₄ koncentracijų epizodais. Tai rodo aerolinėse dalelėse esantį amonio sulfatą.

SO₂, NO₂, sumNO₃ ir sumNH₄ koncentracijų kaitoje stebimi kelis kartus didesnių nei 2010 m. vidutinės koncentracijos epizodai. Oro masių pernašos į Lietuvą [6] iš pietrytinių

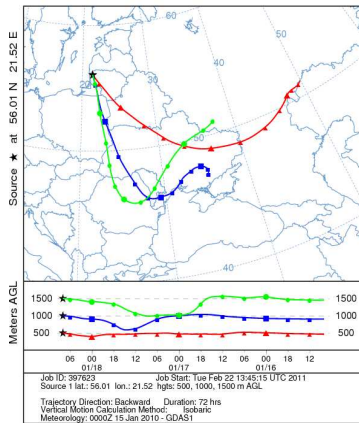
Europos rajonų sausio 18 –21 dienomis (2.7 pav.), esant dienoms be kritulių, lėmė didelės teršalų koncentracijas IM stotyse ir Preiloje. Šios savaitės koncentracijos buvo: SO₂ – 1.61, 0.85 ir 0.70 µgS/m³, NO₂ – 2.83, 3.20 ir LT15 – 2.81 µgN/m³, sumNO₃ – 0.51, 0.52 ir 1.02 µgN/m³, sumNH₄–1.34, 1.54 ir LT15 – 2.59 µgN/m³, atitinkamai LT01, LT03 ir LT15. Teršalų didelių koncentracijų epizodą gruodžio mėn. pirmąją savaitę lėmė oro masės, kurios į Lietuvą gruodžio 5 d. judėjo nuo vakarinių Europos rajonų, o kitomis dienomis – iš šiaurinių ir šiaurės vakarinių Europos rajonų, kuriuose yra silpnesni sieros ir azoto junginių emisijos šaltiniai nei vakarinėje Europos dalyje (2.8 pav.). Didelės NO₂ koncentracijos (2.68, 2.93 ir 2.80 µgN/m³ atitinkamai LT01, LT03 ir LT15) buvo matuotos gruodžio mėn. 14-21 d., kai 17 d. oro masės į Lietuvą buvo nešamos iš centrinės Europos dalies (2.9 pav.), kurioje yra didžiausi NO_x emisijos šaltiniai. Šią savaitę gautas sumNO₃ ir sumNH₄ didesnių koncentracijų epizodas.

Aukštaitijos IMS (LT01)

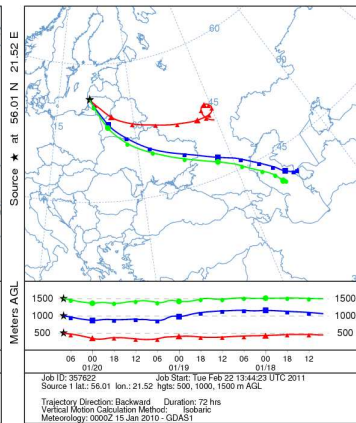


Žemaitijos IMS (LT03)

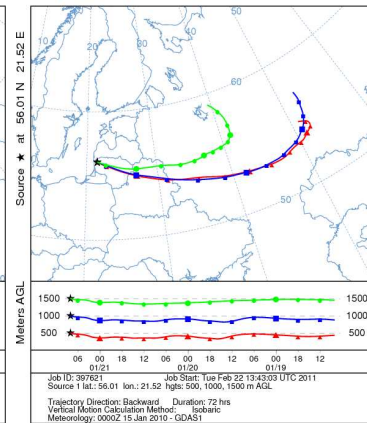
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 18 Jan 10
GDAS Meteorological Data



NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 20 Jan 10
GDAS Meteorological Data

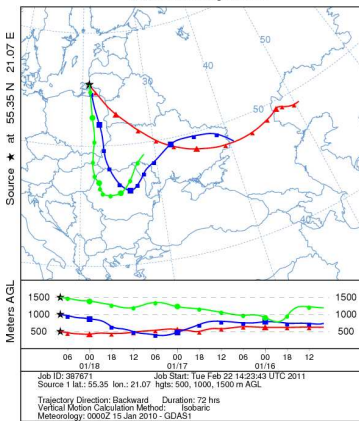


NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 21 Jan 10
GDAS Meteorological Data

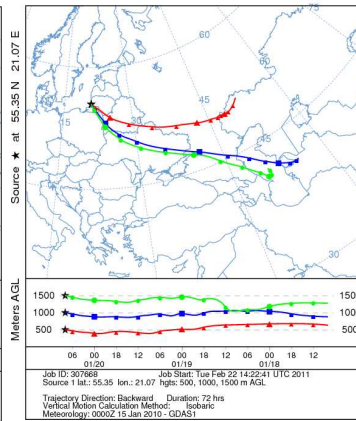


Atmosferos tyrimų st. Preila (LT15)

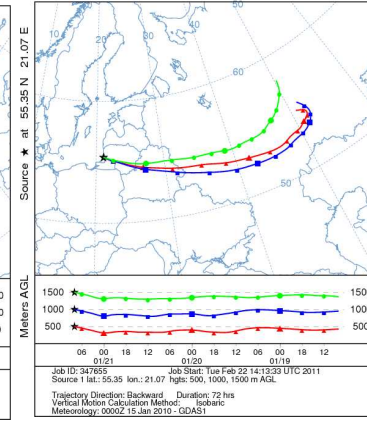
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 18 Jan 10
GDAS Meteorological Data



NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 20 Jan 10
GDAS Meteorological Data



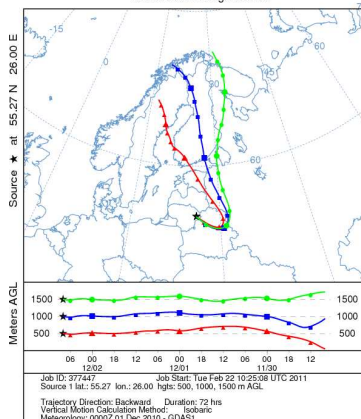
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 21 Jan 10
GDAS Meteorological Data



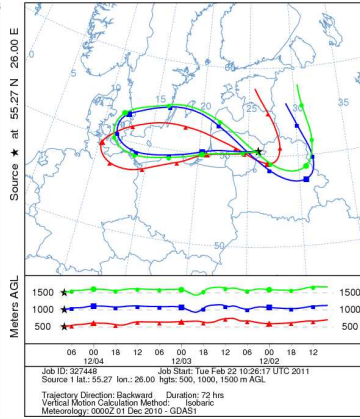
2.7 pav. Oro masių judėjimo 72 val. atgalinės trajektorijos 2010 m. sausio mėn. 18, 20 ir 21 d. į IM stotis ir Preilą

Aukštaitijos IMS (LT01)

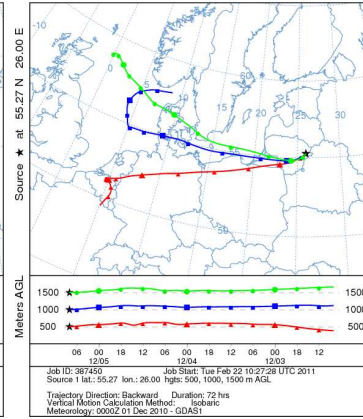
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 02 Dec 10
GDAS Meteorological Data



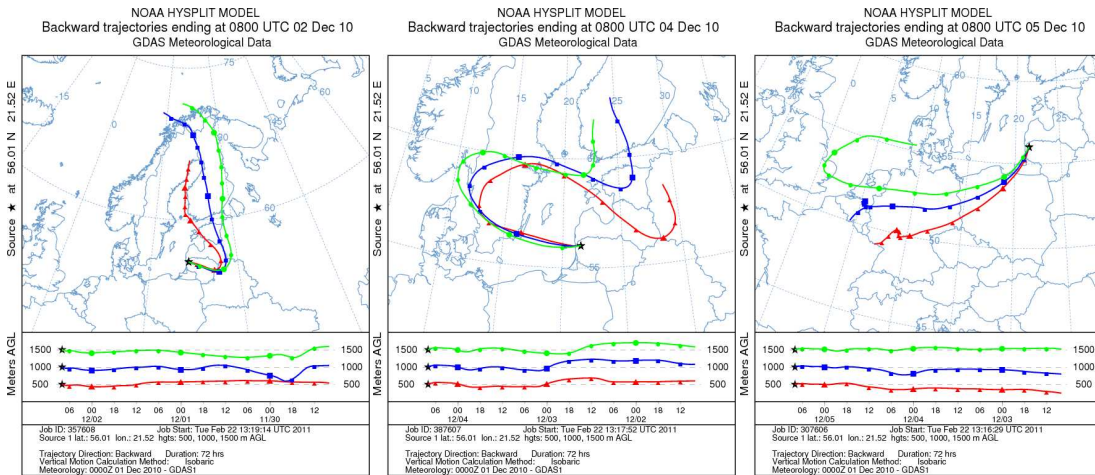
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 04 Dec 10
GDAS Meteorological Data



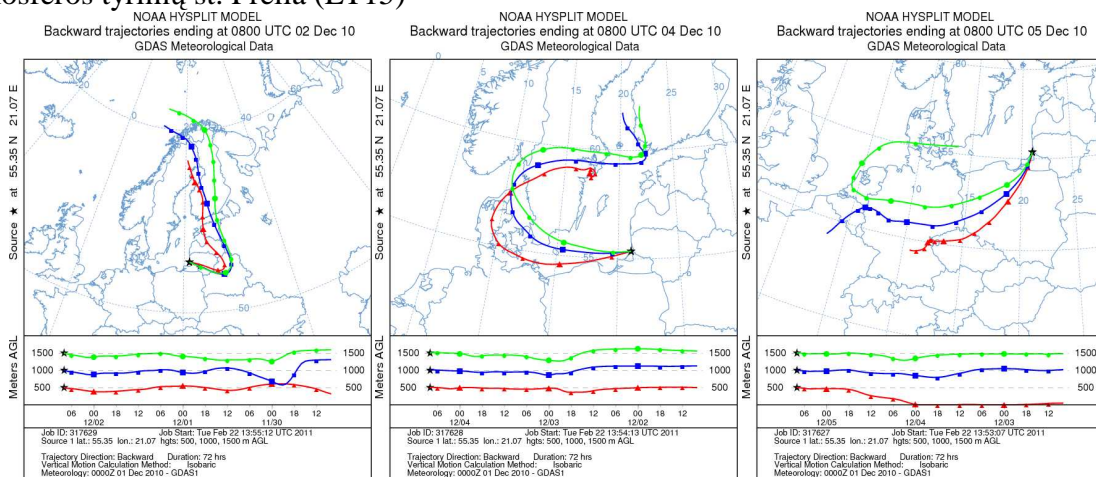
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 05 Dec 10
GDAS Meteorological Data



Žemaitijos IMS (LT03)

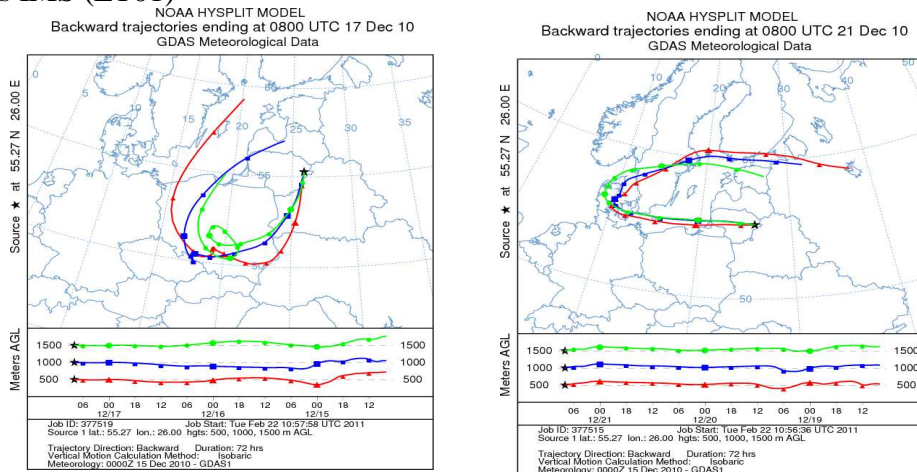


Atmosferos tyrimų st. Preila (LT15)



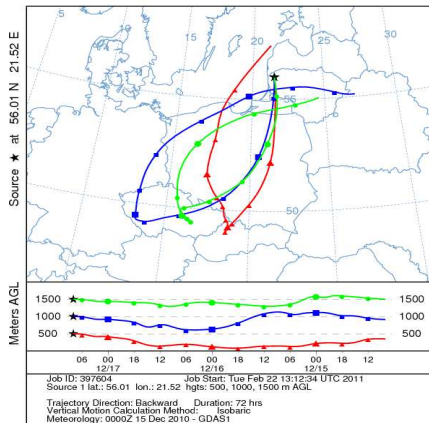
2.8 pav. Oro masių judėjimo 72 val. atgalinės trajektorijos 2010 m. gruodžio mėn. 2, 4 ir 5 d. į IM stotis ir Preilą

Aukštaitijos IMS (LT01)

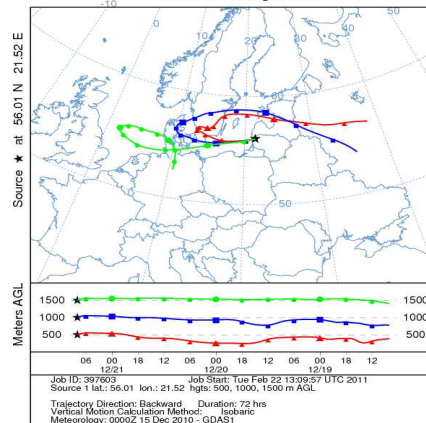


Žemaitijos IMS (LT03)

NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 17 Dec 10
GDAS Meteorological Data

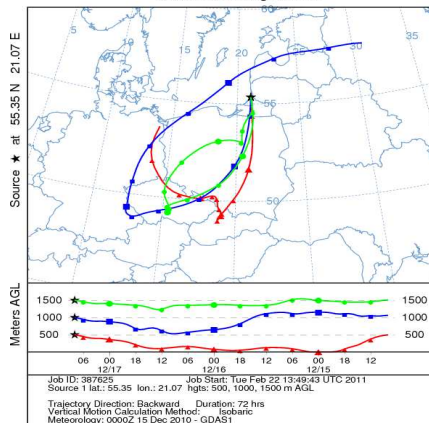


NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 21 Dec 10
GDAS Meteorological Data

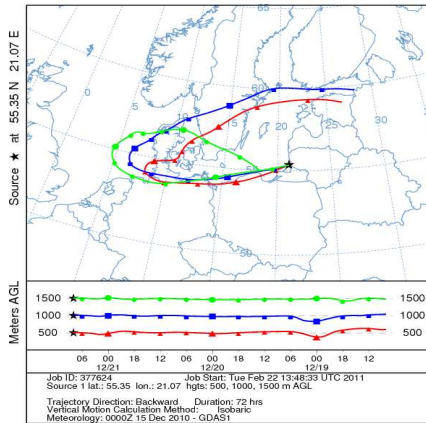


Atmosferos tyrimų st. Preila (LT15)

NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 17 Dec 10
GDAS Meteorological Data



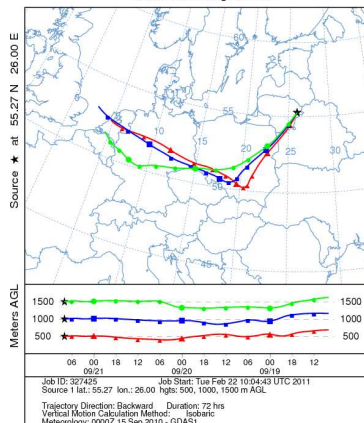
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 21 Dec 10
GDAS Meteorological Data



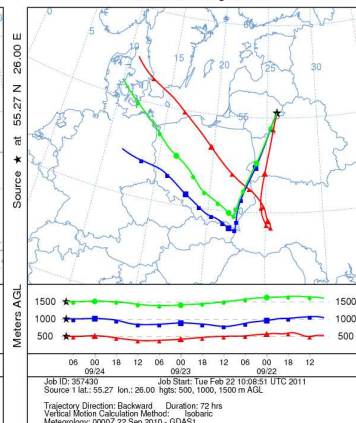
2.9 pav. Oro masių judėjimo 72 val. atgalinės trajektorijos 2010 m. gruodžio mėn. 17 ir 21 d. į IM stotis ir Preilą

Aukštaitijos IMS (LT01)

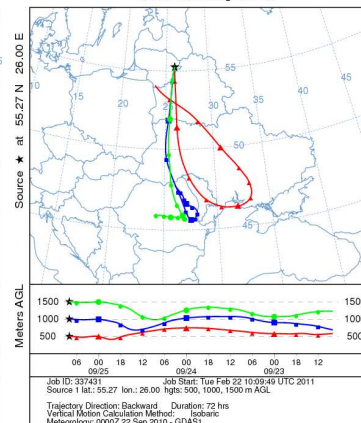
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 21 Sep 10
GDAS Meteorological Data



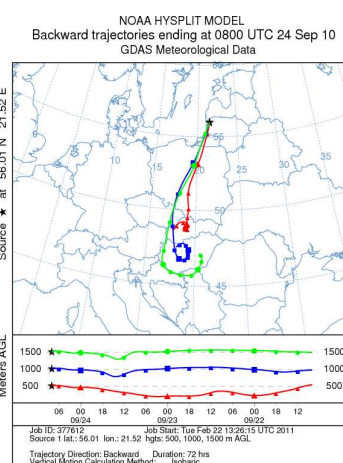
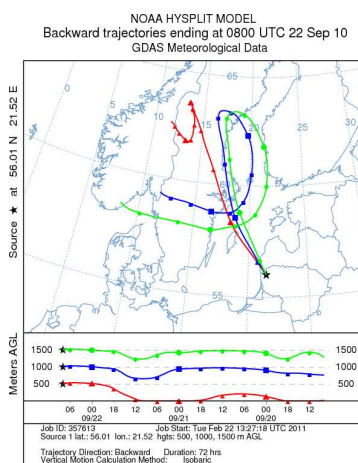
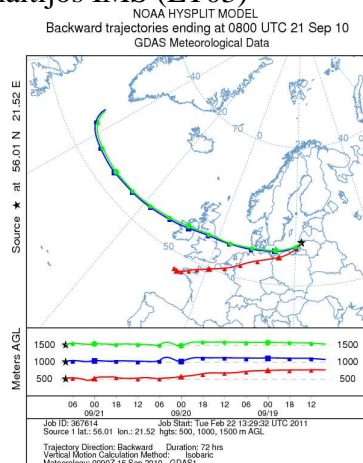
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 24 Sep 10
GDAS Meteorological Data



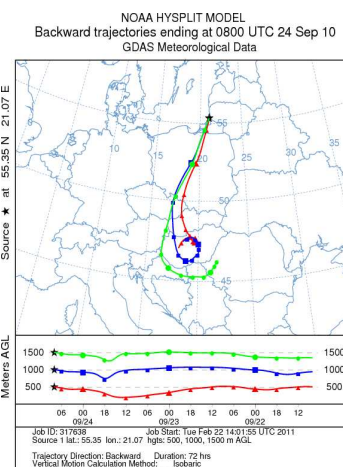
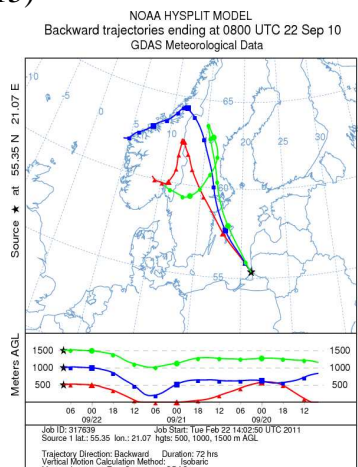
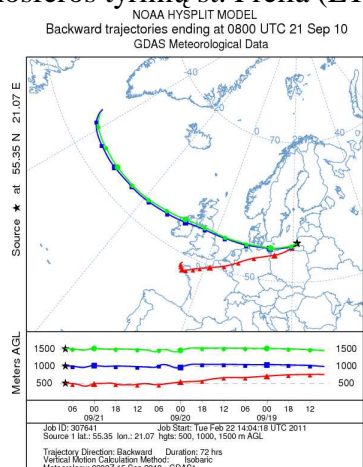
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0800 UTC 25 Sep 10
GDAS Meteorological Data



Žemaitijos IMS (LT03)



Atmosferos tyrimų st. Preila (LT15)



2.10 pav. Oro masių judėjimo 72 val. atgalinės trajektorijos 2010 m. rugsėjo mėn. 21, 22 ir 24 d. į IM stotis ir Preilą

Rugsėjo mėn. 21 –24 d.d., oro masės, keliaujančios virš vakarinės ir pietinės Europos valstybių į Lietuvą (10 pav.) nedarė didelės įtakos matuojamų teršalų savaitės vidutinėms koncentracijoms Aukštaitijoje ir Žemaitijoje ir teršalų koncentracijos buvo: SO_2 – $0.44 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ (LT01) ir $0.31 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ (LT03), NO_2 – $0.34 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (LT01) ir $0.70 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (LT03), sumNO_3 – $0.37 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (LT01) ir $0.44 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (LT03), sumNH_4 – $0.91 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (LT01) ir $1.17 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ (LT03). Tačiau, ženkliai didesnės nei savaitės vidutinės IM stotyse, matuotos teršalų koncentracijos Preiloje rugsėjo 24 d.: SO_2 – $1.50 \mu\text{gS}/\text{m}^3$, NO_2 – $1.44 \mu\text{gN}/\text{m}^3$, sumNO_3 – $0.69 \mu\text{gN}/\text{m}^3$. Tyrimų duomenys rodo, kad teršalų koncentracijų pokyčius labiausiai lėmė oro masių, nešamų į Lietuvą, kilmės kaita ir, be abejo, šių teršalų emisijos regionuose, iš kurių jie buvo nešami.

2 lentelė. Teršalų vidutinės mėnesio koncentracijos ore Aukštaitijos IMS

Metai, mėnuo	SO ₂	aer.SO ₄	NO ₂	SumNO ₃	SumNH ₄
	μgS/m ³		μgN/m ³		
2010.01	1,37	1,13	1,80	0,90	1,03
2010.02	0,65	1,27	0,91	0,87	0,77
2010.03	0,21	0,50	0,41	0,58	1,01
2010.04	0,23	0,64	0,29	0,59	1,09
2010.05	0,13	0,59	0,22	0,26	0,91
2010.06	0,10	0,40	0,23	0,19	1,28
2010.07	0,11	0,48	0,27	0,30	1,23
2010.08	0,22	0,50	0,27	0,25	1,20
2010.09	0,22	0,38	0,32	0,24	0,64
2010.10	0,15	0,37	0,57	0,39	1,51
2010.11	0,29	0,72	1,13	0,70	1,24
2010.12	0,68	1,12	1,47	0,74	1,08
Vidutinė	0,36	0,67	0,66	0,50	1,08

Analizuojant teršalų mėnesio vidutinių koncentracijų kaitą (2–4 lentelės ir 11 pav.) stebima jų sezoninė eiga, išskyrus sumNH₄ junginiams. Žiemos laikotarpio (sausis, vasaris ir gruodis) mėnesių vidutinė koncentracija yra 2 – 3 kartus didesnė nei vasaros mėnesių (birželis – rugpjūtis). Didžiausios SO₂ koncentracijos gautos sausio, vasario ir gruodžio mėn. Jos buvo ryškiai mažesnės (< 0.34 μgS/m³) visose tyrimo vietose nuo kovo iki gruodžio mėn. Tai galėjo būti dėl mažesnės SO₂ emisijos per vasaros mėn. ir gan lietingo (nuo gegužės iki lapkričio mėn.), palyginti su pavasario mėnesiais, laikotarpio. Analizuojant NO₂ sezoninę koncentracijų kaitą, matoma jų didėjimo tendencija per sausio – kovo ir spalio – gruodžio mėnesius. Tokią NO₂ mėnesio koncentracijų kaitą gali lemti spartesnė NO₂ fotocheminė oksidacija per pavasario ir vasaros mėnesius. Didesnes NO₂ koncentracijos Preiloje nei IM stotyse, matyt, reikia sieti su didesniu autotransporto srautu Neringoje, o taip pat ir NO_x emisija iš laivų, esančių Baltijos jūroje. Sezoniškumas koncentracijų kaitoje matomas sumNO₃ junginiams: nuo sausio iki balandžio ir lapkričio – gruodžio mėn. vidutinė koncentracija yra beveik 2 kartus didesnė už koncentracijas per vasaros ir rudens mėnesius. SumNH₄ mėnesio vidutinių koncentracijų kaitoje nėra ryškios metinės kaitos tendencijos, tačiau stebimos mažesnės koncentracijos per lietingesnę laikotarpį. Nors mėnesio vidutinių koncentracijų kaitos tendencija yra gan vienoda visose tyrimų stotyse, tačiau, reikia pažymėti, kad Preiloje, kaip ir kitų azoto junginių, sumNH₄ koncentracijos matuotos didesnės.

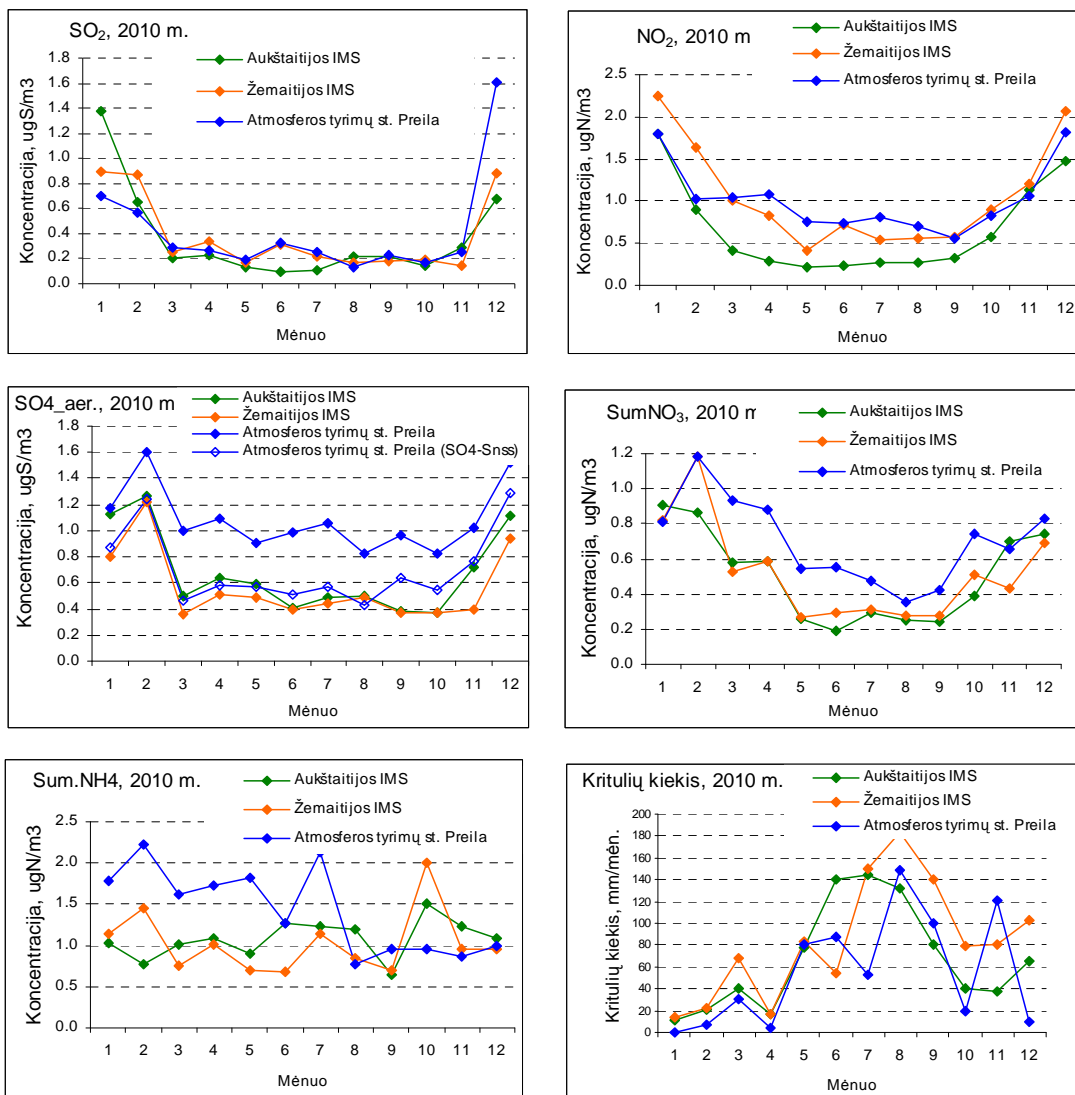
3 lentelė. Teršalų vidutinės mėnesio koncentracijos ore Žemaitijos IMS

Metai, mėnuo	SO ₂	aer.SO ₄	NO ₂	SumNO ₃	SumNH ₄
	μgS/m ³		μgN/m ³		
2010.01	0.90	0.80	2.25	0.82	1.14
2010.02	0.88	1.23	1.64	1.18	1.45

2010.03	0.25	0.36	1.01	0.52	0.76
2010.04	0.34	0.51	0.83	0.58	1.01
2010.05	0.17	0.49	0.42	0.27	0.69
2010.06	0.31	0.39	0.72	0.29	0.68
2010.07	0.22	0.44	0.55	0.31	1.15
2010.08	0.18	0.48	0.56	0.28	0.85
2010.09	0.18	0.37	0.57	0.28	0.70
2010.10	0.19	0.37	0.90	0.51	2.01
2010.11	0.14	0.39	1.21	0.44	0.95
2010.12	0.88	0.94	2.07	0.69	0.95
Vidutinė	0.39	0.56	1.06	0.51	1.03

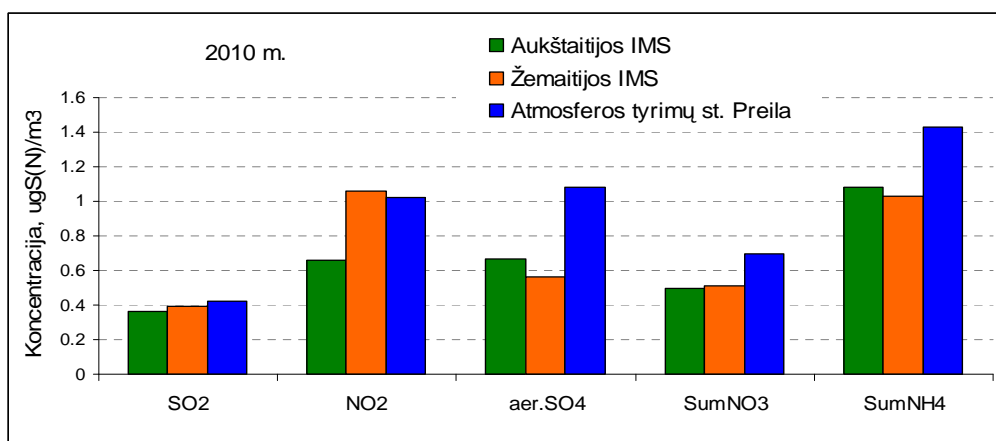
4 lentelė. Teršalų vidutinės mėnesio koncentracijos ore atmosferos tyrimų st. Preiloje

Metai, mėnuo	SO ₂	aer.SO ₄	NO ₂	SumNO ₃	SumNH ₄
	μgS/m ³		μgN/m ³		
2010.01	0.70	1.18	1.79	0.81	1.78
2010.02	0.57	1.61	1.02	1.18	2.22
2010.03	0.29	0.99	1.04	0.93	1.62
2010.04	0.27	1.09	1.08	0.88	1.72
2010.05	0.19	0.90	0.76	0.54	1.82
2010.06	0.32	0.98	0.74	0.55	1.27
2010.07	0.26	1.05	0.80	0.48	2.13
2010.08	0.14	0.82	0.71	0.35	0.78
2010.09	0.22	0.96	0.56	0.42	0.95
2010.10	0.17	0.82	0.83	0.74	0.95
2010.11	0.25	1.02	1.06	0.65	0.87
2010.12	1.61	1.52	1.81	0.83	1.00
Vidutinė	0.42	1.08	1.02	0.70	1.43



2.11 pav. Dujinių ir aerosolinių teršalų mėnesio vidutinių koncentracijų ore dinamika 2010 m. Aukštaitijos IMS (LT01), Žemaitijos IMS (LT03) ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (LT15).

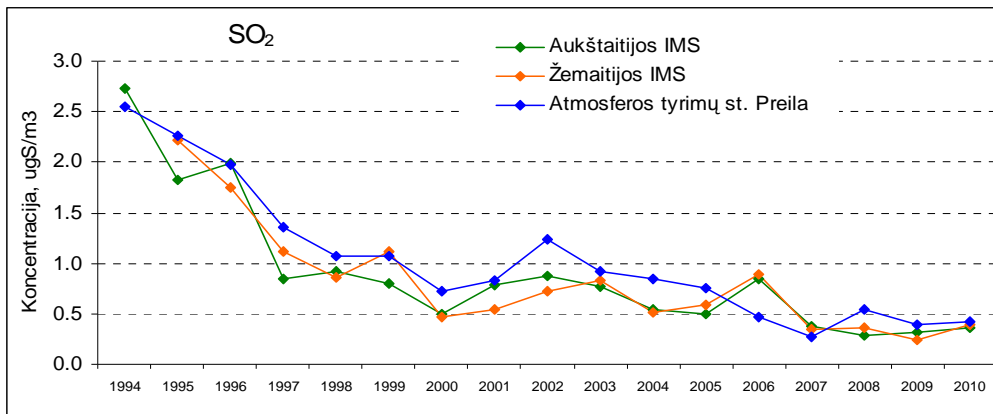
Palyginus atmosferos teršalų metines vidutines 2010 m. koncentracijas trijose vietose (2.12 pav.) matyti, kad Preiloje, išskyrus NO₂, jų metinės koncentracijos yra didesnės nei Aukštaitijos ir Žemaitijos IMS. Azoto dioksido vidutinė metinė koncentracija Preiloje yra 1.6 karto didesnė nei LT01 ir tik nežymiai mažesnė (< 4 %) nei LT03. Sieros dioksido, azoto dioksido, aerosolio sulfatų, sumos nitratų ir sumos amonio metinės koncentracijos Preiloje (LT15) yra didesnės nei Aukštaitijos IMS (LT01), atitinkamai 17, 55, 61, 40 ir 32 procentų. Vidutiniškai 35 % sulfatų koncentraciją Preiloje lemia jų įnašas iš Baltijos jūros. Įvertinus šį įnašą, aer.SO₄ metinė koncentracija yra 0.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



2.12 pav. Dujinių ir aerosolinių teršalų 2010 metų vidutinės koncentracijos Aukštaitijos IMS (LT01), Žemaitijos IMS (LT03) ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (LT15)

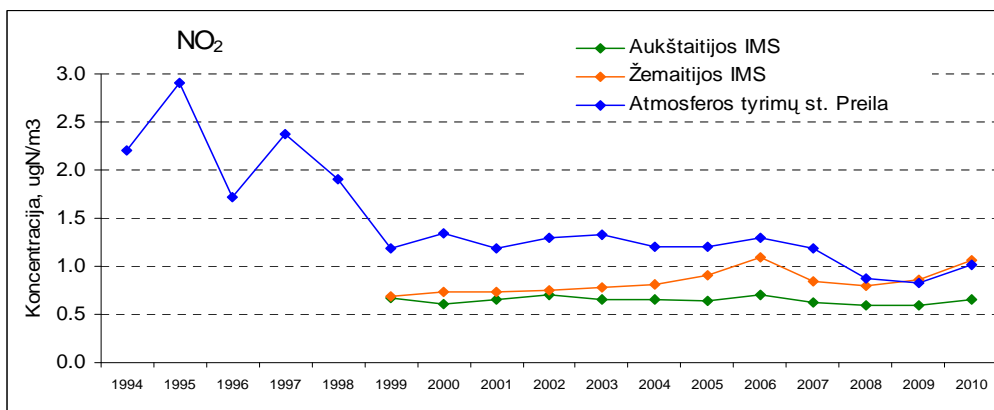
Nagrinėjant dujinių ir aerosolinių teršalų koncentracijų atmosferoje ilgalaikę dinamiką, naudotos vidutinės (aritmetinės) metų koncentracijos. Nepertraukiami nuo 1994 m. atmosferos taršos tyrimų duomenys Preiloje (LT15) ir integruoto monitoringo stotyse Aukštaitijoje (LT01) ir Žemaitijoje (LT03) rodo didelę pagrindinių sieros ir azoto junginių koncentracijų atmosferoje laikinę kaitą. Sieros dioksido (SO₂, dujos), azoto dioksido (NO₂, dujos), sulfatų (SO₄²⁻ aerosolio dalelėse), sumos nitratų (HNO₃, dujinė azoto rūgštis ir NO₃⁻ aerosolio dalelėse) ir sumos amonio (NH₃, dujinis amoniakas ir NH₄⁺ aerosolio dalelėse) metinių koncentracijų ore kaita nuo 1994 m. iki 2010 m. IM stotyse ir Preiloje pateikiama 13 – 17 paveiksluose.

Teršalų koncentracijų atmosferoje ilgalaikės kaitos tendencijų ir pokyčių vertinimui naudotas neparametrinis Mann-Kendalio statistinis metodas [7]. Sieros dioksido (2.13 pav.) koncentracijos Preiloje sumažėjo nuo 2.55 (1994 m.) iki 0.42 μgS·m⁻³ (2010 m.), Aukštaitijoje – nuo 2.73 (1994 m.) iki 0.36 μgS·m⁻³ (2010 m.) ir Žemaitijoje – nuo 2.22 (1995 m.) iki 0.39 μgS·m⁻³ (2010 m.). Per visą tyrimo laikotarpį (17 metų) SO₂ metinės koncentracijos sumažėjo 92, 86 ir 94 procentais, atitinkamai LT01, LT03 ir LT15. Ypač ryškus koncentracijų mažėjimas matomas iki 2000 m. ir ženkliai lėtesnis per pastarąjį dešimtmetį, o nuo **2007 m. jos mažai kinta**. To priežastimi gali būti SO₂ emisijos mažinimo tempai [4]: nuo 1990 m. iki 2006 m. –70 % ir –80 % , o nuo 2005 m. iki 2006 m. –3.4 % ir –2.0 % , atitinkamai ES-27 ir Lietuvoje.



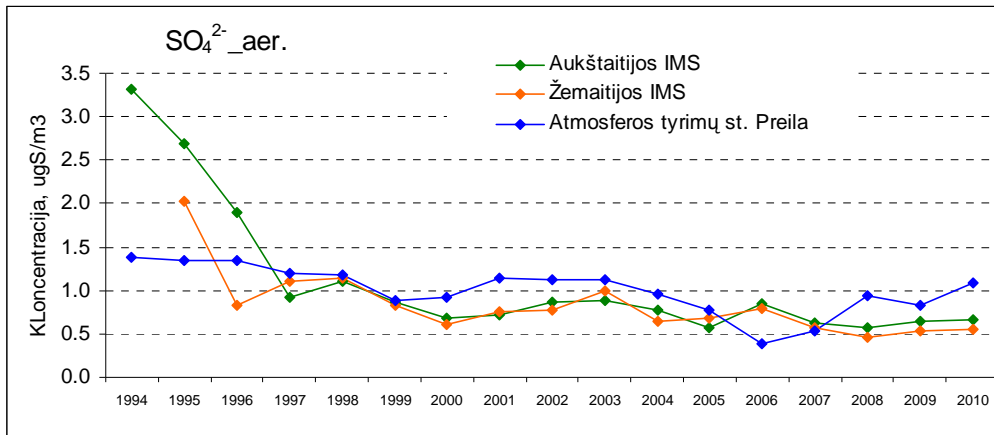
2.13 pav. SO₂ metinių koncentracijų atmosferos ore kaita IM stotyse ir Preiloje

Nors ir nėra aiškios kryptingos tendencijos NO₂ koncentracijų (2.14 pav.) kaitoje Aukštaitijos IMS, Mann-Kendalio statistinis metodas skaičiuoja jų 7 % mažėjimą per 12 metų. Vidutinių metinių koncentracijų didėjimas nuo 0.69 µgN/m³ (1999 m.) iki 1.06 µgN/m³ (2010 m.) matomas Žemaitijos IMS ir statistinio metodo rezultatai rodo 43 % didėjimą. Preiloje matomas ryškus azoto dioksido koncentracijų mažėjimas nuo 1994 m. iki 1999 m., o per pastaruosius 12 metų, kaip ir IMS, metinės NO₂ koncentracijos kinta be vienapūsės tendencijos. Tokia NO₂ koncentracijų ore kaitos tendencija gali būti dėl pokyčių NO₂ emisijoje: nuo 1990 m. iki 2006 m. –35 % ir –55 % , o nuo 2005 m. iki 2006 m. – 1.8 % ir +6.5 % , atitinkamai ES-27 ir Lietuvoje.

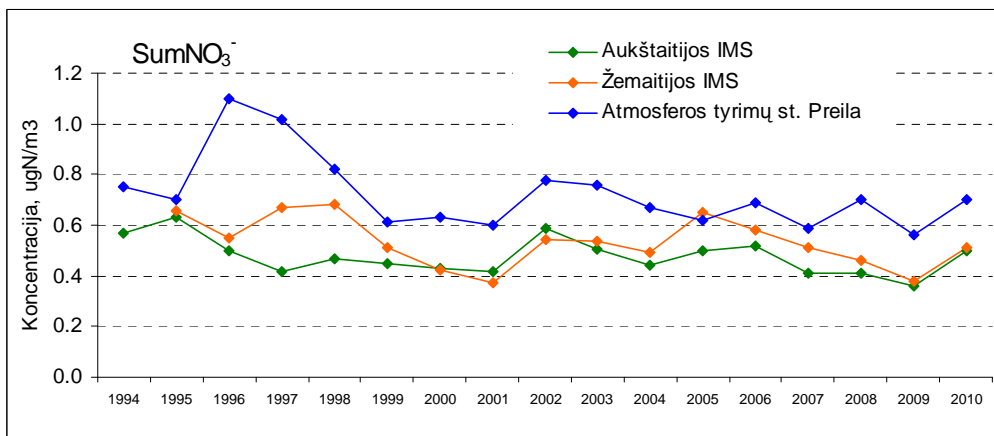


2.14 pav. NO₂ metinių koncentracijų atmosferos ore kaita IM stotyse ir Preiloje

Aerolinių sulfatų metinių koncentracijų kaita rodo (15 pav.) jų mažėjimą nuo 3.32 iki 0.67 µgS·m⁻³ (–66 %) Aukštaitijos IMS, nuo 2.03 iki 0.56 µgS·m⁻³ (–55 %) Žemaitijos IMS ir Atmosferos tyrimų stotyje Preiloje nuo 1.39 iki 1.08 µgS·m⁻³ (–44 %). Tačiau, **5 pastarųjų metų (2006 – 2010 m.) duomenys rodo tik 1% mažėjimą Aukštaitijos IMS ir didesnę (–35%) sulfatų koncentracijos mažėjimą Žemaitijos IMS, o Preiloje 31% koncentracijų didėjimą.**

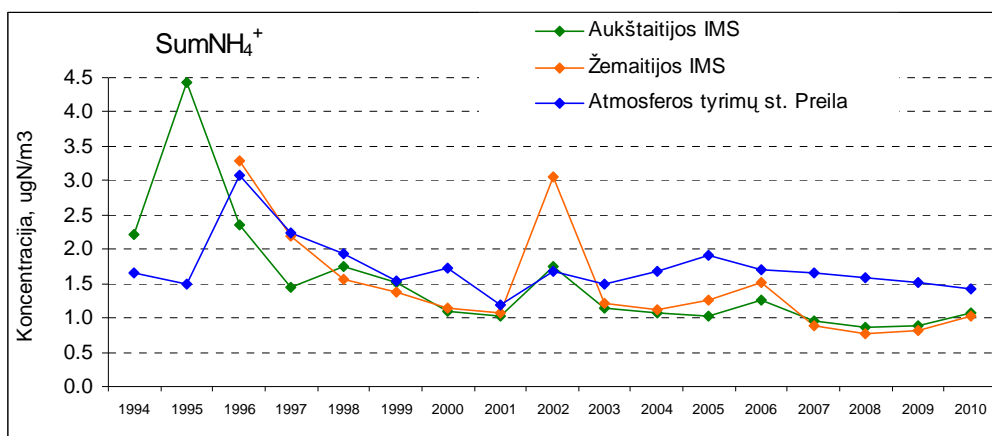


2.15 pav. aer.SO₄²⁻ metinių koncentracijų atmosferos ore kaita IM stotyse ir Preiloje



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

2.16 paveiksle pateikti duomenys rodo sumos nitratų metinių koncentracijų nevienareikšmę kaitos tendenciją Aukštaitijos bei Žemaitijos stotyse ir Preiloje. Per 17 metų laikotarpį vidutinės metų sumNO₃ koncentracijos Aukštaitijoje kito nuo 0.57 iki 0.50 μgN·m⁻³ (-23%), Žemaitijoje nuo 0.66 iki 0.51 μgN·m⁻³ (-23%) ir Preiloje kito nuo 1.10 iki 0.70 μgN·m⁻³ (-26%). **5 pastarųjų metų (2006 – 2010 m.) duomenys rodo tik 16% mažėjimą Aukštaitijos IMS ir didesnę 36% sumNO₃ koncentracijos mažėjimą Žemaitijos IMS, o Preiloje 3% koncentracijų didėjimą.**



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

Vidutinė metinė sumNH₄ koncentracija ore Aukštaitijoje kito nuo 2.23 iki 1.08 μgN/m³, Žemaitijoje nuo 2.20 iki 1.03 μgN/m³, Preiloje – nuo 3.07 iki 1.43 μgN/m³ (17 pav.). **Visose stotyse stebima sumNH₄ metinių koncentracijų mažėjimo tendencija per pastaruosius penkis metus (2006–2010 m.): –14, –42 ir –27 procentai, atitinkamai LT01, LT03 ir LT15.**

IŠVADOS

Vertinant atmosferos oro taršos tyrimų duomenis Aukštaitijos IMS, Žemaitijos IMS ir Preiloje 2010 m., daromos tokios išvados:

- Visiems tirtiems atmosferos ore sieros ir azoto junginiams būdingas didelis koncentracijų kaitos intervalas.
- Sezoninė koncentracijų kaita labiausiai ryški SO₂, NO₂ ir sumNO₃: jų koncentracijos atmosferos ore matuotos didesnės per šaltąjį metų laikotarpį, (sausio – vasario, o taip pat spalio – gruodžio mėn.), nei per šiltąjį (balandžio – rugsėjo mėn.).
- Teršalų koncentracijoms atmosferos ore IM stotyse ir Preiloje didžiausią poveikį daro SO₂ ir NO₂ emisijos šaltiniai, kurie yra centrinėje, pietinėje ir pietrytinėje Europoje.
- Teršalų 2010 m. vidutinės koncentracijos Preiloje yra didesnės nei Žemaitijoje ir Aukštaitijoje, išskyrus azoto dioksidą. NO₂ metinė koncentracija Preiloje yra 1.6 karto didesnė nei LT01 ir tik nežymiai mažesnė (< 4 %) nei LT03. Vidutiniškai 35 % sulfatų koncentraciją Preiloje lemia jų įnašas iš Baltijos jūros.

- SO₂ ir aer.SO₄ koncentracijų atmosferos ore mažėjimas Lietuvoje, be abejonės, labiausiai yra siejamas su ženkliai (-70 %) SO₂ emisijos mažėjimu daugumoje centrinės Europos valstybių ir Skandinavijoje, ypač per 1990–2006 metų laikotarpį.
- Visose stotyse stebima sieros ir azoto junginių (SO₂, aerSO₄, NO₂, sumNO₃ ir sumNH₄) metinių koncentracijų mažėjimo tendencija per 2006–2010 m. metus.
- 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⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ koncentracijų tyrimai aerozolio dalelėse ir aerozolio 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, būtinas oro baseino užterštumo tyrimų tęstinumas

Literatūra

1. Mylona S. (1996) Sulphur dioxide emissions in Europe 1880-1991 and their effect on sulphur concentrations and depositions. *Tellus*, 48B, 662-689.
2. Vitousek P., Aber J.D., Howarth R. W., Likens G., Matson P.A., Schindler D.W., Schlesinger W. H. and Tilman D. G. (1997). Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecol. Applic.*, 7, 737-750.
3. Rodhe H., Langner J., Gallardo L. and Kjellstrom E. (1995) Global scale transport of acidifying pollutants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 85, 37-50.
4. EEA Technical report No7/2008. Annual European Community LRTAP Convention emission inventory report 1990-2006. ISSN 1725-2237
5. EMEP Manual for Sampling and Chemical Analysis, EMEP/CCC-Report 1/95, Norwegian Institute for Air Research; Kjeller.
6. Draxler, R.R. and Rolph, G.D., 2003. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver (Spring, MD).
7. T. Salmi, A. Maatta, P. Anttila, T. Ruoho-Airola. and T. Amnell. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates - the excel template application MAKESENS. Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2002, 31.

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

Atmosferos kritulių tyrimai 2010 m. vykdyti Aukštaitijos integruoto monitoringo stotyje (LT01), Žemaitijos integruoto monitoringo stotyje (LT03) ir atmosferos užterštumų tyrimo stotyje Preiloje, kurios kodas Europos monitoringo tinkle yra LT15. Kritulių cheminės sudėties tyrimo tikslai tokie: gauti informaciją apie teršalų koncentracijas krituliuose, nustatyti erdvinis ir laikinius teršalų koncentracijų pokyčius, teršalų atmosferinius srautus į sąlygiškai natūralias ekosistemas ir miško paklotę. Krituliuose atviroje vietoje ir krituliuose po miško laja, tirtos tokių pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos: sulfatų (SO_4^{2-}), nitratų (NO_3^-), chloridų (Cl^-), amonio (NH_4^+), natrio (Na^+), kalio (K^+), magnio (Mg^{2+}) ir kalcio (Ca^{2+}). Matuotas kritulių savitasis laidumas ir pH. Vandeniilio (H^+) jonų koncentracija skaičiuota iš matuotų pH verčių.

Darbo metodika

Siekiant sumažinti teršalų sausųjų iškritų iš atmosferos patekimą į kritulių rinktuvą, Integruoto Monitoringo (IM) stotyse ir Preiloje buvo renkami krituliai į rinktuvus su dangčiais, kurie automatiškai atsidaro prasidėjus lietai ar sniegui ir užsidaro, pasibaigus krituliams.

IM stotyse (LT01 ir LT03) rinkti per savaitę iškritę krituliai, o Preiloje (LT15) – per parą. Vykdamas atmosferos iškritų tyrimus dviejose IM stotyse per 2010 m. surinkta po 47 atmosferos kritulių savaitinius bandinius ir Preiloje - 94 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 2010 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 surinkti 2010 m. Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stotyse, buvo pristatyti į Aplinkos apsaugos agentūros aplinkos tyrimų departamentą, kuris, atlikęs cheminę kritulių bandinių analizę, tyrimų rezultatus persiurdavo Fizinių ir technologijos mokslų centro Fizikos institutui.

Krituliai, kurie buvo renkami Preiloje (LT15), analizuoti Fizikos institute. Anijonų (sulfatų, nitratų ir chloridų) koncentracijos krituliuose nustatomos jonų chromatografijos metodu, naudojant jonų mainų chromatografą "DIONEX 2010I" su kolonėlėmis AG4A-SC ir AS4A-SC, konduktometrini detektoriu. Amonio koncentracijų nustatymui 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.

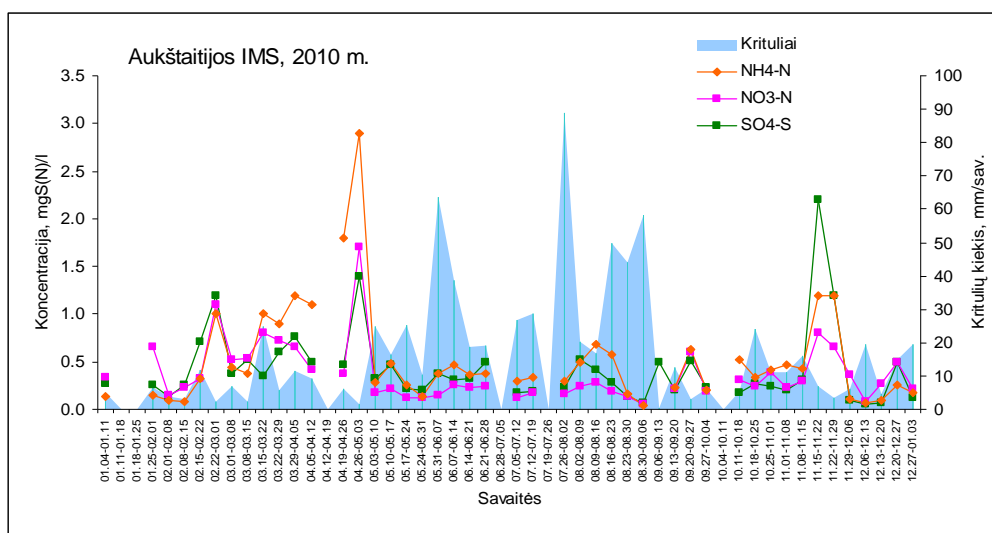
Cheminių priemaišų radimo ribos atmosferos krituliuose yra tokios: SO_4^{2-} – 0.02 mgS/l, NO_3^- – 0.013 mgN/l, Cl^- – 0.01 mg/l, NH_4^+ – 0.04 mgN/l, Na^+ – 0.02 mg/l, K^+ – 0.02 mg/l, Ca^{2+} – 0.02 mg/l. Atmosferos kritulių bandiniai rinkti ir pagrindinių cheminių teršalų koncentracijos juose tirtos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

Nagrinėjant SO_4^{2-} koncentracijas Preiloje buvo įvertinamas šio teršalo įnašas iš Baltijos jūros. Jūrinės kilmės sulfatų kiekis krituliuose skaičiuojamas naudojant atitinkamus koeficientus pagal Na^+ arba Cl^- koncentracijas kritulių bandinyje. Atėmus jūrinės kilmės SO_4^{2-} – S_{sea} kiekį iš matuoto SO_4^{2-} – S_{tot} kiekio kritulių bandinyje, gauname neįūrinės kilmės sulfatų koncentracijas, kurias žymime SO_4^{2-} – S_{nss} . Šioje ataskaitoje pateikiamos teršalų savaitės ir mėnesių vidutinės tūrinės koncentracijos, kurios skaičiuotos pagal kiekvienos savaitės (IM stotyje) ir dienos (Preiloje) teršalo koncentraciją krituliuose ir kritulių kiekį, o taip pat ir vidutinės 2010 m. metinės koncentracijos, įvertinant metinį kritulių kiekį.

Darbo rezultatai.

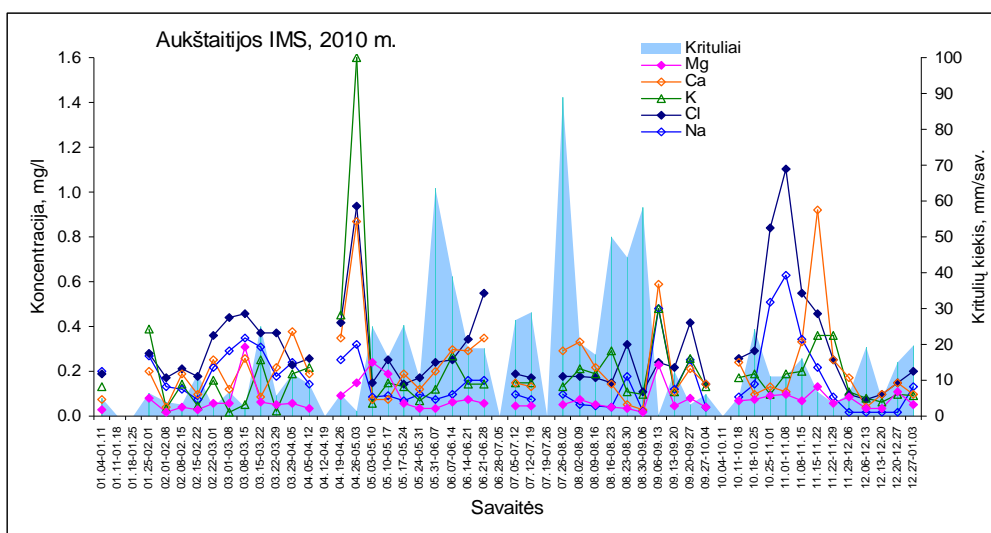
Pagrindinių cheminių priemaišų foninių koncentracijų bei fizinių parametru atmosferos iškritose tyrimai pagal EMEP ir ICP IM programas

Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų savaitės kritulių bandiniuose Aukštaitijos IM stotyje kaita pateikta 2.18 ir 2.19 pav. Cheminių komponentų koncentracijos kito tokiuose intervaluose: sulfatai nuo 0.05 iki 2.20 mgS/l, nitratai nuo 0.05 iki 1.70 mgN/l, amonis nuo 0.04 iki 2.98 mgN/l, chloridas nuo 0.08 iki 1.10 mg/l, natris nuo 0.02 iki 0.63 mg/l, kalis nuo 0.02 iki 1.60 mg/l, kalcis nuo 0.03 iki 0.92 mg/l ir magnis nuo 0.02 iki 0.31 mg/l. Didesnės sulfatų koncentracijos nei 2010 m. vidutinė koncentracija (0.29 mgS/l) matuotos per vasario – balandžio mėn., o taip pat ir lapkričio mėn. Sulfatų koncentracijos mažesnės už 2010 metų vidutinę nustatytos nuo birželio iki rugsėjo mėn. ir spalio mėn.



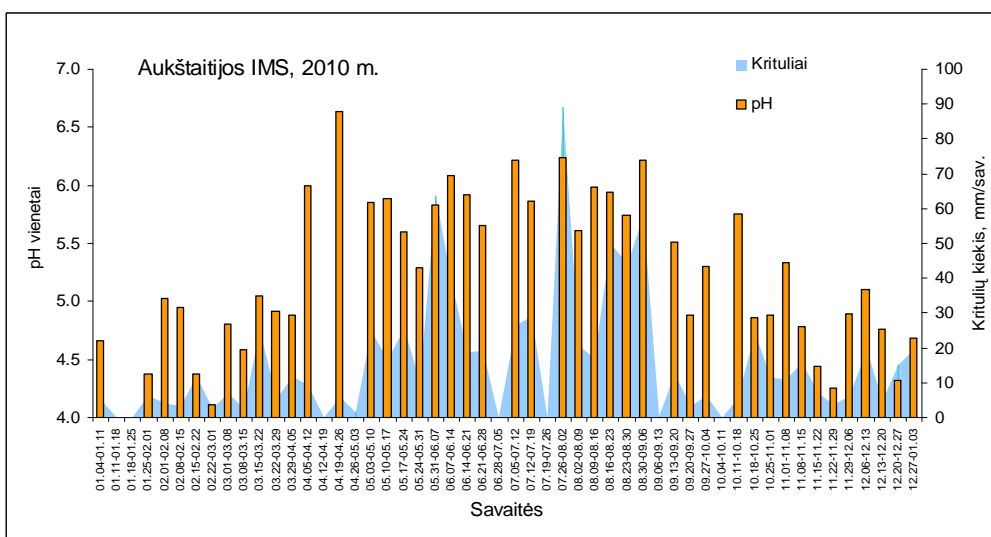
2.18 pav. SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ koncentracijų ir kritulių kiekio kaita savaitės bandiniuose Aukštaitijos IMS (LT01)

Kelis kartus didesnių nei 2010 m. vidutinė (0.24 mgN/l) nitratų koncentracijų atvejai nustatyti per vasario, kovo, balandžio ir lapkričio mėnesius, o mažesnių –lietingais gegužės – spalio mėn. Amonio koncentracijos, kurios buvo kelis kartus didesnės nei metų vidutinė (0.34 mgN/l), matuotos per kovo – balandžio mėn. ir lapkričio mėn., per likusįjį laikotarpį jos buvo mažesnės arba labai artimos metų vidutinei koncentracijai.



2.19 pav. Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- koncentracijų ir kritulių kiekio kaita savaitės bandiniuose Aukštaitijos IMS (LT01)

Kitų pagrindinių cheminių priemaišų (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^-) koncentracijų kaita savaitės bandiniuose analogiška SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ : mažesnės jonų koncentracijos matuotos lietinguoju metų periodu (gegužės – rugpjūčio mėn.)

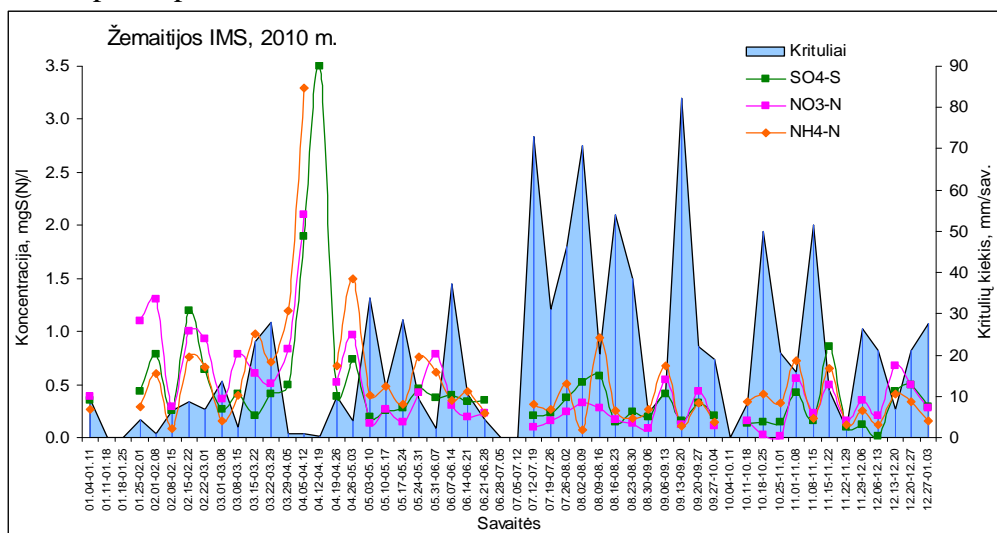


2.20 pav. pH ir kritulių kiekio kaita savaitės bandiniuose Aukštaitijos IMS (LT01)

LT01 stotyje kritulių pH vertės savaitės bandiniuose kito nuo 4.11 iki 6.64 (2.20 pav.). Krituliai, kurių pH vertės buvo mažesnės nei 5.0, vyravo sausio – kovo mėn. ir nuo spalio mėn. iki metų pabaigos. Mažiau rūgštūs krituliai iškrito per vasaros laikotarpį ir jų pH vertė kito nuo 5.29 iki 6.22.

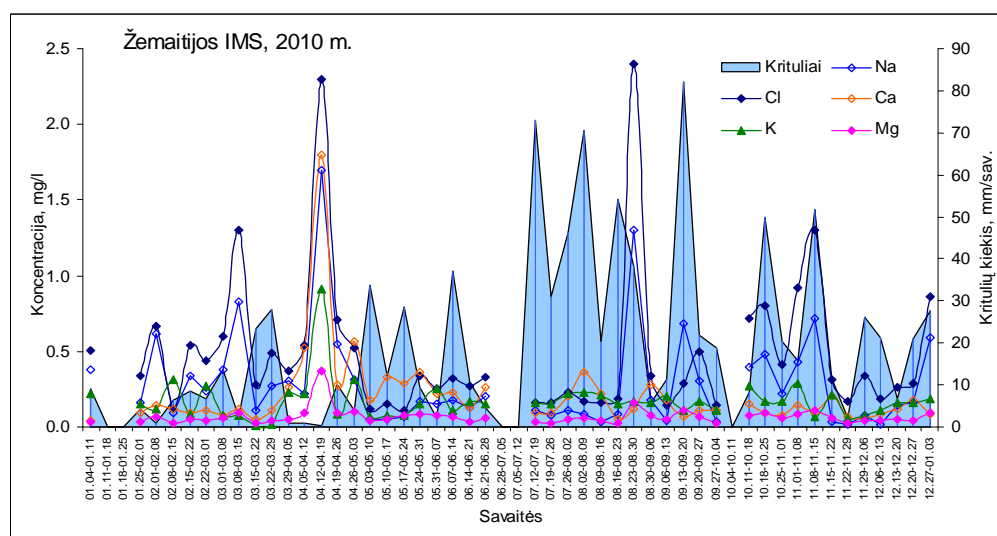
Didelę įtaką cheminių priemaišų koncentracijoms Žemaitijoje, kaip ir Aukštaitijoje, daro kritulių kiekis. Pateiktų pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų kaitoje (2.21 ir 2.22

pav.) matomi didelių koncentracijų epizodai, esant mažam kritulių kiekiui. SO_4^{2-} , NO_3^- ir NH_4^+ koncentracijos buvo kelis kartus didesnės nei 2010 m. vidutinės, atitinkamai 0.29 mgS/l, 0.27 mgN/l ir 0.34 mgN/l, ypač baltą mėn. 5–19 d. Dėl mažo per šias savaites iškritusių kritulių kiekio (0.8 ir 0.4 mm), Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ir Cl^- koncentracijos buvo didžiausios 2010 m. Mažesnės už metų vidutines visų komponentų koncentracijos matuotos kritulių bandiniuose liepos – spalio mėn.

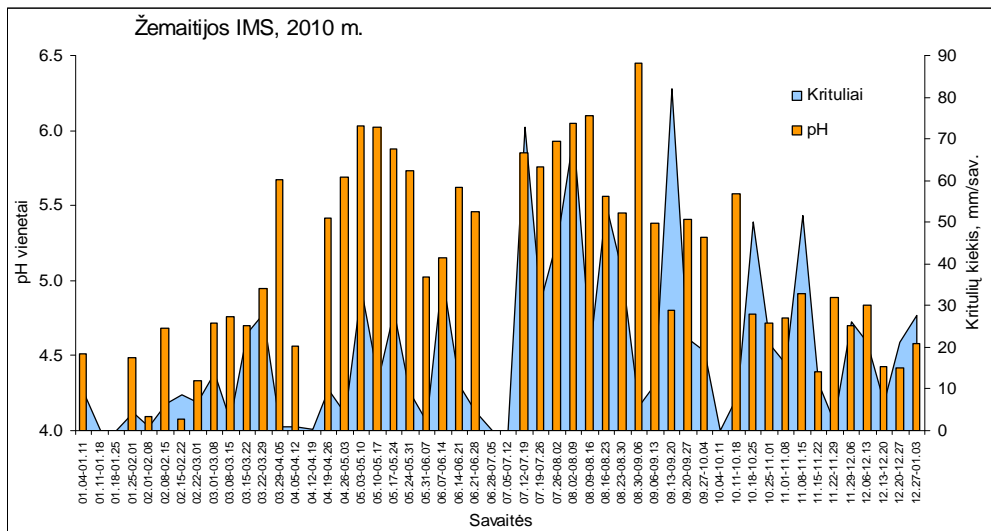


2.21 pav. SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ koncentracijų ir kritulių kiekio kaita savaitės bandiniuose Žemaitijos IMS (LT03)

LT03 stotyje kritulių pH vertės savaitės bandiniuose kito nuo 4.08 iki 6.45 (2.23 pav.). Krituliai, kurių pH vertės buvo mažesnės nei 5.0, vyravo sausio – kovo mėn. ir nuo spalio mėn. vidurio iki metų pabaigos. Per vasaros laikotarpį iškritusių kritulių pH vertė kito nuo 5.02 iki 6.45.

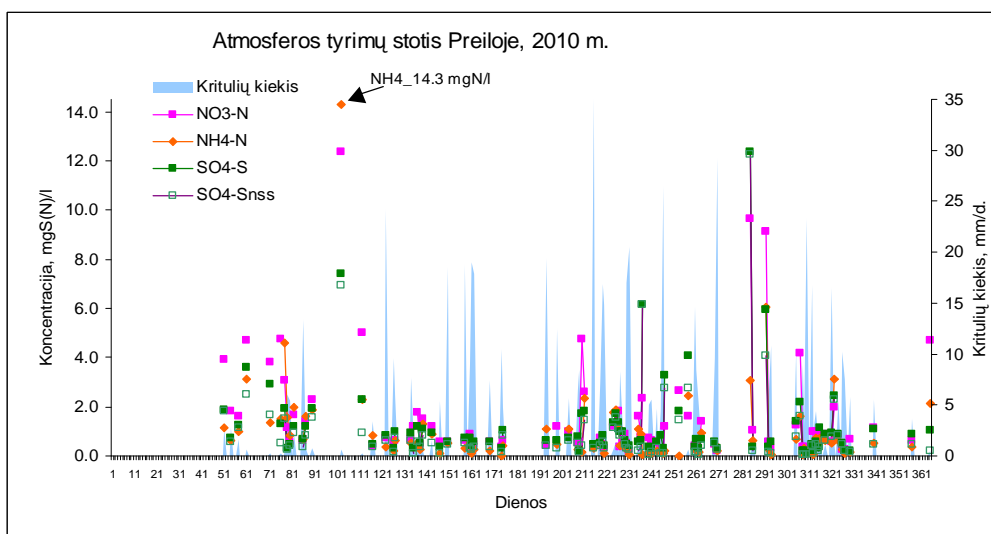


2.22 pav. Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- koncentracijų ir kritulių kiekio kaita savaitės bandiniuose Žemaitijos IMS (LT03)

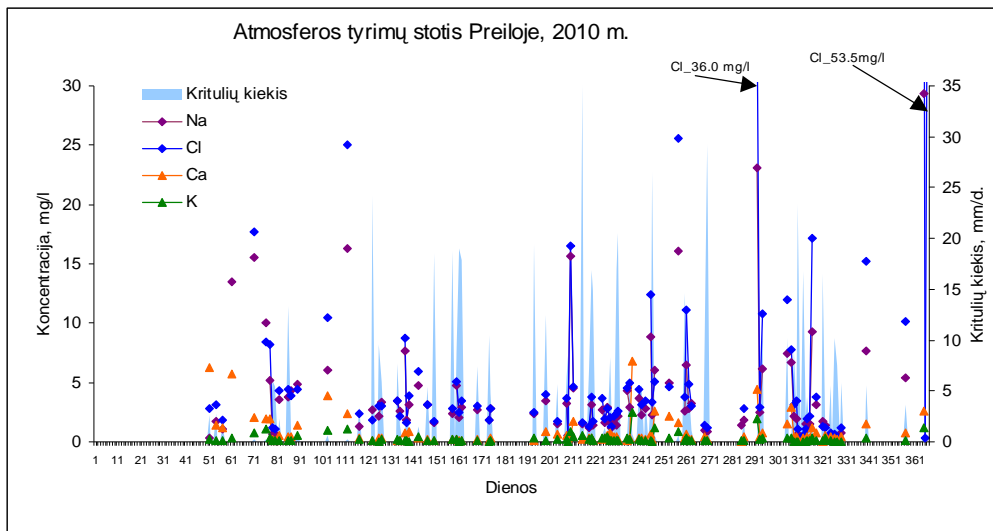


2.23 pav. pH ir kritulių kiekio kaita savaitės bandiniuose Žemaitijos IMS (LT03)

Preiloje (2.24 ir 2.25 pav.) cheminių priemaišų koncentracijos krituliuose kito gan dideliame intervale: sulfatai nuo 0.12 iki 12.35 mgS/l, nitratai nuo 0.14 iki 12.38 mgN/l, amonis nuo 0.02 iki 14.32 mgN/l, chloridas nuo 0.32 iki 53.5 mg/l, natrio nuo 0.25 iki 29.30 mg/l, kalis nuo 0.05 iki 2.52 mg/l ir kalcis nuo 0.02 iki 6.80 mg/l. Per sausesnį 2010 m. metų periodą (vasario – balandžio mėn.) matuotos ženkliai didesnės nei metų vidutinės komponentų koncentracijos. Ypatingai didelės NO_3^- ir NH_4^+ koncentracijos buvo balandžio mėn. 13-14 d. Didžiausios Na^+ ir Cl^- koncentracijos krituliuose buvo matuotos gruodžio mėn. 31 d. Per gan lietingus vasaros mėn. cheminių priemaišų koncentracijos krituliuose Preiloje buvo artimos jų 2010 m. vidutinėms.

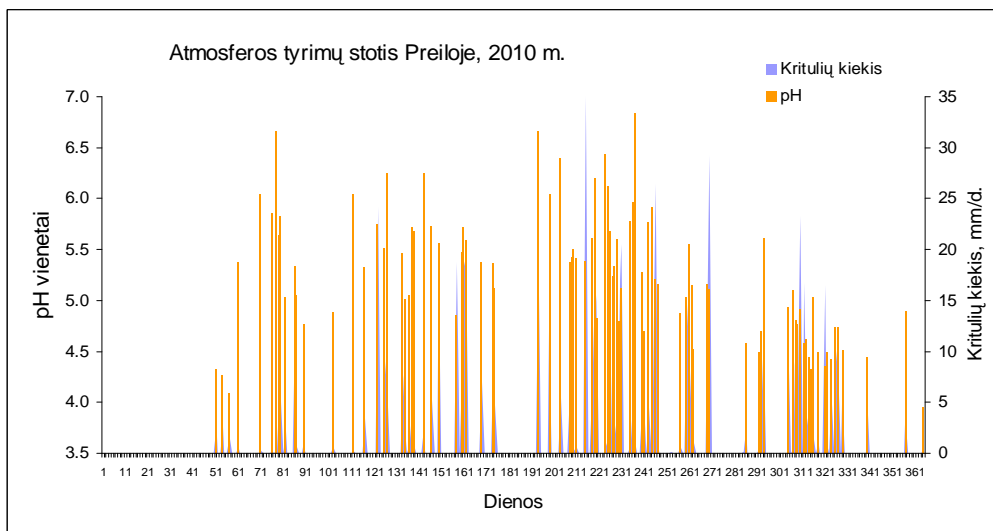


2.24 pav. SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ koncentracijų ir kritulių kiekio kaita vienos paros bandiniuose atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (LT15)

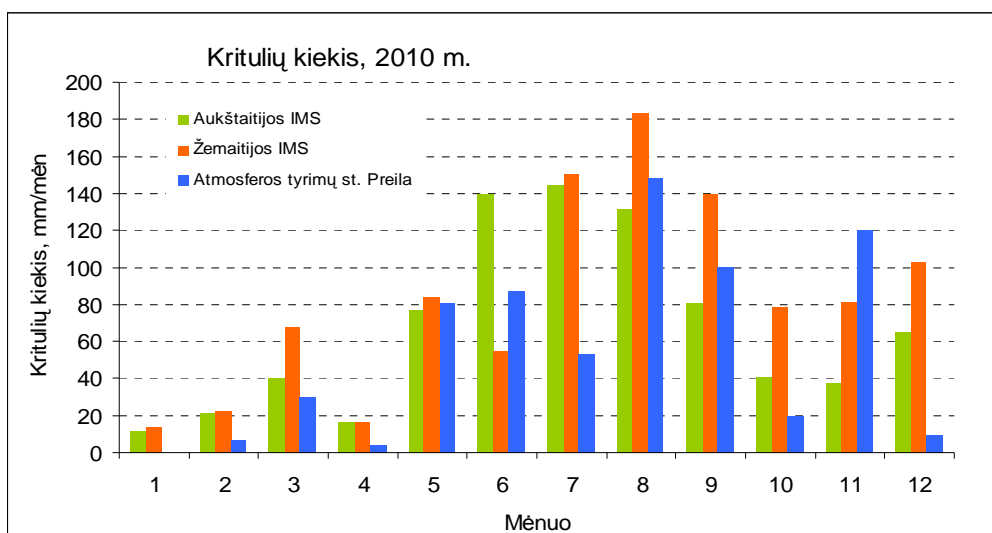


2.25 pav. Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Cl⁻ koncentracijų ir kritulių kiekio kaita vienos paros bandiniuose atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (LT15).

Vasario ir spalio – gruodžio mėn. Preiloje iškrito krituliai, kurių pH vertės kito nuo 3.95 iki 5.03. Likusiais metų mėnesiais kritulių pH kito nuo 5.04 iki 6.84 (2.26 pav.).



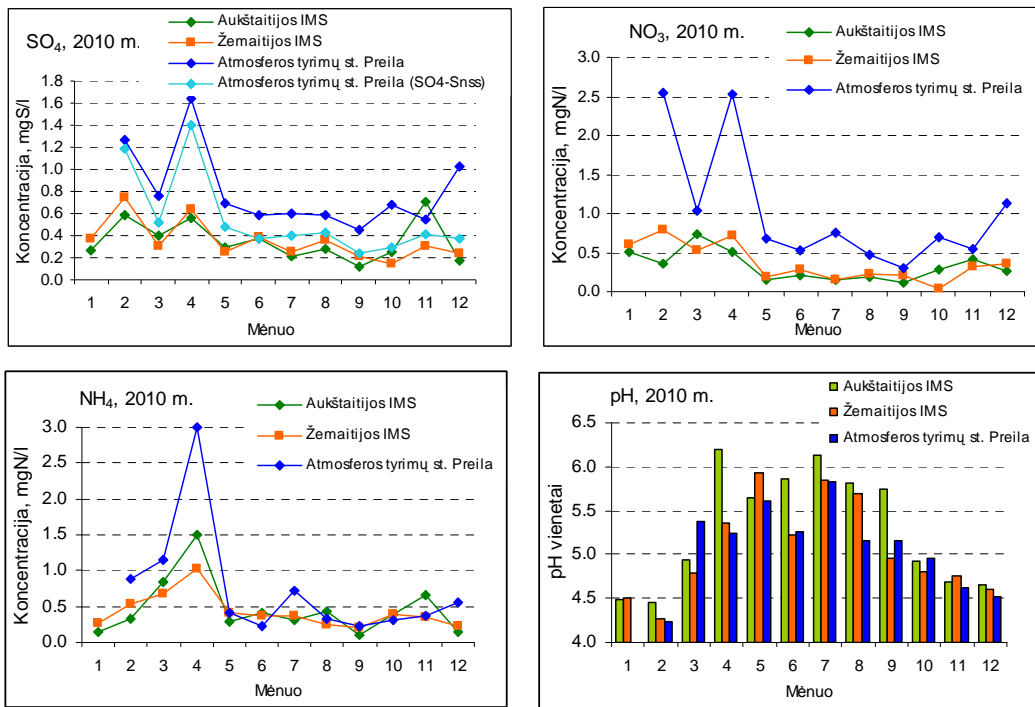
2.26 pav. pH ir kritulių kiekio kaita vienos paros bandiniuose atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (LT15)



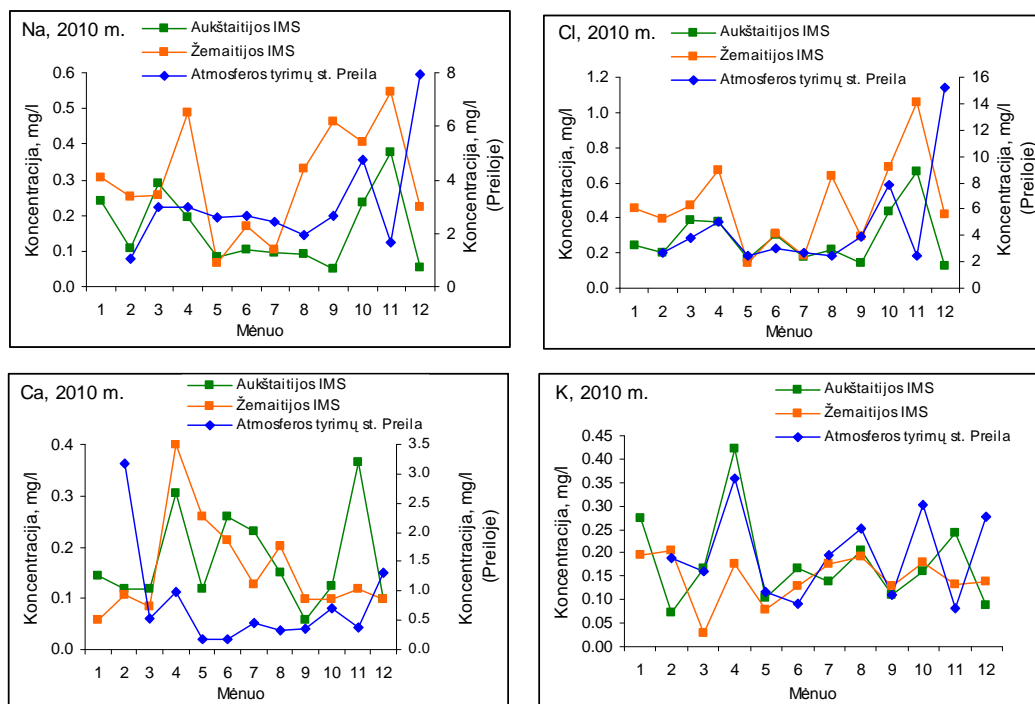
2.27 pav. Kritulių kiekio sezoninė kaita Aukštaitijos IMS (LT01), Žemaitijos IMS (LT03) ir atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (LT15)

Cheminių priemaišų koncentracijas krituliuose ir jų kiekius šlapiosiose iškritose daugiausiai veikia jų koncentracijos ore ir kritulių kiekis. 2.27 pav. pateikiami duomenys rodo gan panašią kritulių pasiskirstymo tendenciją tyrimo vietose: sausio – balandžio mėn. buvo sausiausias periodas, o vasaros mėnesiai – gan lietingi. Aukštaitijoje daugiausiai kritulių (>100 mm/mėn.) iškrito per birželio – rugpjūčio mėn. ir tai sudarė 50% metinio kiekio, o mažiausiai (<20 mm/mėn.) – per sausio – vasario ir balandžio mėn. Žemaitijos IM stotyje gausiausiai lijo (>100 mm/mėn.) per liepos – rugsėjo ir gruodžio mėn. ir kritulių kiekis sudarė 58% metinio kiekio, o mažiausiai kritulių iškrito per sausio – vasario ir balandžio mėn. Preiloje per lietingus rugpjūčio – rugsėjo ir lapkričio mėn. iškrito 56% metinio kiekio, o mažesni kritulių kiekiai (< 10 mm/mėn.) buvo vasario, balandžio, spalio ir gruodžio mėn. Sausio mėn. Preiloje kritulių nebuvo.

2.28 ir 2.29 pav. pateikiamos pagrindinių cheminių priemaišų kiekvieno mėnesio vidutinės svertinės pagal kritulių kiekį koncentracijos. Sulfatų koncentracijos, didesnės nei 2010 m. vidutinė 0.30 mgS/l (LT01) ir 0.29 mgS/l (LT03), buvo vasario-balandžio ir lapkričio mėn. Per sekančius mėnesius jos mažai skyrėsi nuo metų vidutinių koncentracijų. Preiloje šios komponentės didžiausia koncentracija (1.64 mgS/l) gauta balandžio mėn., o per kitus mėnesius kito nuo 0.45 iki 1.27 mgS/l, esant metų vidutinei koncentracijai – 0.60 mgS/l. Įvertinus Baltijos jūros įnašą, kuris kito nuo 7 iki 63 %, SO₄-S_{nss} metinė koncentracija yra 0.40 mgS/l.



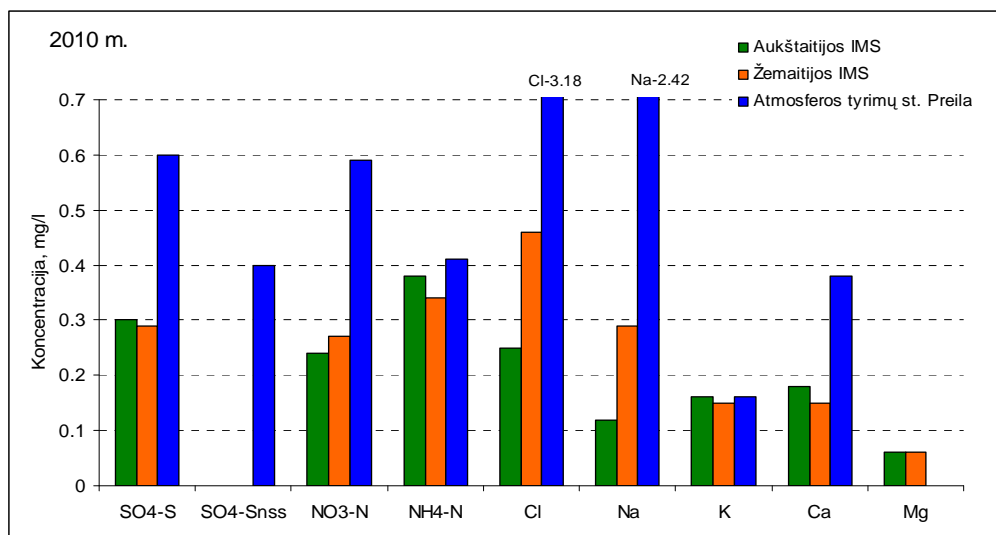
2.28 pav. SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ koncentracijų ir pH sezoninė kaita Aukštaitijos IMS (LT01), Žemaitijos IMS (LT03) ir atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (LT15)



2.29 pav. Na⁺, Cl⁻, Ca²⁺ ir K⁺ koncentracijų sezoninė kaita Aukštaitijos IMS (LT01), Žemaitijos IMS (LT03) ir atmosferos tyrimų stotyje Preiloje (LT15)

Nuo gegužės mėn., prasidėjus lietingam periodui, visose kritulių tyrimo vietose nitratinio ir amoniakino azoto koncentracijos sumažėjo. Krituliai, kurių pH vertės mažesnės nei 5.0, buvo sausio – kovo ir spalio – gruodžio mėn., o Žemaitijoje ir rugsėjo mėn.

2.29 pav. pateikti duomenys rodo, kad Na^+ , Cl^- ir Ca^{2+} vidutinės mėnesio koncentracijos Preiloje yra kelis kartus didesnės nei IM stotyse. Tai siejama su Baltijos jūra, kuri ir yra šių komponentų šaltinis. Ypatingai jūros įtaka pasireiškė spalio ir gruodžio mėn.



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

Duomenys 2.30 pav. rodo pagrindinių cheminių priemaišų vidutinių metinių, svertinių pagal kritulių kiekį, koncentracijų atmosferos krituliuose erdvinę kaitą. Nedideli skirtumai matomi tarp cheminių komponentų koncentracijų (išskyrus Na^+ ir Cl^-) Aukštaitijos IMS ir Žemaitijos IMS rinktuose krituliuose. Preiloje sulfatų, nitratų, chloridų ir natrio koncentracijos yra kelis kartus didesnės nei Aukštaitijoje ir Žemaitijoje

Cheminių priemaišų kiekiai šlapiuose iškritose įvertinti pagal priemaišų koncentracijas krituliuose ir kritulių kiekius. Pagrindinių cheminių priemaišų šlapiųjų srautų sezoninė kaita pateikiama 1, 2 ir 3 lentelėse. Duomenys rodo, kad priemaišų kiekius šlapiuose srautuose daugiausiai lėmė kritulių kiekis ir jis buvo didžiausias antrame pusmetyje. Per lietingus mėnesius į žemės paviršių pateko: 60% metinio kiekio SO_4^{2-} , 55% NO_3^- ir 63% NH_4^+ Aukštaitijos IMS; 46% SO_4^{2-} , 64% NO_3^- ir 42% NH_4^+ Žemaitijos IMS; 42% SO_4^{2-} , 70% NO_3^- ir 72% NH_4^+ atmosferos tyrimų stotyje Preiloje.

1 lentelė. Pagrindinių cheminių priemaišų šlapiųjų srautų sezoninė kaita Aukštaitijos IMS (LT01)

Metai, mėnuo	Kritulių kiekis, mm	Šlapiasis srautas, mg m ⁻² mėn ⁻¹							
		SO ₄ -S	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2010.01	11.4	3.01	5.91	1.66	2.74	2.72	3.13	1.64	0.67
2010.02	21.5	12.71	7.81	6.85	4.36	2.30	1.53	2.52	0.71
2010.03	40.0	16.0	29.26	34.05	15.5	11.63	6.66	4.77	3.03
2010.04	16.6	9.37	8.44	24.97	6.23	3.23	7.00	5.08	1.08
2010.05	77.1	23.11	12.23	22.92	13.16	6.34	7.91	9.08	11.01
2010.06	140.1	51.66	28.49	56.15	41.77	14.53	23.38	36.43	7.22
2010.07	144.7	30.44	22.61	44.46	25.96	13.59	19.87	33.51	7.14
2010.08	131.6	37.36	24.92	57.17	28.21	11.90	26.88	19.88	6.07
2010.09	80.5	9.84	8.84	8.72	11.47	3.96	8.85	4.67	2.16
2010.10	40.9	10.16	11.86	15.64	17.85	9.58	6.59	5.08	3.17
2010.11	37.9	26.53	15.17	24.56	24.88	14.15	9.04	13.67	3.20
2010.12	64.8	11.67	16.65	9.54	8.71	3.45	5.80	6.42	4.05
Metinis	806.4	241.8 6	192.19	306.69	200.84	97.39	126.67	142.76	49.50

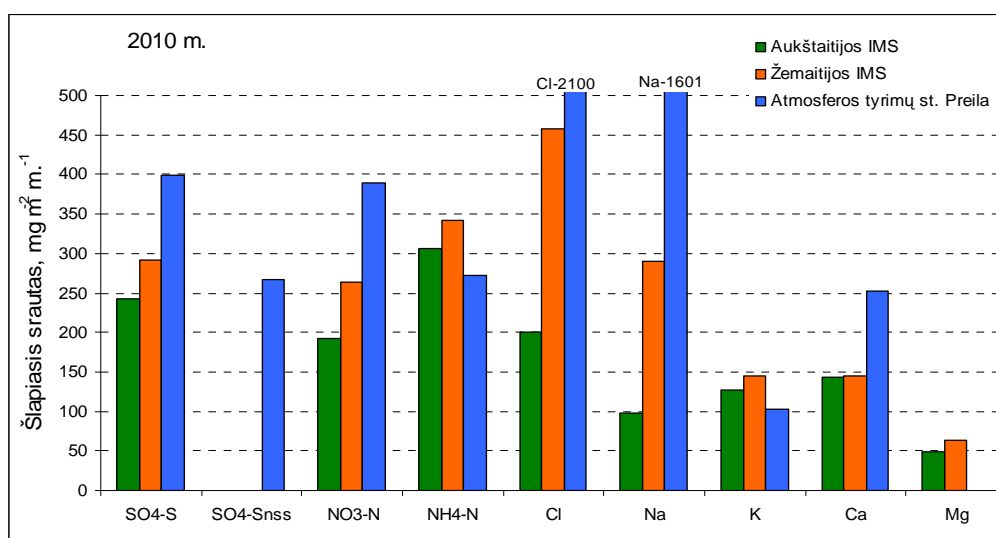
2 lentelė. Pagrindinių cheminių priemaišų šlapiųjų srautų sezoninė kaita Žemaitijos IMS (LT03)

Metai, mėnuo	Kritulių kiekis, mm	Šlapiasis srautas, mg m ⁻² mėn ⁻¹							
		SO ₄ -S	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2010.01	13.6	5.10	8.30	3.63	6.14	4.18	2.66	0.78	0.48
2010.02	22.8	17.01	18.03	12.15	9.05	5.77	4.65	2.42	0.91
2010.03	67.5	21.07	35.14	45.80	31.75	17.43	1.90	5.63	2.78
2010.04	16.1	10.28	11.57	16.62	10.85	7.86	2.86	6.46	1.60
2010.05	84.0	21.79	15.91	35.35	12.21	5.67	6.66	21.79	4.98
2010.06	54.4	20.83	15.88	19.92	16.77	9.28	7.10	11.56	3.22
2010.07	150.2	38.85	22.93	54.28	27.28	15.41	26.50	18.99	5.88
2010.08	183.4	65.82	42.46	44.46	117.61	61.00	35.14	37.20	12.38
2010.09	140.2	29.68	27.94	27.85	41.07	64.70	18.04	13.76	12.01
2010.10	78.8	11.45	2.98	30.08	54.36	31.82	14.22	7.62	6.46
2010.11	81.0	24.98	26.55	28.43	85.65	44.40	10.74	9.51	7.79
2010.12	103.0	24.86	36.24	23.47	44.61	23.16	14.12	10.15	5.68
Metinis	994.9	291.71	263.93	342.03	457.34	290.67	144.59	145.86	64.17

3 lentelė. Pagrindinių cheminių priemaišų šlapiųjų srautų sezoninė kaita atmosferos tyrimų st. Preiloje (LT15)

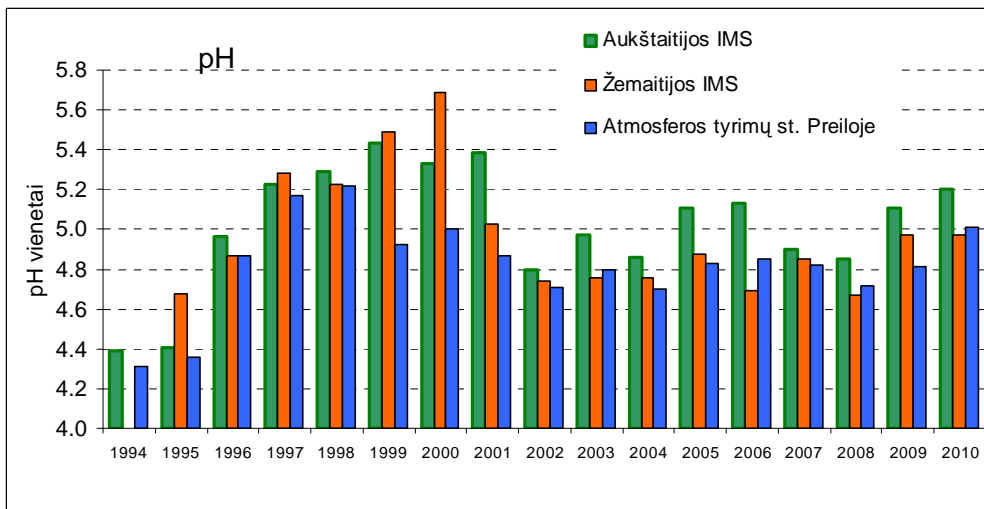
Metai, mėnuo	Kritulių kiekis, mm	Šlapiasis srautas, mg m ⁻² mėn ⁻¹							
		SO ₄ -S	SO ₄ -S _{nss}	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Cl	Na	K	Ca
2010.01	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2010.02	7.1	8.96	8.35	17.95	6.30	19.20	7.48	1.32	22.39
2010.03	30.1	22.98	15.57	31.52	34.83	114.58	90.40	4.80	16.13
2010.04	4.4	7.24	6.16	11.17	13.20	22.37	13.07	1.58	4.33
2010.05	80.4	55.44	38.51	54.17	32.94	195.21	206.48	9.46	14.42
2010.06	87.3	51.12	32.12	46.60	20.57	262.30	231.64	7.96	14.61
2010.07	53.0	31.50	20.86	39.65	37.94	140.61	129.81	10.35	24.04
2010.08	148.3	86.55	62.85	68.62	48.11	363.81	288.97	37.56	48.87
2010.09	100.4	45.11	23.52	30.08	23.62	390.61	263.31	11.12	34.57
2010.10	19.5	13.35	5.71	13.71	6.12	152.96	93.19	5.89	13.79
2010.11	120.4	66.05	49.67	64.95	43.62	290.29	199.78	9.70	46.29
2010.12	9.72	10.00	3.68	11.10	5.32	148.32	77.16	2.68	12.63
Metinis	660.7	398.3	267.0	389.51	272.57	2100.3	1601.3	102.45	252.07

Nagrinėjant pagrindinių cheminių priemaišų šlapiose iškritose 2010 m. erdvinę kaitą (2.31 pav.) akivaizdu, kad skirtumai tarp stočių yra nedideli, išskyrus NO₃⁻, Na⁺, Cl⁻ ir Ca²⁺. Šių cheminių priemaišų šlapiji srautai Preiloje yra didesni nei IM stotyse: Na⁺, Cl⁻ ir Ca²⁺ – daugiausiai dėl įnašo iš Baltijos jūros, o NO₃⁻ – dėl didesnių nitratų koncentracijų krituliuose ir azoto oksido koncentracijų ore.

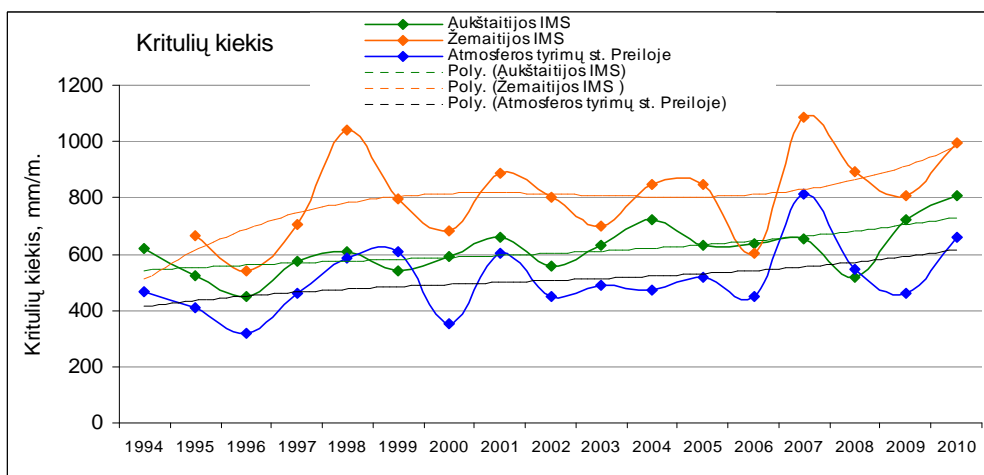


2.31 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų šlapiųjų srautų erdvinė kaita

Pateiktos kritulių metinės pH vertės (2.32 pav.) rodo nežymų didėjimą paskutiniųjų šešerių metų laikotarpyje (2005 –2010 m.) : Aukštaitijoje – nuo 5.11 iki 5.20; Žemaitijoje – nuo 4.88 iki 4.97; Preiloje – nuo 4.83 iki 5.01.

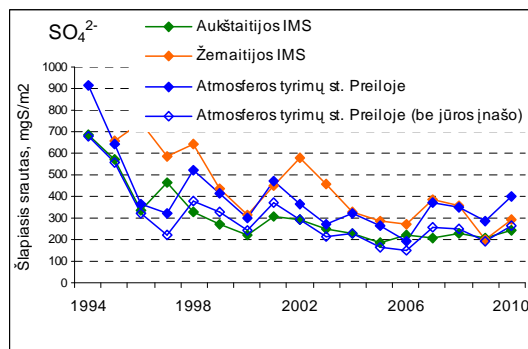
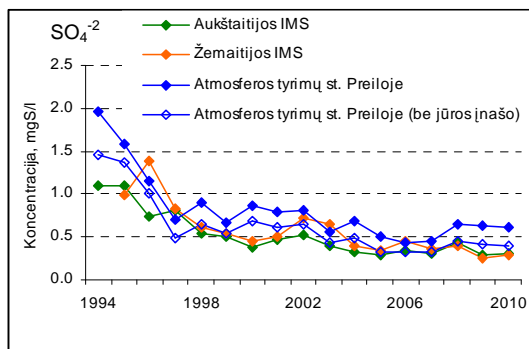


2.32 pav. Kritulių pH metinė kaita



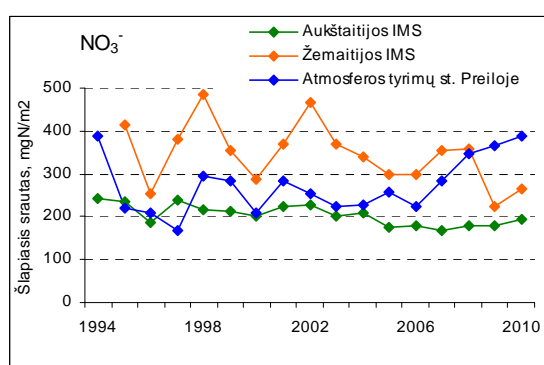
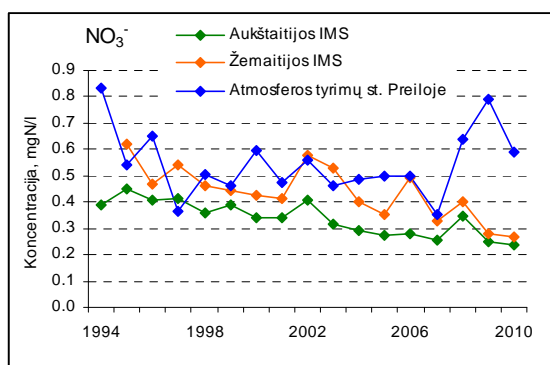
2.33 pav. Kritulių kiekio metinė kaita

Akivaizdi metinio kritulių kiekio didėjimo tendencija (2.33 pav.) rytinėje ir vakarinėje Lietuvos dalyse. Kritulių kiekio didėjimas darė įtaką daugumos cheminių priemaišų šlapiams srautams. *Beveik nesikeičiant nuo 2005 m. sulfatų koncentracijai krituliuose (2.34 pav.), didėja jų šlapiji srautai Aukštaitijoje ir Preiloje, atitinkamai 20 ir 48 %. Sulfatų šlapiųjų srautų mažėjimo tendencija (10 %) per paskutinius metus matoma Žemaitijoje.*

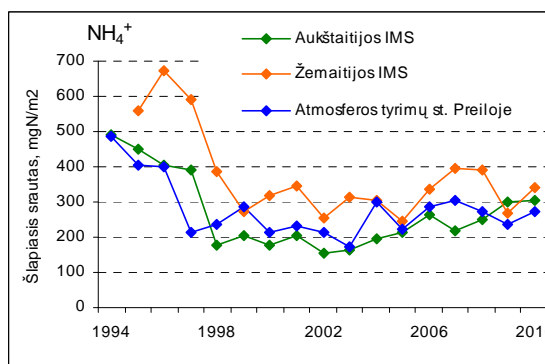
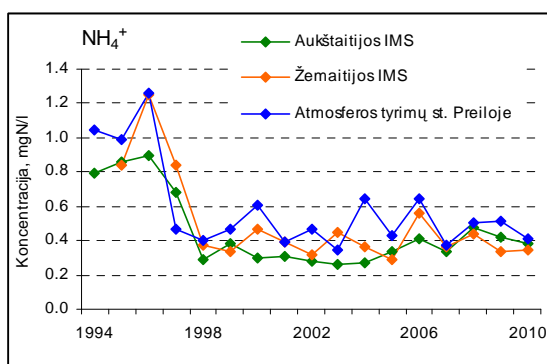


2.34 pav. Sulfatų koncentracijos (mgS/l) krituliuose ir šlapiųjų srautų (mgS/m²) metinė kaita

Aukštaitijos IMS ir Žemaitijos IMS nitratų koncentracijos krituliuose mažėja, o Preiloje – didėja (2.35 pav.). *Nuo 2005 m. nitratų šlapiųjų metinių srautų kaitoje stebima mažėjimo tendencija tik Žemaitijoje, o Aukštaitijoje ir ypatingai Preiloje – didėjimo.* Tai gali būti dėl įvairių priežasčių. Didėjantis kritulių metinis kiekis Aukštaitijoje daro teigiamą įtaką šlapiajam nitratų srautui, o Preiloje nitratų šlapiojo srauto ryški didėjimo tendencija yra veikiami ne tik kritulių kiekio didėjimo, bet ir jų koncentracijų didėjimo krituliuose ir ore.



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



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

Amonio koncentracija ir jo šlapiasis srautas per paskutiniuosius metus nuo 2005 m. visumoje rodo didėjimo tendenciją. Ypatingai ryški ji matoma Aukštaitijos IMS (~ 51 %) ir ši amonio srauto didėjimo tendencija žymiai mažesnė (~ 3 %) Žemaitijos IMS ir Preiloje.

Išvados

Vertinant cheminių priemaišų foninių koncentracijų atmosferos šlapiose iškritose 2010 m. tyrimų duomenis Aukštaitijos integruoto monitoringo stotyje (LT01), Žemaitijos integruoto monitoringo stotyje (LT03) ir atmosferos užterštumų tyrimo stotyje Preiloje (LT15), daromos tokios išvados:

- Tirtoms cheminėms priemaišoms yra būdingas didelis koncentracijų kaitos intervalas kritulių savaitės bandiniuose IMS ir kritulių paros bandiniuose Preiloje.
- Metinė sulfatų (SO_4^{2-}) koncentracija Aukštaitijoje gauta didesnė nei Žemaitijoje, o Preiloje SO_4^{2-} - S_{tot} – apie 3 kartus didesnė nei IM stotyse.
- Mažėjimo tendencija rytų kryptimi matoma nitratų (NO_3^-) koncentracijų erdvinėje kaitoje.
- Nežymi erdvinė kaita gauta amonio (NH_4^+) metinei koncentracijai.
- Ypatingai ryški didėjimo tendencija vakarų kryptimi yra natrio (Na^+) ir chloridų (Cl^-) metinių koncentracijų erdvinėje kaitoje.
- Rūgščiausi krituliai 2010 m. buvo Žemaitijoje: pH kritulių metinės vertės tokios: LT03 – 4.97, Preiloje – 5.01 ir LT01 – 5.20.
- Nagrinėjant pagrindinių cheminių priemaišų šlapiose iškritose 2010 m. erdvinę kaitą akivaizdu, kad skirtumai tarp stočių yra nedideli, išskyrus NO_3^- , Na^+ , Cl^- ir Ca^{2+} . Šių cheminių priemaišų šlapieji srautai yra kelis kartus didesni Preiloje nei IM stotyse: Na^+ , Cl^- ir Ca^{2+} – daugiausiai dėl įnašo iš Baltijos jūros, o NO_3^- – dėl didesnių koncentracijų krituliuose ir oksiduotų azoto junginių koncentracijų ore.
- Žemaitijos IMS visų pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos polajiniuose krituliuose yra didesnės nei Aukštaitijos IMS, o atviroje vietoje rinktuose krituliuose koncentracijos yra gan panašios, išskyrus, NO_3^- , Cl^- ir Na^+ .
- Pagrindinių cheminių priemaišų srautai į miško paklotę abiejose IM stotyse 2010 m. yra netolygūs kritulių kiekiui; esant 20% didesniai kritulių metiniam kiekiui Žemaitijos IMS nei Aukštaitijos IMS, į polajį Žemaitijoje pateko 2.8 kartus daugiau sieros, 5.4 karto daugiau nitratinio azoto ir 2.9 karto daugiau amonio azoto, 3.6 – 4.5 karto daugiau chloridų, natrio ir kalio, 2.5 – 3.2 karto daugiau kalcio ir magnio. Šie skirtumai tarp stočių gali būti dėl lajos skirtingos struktūros: Aukštaitijoje vyrauja pušynai, o Žemaitijoje – eglynai.

- Kritulių metinės pH vertės rodo nežymų didėjimą paskutiniųjų šešerių metų Aukštaitijoje – nuo 5.11 iki 5.20; Žemaitijoje – nuo 4.88 iki 4.97; Preiloje – nuo 4.83 iki 5.01.
- Metinio kritulių kiekio didėjimo tendencija (2005 – 2010 m.) akivaizdi ir rytinėje, ir vakarinėje Lietuvos dalyje. Didėjantis kritulių kiekis darė įtaką daugumos cheminių priemaišų šlapiesiems srautams.
- Beveik nesikeičiant nuo 2005 m. sulfatų koncentracijai krituliuose, didėja jų metiniai šlapieji srautai Aukštaitijoje ir Preiloje, atitinkamai 20 ir 48 %. Sulfatų šlapiųjų srautų mažėjimo tendencija (10 %) per paskutiniuosius metus matoma Žemaitijoje.
- Nuo 2005 m. nitratų šlapiųjų metinių srautų kaitoje stebima mažėjimo tendencija tik Žemaitijoje, o Aukštaitijoje ir ypatingai Preiloje – didėjimo.
- Amonio metinių koncentracijų ir jo šlapiųjų srautų per paskutiniuosius metus kaitoje nuo 2005 m. stebima didėjimo tendencija. Ypatingai ryški ji matoma Aukštaitijos IMS (~ 51 %). Žymiai mažesnė (~ 3 %) amonio šlapiojo srauto didėjimo tendencija Žemaitijos IMS ir Preiloje.

2.3. Pagrindinių cheminių priemaišų bei fizinių parametru 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).

Vykstanti biologinė sąveika tarp krituliuose bei atmosferoje esančių teršalų ir lajos, keičia kritulių cheminę sudėtį jiems krentant per medžių lają, o taip pat ir teršalų srautus į miško paklotę. Cheminiai elementai (azoto junginiai, kalis, natris, magnis), kurie dalyvauja medžių lajos biologiniuose procesuose, gali būti ir paimami iš kritulių, ir išplaunami jais iš lajos. Tuo pačiu metu vyksta cheminių priemaišų nuplovimas, kurios sausai nusėdo iš

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

Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos krituliuose ir srautai po medžių laja ir atviroje vietoje, matuoti 2010 m. Aukštaitijos IM stotyje (LT01), pateikti 4 ir 5 lentelėse. Kritulių pH rodo, kad rūgščiausi krituliai ($\text{pH} < 5.0$) po laja buvo per sausio – balandžio ir lapkričio – gruodžio mėnesius, o per likusius metų mėnesius vyravo krituliai, kurių pH kito nuo 5.41 iki 5.79. Atviroje vietoje kritulių $\text{pH} < 5.0$ matuota sausio – vasario ir lapkričio – gruodžio mėnesius, o per likusius - nuo 5.42 iki 6.23. Įvertinus kritulių kiekį, metinė pH vertė po laja ir atviroje vietoje yra 5.08. Nagrinėjant sulfatų koncentracijų ir iškritų (4 ir 5 lentelės) sezoninę kaitą matyti, kad didžiausia koncentracija krituliuose po laja buvo vasario mėn. (1.10 mgS/l), o per likusius mėnesius kito nuo 0.16 mgS/l (rugsėjo mėn.) iki 0.76 mgS/l (lapkričio mėn.). Didesnius sulfatų srautus vasario, birželio, lapkričio mėn. po laja ir atviroje vietoje lėmė gauseni krituliai.

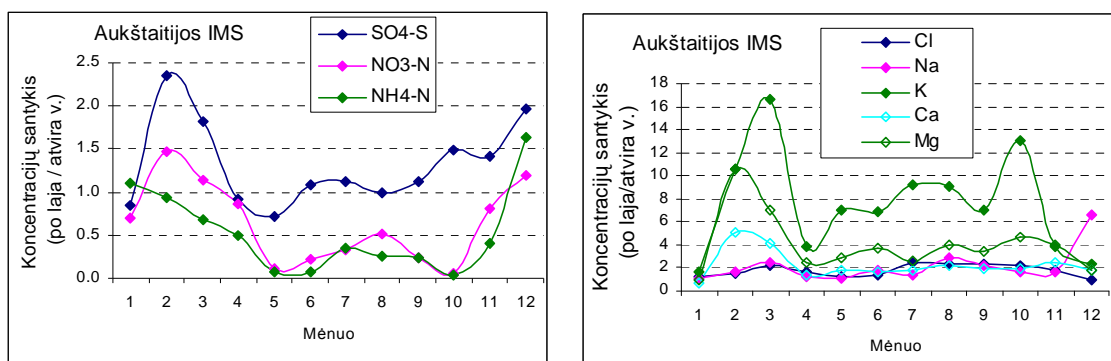
4 ir 5 lentelėse pateikti duomenis rodo, kad nitratų ir amonio koncentracija gegužės – spalio mėn. polajiniuose krituliuose ženkliai sumažėjo ir kito nuo 0.02 iki 0.11 mgN/l ir tai lėmė mažesnę nei kitais mėn. iškritusio į polajį azoto kiekį. Didesnes nitratų koncentracijas polajiniuose krituliuose sausio – balandžio mėn., tikėtina, lėmė nitratų nuplovimas su krituliais nuo lajos.

Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų krituliuose sezoninę kaitą iliustruoja duomenys, kurie pateikti 2.37 paveiksle. Sulfatų koncentracijų santykio (po laja/atvira vieta) kaita per žiemos mėn. nuo 1.5 iki 2.5, o per likusius apie 1.0, gali būti siejama sieros junginių (SO_2 ir aerozolinių 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 koncentracijas polajiniuose krituliuose nuo gegužės iki lapkričio mėn.: nitratų koncentracijų santykis (po laja/atvira vieta) kinta nuo didžiausio 1.46 (vasario mėn.) iki 0.10 (gegužės mėn.) ir amonio – nuo 1.10 (sausio mėn.) iki 0.07 (gegužės ir birželio mėn.). Tokie azoto junginių koncentracijų pokyčiai polajiniuose krituliuose gali būti siejami su azoto kaip maistinio elemento absorbcija lajoje.

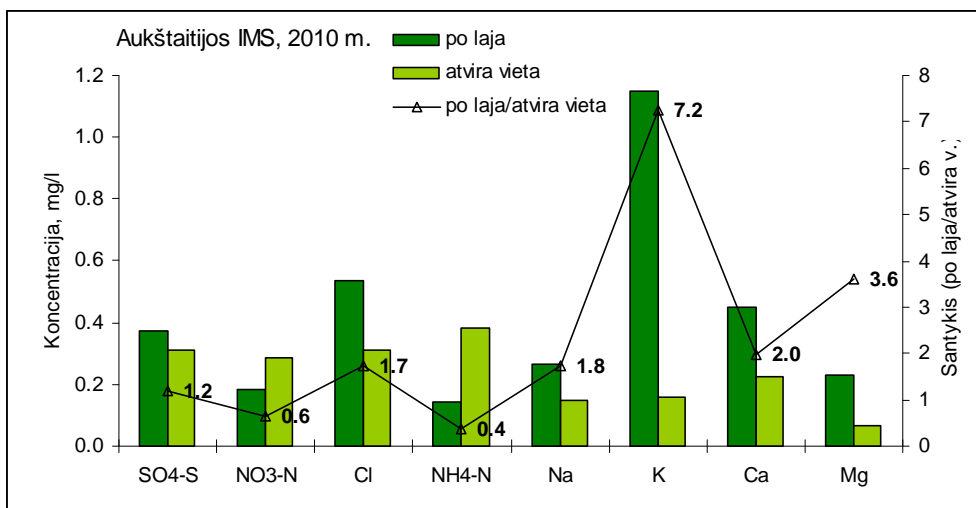
Priešingai azoto junginiams, tyrimai rodo kelis kart didesnes Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} ir keliolika kartų didesnes K^+ koncentracijas krituliuose po laja nei atviroje vietoje. K^+ koncentracijų santykis (po laja/atvira vieta) kito nuo 1.7 iki 16.6, Cl^- nuo 1.0 iki 2.4 ir Mg^{2+} – nuo 1.0 iki 10.6. Toks žymus šių komponentų koncentracijų padidėjimas polajiniuose krituliuose gali būti

siejamas tiek su nuplovimu nuo lajos, tiek su išplovimu iš lajos, ypatingai kalio ir magnio atveju.

Apibendrinti pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų ir iškritų tyrimų krituliuose po miško laja ir miške atviroje vietoje Aukštaitijoje (LT01) duomenys pateikti 2.38 ir 2.39 pav. Polajiniai krituliai labiausiai praturtinami K^+ , mažiau Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , Na^+ ir SO_4^{2-} . Mažesnės yra nitratinio ir amoniakinio azoto koncentracijos polajiniuose krituliuose nei atviroje vietoje rinktuose krituliuose.



2.37 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų santykio (po laja/atvira vieta) sezoninė kaita Aukštaitijos IMS (LT01)



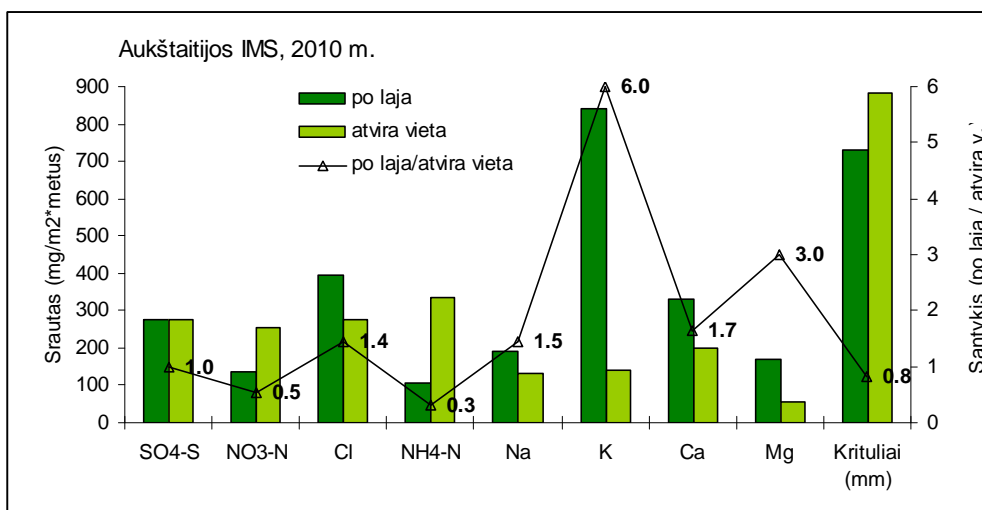
2.38 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų vidutinės koncentracijos, svertinės pagal kritulių kiekį, po laja ir atviroje vietoje Aukštaitijos IMS (LT01)

4 lentelė. pH ir pagrindinių cheminių priemaišų vidutinės (svertinės pagal kritulių kiekį) koncentracijos (mg/l) krituliuose po laja ir atviroje vietoje Aukštaitijos IMS (LT01)

<i>Po medžių laja</i>									
Metai, mėnuo	pH	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2010.01	4.48	0.30	0.45	0.22	0.35	0.18	0.24	0.15	0.05
2010.02	4.46	1.10	0.50	0.28	0.58	0.14	0.63	0.70	0.29
2010.03	4.91	0.68	0.76	0.60	0.90	0.56	1.00	0.54	0.26
2010.04	4.99	0.55	0.53	0.49	0.54	0.29	0.91	0.62	0.24
2010.05	5.79	0.22	0.02	0.03	0.44	0.18	1.47	0.44	0.19
2010.06	5.77	0.41	0.04	0.02	0.50	0.25	1.58	0.50	0.25
2010.07	5.64	0.23	0.06	0.09	0.44	0.21	1.38	0.46	0.22
2010.08	5.41	0.28	0.11	0.12	0.57	0.31	1.27	0.49	0.25
2010.09	5.88	0.16	0.03	0.03	0.38	0.17	0.78	0.28	0.18
2010.10	5.59	0.34	0.02	0.01	0.94	0.43	2.74	0.58	0.51
2010.11	4.86	0.76	0.31	0.25	0.98	0.48	0.91	0.60	0.30
2010.12	4.66	0.22	0.27	0.14	0.25	0.13	0.20	0.22	0.09
vidutinė	5.08	0.38	0.19	0.14	0.54	0.26	1.15	0.45	0.23
<i>Atvira vieta</i>									
Metai, mėnuo	pH	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2010.01	4.20	0.36	0.64	0.20	0.28	0.17	0.14	0.20	0.05
2010.02	4.30	0.47	0.34	0.30	0.37	0.09	0.06	0.14	0.03
2010.03	5.42	0.37	0.67	0.87	0.42	0.22	0.06	0.13	0.04
2010.04	5.90	0.60	0.62	0.98	0.32	0.25	0.24	0.47	0.10
2010.05	6.08	0.31	0.19	0.35	0.34	0.16	0.21	0.24	0.07
2010.06	6.06	0.38	0.21	0.34	0.35	0.14	0.23	0.29	0.07
2010.07	6.22	0.21	0.18	0.26	0.18	0.16	0.15	0.26	0.08
2010.08	6.23	0.28	0.22	0.46	0.24	0.11	0.14	0.22	0.06
2010.09	5.98	0.14	0.13	0.13	0.16	0.08	0.11	0.15	0.05
2010.10	5.65	0.23	0.26	0.24	0.42	0.27	0.21	0.31	0.11
2010.11	4.67	0.53	0.39	0.61	0.53	0.30	0.24	0.25	0.08
2010.12	4.84	0.11	0.23	0.09	0.25	0.02	0.09	0.12	0.05
vidutinė	5.08	0.31	0.29	0.38	0.31	0.15	0.16	0.23	0.06

5 lentelė. Kritulių kiekio ir pagrindinių cheminių priemaišų srautai (mg/m²) po laja ir atviroje vietoje Aukštaitijos IMS (LT01)

<i>Po medžių laja</i>									
Metai, mėnuo	Krituliai, mm/mėn	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2010.01	23.0	6.99	10.38	5.08	8.09	4.14	5.54	3.35	1.16
2010.02	35.0	38.59	17.39	9.74	20.18	4.98	21.87	24.57	10.03
2010.03	38.6	26.11	29.32	23.10	34.59	21.43	38.52	20.77	10.05
2010.04	35.9	19.86	19.19	17.69	19.39	10.58	32.64	22.16	8.46
2010.05	69.4	15.45	1.42	1.97	30.34	12.50	102.36	30.44	13.26
2010.06	92.9	38.06	4.14	2.11	46.16	22.96	146.83	46.15	22.96
2010.07	85.5	20.08	5.01	7.71	37.42	18.26	117.68	39.28	19.18
2010.08	92.4	25.52	10.39	10.84	52.92	28.80	117.57	45.34	23.30
2010.09	90.8	14.28	2.88	2.90	34.05	15.79	70.40	25.30	16.23
2010.10	45.8	15.67	0.69	0.43	43.23	19.80	125.69	26.53	23.38
2010.11	51.3	38.72	16.03	12.91	50.10	24.47	46.74	30.93	15.41
2010.12	71.5	15.45	19.50	10.14	17.72	9.38	14.26	15.46	6.31
Metinė	732.2	274.8	136.4	104.6	394.2	193.1	840.1	330.3	169.7
<i>Atvira vieta</i>									
Metai, mėnuo	Krituliai, mm/mėn	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2010.01	18.0	6.48	11.52	3.60	5.04	3.06	2.52	3.60	0.95
2010.02	48.5	22.81	16.50	14.56	17.96	4.13	2.86	6.79	1.31
2010.03	60.8	22.51	40.77	52.94	25.56	13.39	3.65	7.91	2.25
2010.04	42.2	25.31	26.15	41.33	13.50	10.54	10.12	19.82	4.05
2010.05	80.4	24.94	15.28	28.15	27.35	12.87	16.89	19.31	5.23
2010.06	122.9	46.69	25.80	41.77	43.00	17.20	28.26	35.63	8.11
2010.07	83.7	17.58	15.07	21.76	15.07	13.39	12.56	21.76	7.03
2010.08	119.4	33.43	26.27	54.92	28.65	13.13	16.71	26.27	7.52
2010.09	83.9	11.74	10.90	10.90	13.42	6.46	9.23	12.58	4.36
2010.10	51.5	11.85	13.39	12.36	21.63	13.91	10.82	15.97	5.67
2010.11	76.2	40.41	29.73	46.51	40.41	22.87	18.30	19.06	5.72
2010.12	95.3	10.48	21.91	8.29	23.82	1.91	8.10	11.43	4.57
Metinė	882.8	274.2	253.3	337.1	275.4	132.9	140.0	200.1	56.8

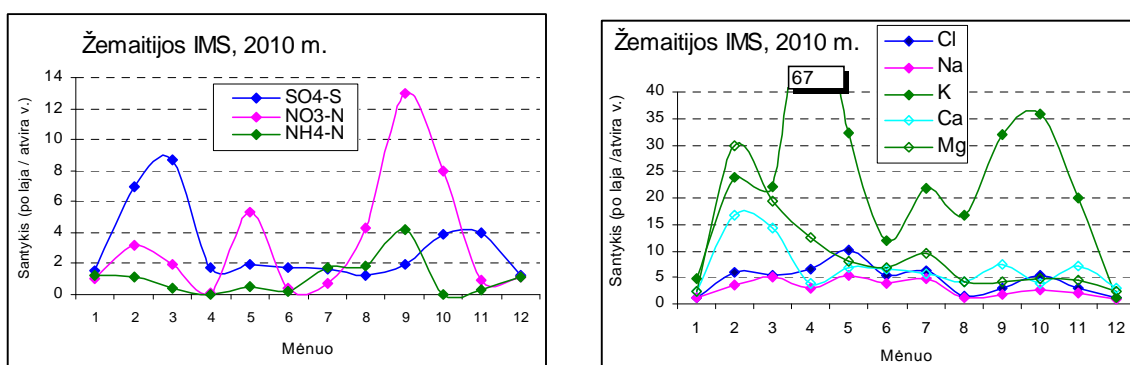


2.39 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų sravai po laja ir atviroje vietoje Aukštaitijos IMS (LT01)

Kritulių kiekio santykis (po laja/atvira vieta) kito nuo 0.7 iki 1.3. 2010 m. vidutinė metinė šio santykio reikšmė yra 0.80. Todėl galima sakyti, kad lajoje susilaikė apie 20 % kritulių kiekio, kuris iškrito atviroje vietoje. Aukštaitijos IMS iškrito gan didelis, palyginti su kitais metais, kritulių kiekis: po laja 732.2 mm ir atviroje vietoje 882.8 mm. Aukštaitijoje į miško paklotę sulfatinės sieros iškrito tiek pat kiek ir atviroje vietoje, tačiau 6 kartus daugiau kalio, 1.5 karto – natrio, 1.4 karto – chloridų, 1.7 karto – kalcio, 3.0 kartus daugiau magnio, nors polajinių kritulių kiekis buvo mažesnis nei atviroje vietoje. Nustatyta, kad azoto iškrito 2.4 karto mažiau į miško paklotę nei atviroje vietoje.

2.3.2. Žemaitijos IM stotis (LT01).

Pagrindinių cheminių priemaišų krituliuose po laja ir atviroje vietoje koncentracijų sezoninė kaita Žemaitijos IMS (LT03) pateikta 2.40 pav.



2.40 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų santykio (po laja/atvira vieta) sezoninė kaita Žemaitijos IMS (LT03)

Nagrinėjant sulfatų koncentraciją metinę kaitą matyti, kad sulfatų koncentracija buvo 7 ir 9 kartus didesnė krituliuose po laja nei atviroje vietoje vasario ir kovo mėn. Per likusius mėnesius šis santykis kito nuo 1.2 iki 4. Tai rodo, kad polajiniai krituliai praturtinami sulfatais dėl sausai nusėdusių ant lajos sieros junginių (SO_2 ir aerolinio SO_4^{2-}) nuplovimo. Nitratų ir amonio koncentracijų ryškų padidėjimą krituliuose po laja rugsėjo mėn., matyt, reikėtų sieti su jų išplovimu gausiu lietumi (127 mm) iš lajos. Mažesnės nitratų koncentracijas krituliuose po laja nei atviroje vietoje (balandžio, birželio, liepos, lapkričio mėn.) gali būti dėl absorbcijos nitratinio azoto laja. Amonio koncentracijų santykiai (po laja/atviroje vietoje), išskyrus sausio – vasario ir liepos – rugsėjo mėn., buvo mažesni nei 1.0 ir kito nuo 0.1 iki 0.5. 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 4.7 iki 67, Cl^- nuo 1.1 iki 10.1 ir Mg^{2+} - nuo 2.3 iki 30 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.

6 ir 7 lentelėse pateikiami duomenys apie cheminių priemaišų koncentracijų krituliuose, rinktuose po laja ir atviroje vietoje, ir srautų kaitą 2010 m. Žemaitijos IMS (LT03). Rūgščiausi krituliai ($\text{pH} < 5.0$) po laja buvo per sausio – kovo ir rugsėjo – gruodžio mėn., o atviroje vietoje – per sausio – kovo ir lapkričio – gruodžio mėn. Per likusius metų mėnesius pH vertės krituliuose po laja kito nuo 5.25 iki 6.10, o atviroje vietoje – nuo 5.06 iki 6.30. Įvertinus kritulių kiekį, metinės pH vertės: po laja – 4.80 ir atviroje vietoje – 5.0, t.y., rūgštesni krituliai iškrito į miško paklotę.

Analizuojant sulfatų koncentracijų ir iškritų metinę kaitą matyti, kad didžiausia $\text{SO}_4\text{-S}$ koncentracija krituliuose po laja buvo 4.46 mgS/l (vasario mėn.). Per likusius mėnesius kito nuo 0.28 mgS/l (gruodžio mėn.) iki 2.61 mgS/l (kovo mėn.). Didžiausias sieros kiekis 182.0 mgS/m² į miško paklotę po laja pateko kovo mėn., o atviroje vietoje, dėl gausių kritulių gegužės – rugsėjo mėn. – 24.0 – 62.0 mgS/m².

Pagrindinių cheminių priemaišų, išskyrus NH_4^+ , metinės koncentracijos (2.41 pav.) po laja rinktuose krituliuose buvo kelis kartus didesnės nei krituliuose atviroje vietoje. NH_4^+ koncentracija polajiniuose krituliuose tik nedaug mažesnė nei krituliuose atviroje vietoje. NO_3^- koncentracija krituliuose po laja gauta 1.8 karto didesnė nei krituliuose atviroje vietoje, SO_4^{2-} koncentracija krituliuose po laja beveik 3 kartus viršijo koncentraciją krituliuose atviroje

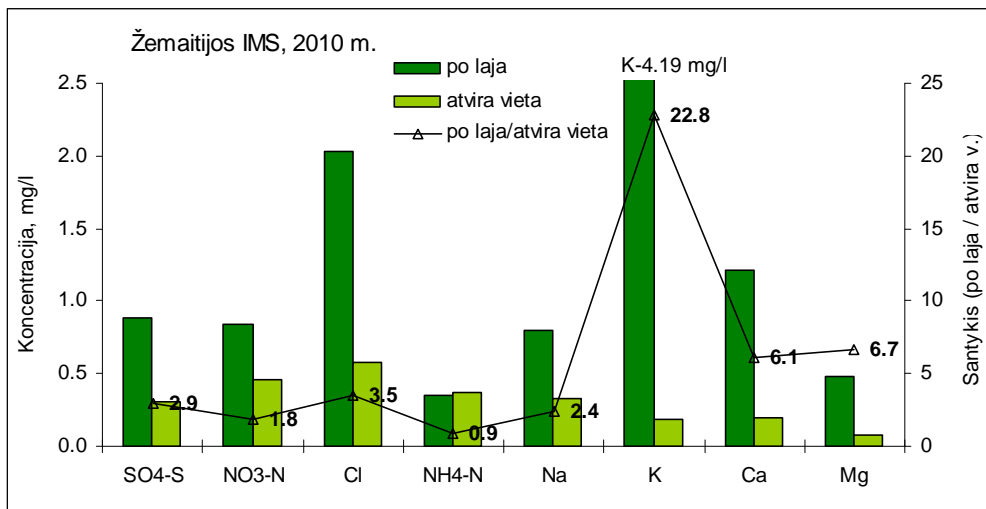
vietoje. Kelis kartus didesnės Na⁺, Cl⁻, Ca²⁺ ir Mg²⁺ koncentracijos krituliuose po laja nei atviroje vietoje. K⁺ koncentracijų santykis po laja/atvira vieta yra didžiausias.

6 lentelė. pH ir pagrindinių cheminių priemaišų vidutinės (svertinės pagal kritulių kiekį) koncentracijos (mg/l) krituliuose po laja ir atviroje vietoje Žemaitijos IMS (LT03)

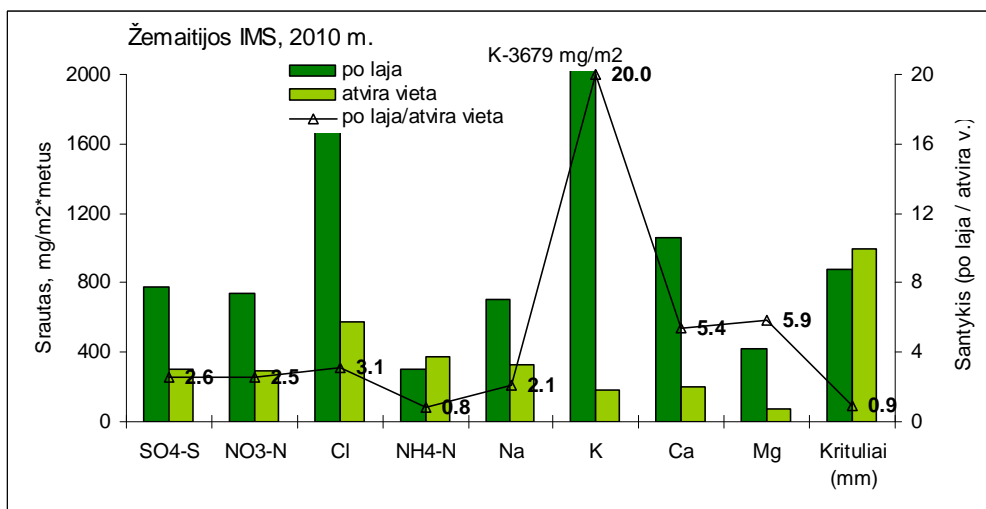
<i>Po medžių laja</i>									
Metai, mėnuo	pH	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2010.01	4.39	0.48	0.55	0.31	0.55	0.31	0.46	0.21	0.06
2010.02	4.34	4.46	2.49	0.55	2.62	1.07	5.48	3.16	1.38
2010.03	4.96	2.61	1.07	0.29	2.59	1.36	6.63	1.99	0.97
2010.04	5.58	1.46	0.10	0.02	4.99	1.84	17.49	3.29	2.14
2010.05	5.61	0.65	1.22	0.23	2.03	0.58	6.13	2.44	0.65
2010.06	6.00	0.79	0.19	0.23	1.83	0.89	6.24	1.93	0.69
2010.07	6.10	0.45	0.14	0.59	1.21	0.47	4.12	1.15	0.41
2010.08	5.25	0.44	0.95	0.71	1.10	0.64	3.34	0.94	0.36
2010.09	4.21	0.41	1.95	0.25	2.58	1.00	3.82	0.98	0.35
2010.10	5.71	0.58	0.35	0.01	4.41	1.20	6.11	0.81	0.41
2010.11	5.46	1.18	0.27	0.10	2.80	1.16	4.00	0.92	0.39
2010.12	4.77	0.28	0.38	0.23	0.47	0.14	0.22	0.33	0.12
vidutinė	4.80	0.89	0.84	0.35	2.03	0.80	4.19	1.21	0.48
<i>Atvira vieta</i>									
Metai, mėnuo	pH	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2010.01	4.50	0.31	0.54	0.25	0.42	0.26	0.10	0.09	0.03
2010.02	4.15	0.64	0.78	0.48	0.44	0.31	0.23	0.19	0.05
2010.03	4.95	0.30	0.54	0.68	0.48	0.27	0.03	0.14	0.05
2010.04	5.90	0.85	1.10	1.30	0.77	0.62	0.26	0.84	0.17
2010.05	6.02	0.33	0.23	0.48	0.20	0.11	0.19	0.35	0.08
2010.06	6.30	0.45	0.52	0.96	0.34	0.22	0.52	0.30	0.10
2010.07	6.05	0.27	0.18	0.33	0.19	0.10	0.19	0.20	0.04
2010.08	5.70	0.36	0.22	0.39	0.80	0.48	0.20	0.23	0.09
2010.09	5.06	0.21	0.15	0.06	0.89	0.53	0.12	0.13	0.08
2010.10	5.35	0.15	0.04	0.25	0.84	0.45	0.17	0.21	0.09
2010.11	4.73	0.30	0.30	0.32	0.94	0.54	0.20	0.13	0.09
2010.12	4.70	0.23	0.34	0.21	0.41	0.15	0.17	0.11	0.05
vidutinė	5.0	0.30	0.46	0.37	0.58	0.33	0.18	0.20	0.07

7 lentelė. Kritulių kiekio ir pagrindinių cheminių priemaišų srautai (mg/m²) po laja ir atviroje vietoje Žemaitijos IMS (LT03)

<i>Po medžių laja</i>									
Metai, mėnuo	Krituliai, mm/mėn	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2010.01	15.7	7.5	8.7	4.9	8.7	4.9	7.2	3.3	1.0
2010.02	36.7	163.8	91.6	20.4	96.1	39.2	201.4	116.3	50.6
2010.03	69.6	182.0	74.3	19.9	180.4	94.4	461.5	138.5	67.4
2010.04	4.8	7.1	0.5	0.1	24.1	8.9	84.6	15.9	10.4
2010.05	60.1	38.8	73.5	13.9	122.0	34.8	368.4	146.6	39.2
2010.06	27.1	21.5	5.1	6.2	49.5	24.0	169.1	52.4	18.6
2010.07	136.2	61.7	18.7	80.0	164.2	64.2	561.3	156.7	55.3
2010.08	133.2	58.5	126.6	94.5	145.9	85.3	445.2	124.6	48.1
2010.09	126.9	52.0	247.1	31.1	327.2	127.0	484.8	123.8	44.7
2010.10	80.7	46.6	28.5	0.8	355.5	97.1	493.3	65.6	33.4
2010.11	95.3	112.7	26.2	9.9	266.8	110.1	381.2	87.7	37.4
2010.12	91.7	26.1	34.6	21.2	43.2	12.5	20.4	30.3	11.4
Metinė	878.1	778.3	735.3	303.0	1783.5	702.4	3678.5	1061.6	417.5
<i>Atvira vieta</i>									
Metai, mėnuo	Krituliai, mm/mėn	SO4-S	NO3-N	NH4-N	Cl	Na	K	Ca	Mg
2010.01	19.9	6.2	10.7	5.0	8.4	5.2	1.9	1.7	0.5
2010.02	31.8	20.4	24.8	15.3	14.0	9.9	7.3	6.1	1.5
2010.03	81.1	24.3	43.8	55.1	38.9	21.9	2.6	11.4	4.1
2010.04	12.9	11.0	14.2	16.8	10.0	8.0	3.4	10.9	2.2
2010.05	80.9	26.7	18.6	38.8	16.2	8.9	15.4	28.3	6.5
2010.06	50.0	22.5	26.0	48.0	17.0	11.0	26.0	15.0	5.0
2010.07	146.3	39.5	26.3	48.3	27.8	14.6	27.8	29.3	6.1
2010.08	171.2	61.6	37.7	66.8	136.9	82.2	34.2	39.4	14.7
2010.09	135.4	28.4	20.3	8.0	120.5	71.7	16.2	17.6	11.2
2010.10	60.7	9.1	2.7	15.2	51.0	27.3	10.3	12.7	5.2
2010.11	94.6	28.4	28.4	30.3	88.9	51.1	18.9	12.3	8.1
2010.12	114.6	26.4	39.0	24.1	47.0	17.2	19.5	12.6	6.2
Metinė	999.4	304.5	292.5	371.6	576.5	329.0	183.6	197.1	71.3



2.41 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų vidutinės koncentracijos, svartinės pagal kritulių kiekį, po laja ir atviroje vietoje Žemaitijos IMS (LT03)



2.42 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų srautai po laja ir atviroje vietoje Žemaitijos IMS (LT03)

2.42 pav. pateikti duomenys rodo, kad Žemaitijos IMS 2010 m. polajinių kritulių metinis kiekis 10 % mažesnis nei atviroje vietoje: po laja iškrito 878.1 mm, o atviroje vietoje – 999.4 mm. Nustatyta, kad į miško paklotę Žemaitijoje (LT03) iškrito 2.6 karto daugiau sulfatinės sieros, 2.1 karto – natrio, 3.1 karto – chloridų, 5.4 karto – kalcio, 5.9 kartus – magnio ir 20 kartų daugiau kalio nei atviroje vietoje. Dėl amonio azoto absorbcijos laja, metinis amonio srautas į miško paklotę gautas 20 % mažesnis nei atviroje vietoje. Nitratinio azoto srautas į miško paklotę buvo 3.1 karto didesnis nei atviroje vietoje. Visumoje, 2010 m. į miško

paklotę pateko 1038 mgN/m², tai yra 1.6 karto daugiau nei su krituliais atviroje vietoje (664 mgN/m²).

8 lentelė. pH ir pagrindinių cheminių priemaišų 2010 m. vidutinės koncentracijos, svartinės pagal kritulių kiekį, po laja ir atviroje vietoje IM stotyse

Komponentė	<i>Po laja</i>		<i>Atvira vieta</i>	
	Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS	Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS
pH	5.08	4.80	5.08	5.0
SO ₄ ²⁻ , mgS/l	0.38	0.89	0.31	0.30
NO ₃ ⁻ , mgN/l	0.19	0.84	0.29	0.46
NH ₄ ⁺ , mgN/l	0.14	0.35	0.38	0.37
Cl ⁻ , mg/l	0.54	2.03	0.31	0.58
Na ⁺ , mg/l	0.26	0.80	0.15	0.33
K ⁺ , mg/l	1.15	1.19	0.16	0.21
Ca ²⁺ , mg/l	0.45	1.21	0.23	0.20
Mg ²⁺ , mg/l	0.23	0.48	0.06	0.07

Iš apibendrintų 8 lentelėje duomenų matyti, kad Žemaitijoje visų pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos polajiniuose krituliuose yra didesnės nei Aukštaitijoje, o atviroje vietoje rinktuose krituliuose koncentracijos yra gan panašios, išskyrus NO₃⁻, Cl⁻ ir Na⁺.

9 lentelė. Kritulių kiekis ir pagrindinių cheminių priemaišų metiniai srautai su krituliais po laja ir atviroje vietoje IM stotyse, 2010 m.

Komponentė	<i>Po laja</i>		<i>Atvira vieta</i>	
	Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS	Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS
Krituliai, mm	732.2	878.1	882.8	999.4
H ⁺ , meq/m ²	6.16	13.95	7.36	9.88
SO ₄ ²⁻ , mgS/m ²	274.8	778.3	274.2	304.5
NO ₃ ⁻ , mgN/m ²	136.4	735.3	253.3	292.5
NH ₄ ⁺ , mgN/m ²	104.6	303.0	337.1	371.6
Cl ⁻ , mg/m ²	394.2	1783.5	275.4	576.5
Na ⁺ , mg/m ²	193.1	702.4	132.9	329.0
K ⁺ , mg/m ²	840.1	3678.5	140.0	205.3
Ca ²⁺ , mg/m ²	330.3	1061.6	200.1	197.1
Mg ²⁺ , mg/m ²	169.7	417.5	56.8	71.3

Nustatyta, kad (9 lentelė) priemaišų kiekiai 2010 m. iškritose į miško paklotę netolygūs kritulių kiekiui. Esant 20% didesniai kritulių metiniam kiekiui Žemaitijos IMS nei Aukštaitijos IMS, į polajį Žemaitijoje pateko 2.8 kartus daugiau sieros, 5.4 k. daugiau nitratinio azoto ir 2.9 k. daugiau amonio azoto, 3.6 – 4.5 k. daugiau chloridų, natrio ir kalio, 2.5 – 3.2 k. daugiau kalcio ir magnio. Šie skirtumai tarp stočių gali būti dėl lajos skirtingos struktūros:

Aukštaitijoje vyrauja pušynai, o Žemaitijoje – eglynai. Gauti gan nedideli skirtumai (iki 20%) tarp metinių cheminių priemaišų srautų atviroje vietoje, išskyrus Cl^- , Na^+ ir K^+ .

Išvados

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

- Atmosferiniams krituliams krentant per medžių lają, cheminių priemaišų, išskyrus azoto junginius, koncentracijos ir jų kiekiai iškritose į polajį yra didesni nei atviroje vietoje.
- Sulfatų koncentracijos padidėjimas polajiniuose krituliuose gali būti siejamas su sieros junginių (sulfatų ir sieros dvideginio) nuplovimu nuo lajos.
- Azoto junginių koncentracijų pokyčiai polajiniuose krituliuose gali būti siejami su jų išplovimu iš lajos, nuplovimu nuo lajos, o taip pat ir dėl azoto junginių absorbcijos laja.
- Didžiausias koncentracijų ir srautų padidėjimas abiejose IM stotyse rastas kaliui. Tai rodo šio elemento išplovimą iš lajos.
- Žemaitijos IMS visų pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos polajiniuose krituliuose yra didesnės nei Aukštaitijos IMS, o atviroje vietoje rinktuose krituliuose koncentracijos yra gan panašios, išskyrus, NO_3^- , Cl^- ir Na^+ . Tai gali būt siejama su skirtingu lajų tankiu: Aukštaitijos stotyje – vyrauja pušynai, Žemaitijos stotyje – vyrauja eglynai.
- Pagrindinių cheminių priemaišų srautai į miško paklotę abiejose IM stotyse 2010 m. yra netolygūs kritulių kiekiui; esant 20% didesniai kritulių metiniam kiekiui Žemaitijos IMS nei Aukštaitijos IMS, į polajį Žemaitijoje pateko 2.8 kartus daugiau sieros, 5.4 karto daugiau nitratinio azoto ir 2.9 karto daugiau amonio azoto, 3.6 – 4.5 karto daugiau chloridų, natrio ir kalio, 2.5 – 3.2 karto daugiau kalcio ir magnio. Šie skirtumai tarp stočių gali būti dėl lajos skirtingos struktūros: Aukštaitijoje vyrauja pušynai, o Žemaitijoje – 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

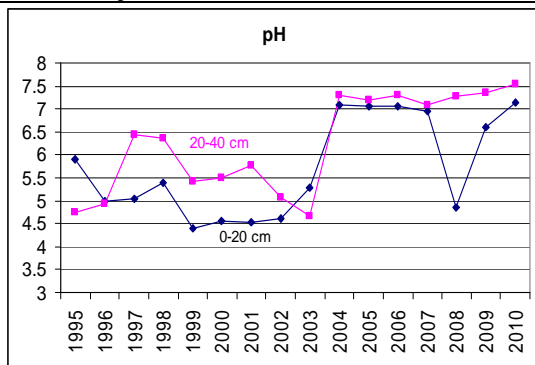
Nustatyta, kad 2010 metais abiejose stotyse dirvožemio vandens srautas buvo vidutinis. Aukštaitijos stotyje dirvožemio vandens sunkimosi intensyvumas buvo didžiausias per stebėjimų laikotarpį, tą lėmė ypač staigus 2010 metų pavasario polaidis. Žemaitijos stotyje 2010 metų dirvožemio vandens sunkimosi intensyvumas buvo trečias nuo stebėjimų pradžios, 1998 m. Šiluminės sąlygos medžiagų tirpimui buvo vidutiniškai palankios.

Dirvožemio vandens pH 2004-2007 metais laikėsi aukštame lygyje, o 2008 m., sumažėjus dirvožemio vandens srautui ir atsargoms, nukrito iki 1999–2002 m. lygio, 2009-2010 m. padidėjus vandens srautui vėl išaugo iki 2004-2007 m. lygio.

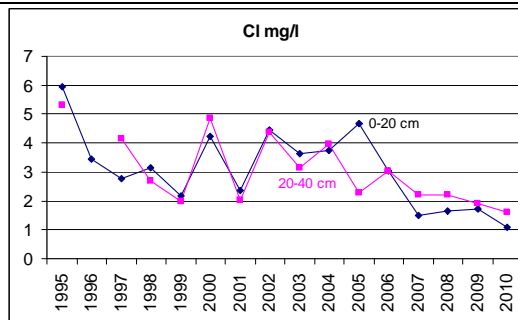
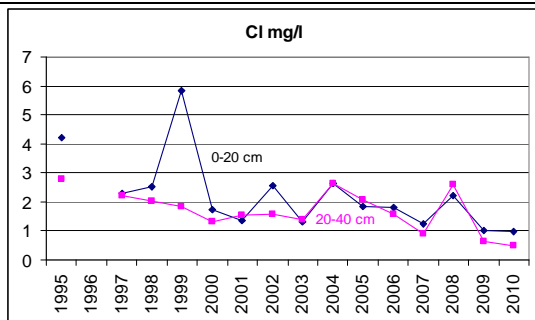
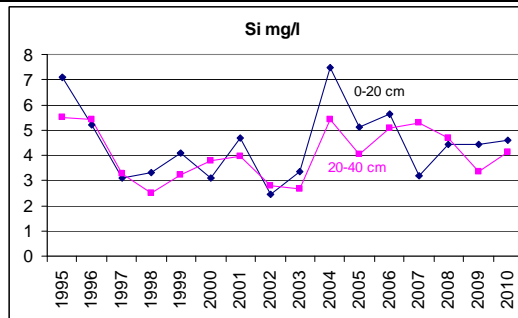
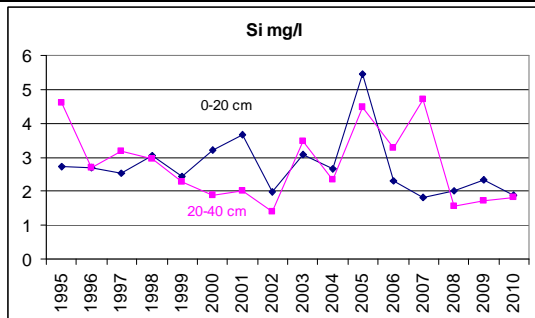
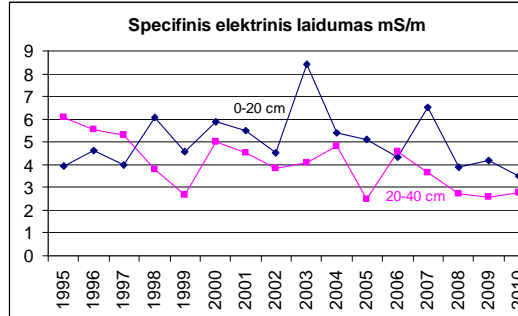
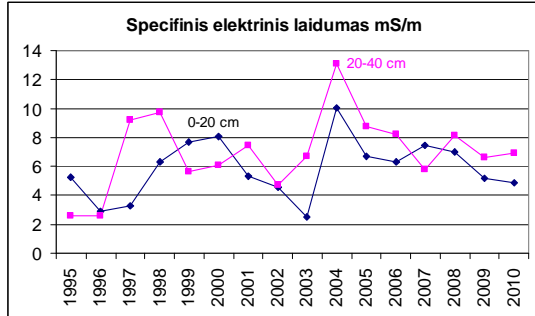
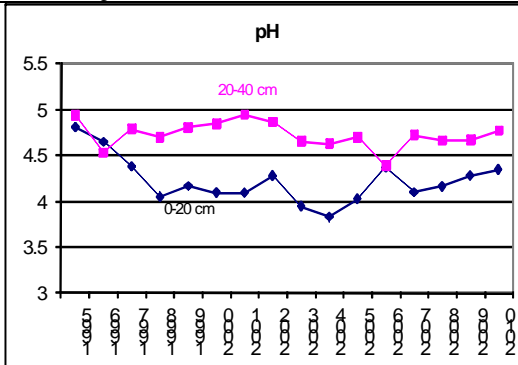
2010 metais tirpių medžiagų koncentracijos dirvožemio vandenyje daugiausia buvo vidutinės arba mažos. Abiejose stotyse 20-40 cm gylyje padidėjo amonio koncentracija – tai galėjo lemti didesnės drėgmės atsargos ir tolygesnis režimas. Žemaitijos stotyje azoto junginių koncentracija dirvožemio vandenyje 2010 metais buvo viena iš didesnių per stebėjimo laikotarpį (2.43 pav., 3 iš 5), o Aukštaitijos stotyje dirvožemio vandenyje padidėjo fosforo junginių koncentracijos.

Per stebėjimo laikotarpį Aukštaitijos stotyje daugumos medžiagų koncentracijos turi tendenciją augti (išskyrus sulfatus, K, Cl ir Si), o Žemaitijos – yra stabilios arba mažėja (išskyrus visuminio azoto koncentraciją, kuri didėja) (2.43 pav. 2-5).

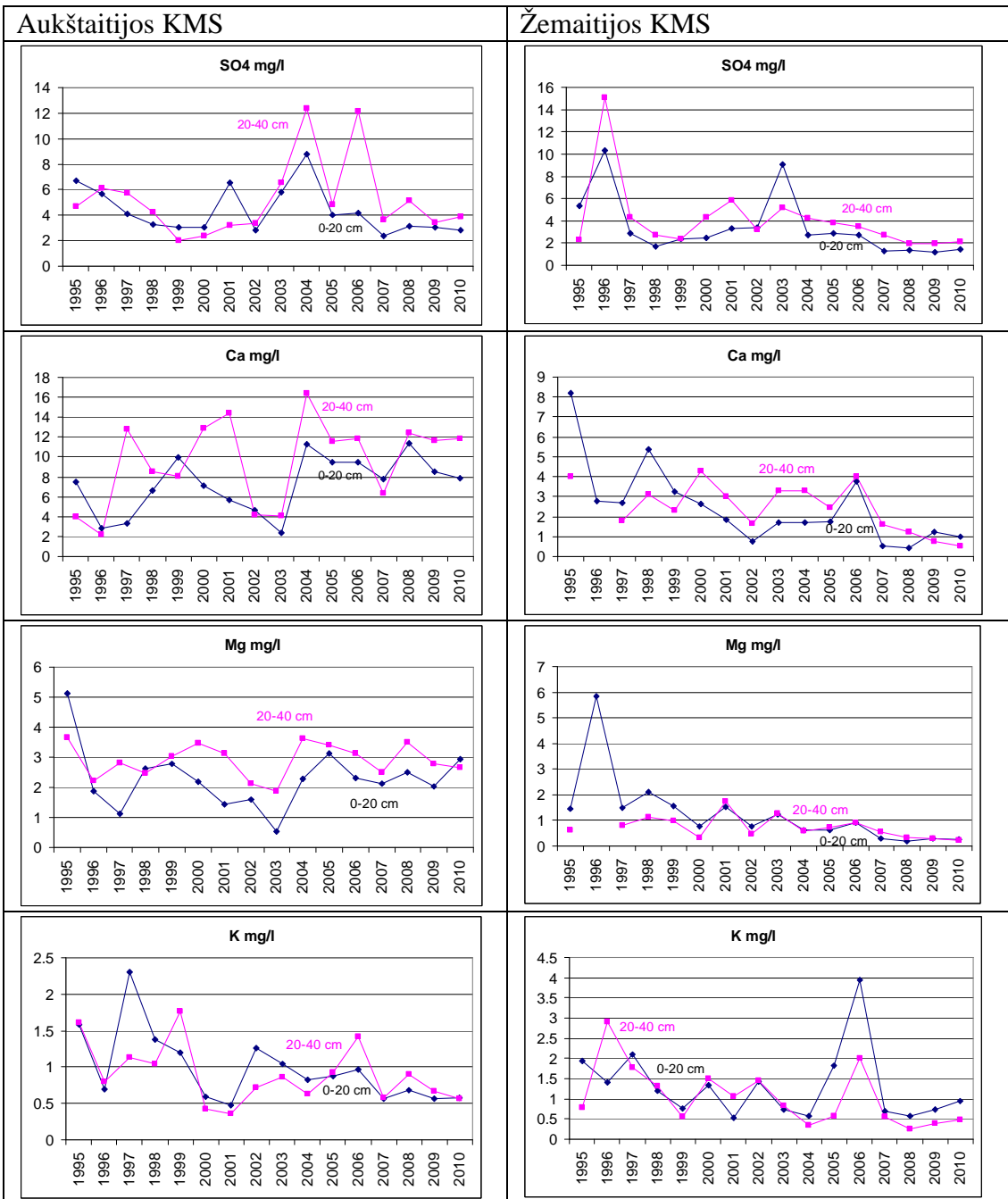
Aukštaitijos KMS



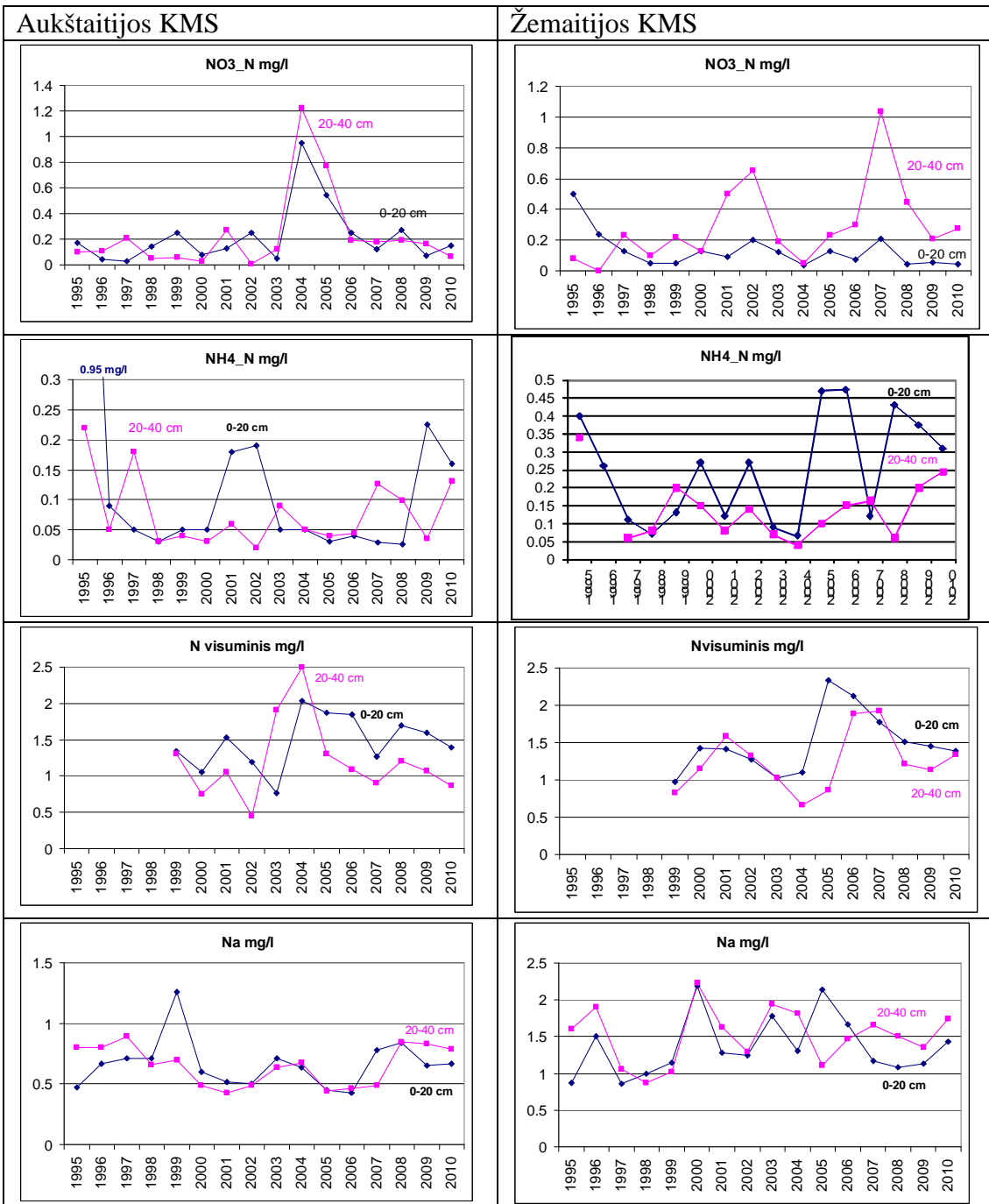
Žemaitijos KMS



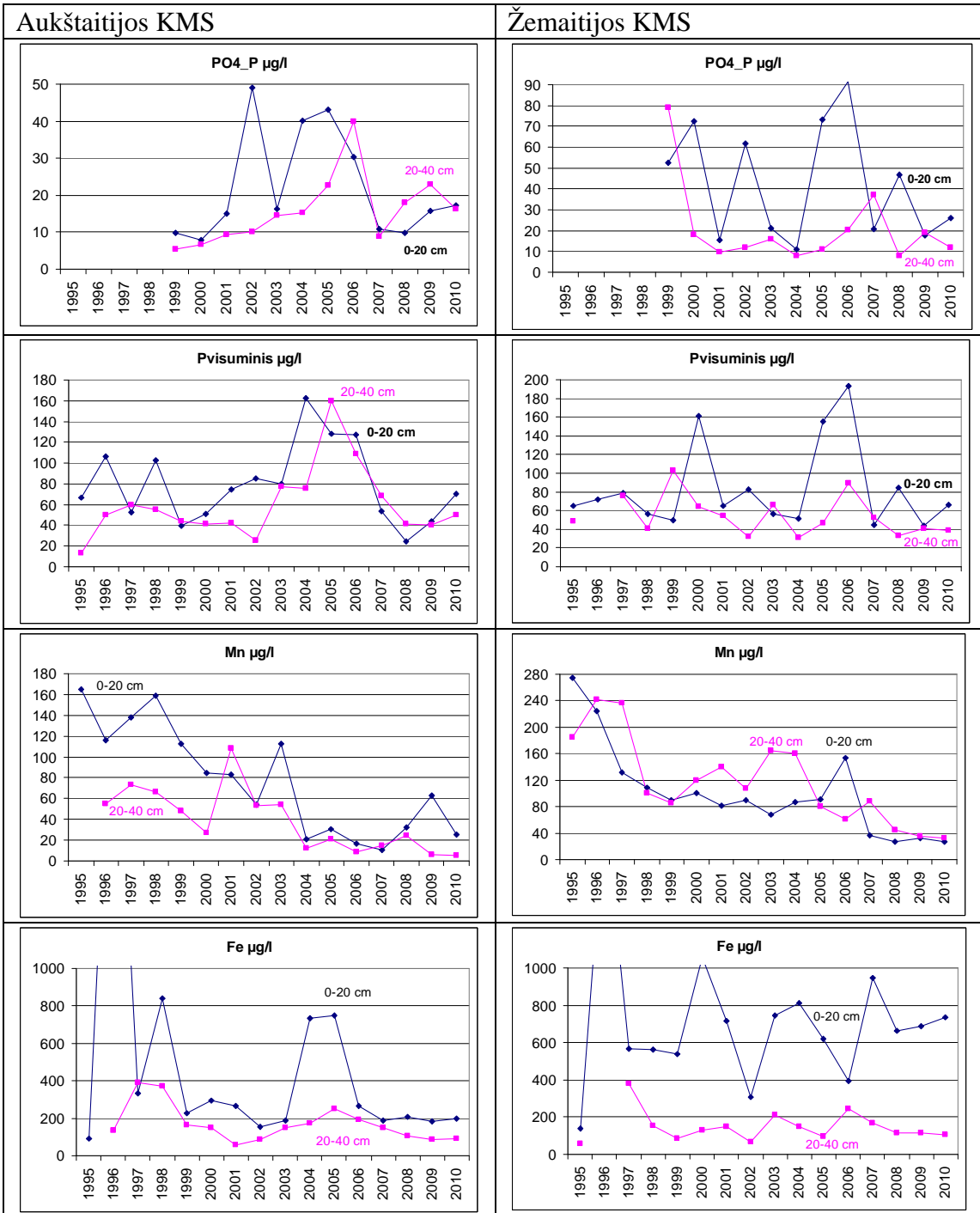
2.43 pav. Dirvožemio vandens savybių kitimas (1 iš 5).



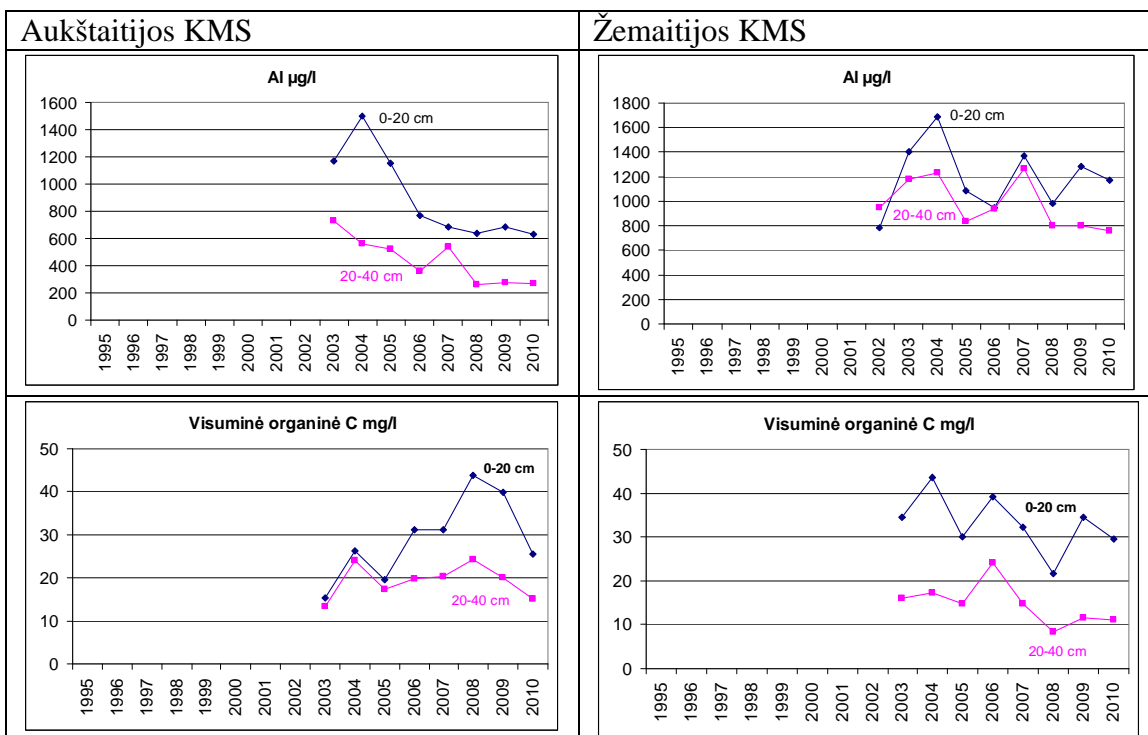
2.43 pav. Dirvožemio vandens savybių kitimas (2 iš 5).



2.43 pav. Dirvožemio vandens savybių kitimas (3 iš 5).



2.43 pav. Dirvožemio vandens savybių kitimas (4 iš 5).



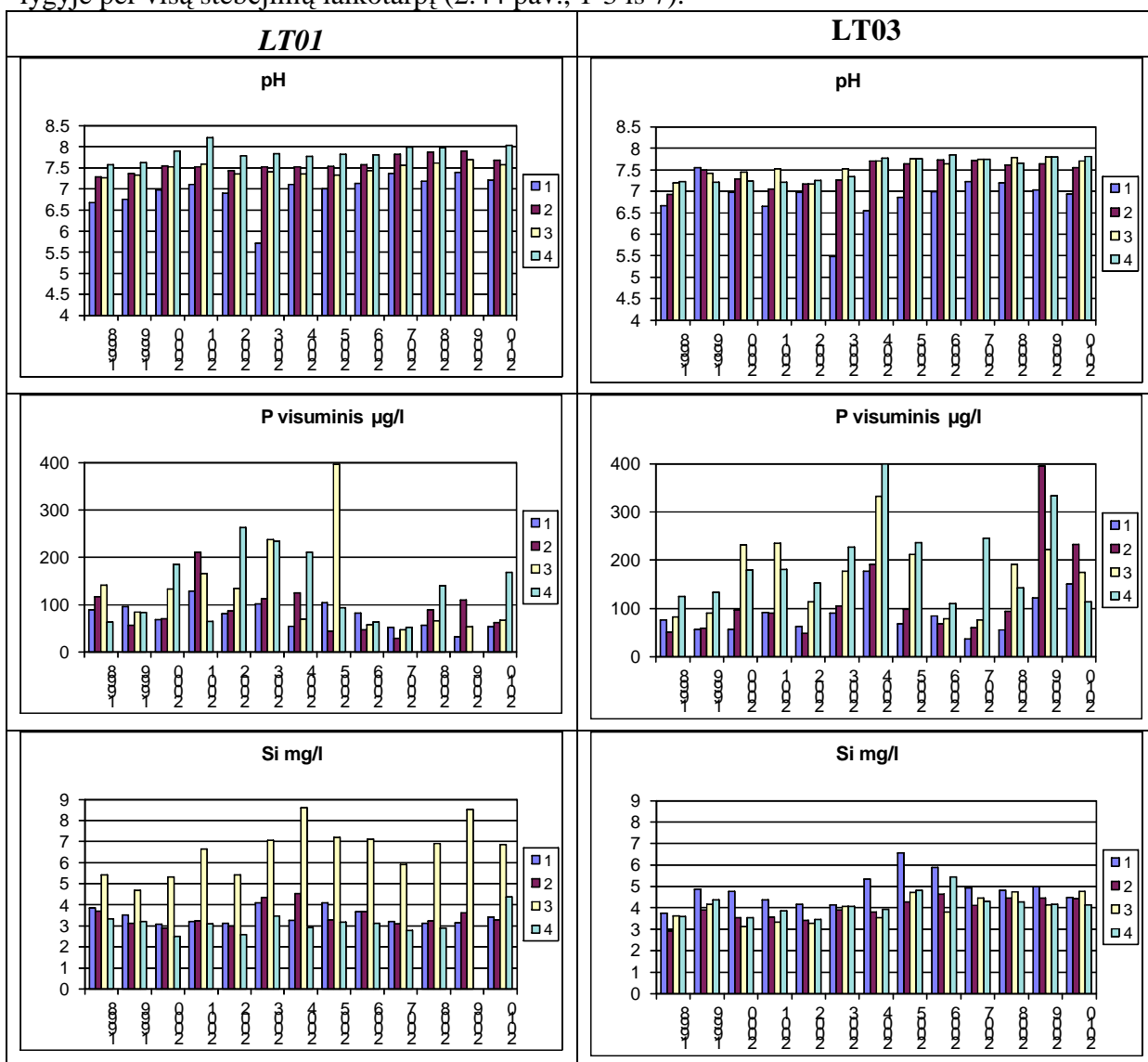
2.43 pav. Dirvožemio vandens savybių kitimas (5 iš 5).

Al, Mn ir Fe koncentracijos dirvožemio vandenyje pastaruosius trejus metus (2008-2010) laikosi žemame lygyje (2.43 pav. 4 iš 5).

2.4.2. Gruntinio vandens savybės

2010 m. gruntinio vandens nuotėkis ir jo intensyvumas buvo abiejose stotyse mažiausi. Nedidelis gruntinio vandens nuotėkis buvo stebimas ir prieš 9 ir 7 metus, 2001 ir 2003 metais (3 lentelė).

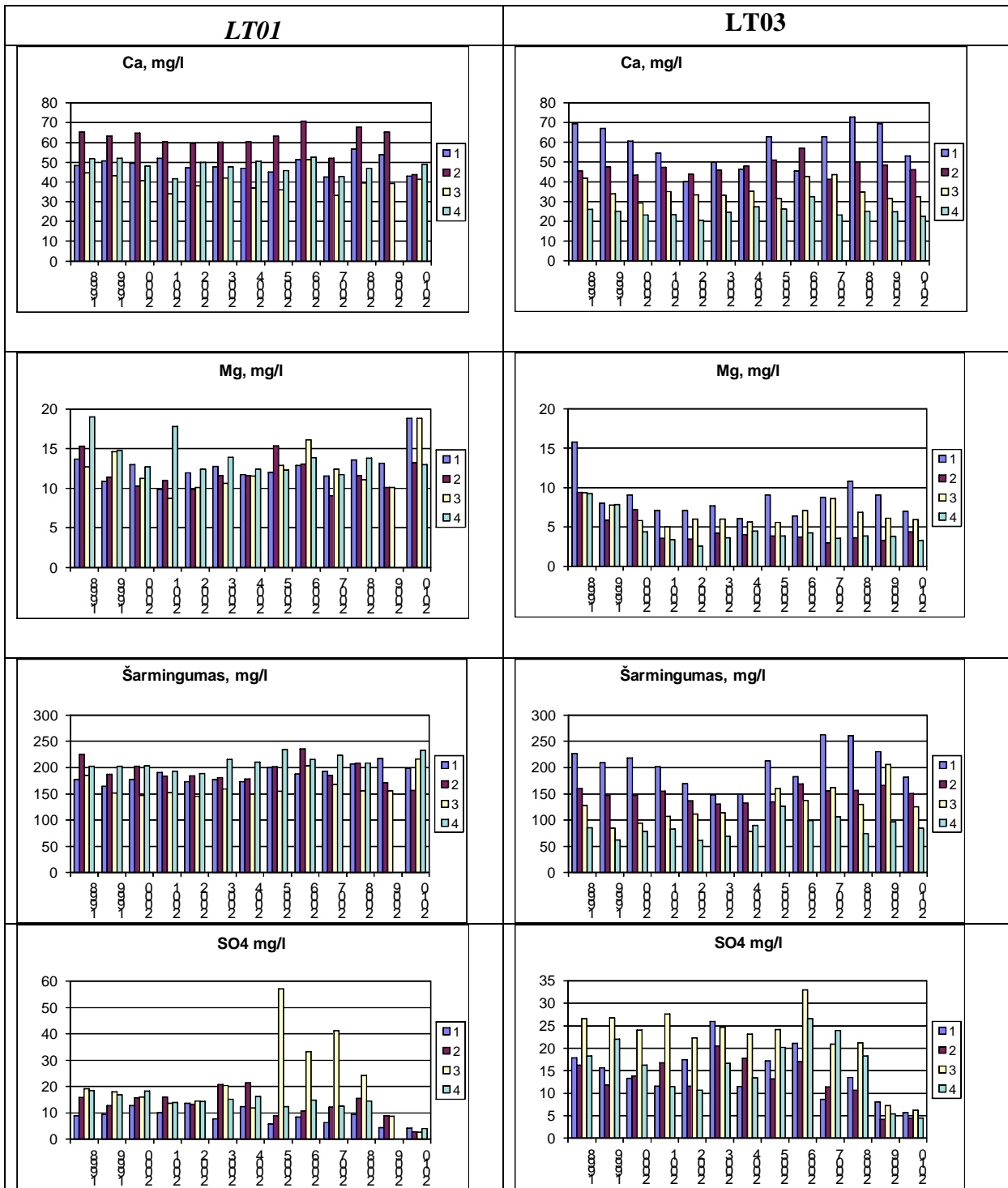
2004–2010 m. pH mažai keičiasi, laikosi aukštame lygyje. Dėl silpno nuotėkio sumažėjo gruntinio vandens šarmingumas (Žemaitijoje) ir specifinis laidumas. Ca, Mg, sulfatų koncentracijos ypač stipriai sumažėjo. Sulfatų koncentracija abiejose stotyse yra žemiausiam lygyje per visą stebėjimų laikotarpį (2.44 pav., 1-3 iš 7).



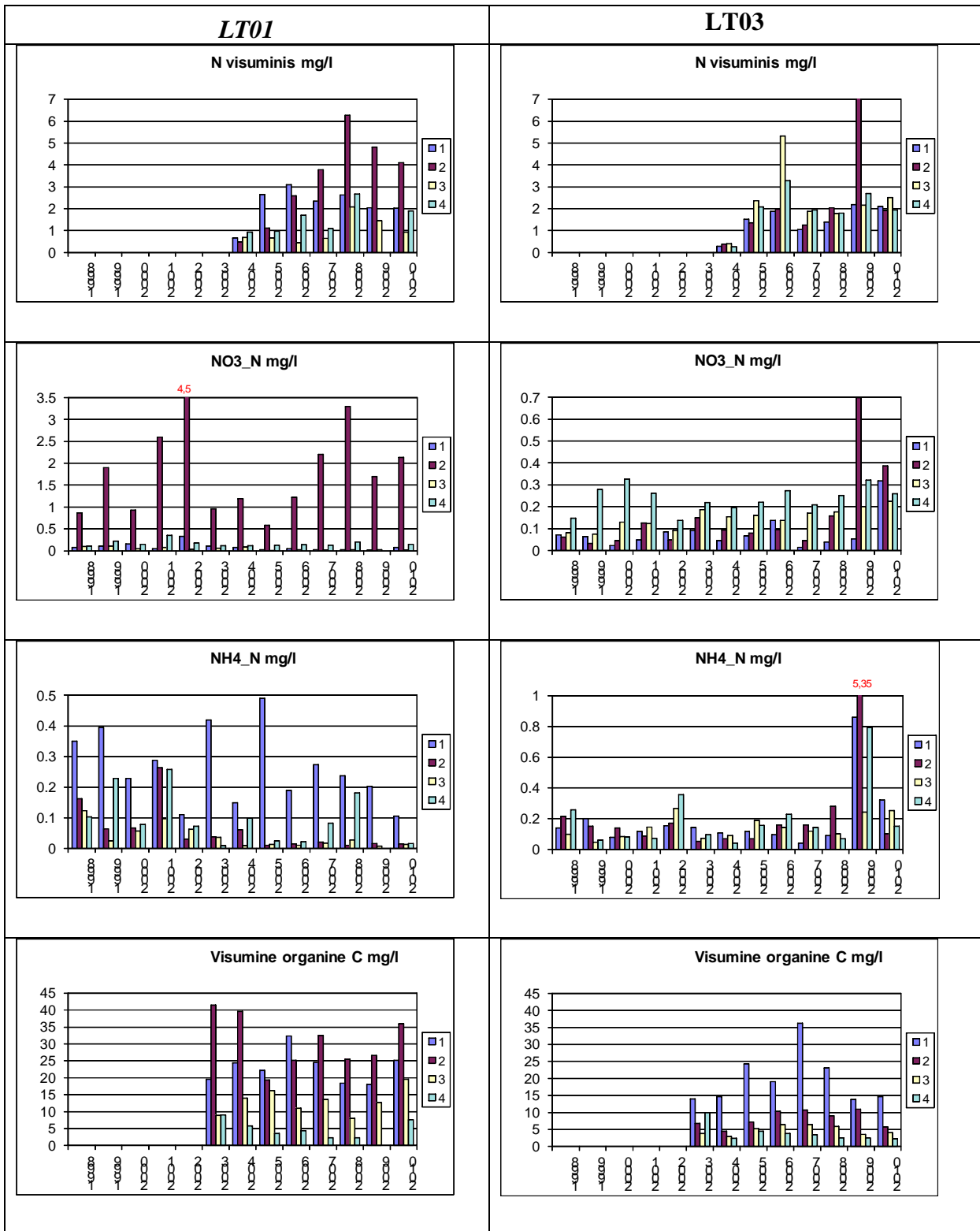
2.44 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (1 iš 7).



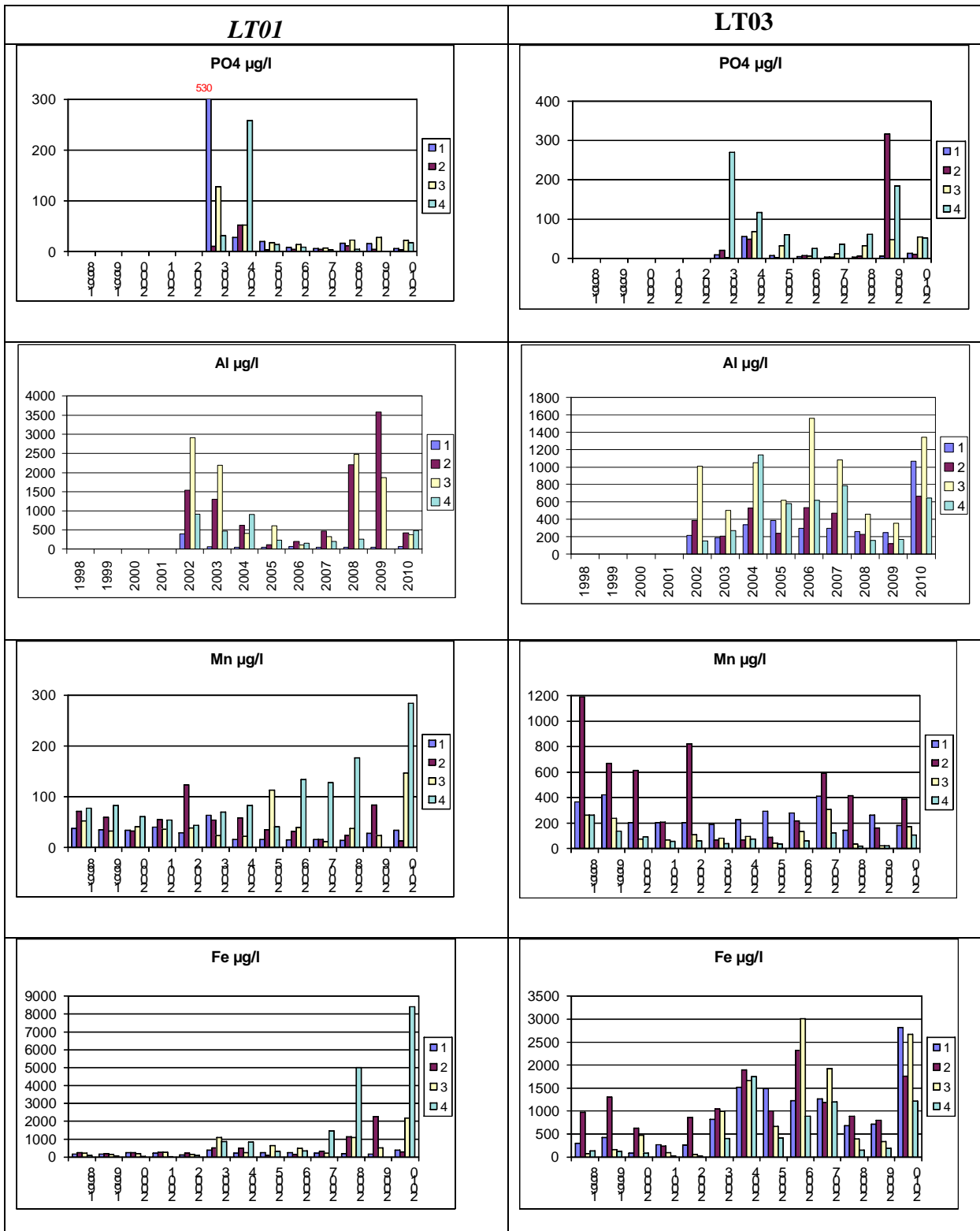
2.44 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (2 iš 7).



2.44 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (3 iš 7).



2.44 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (4 iš 7).



2.44 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (5 iš 7).

Azoto junginių koncentracijos 2-3 metus (nuo 2008 m. Aukštaitijoje ir 2009 m. Žemaitijoje) aukštesnės nei 1998-2007 m. Didelė visuminio fosforo koncentracija Žemaitijos gruntiniame vandenyje laikosi jau antrus metus. Bet gruntiniame vandenyje ištirpusios organinės anglies 2010 metais buvo mažiau negu buvo prieš 7 ar 3-4 metus (2.44 pav., 4 iš 7). Tikėtina, kad pastaruosius 2 metus augalų mitybos makroelementų migracija į gruntinius vandenį padidėjo dėl išaugusio bendro garavimo, didelių šiluminių ekstremumų dirvožemyje. Aukštaitijos stotyje Mn ir Fe koncentracija 2010 m. buvo viena iš didžiausių per stebėjimų laikotarpį,

2.4.3. Upelio vandens savybės

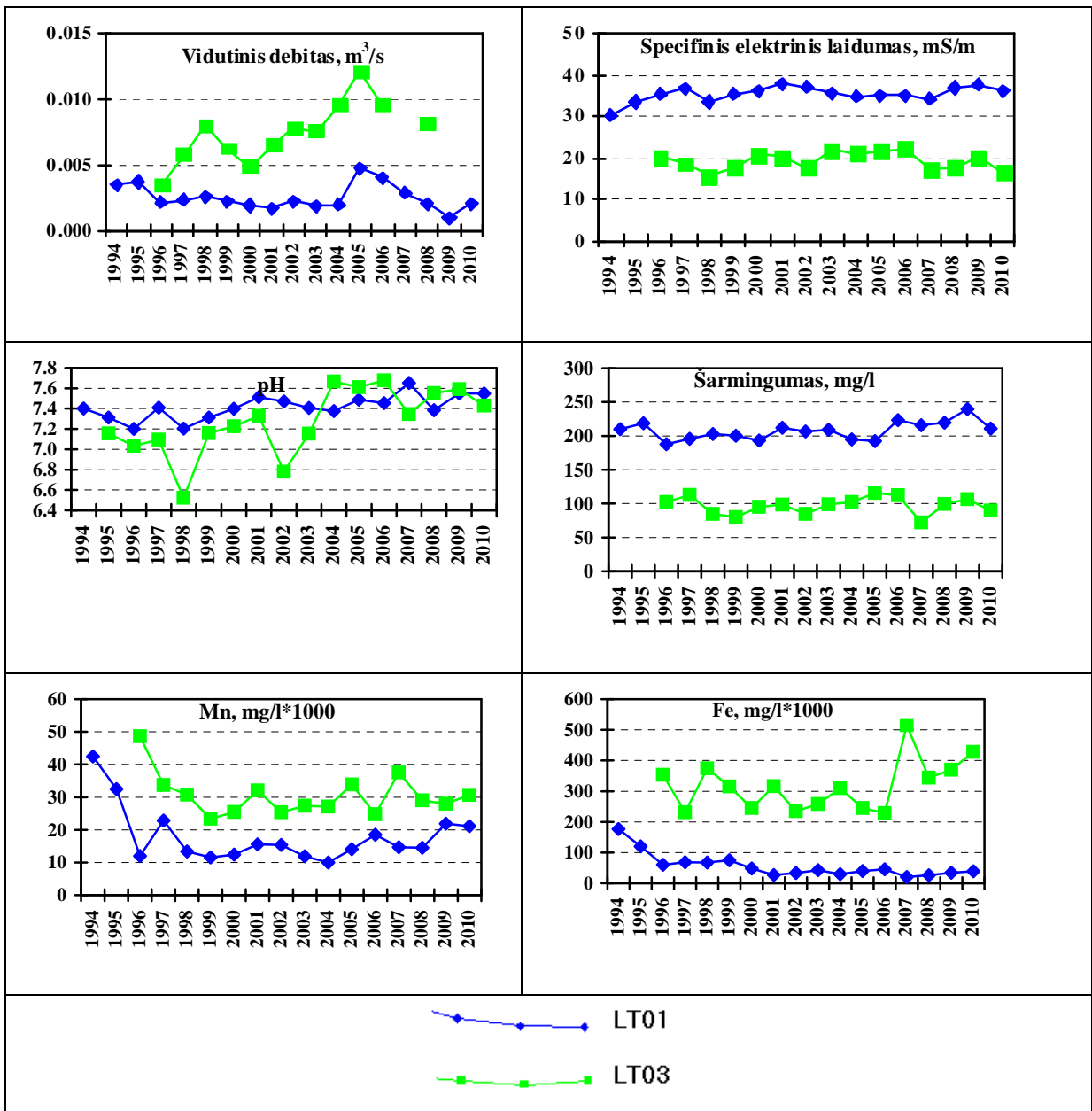
Upelio vandens debitas mažėjo ketvirtą metų iš eilės, 2006-2009 m., o 2010 m. vėl pakilo iki stebėjimo laikotarpio vidurkio.

Upelio vandens pH Aukštaitijoje išliko didelis, o Žemaitijoje upelio vanduo parūgštėjo, bet pH reikšmė nenukrito iki stebėjimų laikotarpio vidurkio (2.45 pav., 1 iš 4).

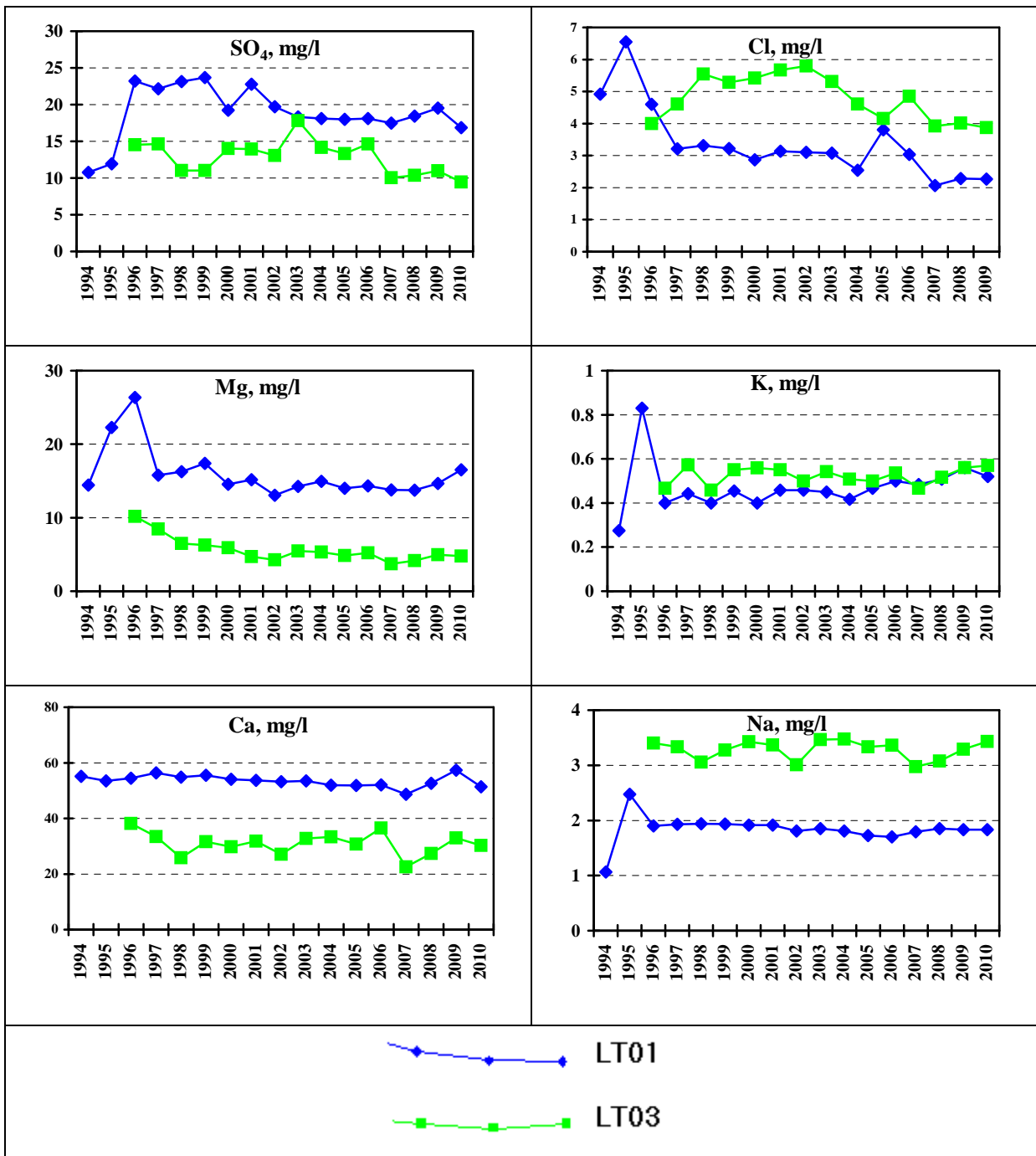
Šarmingumas, specifinis laidumas ir daugumos tirpių medžiagų koncentracijos išliko panašios į praėjusių metų lygį arba sumažėjo. Ypač sumažėjo sulfatų koncentracija. Abiejose stotyse sulfatų koncentracija upelių vandenyje buvo mažiausia nuo 1995 metų. Tirpių medžiagų koncentracijos sumažėjimas yra dėsningas, atsižvelgiant į medžiagų išplovimo hidrologinius veiksnius, įvertintus aukštais balais. Žemi rangai, būdingi šiluminiais veiksniams rodo pagrindines priežastis, kurios lėmė ištirpusios organinės anglies ir biogeninių elementų koncentracijų padidėjimą upelio vandenyje (4 lentelė, 2.45 pav., 2-3 iš 4).

Aliuminio koncentracijos sumažėjimas susijęs su sisteminėmis paklaidomis, mažiausios nustatomos reikšmės sumažėjimu 2010 m. Visą stebėjimo laiką aliuminio koncentracija buvo ypač maža.

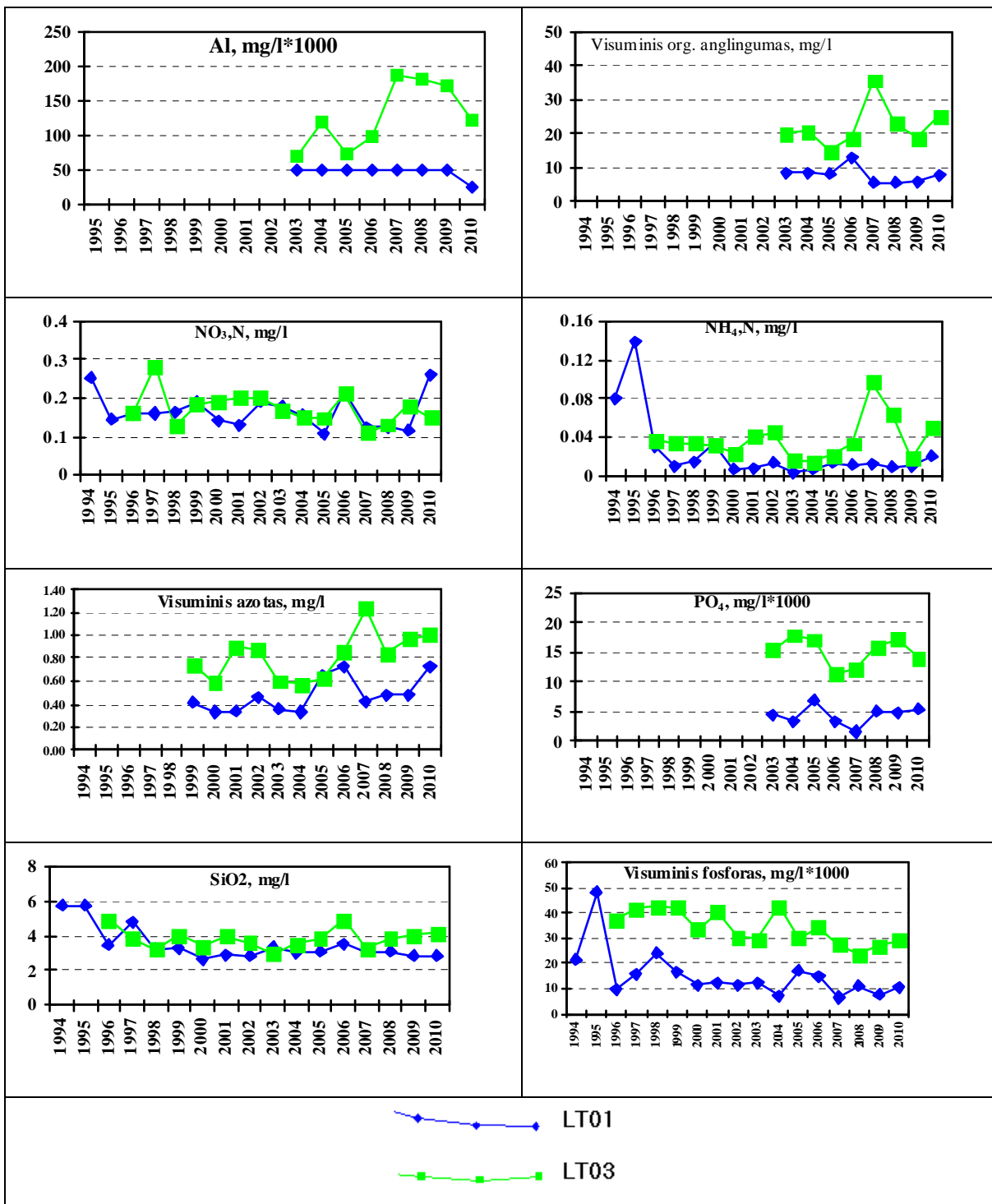
Fe ir Mn koncentracija Aukštaitijos stoties upelyje buvo stabili, o Žemaitijos didesnė, negu praėjusiais metais. Didesnė nei vidutiniškai buvo ir vario bei nikelio koncentracija. Kitų sunkiųjų metalų koncentracija yra tarp mažiausių nuo 2000 m.



2.45 pav. Vidutiniai upelio vandens parametrai (1 iš 4).



2.45 pav. Vidutiniai upelio vandens parametrai (2 iš 4).



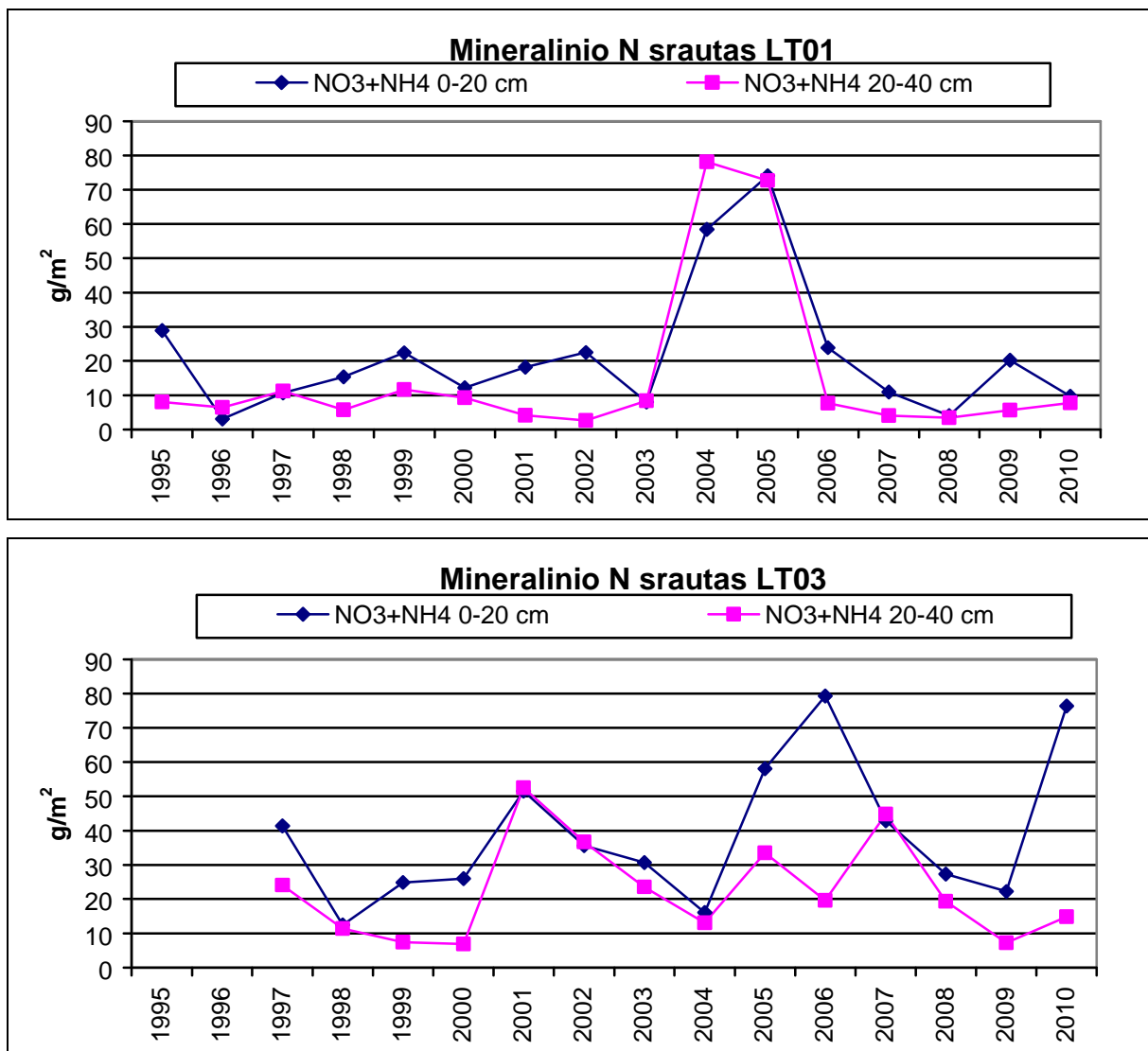
2.45 pav. Vidutiniai upelio vandens parametrai (3 iš 4).

2.5. Medžiagų balanso išnešimo sudedamosios dinamika

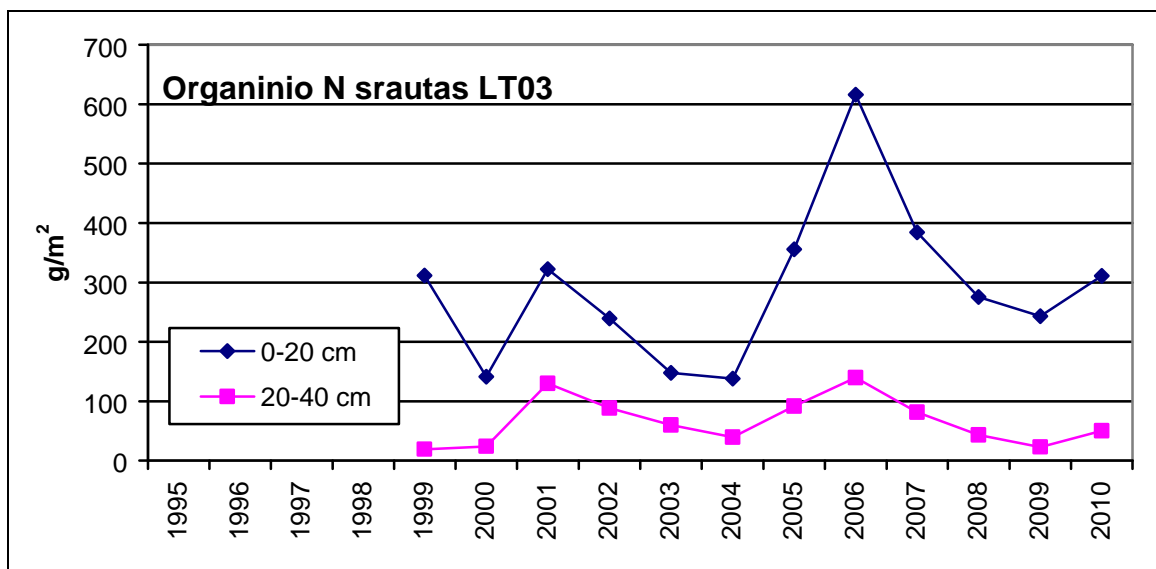
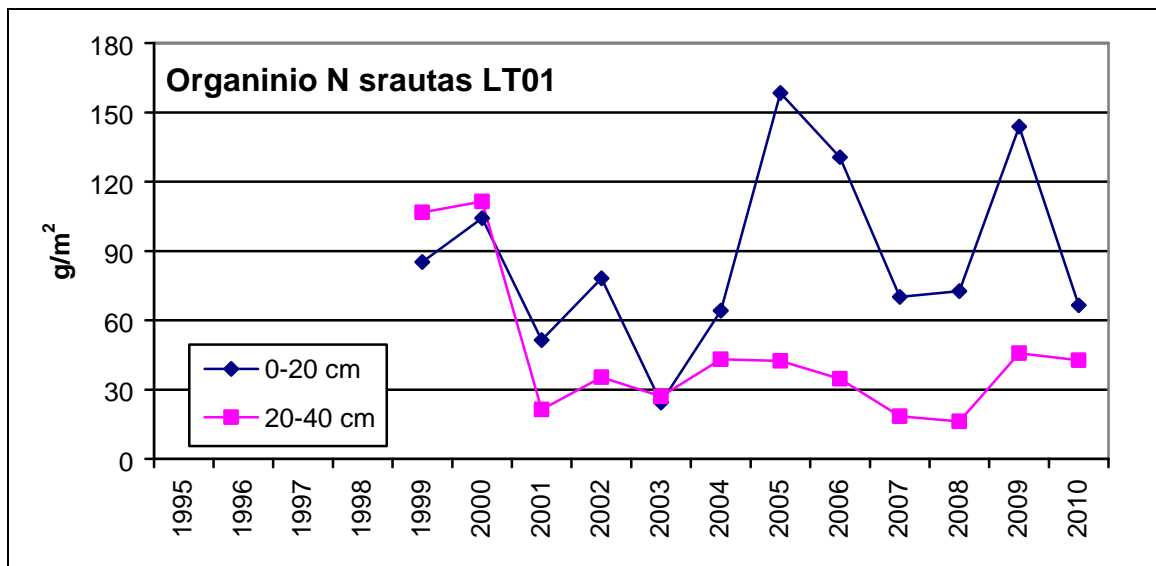
2.5.1. Azoto ir fosforo bei sieros išnešimas iš dirvožemio

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

2010 metais Aukštaitijos stotyje iš dirvožemio pagrindinių augalų mitybos elementų išnešimas, palyginus su 2009 metais, sumažėjo. Žemaitijoje azoto, fosforo ir sieros išnešimas, palyginus su 2009 metais, padidėjo (2.46-2.49 pav.).



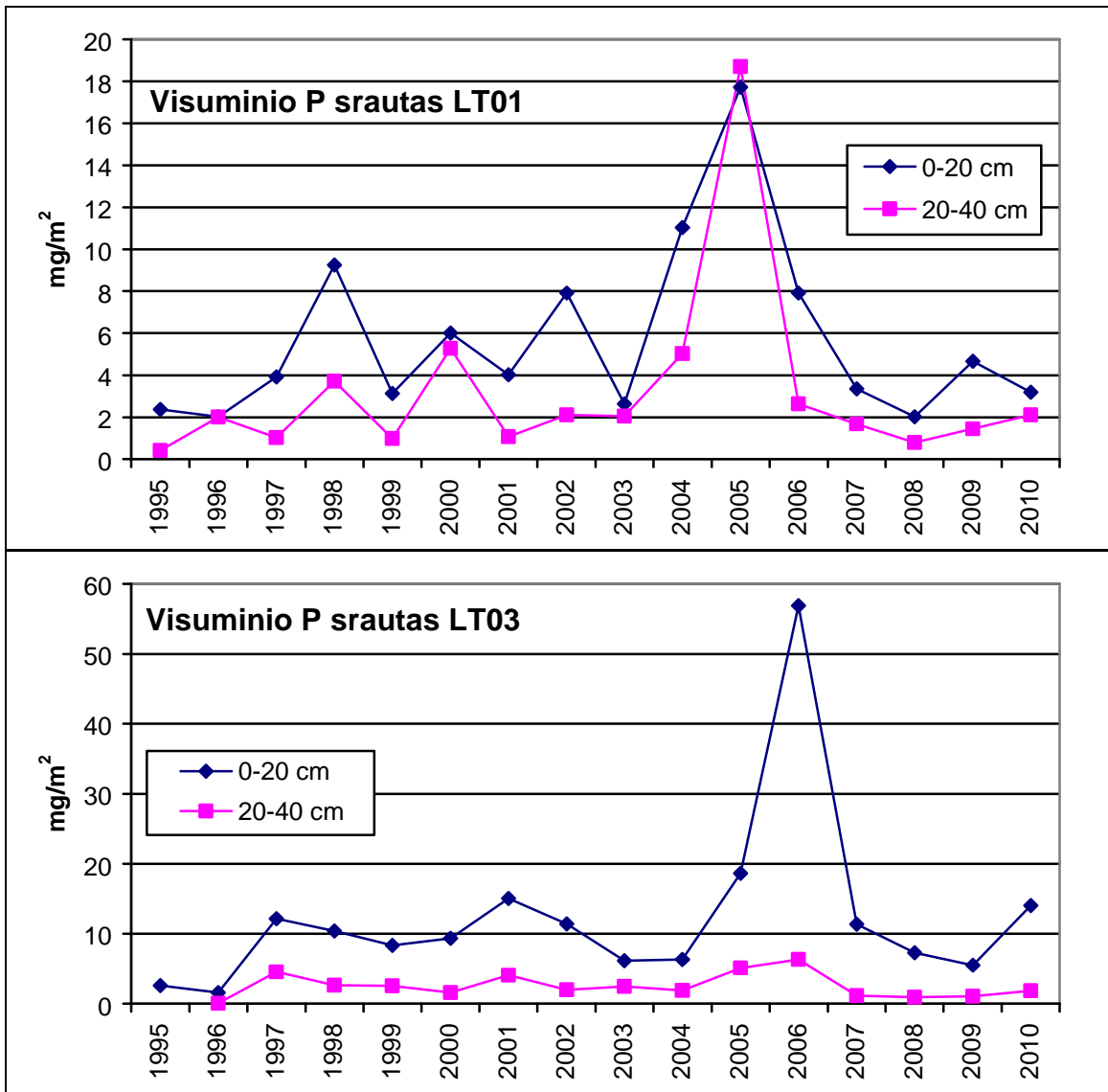
2.46 pav. Mineralinio azoto išplovimas iš dirvožemio.



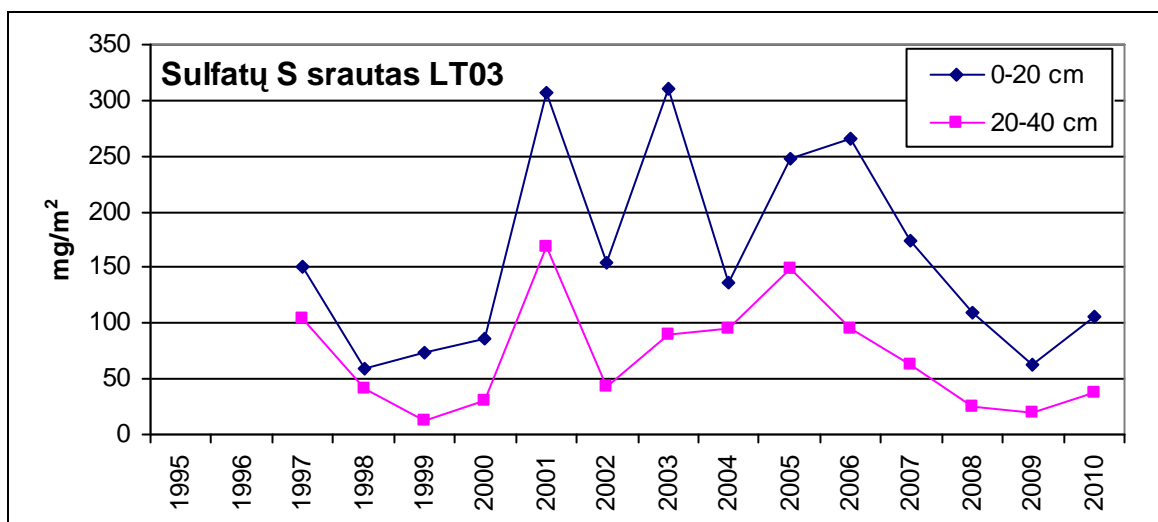
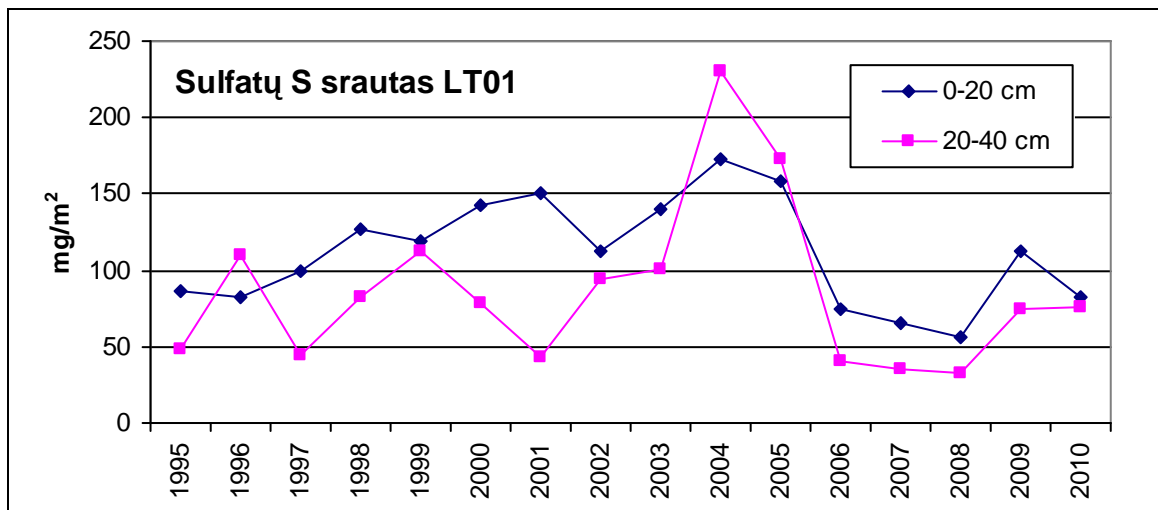
2.47 pav. Organinio azoto išplovimas iš dirvožemio.

Organinio azoto, visuminio fosforo ir sulfatų sieros išnešimas iš 0–20 cm gylio Aukštaitijos IMS 2009 m. padidėjo, palyginti su 2007-2008 m. (2.47-2.48 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 (2.47-2.48 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).



2.48 pav. Visuminio fosforo išplovimas iš dirvožemio.



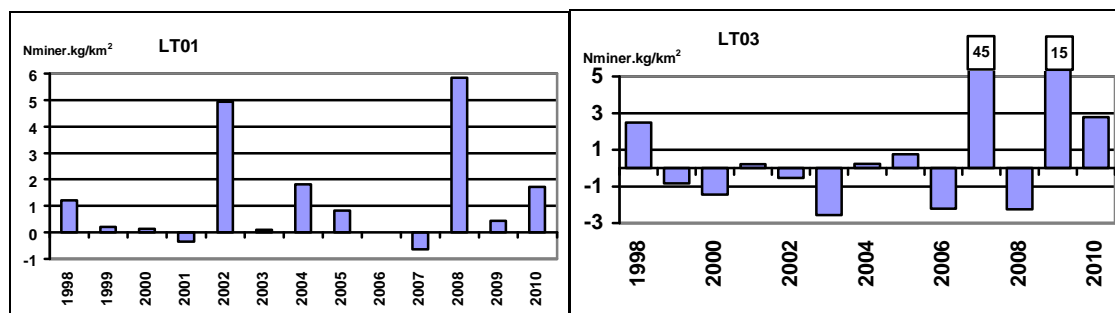
2.49 pav. Sulfatų sieros išnešimas iš dirvožemio.

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 (2.49 pav. LT01).

2.5.2 Azoto ir fosforo bei sieros išnešimas gruntinio vandens sistemoje

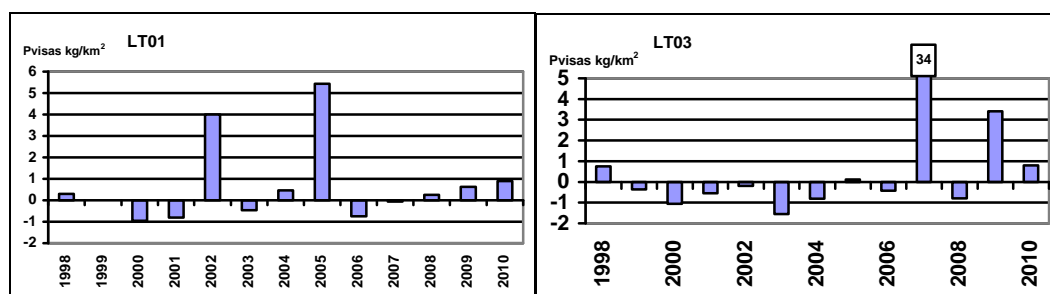
Atsižvelgiant į gruntinio vandens lygio svyravimus, ir medžiagų koncentracijas, sudarytos medžiagų balanso schemos gruntinio vandens sistemoje, kuriose žemiausios neigiamos reikšmės rodo medžiagų išnešimą, o teigiamos gruntiniame vandenyje ištirpusių medžiagų panaudojimą ekosistemoje.

2010 m. mineralinio azoto balansas Aukštaitijos stoties gruntiniame vandenyje buvo didesnis nei 2009 metais. Žemaitijos IMS 2010 m. mineralinio azoto balansas gruntiniame vandenyje buvo teigiamas, bet mažesnis nei 2007 ir 2009 metais (2.50 pav.), nitratai ir amonis buvo panaudoti, o ne išplauti gruntiniais vandenimis.



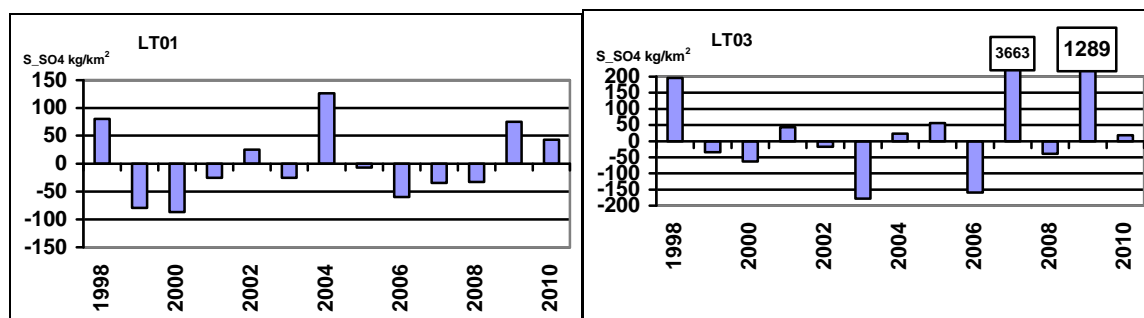
2.50 pav. Mineralinio azoto atsargos (teigiamos reikšmės) ir išnešimas (neigiamos reikšmės) gruntiniame vandenyje.

Tokie patys dėsningumai būdingi ir fosforo junginių balansui gruntiniame vandenyje (2.51 pav.).



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

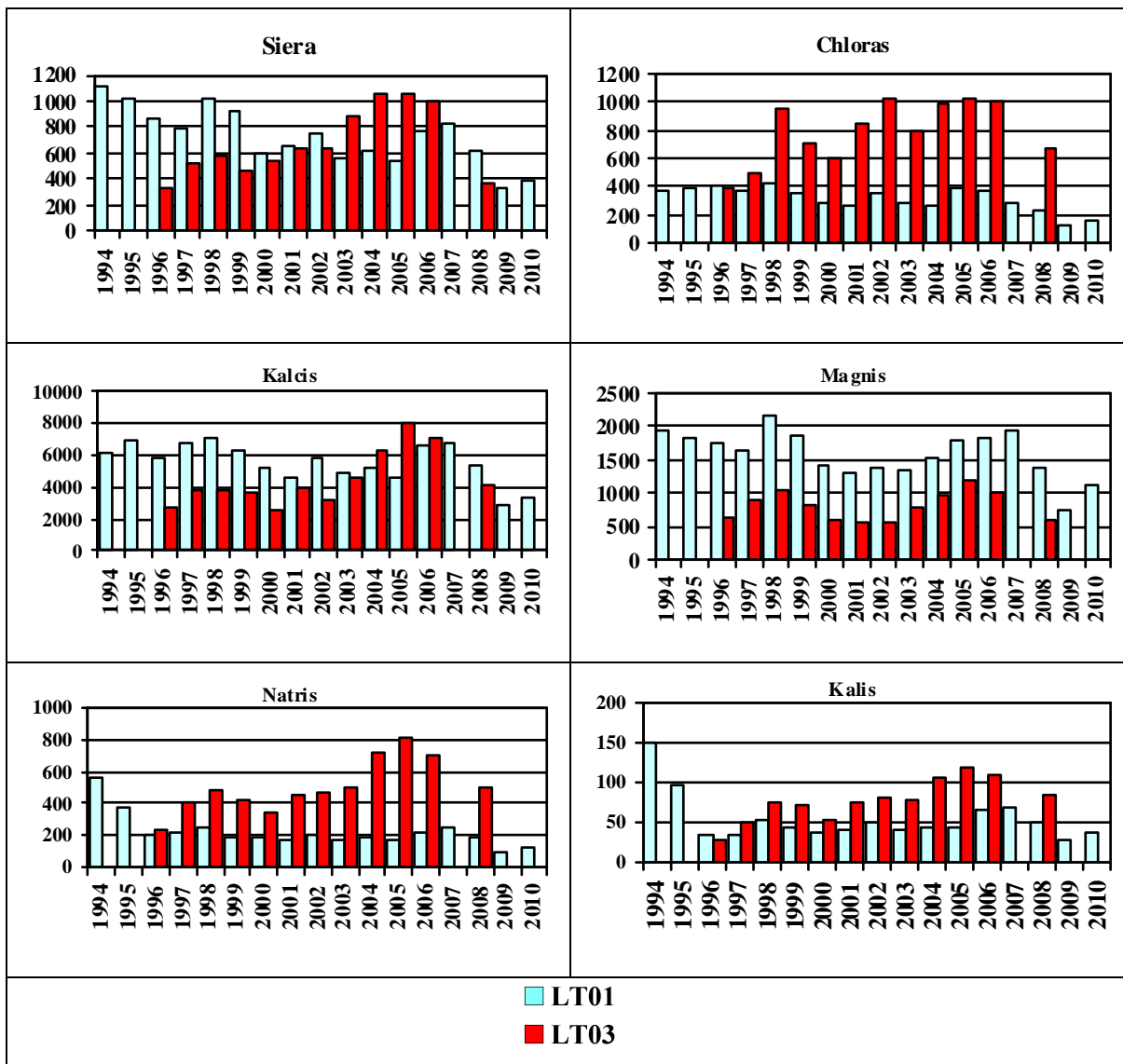
Sulfatų siera 2010 m. gruntiniame vandenyje kaupėsi, bet mažiau negu 2009 metais (2.52 pav.).



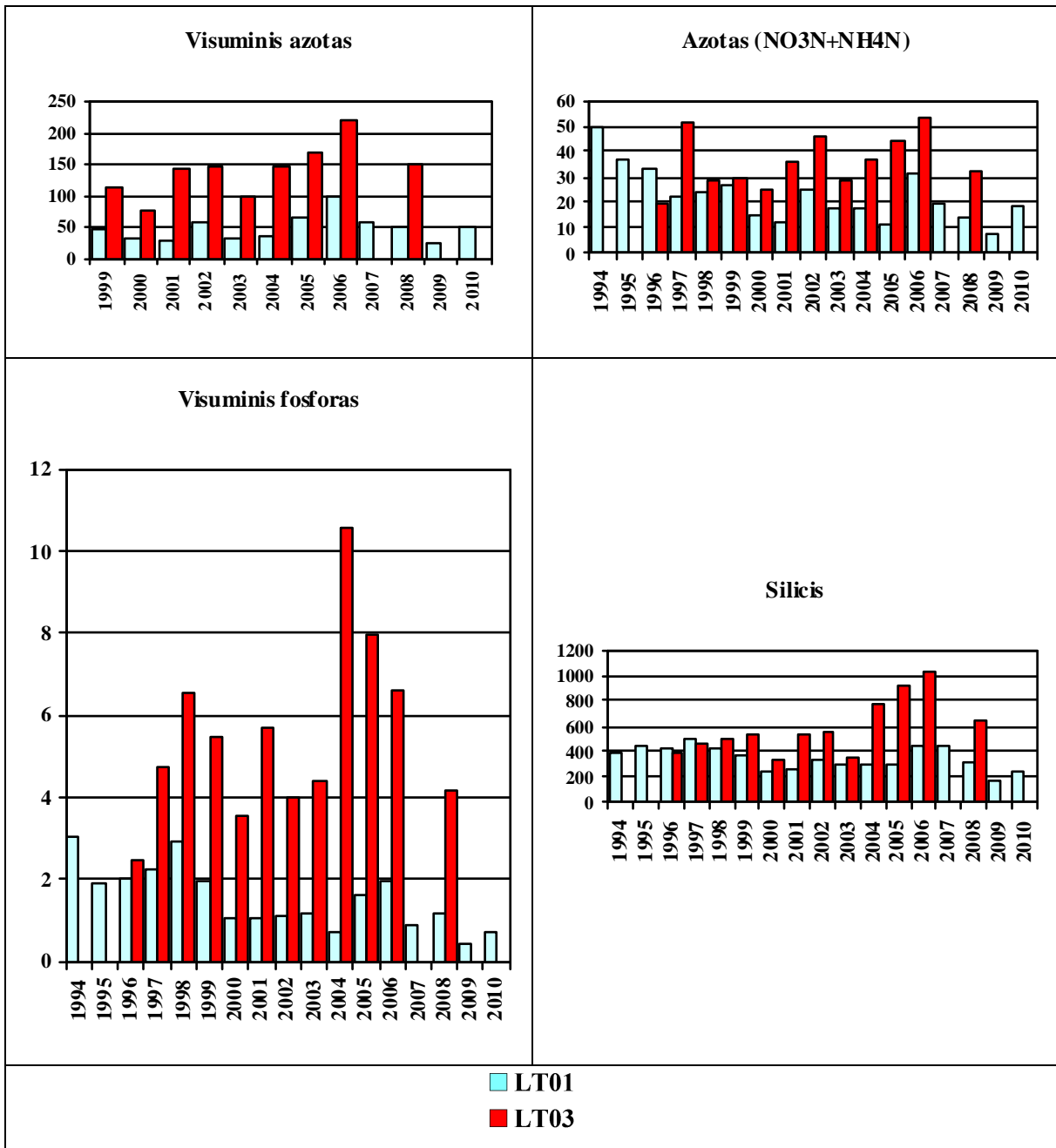
2.52 pav. Sieros atsargos (teigiamos reikšmės) ir išnešimas (neigiamos reikšmės) gruntinio vandens zonoje Aukštaitijos IMS ir Žemaitijos IMS.

2.5.3. Medžiagų išnešimas upeliu

Cheminių elementų išnešimas upelio vandeniu atspindi viso baseino medžiagų balanso išlaidų dalį (2.53–2.54 pav.).



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

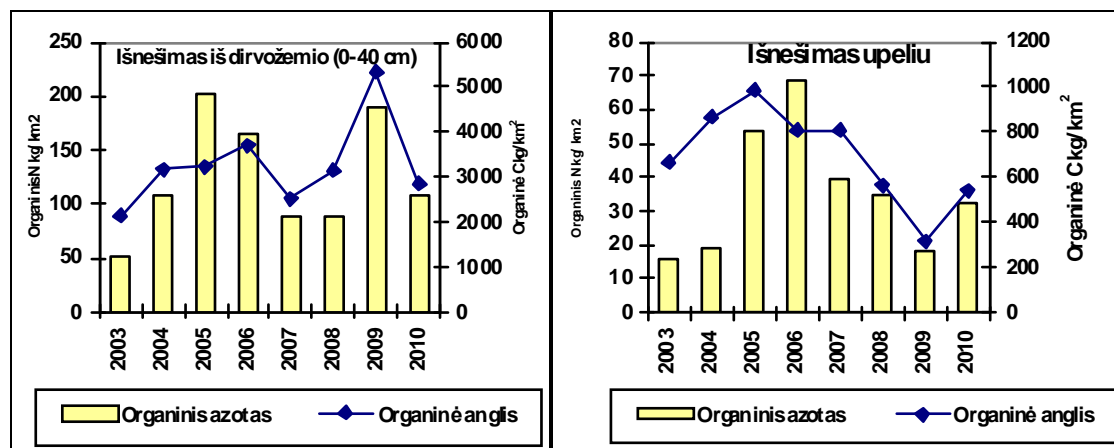


2.54 pav. Kai kurių cheminių elementų išnešimas iš upelių baseinų (kg/km², per metus).

Upelio nuotėkis Aukštaitijos monitoringo stotyje 2010 m. buvo didesnis, negu 2009 metais, todėl medžiagų išnešimas padidėjo. Palankiausios medžiagų išnešimui sąlygos buvo 2005-2007 m. (4 lentelė). 2010 metais tirpiųjų bei potencialiai teršiančių medžiagų, azoto, sieros buvo išnešta palyginti nedaug (2.53–2.54 pav.). 1999–2010 metais visų medžiagų išnešimas mažėja, tik visuminio azoto išnešimas auga.

Nuo 2003 metų nustatomas visuminės anglies kiekis, kuris kartu su organiniu azotu galėtų būti informatyvus rodiklis procesams, vykstantiems ekosistemoje.

2.55 paveiksle matyti, kad Aukštaitijos KMS 2009-2010 metais organinių junginių išnešimas iš dirvožemio padidėjęs, panašiai, kaip 2005-2006 metais. Organinių junginių išnešimo upelio vandeniui nežymus didėjimas išryškėjo tik 2010 m. Taigi, tikėtina, kad ekosistema organinę medžiagą skaido posistemėje dirvožemis–augalai intensyviau transpiracijos procesams, tą rodo 2009-2010 metais išaugęs bendras garavimas.

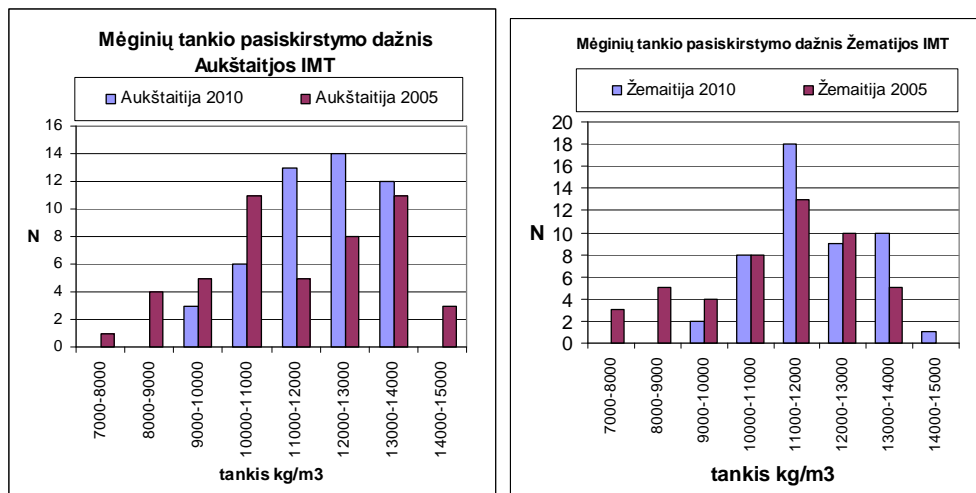


2.55 pav. Organinių junginių išnešimas Aukštaitijos KMS dirvožemio (0–40cm) ir upelio.

2.5.4 Dirvožemio savybės. Pirminiai duomenys.

2010 metais buvo surinkti mineralinio dirvožemio pavyzdžiai iš 0-10 cm gylio, intensyvių tyrimų kvadrato ir nustatytas jų tankis (bulk density). Paskutinį kartą tankio pavyzdžiai ir dirvožemio savybės buvo tirtos 2005 metais, tyrimų rezultatai pateikti 2007 metų darbų ataskaitoje (Gruntinio, 2007).

2010 metais paimtų dirvožemio pavyzdžių abiejose stotyse vidutinis tankis buvo didesnis, palyginti su 2005 metais. Sudaryti pasiskirstymo dažnio grafikai rodo, kad 2010 metai paimti pavyzdžiai yra vienodesni (2.56 pav.), t.y. tikėtinas mažesnis savybių variavimas. Tai yra svarbu tolimesniam stebėsenos duomenų interpretavimui.



2.56 pav. Dirvožemio tankis 0–10 cm gylyje.

IŠVADOS

1. 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 2009-2010 m. vėl išaugo, ir viršijo 2004-2007 m. lygį. Tirpių medžiagų koncentracijos buvo mažiausios per stebėjimo laikotarpį. Per stebėjimo laikotarpį Aukštaitijos stotyje daugumos medžiagų koncentracijos turi tendenciją augti (išskyrus sulfatus, K, Cl ir Si), o Žemaitijos – yra stabilios arba mažėja (išskyrus visuminio azoto koncentraciją, kuri didėja)
2. 2004–2010 m. gruntinio vandens elektrinis laidumas, pH ir šarmingumas stabilus. Gruntiniame vandenyje mažėja tirpių medžiagų, ypač Ca, Mg, sulfatų koncentracijos. Pastaruosius 2 metus augalų mitybos makroelementų N ir P migracija į gruntinius vandenį padidėjo, tikėtina, dėl išaugusio bendro garavimo ir šiluminių ekstremumų dirvožemyje.
3. Upelių vandens rūgštingumas 2010 metais buvo mažas, šarmingumas, specifinis laidumas ir daugumos tirpių medžiagų koncentracijos išliko panašios į praėjusių metų lygį arba sumažėjo. Ypač sumažėjo sulfatų koncentracija. Šiluminiai veiksniai (aukšta temperatūra ir mažė svyravimo amplitudė) lėmė ištirpusios organinės anglies ir biogeninių elementų koncentracijų padidėjimą upelio vandenyje.

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, sukopus 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 – natriis ir kalis (mg/kg).

Nuokritos renkamos kas mėnesį, džiovinamos iki orasausių, poto sveriamos ir taip apskaičiuojama jų metinis kiekis. Cheminių elementų analizei, sirinktos nuokritos papildomai buvo grupuojamos pagal mėnesius bei jų pagrindines sudėdamašias. Išskirti 4 pagrindiniai laikotarpiai, kuriais nuokritos buvo sudėdamos. Tai I – laikotarpis: nuokritos surinktos pavasario mėnesį, kai nutirpsta sniegas. Dažniausiai tai būna nuokritos surinktos kovo 1 d. Vėlyvo pavasario metais – balandžio 1 d. Cheminė analizė atliekama šių nuokritų nesumuojant jas su kitomis. II – laikotarpis ankstyvo pavasario. Tai, priklausomai nuo metų, kovo – gegužės mėnesio nuokritos, kuriuose vyrauja medžių pumpurų žvynai. III – laikotarpis – vasaros mėnesiai. Dažniausiai tai birželio – rugpjūčio mėnesiai, intensyvios vegetacijos laikotarpis. IV – laikotarpis – rudens mėnesiai. Tai rugsėjis – lapkritis, maksimalus nuokritų susidarymo laikotarpis. Dėl skirtingos nuokritų sudėties šiais išskirtais laikotarpiais ir išgulėjimo sąlygų rinktuvuose, šių laikotarpių nuokritos sumuojamos, daromas jų bendras ruošinys ir pristatomas į Centrinę aplinkos tyrimų laboratoriją cheminėms analizėms atlikti.

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 natriis 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, jį 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-aze, 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, natrias, magnis ir manganas, kiek silpniau azotas ir fosforas. Išplovimo intensyvumas tiesiogiai priklauso nuo kritulių kiekio. Tačiau jų rūgštingumas, didesnis šviesos kiekis bei aukštesnė temperatūra 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 šiltėjančio klimato sąlygomis.

2.6.1 Aukštaitijos kompleksiško monitoringo stotis (LT-01).

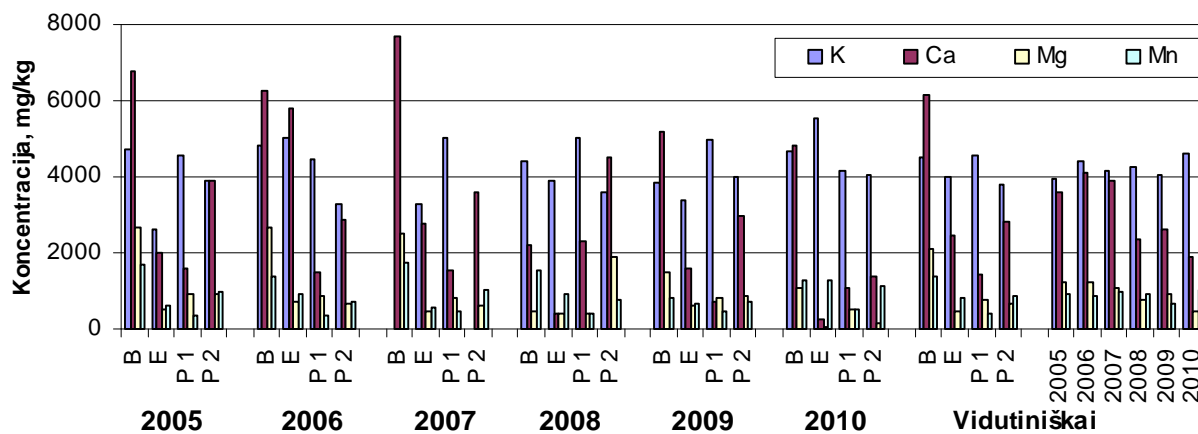
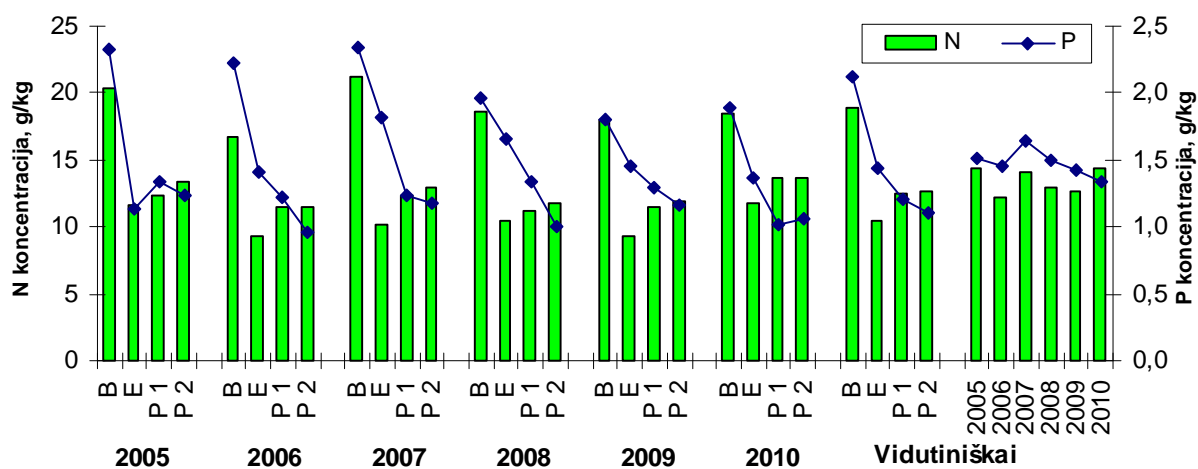
Pagrindinių maistinių komponentų sudėties tyrimai lapijoje

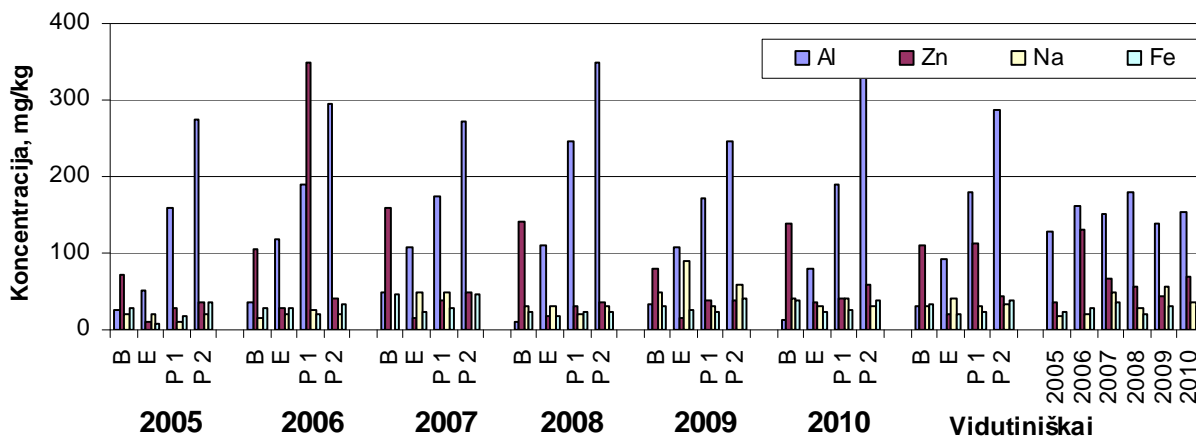
Bendrojo azoto (N) koncentracijų lapuose ir spygliuose analizė parodė, kad beržų lapuose šio elemento kaupiasi iki 1,5 kartų daugiau negu spygliuose, apie 19 g/kg (2.48 pav.). Mažiausios koncentracijos nustatytos eglės įvairaus amžiaus spyglių mišinyje – vidutiniškai apie 10,5 g/kg, kiek didesnės pirmų ir antrų metų pušies spygliuose, maždaug apie 12,5 g/kg. Antrų metų pušies spygliuose šio elemento išlieka atrodo truputį mažiau negu pirmų metų P spygliuose. ***Per tiriamąjį laikotarpį, nuo 2005 iki 2010 m. azoto koncentracija tiek beržų lapuose, tiek ir eglės bei pušies spygliuose išliko praktiškai stabili.***

Bendrojo fosforo koncentracijų lapijoje tyrimų rezultatai analogiškai bendrajam azotui (2.48 pav.), t.y. didžiausi kiekiai nustatyti beržų lapuose – vidutiniškai apie 2,1 g/kg. Nors tarp P koncentracijų tirtuose spygliuose esminių skirtumų nenustatyta, tačiau stebima tendencija, kad, priešingai N koncentracijai, didesnės P koncentracijos būdingos eglės spyglių mišiniui

(1,4 g/kg), kiek mažesnės - pirmų metų pušies spygliams (1,2 g/kg) ir sąlyginai mažiausios – antrų metų pušies spygliams (1,0 g/kg). *Per tiriamąjį laikotarpį, nuo 2005 iki 2010 m. bendrojo fosforo koncentracija reikšmingai kito tik beržų lapuose, kuriuose buvo registruojamas laipsniškas mažėjimas po -0,11 g/kg.*

Kalio koncentracijų tyrimai asimiliaciniuose organuose parodė, kad didėjant lapijos amžiui K koncentracija mažėja. Jaunesniuose organuose (beržų lapuose ir pirmų metų pušies spygliuose) kalio koncentracijos siekė apie 4,5g/kg, o senesniuose (bendras eglės spyglių mišinys ir antrų metų pušies spygliai) 3,9 g/kg. Tai paaiškinama šio elemento išplovimu iš paviršinių ląstelių gausių kritulių metu.





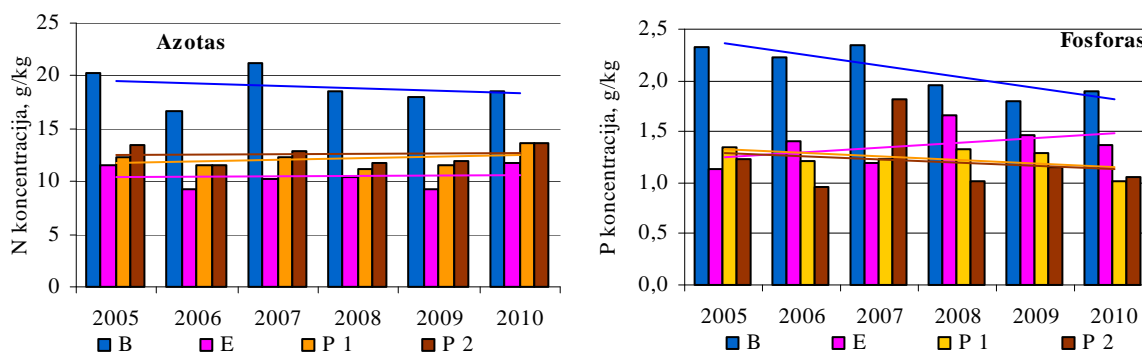
2.48 pav. Pagrindinių maistinių komponentų koncentracija lapijoje 2005-2010 m.

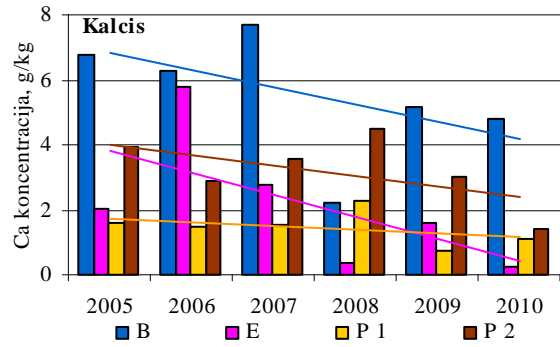
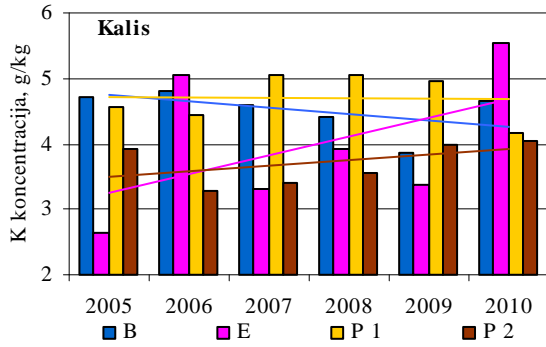
Analogiškai kalio duomenims pasiskirstė magnio koncentracijos. Didžiausios koncentracijos nustatytos beržų lapuose, kur jos vidutiniškai siekė 2,1 g/kg ir pušies pirmų metų spygliuose – 0,8g/kg. Mažesnės koncentracijos nustatytos vyresniuose pavyzdžiuose, t.y. antrų metų pušies spygliuose – 0,65 g/kg ir įvairiam žiame eglės spyglių mišinyje – 0,46g/kg.

Kalcio koncentracijos spygliuose taip pat priklausė nuo spyglių amžiaus. Mažiausios nustatytos pirmų metų pušies spygliuose (1,4 g/kg), kiek didesnės eglės spyglių mišinyje (2,5 g/kg) ir dvigubai didesnės - antrų metų pušies spygliuose (2,8 g/kg) (2.48 pav.). Beržų lapuose kalcio koncentracijos, kaip ir kitų tirtų elementų žymiai viršijo koncentracijas nustatytas spygliuose (6,1 g/kg).

Analogiškai kito ir mangano koncentracijos. Mažiausios nustatytos pirmų metų pušies spygliuose (0,4 g/kg), dvigubai didesnės eglės spyglių mišinyje (0,8 g/kg) ir antrų metų pušies spygliuose (0,9 g/kg) (2.48 pav.). Beržų lapuose Mn koncentracijos, kaip ir kitų tirtų elementų žymiai viršijo koncentracijas nustatytas spygliuose (1,4 g/kg).

Per 6 m laikotarpį beržų lapuose K, Ca, Mg ir Mn koncentracijos turėjo tendencija mažėti. Eglės spygliuose mažėjimo tendencija nustatyta tik Mg ir Ca, o nežymiai didėjo K ir Mn koncentracijos. P spygliuose šių metalų koncentracijų kaitoje reikšmingos tendencijos nustatyti nepavyko, nors svyravimai įvairiais metais buvo ryškūs.

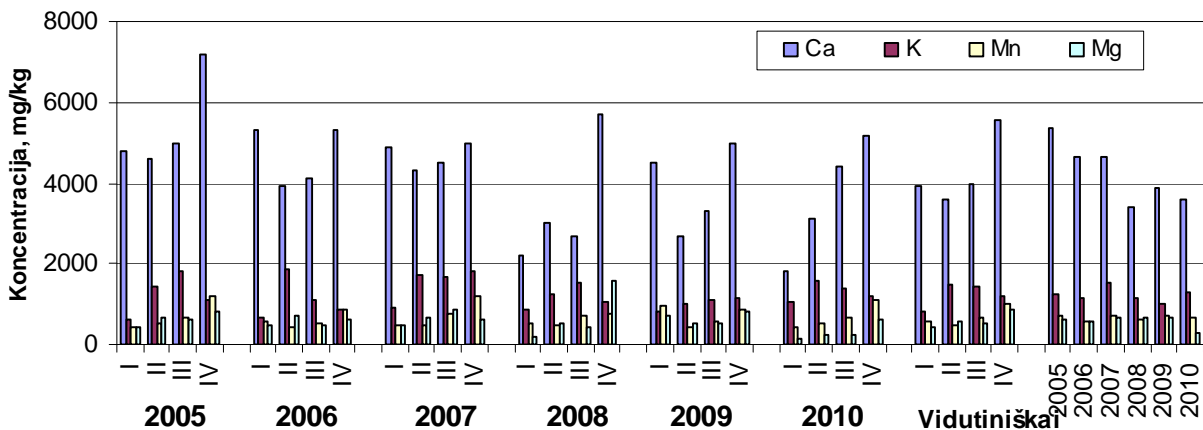
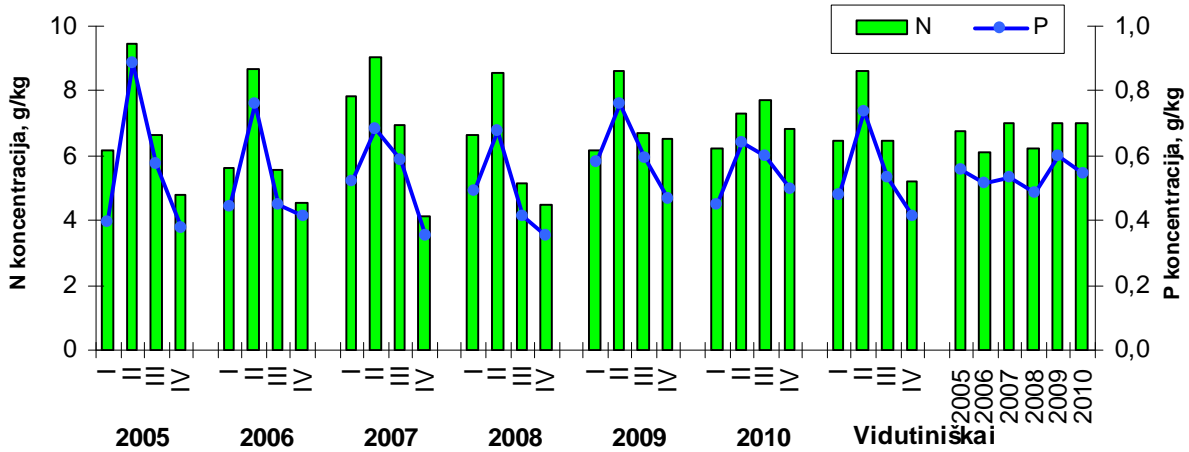


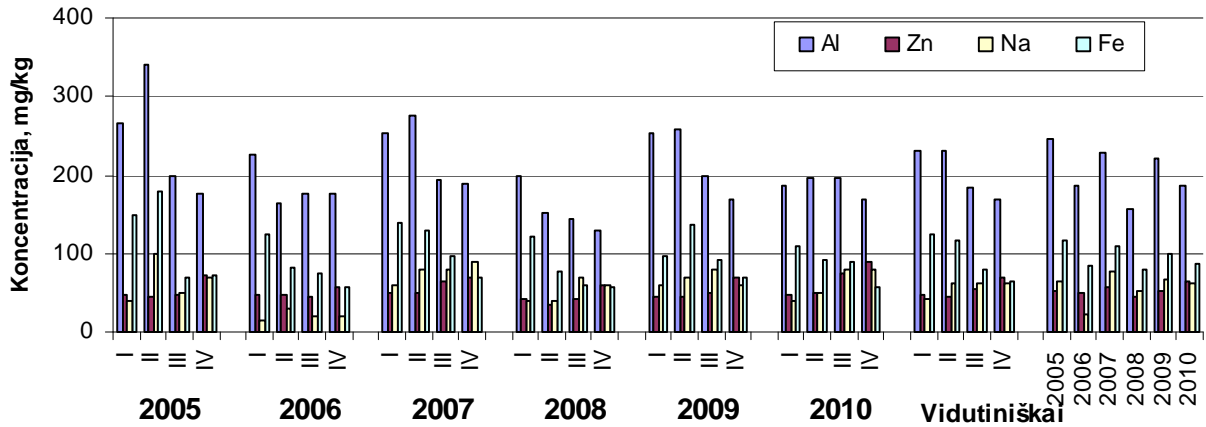


2.49 pav Pagrindinių makro elementų kaita lapijoje Aukštaitijos KMS

Tirto pavyzdžio amžius taip pat turėjo įtakos ir aliuminio bei cinko koncentracijoms. Kaip ir makro elementų jauniausiose lapijos pavyzdžiuose daugiausiai buvo Zn: beržų lapuose ir pitmų metų pušies spygliuose – vidutiniškai maždaug po 110 mg/kg, beveik 3 kartus mažiau pušų antrų metų spygliuose – 40 mg/kg ir net 5 kartus mažiau eglės įvairaus amžiaus spyglių mišinyje – 20 mg/kg. Na ir Fe koncentracijos atskiruose pavyzdžiuose esminiai nesiskyrė ir siekė vidutiniškai 30-40 mg/kg ir 20-30 mg/kg atitinkamai.

Pagrindinių maistinių komponentų sudėties tyrimai nuokritose

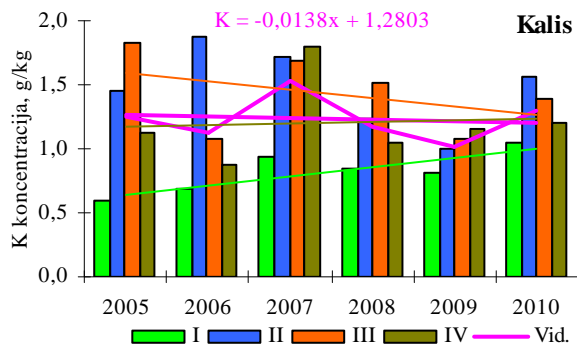
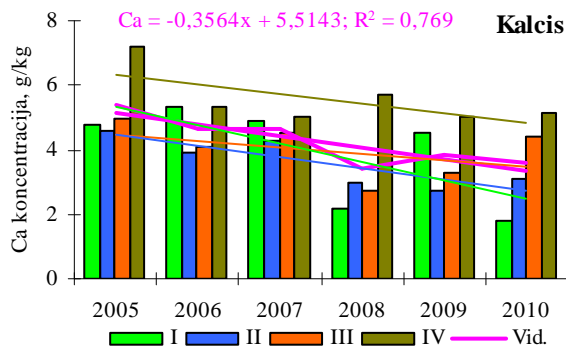
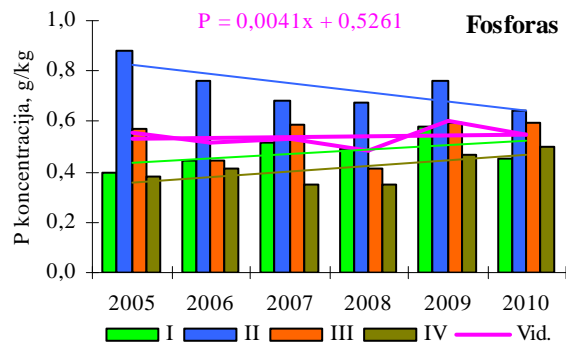
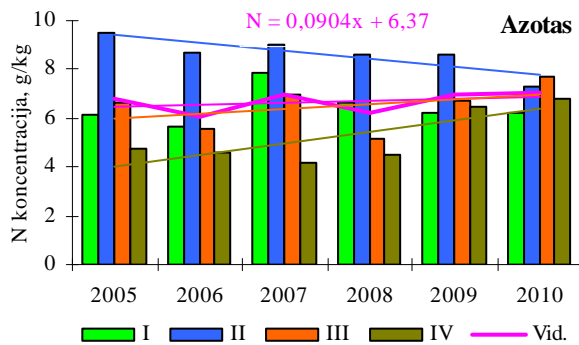




2.50 pav. Pagrindinių maistinių komponentų koncentracija nuokritose 2005-2010 m.

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 vyrėti ne lapija ar žievė, o pumpurų žvyneliai (2.50 pav.).

Kai nuokritas sudaro praktiškai vien tik spygliai ir lapai (rudens mėnesių nuokritos - IV) šių elementų koncentracijos ženkliai sumažėja. Per žiemos mėnesius esminių pokyčių nuokritose neišaiškinta (I). *Per tiriamąjį laikotarpį bendrojo azoto kiekis nuokritose turėjo tendenciją didėti, ypač vasaros ir rudens mėnesių nuokritose, o fosforo kiekis – mažėti, ypač pavasario mėnesių nuokritose.*



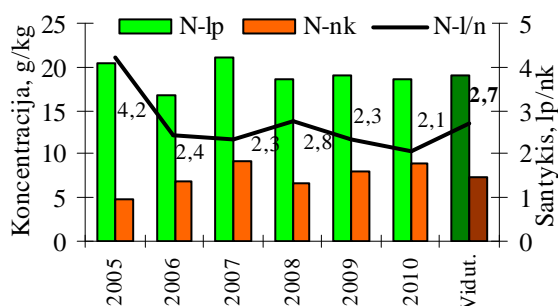
2.50 pav. Pagrindinių mikroelementų kiekių nuokritose kaita Aukštaitijos KMS

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 visus metus. Pastarojo laikotarpio didėjantis kritulių rūgštingumas bei Ca jonų koncentracijos mažėjimas krituliuose, matyt, kad galėjo turėti esminės įtakos tokiam kalcio jonų sumažėjimui nuokritose.*

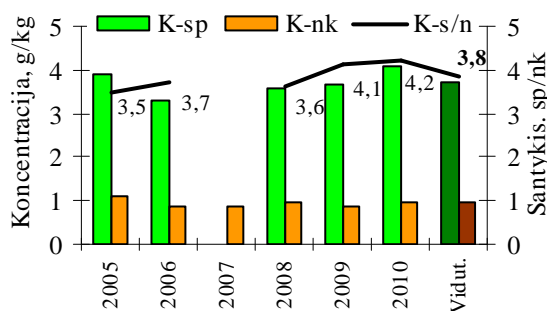
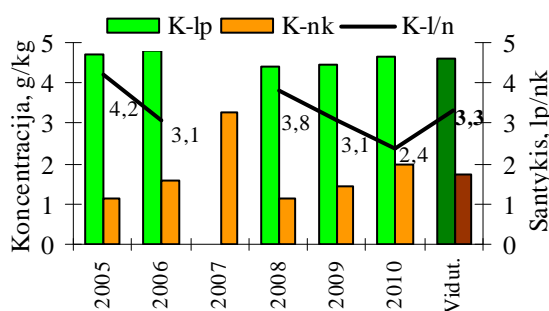
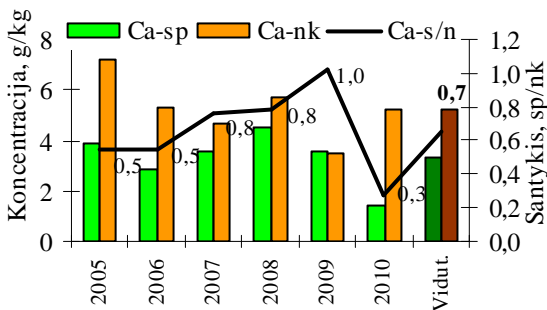
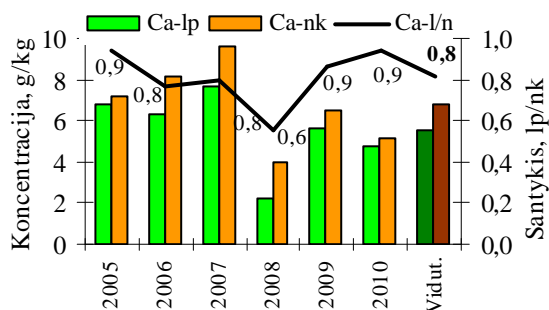
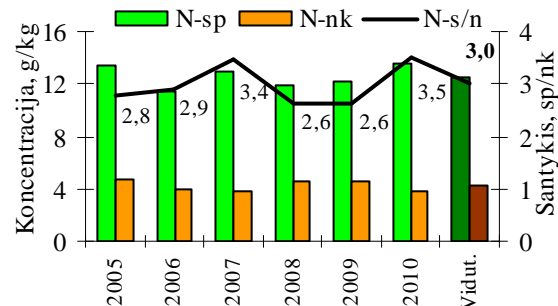
Kalio koncentracijoms nuokritose taip pat būdinga tendencija mažėti, ypač vėlyvo pavasario nuokritose, kai juose vyrauja pumpurų žvyneliai bei vasaros mėnesių nuokritose.

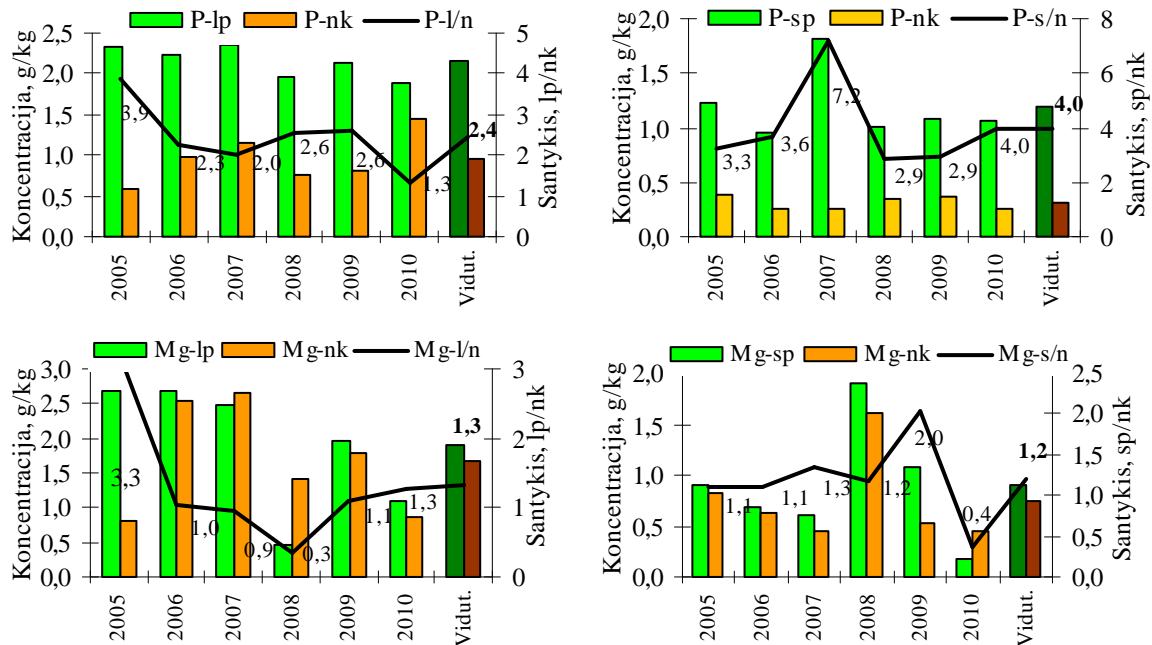
Pagrindinių maistinių komponentų transformacijos lapijoje

a) Beržo lapai



b) Pušies spygliai



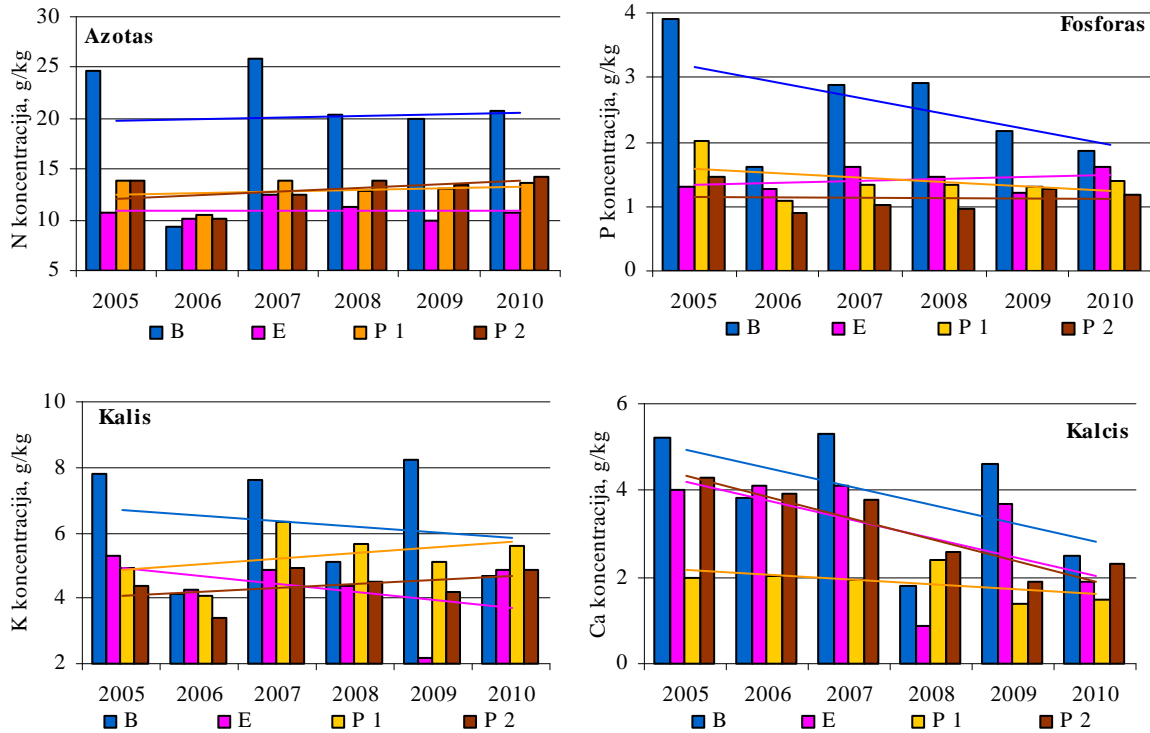


2.51 pav. Pagrindinių maistinių komponentų koncentracijų kaita lapijoje ir nuokritose Aukštaitijos KMS 2005-2010 m.

Palyginus tirtų elementų koncentracijas atskirai beržų lapuose, pušies spygliuose ir jų rudeninėse nuokritose nustatyta (2.51 pav.), kad *bendrojo azoto nukritusiuose lapuose ir spygliuose sumažėja beveik vienodai 2,7-3,0 karto, kalio 3,3-3,8 karto, magnio 1,2-1,3 karto ir tik bendrojo fosforo koncentracijos išsiskyrė: nukritusiuose beržų lapuose P koncentracija sumažėjo 2,4 karto, o pušies spygliuose 4,0 karto. Nežymiai, vos 1,3-1,4 karto nuokritose padidėjo tik kalcio jonų.* Tačiau 6 metų tyrimo rezultatai dar neleidžia detaliau spręsti apie cheminių procesų dėsningumus sumažėjus foninei taršai, bei šylant klimatui.

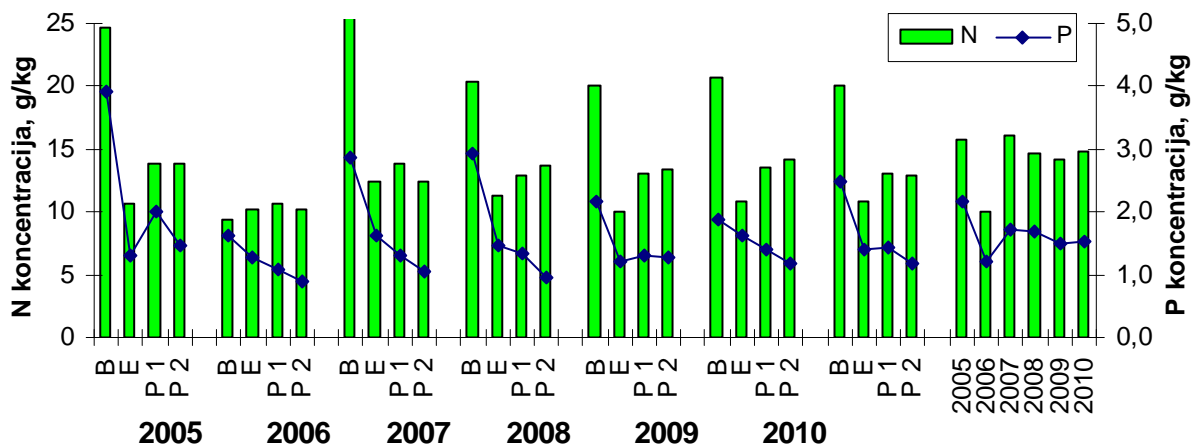
2.6.2 Žemaitijos kompleksiško monitoringo stotis

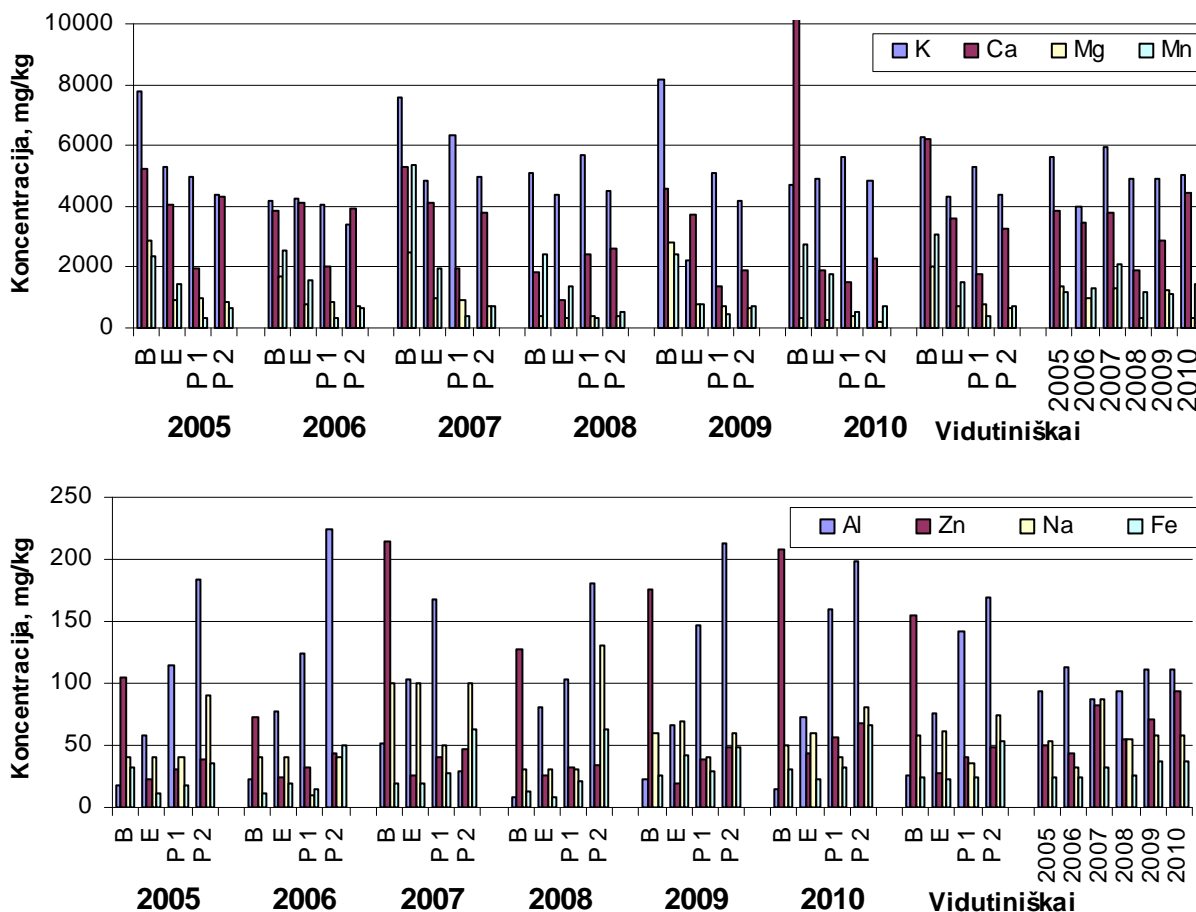
Bendrojo azoto (N) koncentracijų lapuose ir spygliuose analizė parodė, kad Žemaitijos KMS beržų lapuose šio elemento kaupiasi tik iki 1,5 karto daugiau (2.52 pav.) negu spygliuose (Aukštaitijos KMS – apie 2 k.). Eglių ir skirtingo amžiaus pušies spygliuose N koncentracija iš esmės nesiskyrė, nors mažiausios koncentracijos nustatytos eglės įvairaus amžiaus spyglių mišinyje, kiek didesnės pirmų ir antrų metų pušies spygliuose. *Per tiriamąjį laikotarpį, nuo 2005 iki 2010 m. azoto koncentracija tiek beržų lapuose, tiek ir spygliuose išliko stabili.*



2.52a pav. Pagrindinių makroelementų kiekių lapijoje kaita Žemaitijos KMS

Bendrojo fosforo koncentracijų lapijoje tyrimų rezultatai analogiški 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 2010 m. bendrojo fosforo koncentracija tik spygliuose praktiškai išliko stabili, o beržų lapuose esminiai mažėja kaip ir Aukštaitijos KMS.*





2.52b pav. Pagrindinių komponentų koncentracija lapijoje Žemaitijos KMS 2005-2010 m.

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

Kaip ir Aukštaitijos KMS, mažiausios kalcio koncentracijos nustatytos pirmųjų metų pušies spygliuose, kiek didesnės eglės spyglių mišinyje ir antrųjų metų pušies spygliuose (2.52 pav.). Sąlyginai didžiausios koncentracijos nustatytos beržų lapuose. *Per 2005-2010 m. laikotarpį tik pirmųjų metų pušies spygliuose kalcio kiekiai išliko stabilūs. Kituose tirtuose lapijos pavyzdžiuose kalcio kiekiai turėjo tendenciją mažėti, o antrųjų metų pušies spygliuose ši kaita jau tapo reikšminga, sumažėdama nuo 4 g/kg iki 2 g/kg.*

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 nenustatyta. 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.

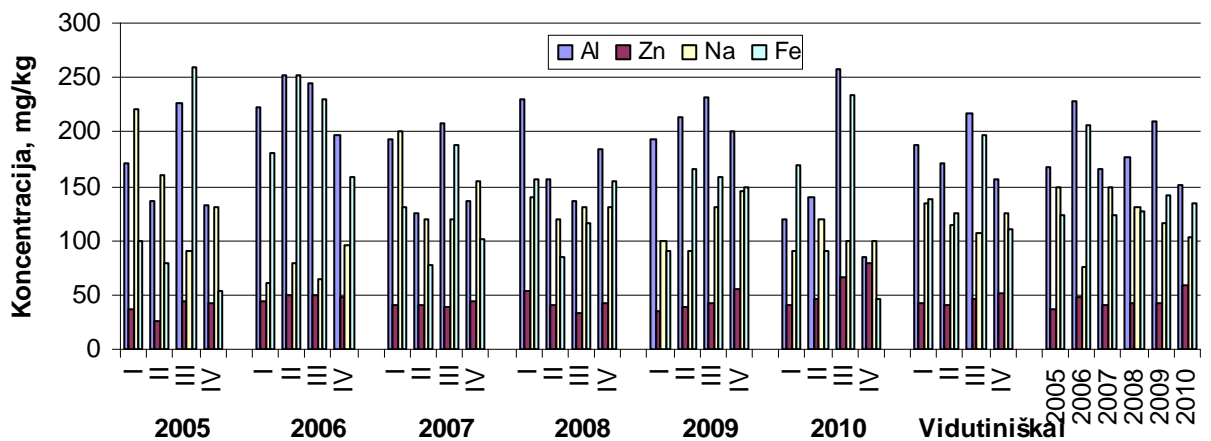
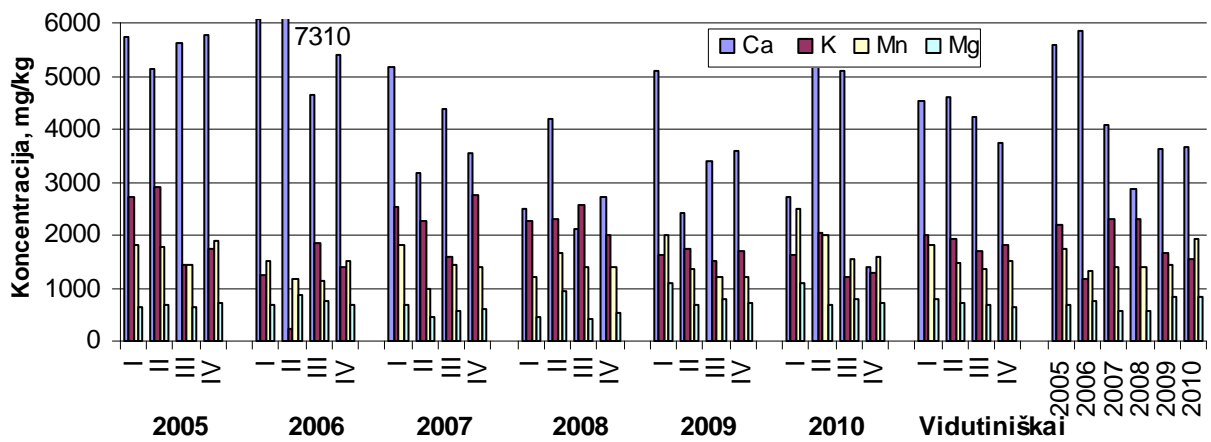
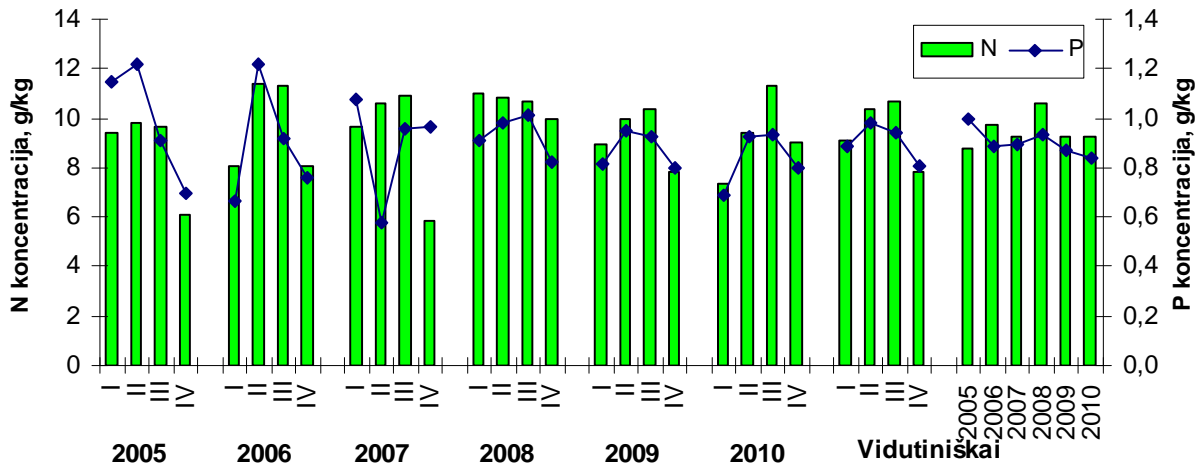
Aliuminio ir cinko koncentracijų kaitoje išaiškinti tie patys esminiai pokyčiai ir metų eigoje, ir tarp tiriamų objektų, kaip ir Aukštaitijos KMS (2.52b pav.). Mažiausios koncentracijos Al buvo nustatytos beržų lapuose, 3 kartus didesnės eglės spygliuose, apie 5 kartų – pirmų metų pušies spygliuose ir 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. ***Per tiriamąjį laikotarpį, skirtingai negu Aukštaitijos KMS, aiškio Al ir Zn kaitos tendencijos spygliuose ir lapuose nustatyti nepavyko.***

Kadangi Baltijos jūra turi esminės įtakos natrio koncentracijų kaitai vakarinėje 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 Žemaitijos KMS stebima natrio koncentracijų didėjimo tendencija.***

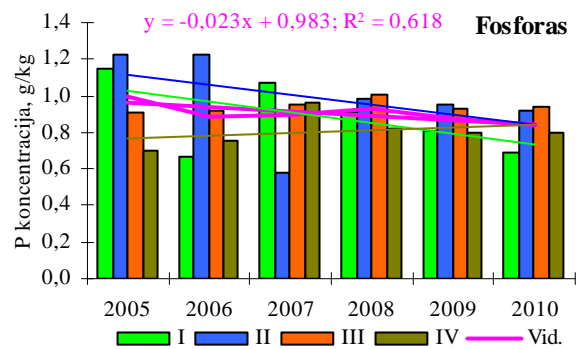
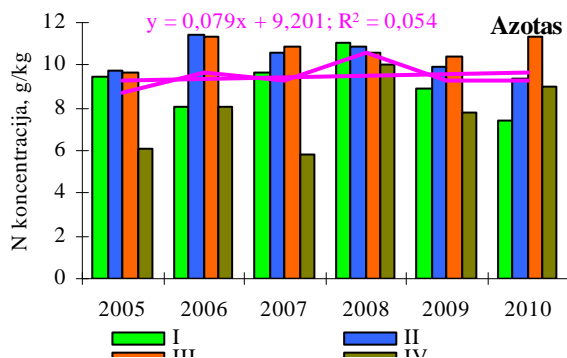
Didžiausios geležies koncentracijos nustatytos taip pat antrų metų pušies spygliuose, o likusiuose objektuose jos buvo 2-3 kartus mažesnės ir iš esmės nesiskyrė (2.52b pav.). ***Per tiriamąjį laikotarpį geležies koncentracijos lapuose ir spygliuose išliko stabilios.***

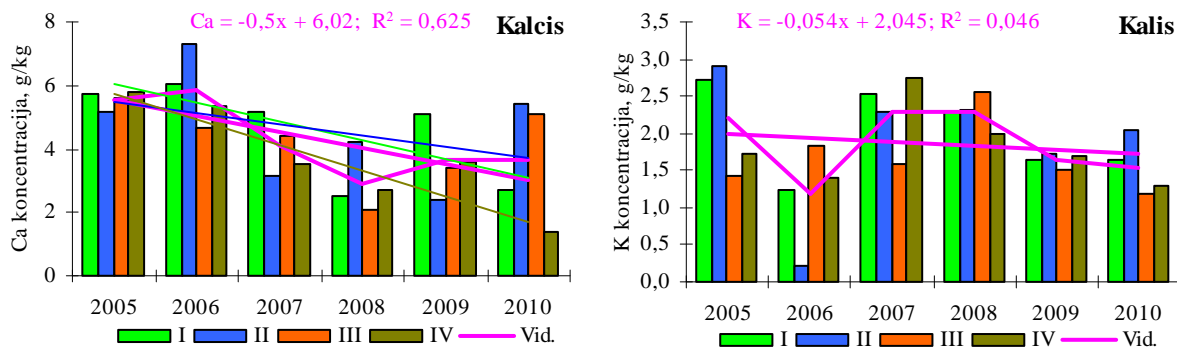
Nuokritų cheminė analizė

Nuokritų cheminė analizė parodė, kad bendrojo azoto ir fosforo koncentracijų kaitai esminės įtakos, kaip ir Aukštaitijos KMS, turėjo nuokritų sezoniškumas, tačiau skirtingai nei Aukštaitijos KMS, 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.).



2.53a pav. Pagrindinių maistinių komponentų koncentracija nuokritose 2005-2010 m.

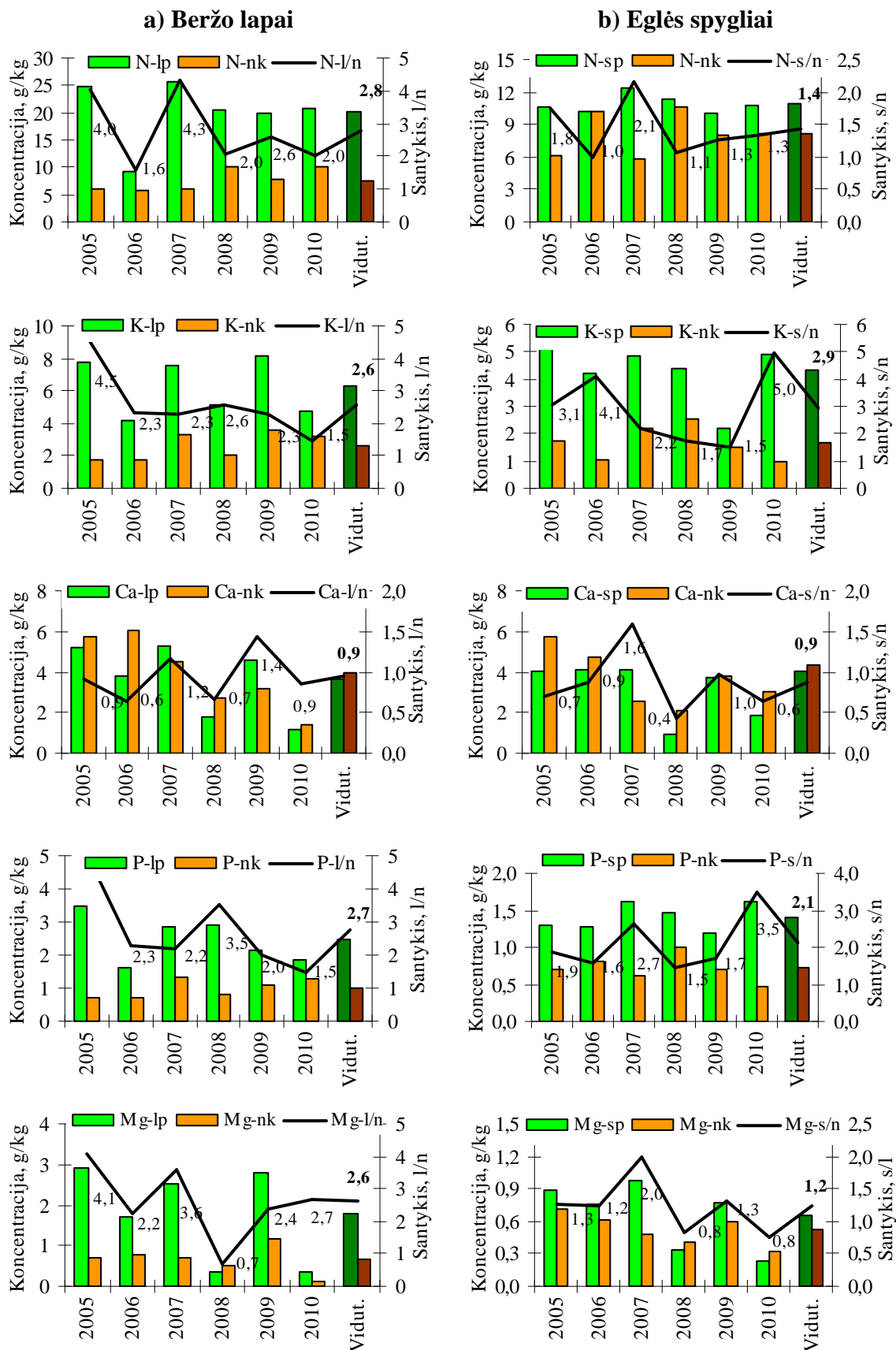




2.53b pav. Pagrindinių makroelementų kiekių nuokritose kaita Žemaitijos KMS, 2005-2008 m.

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. *Kaip ir spygliuose, reikšmingai mažėja fosforo kiekis nuokritose. Kitų elementų kaitoje stebima mažėjimo tendencija. Išimtį sudaro kalio ir azoto koncentracijų kaita, kuri neturi aiškesnės tendencijos.*

Palyginus tirtų elementų koncentracijas atskirai beržų lapuose, eglės spygliuose ir jų nuokritose nustatyta, kad bendrojo azoto nukritusiuose lapuose ir spygliuose sumažėjo 2,8 ir 1,4 karto atitinkamai, fosforo 2,7 ir 2,1 karto atitinkamai, o kalio maždaug vienodai po 2,6-2,9 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.

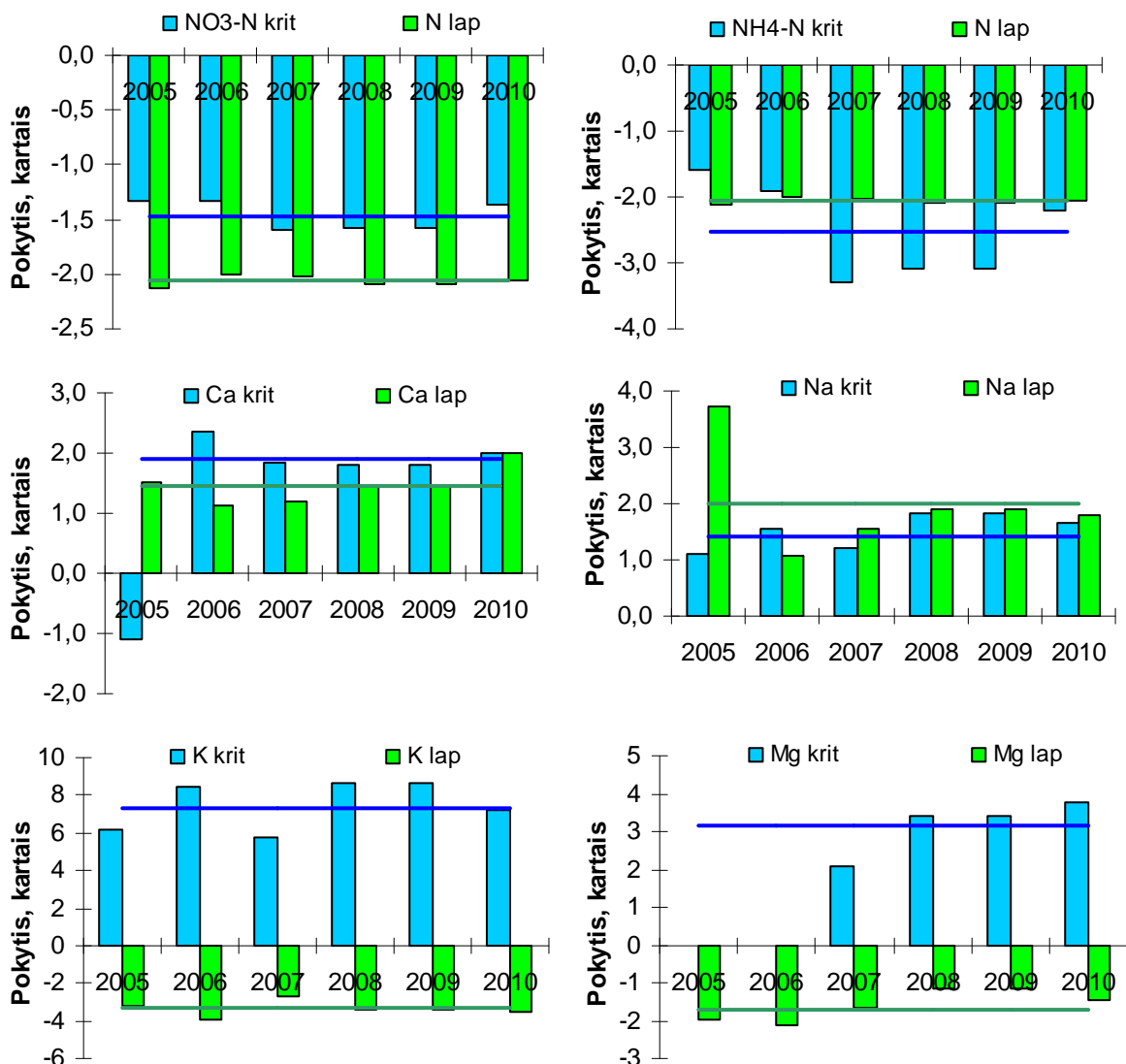


2.54 pav. Pagrindinių maistinių komponentų koncentracijų kaita lapijoje ir nuokritose Žemaitijos KMS 2005-2010 m.

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.

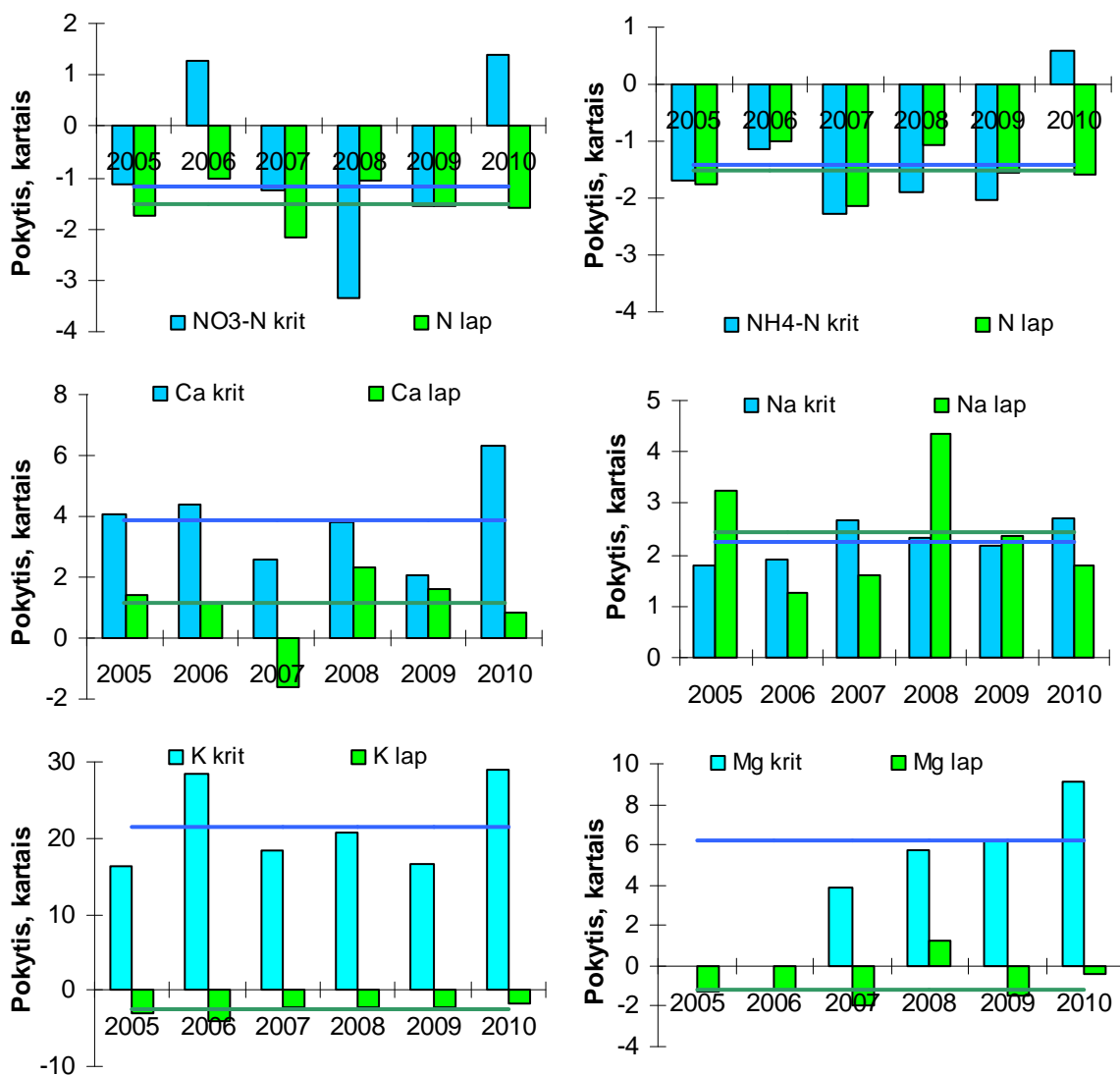
Bendri dėsningumai būdingi ir kalio bei magnio transformacijomis, tačiau jos iš esmės skiriasi nuo kalcio ir natrio transformacijų (2.55 pav.). Jei krituliai praeidami pro medžių lajas praturtinami magnio (apie 3 kartus) ir kalio (iki 8 kartų) jonais, tai nuokritose šių elementų kiekis sumažėja apie 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. Nuokrituose 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 komponentių transformacijų palyginimas krituliuose ir lapijoje Žemaitijos KMS.

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

Išvados

Aukštaitijos KMS nuo 2005 iki 2010 m. azoto koncentracija tiek beržų lapuose, tiek ir eglės bei pušies spygliuose išliko praktiškai stabili, bendrojo fosforo koncentracija reikšmingai mažėjo tik beržų lapuose, po -0,11 g/kg per metus.

K, Ca, Mg ir Mn koncentracijos beržų lapuose turėjo tendencija mažėti. Eglių spygliuose mažėjimo tendencija nustatyta tik Mg ir Ca, o nežymiai didėjo K ir Mn koncentracijos. Pušies spygliuose šių metalų koncentracijų kaitoje reikšmingos tendencijos nustatyti nepavyko, nors svyravimai ryškūs.

Bendrojo azoto kiekis nuokritose šioje stotyje turėjo tendenciją didėti, ypač vasaros ir rudens mėnesiais, o fosforo kiekis – mažėti, ypač pavasario mėnesiais. Kalcio koncentracija nuokritose reikšmingai mažėja visus metus. Kalio koncentracijoms nuokritose taip pat būdinga tendencija mažėti, ypač vėlyvo pavasario bei vasaros mėnesių nuokritose.

Palyginus tirtų elementų koncentracijas atskirai beržų lapuose, pušies spygliuose ir jų rudeninėse nuokritose nustatyta, kad N nukritusiuose lapuose ir spygliuose sumažėja beveik vienodai 2,7-3,0 karto, kalio 3,3-3,8 karto, Mg 1,2-1,3 karto ir tik bendrojo P koncentracijos išsiskyrė: nukritusiuose beržų lapuose P koncentracija sumažėjo 2,4 karto, o pušies spygliuose 4,0 karto. Nežymiai, vos 1,3-1,4 karto nuokritose padidėjo tik Ca jonų.

Žemaitijos KMS per tiriamąjį laikotarpį, nuo 2005 iki 2010 m. azoto koncentracija tiek beržų lapuose, tiek ir spygliuose išliko stabili, o bendrojo fosforo koncentracija išliko stabili praktiškai tik spygliuose. Beržų lapuose šio elemento esminiai mažėjo kaip ir Aukštaitijos KMS. Kalio koncentracijų kaitoje stebimas nežymus šio elemento kiekio didėjimas tik pušies spygliuose, kai tuo tarpu eglės spygliuose ir beržų lapuose šio elemento kiekis ženkliai mažėja. 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.

Mg koncentracijų tirtuose lapijos pavyzdžiuose kaitoje pastebima mažėjimo tendencija, o Mn priešingai - didėjimo tendencija. Skirtingai negu Aukštaitijos KMS, aiškios Al ir Zn kaitos tendencijos spygliuose ir lapuose nustatyti nepavyko. Nustatyta natrio koncentracijų didėjimo tendencija, o geležies koncentracijos lapuose ir spygliuose stabilios.

Žemaitijos KMS per tiriamąjį laikotarpį bendrojo azoto koncentracijos nuokritose turi tendencija didėti, o bendrojo fosforo, kaip ir Aukštaitijos KMS – mažėti. Ca kaitoje išaiškinta reikšminga mažėjimo tendencija. Taip pat kaip ir spygliuose, reikšmingai mažėja fosforo kiekis nuokritose. Tik kalio ir azoto koncentracijų kaita neturi aiškesnės tendencijos.

Pastarojo laikotarpio didėjantis kritulių rūgštingumas bei Ca jonų koncentracijos mažėjimas krituliuose, matyt, kad galėjo turėti esminės įtakos kalcio jonų sumažėjimui ir lapijos pavyzdžiuose, ir nuokritose.

Palyginus tirtų elementų koncentracijas lapuose, spygliuose ir jų nuokritose nustatyta, kad bendrojo N nukritusiuose lapuose ir spygliuose sumažėjo 2,8 ir 1,4 karto, P 2,7 ir 2,1 karto atitinkamai, o K maždaug vienodai po 2,6-2,9 karto ir beržų lapuose, ir eglės spygliuose.

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

2.7. KMS teritorijoje augančių medynų biomasės, bioelementų pokyčiai ir prieaugis.

Pagal integruoto monitoringo programą įsteigtų stočių teritorijose medynų inventorizacija ar medynų biomasės bei bioelementų kiekio tyrimai vykdomi kas 5 metai. Per visą tiriamąjį laikotarpį biomasės tyrimai atlikti stočių įkūrimo metais, po to 1999, 2003 ir ketvirtą kartą pakartoti 2010 m.

Vienas iš pagrindinių Integruoto monitoringo tikslų yra hidrologiniu požiūriu pakankamai gerai izoliuotuose mažų upelių baseinuose nustatyti ir sekti teršiančių medžiagų ir maistinių medžiagų srautus, kontroliuoti jų balansą bei vertinti vykstančius biologinius pokyčius, o taip pat nustatyti medžių būklės bei jų žuvimo intensyvumą visoje tiriamoje teritorijoje. Todėl buvo nustatyta:

1. gyvų medžių bendra biomasė;
2. pagrindinių maistinių elementų kiekis medžių biomasėje;
3. bendras gyvų ir žuvusių medžių skaičius bei jų pasiskirstymą pagal medžio rūšį ir skersmenį;
4. medžių biomasės pokytis per tiriamąjį laikotarpį, t.y. nuo 1993(94) iki 2010 m.

Biomasės nustatymas yra pirmas ir pagrindinis žingsnis cheminių elementų persiskirstymo bei cirkuliacijos nustatymui uždarame upelio baseine. Medžių biomasės nustatymui duomenys renkami kompleksiskai jungiant medynų kartografavimą su medžių pagrindinių taksacinių charakteristikų nustatymu tyrimo ploteliuose, reprezentuojančiuose kiekvieną uždaro upelio baseino medyną. Biomasės nustatymui pirmą kartą panaudota spektrinė zoninė aerofoto nuotrauka.

Darbo tikslas: pagal tarptautinę integruoto monitoringo programą Lietuvos IM stočių teritorijose nustatyti augančių medžių biomasę bei pagrindinių bioelementų kiekį bei išaiškinti pagrindinius jų pokyčius.

Vykdamas „Medžių bioelementų bei medynų biomasė“ paprogramę, nustatomas atskirų medžių rūšių: gyvų (NUM_LD), žuvusių (NUM_DD), išverstų medžių (NUM_FD) bei kelmų (NUM_SD) pasiskirstymas pagal skersmenį; gyvų medžių pasiskirstymas pagal jų aukštį (NUM_LH), pagal lajos aukštį (NUM_LCL) bei pagal lajos plotį (NUM_LCW). Taip pat visi gyvi medžiai ir atskirai pagal rūšį suskirstomi į gyvybingumo grupes: sveiki, pažeisti bei mirštantys. Šių tyrimų rezultatai pateikti lentelėse.

2.7.1 Aukštaitijos KMS augančių medynų biomasė bei pagrindinių bioelementų kiekiai

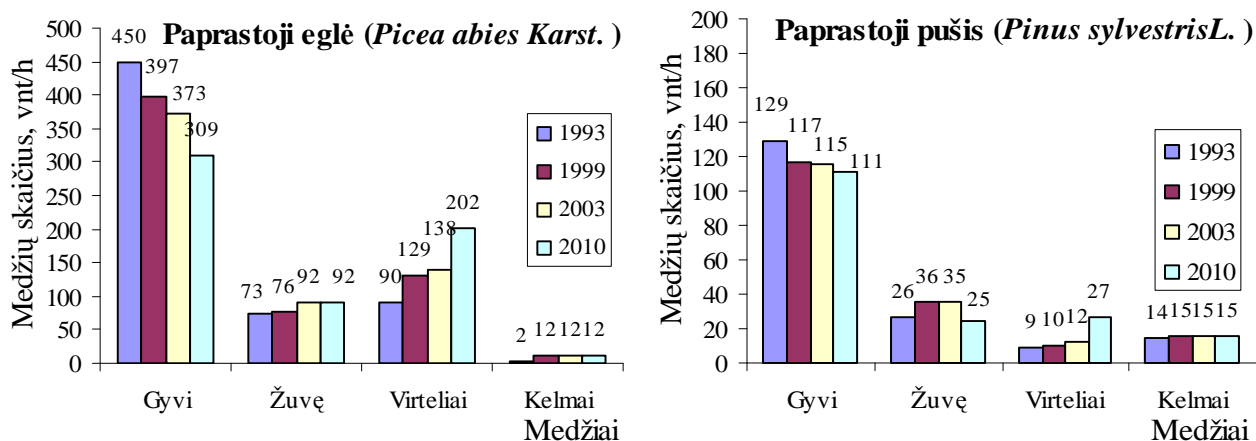
Medžių bioelementų bei medynų biomasės kaitos įvertinimui panaudoti 1993, 1999, 2003 ir 2010 metų apskaitų duomenys, kurie gauti vykdamas pilną medynų inventorizaciją Aukštaitijos KMS baseine 50 pastoviuose tyrimo ploteliuose. Kadangi detalūs biomasės tyrimai nebuvo atlikti, pasinaudota, kaip rekomenduojama metodikoje, artimiausio regiono medžių biomasės tyrimų rezultatais. Tokiu būdu medžių atskirų fraksijų, biomasė buvo nustatyta naudojantis tyrimų rezultatais atliktais Lietuvos miškų institute (Таблицы для..., 1982). Pagrindinių maistinių

elementų medžių biomasėje nustatymui naudoti Integruoto monitoringo programoje pateikti duomenys (Manual of, 1998).

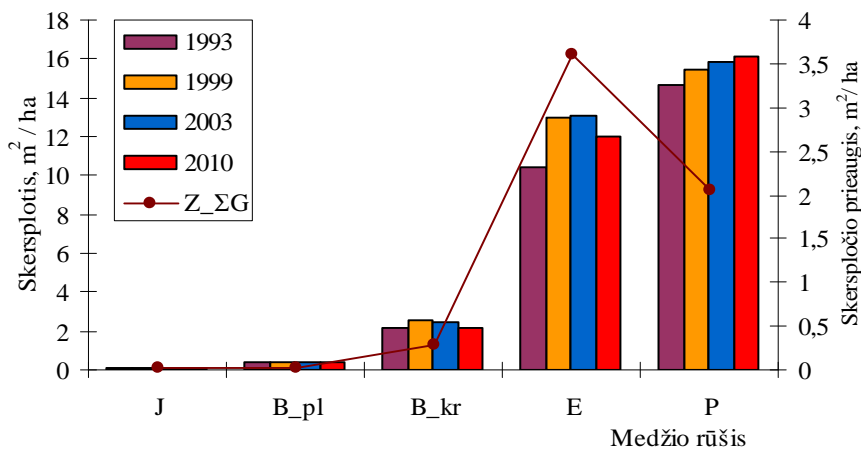
Aukštaitijos KMS Versminio upelio uždaramo baseine vyrauja spygliuočių daugiaardžiai medynai. Tai pagrindė seni perbrendę pušynai su keliomis lydinčiomis eglė kartomis.

Nustatyta, kad per visą 17 m. laikotarpį 1 ha plote gyvų medžių vidutiniškai sumažėjo nuo 651 iki 472 (28%), kas sudarytų po 1,6% per metus. Vienas tyrimo plotas, kuris buvo atžymėtas už rezervato ribų po masinio kenkėjų pažeidimo buvo visiškai iškirstas. Paprastosios pušies ir eglės medžių dinamika rodo (2.57 pav.), kad per tiriamąjį laikotarpį pušies iškirtimas siekė 14,0% , o eglės 31,3%. Tai sudarytų atitinkamai po 0,82% ir 1,8% šių rūšių medžių nudžiūvimo per metus.

Tiriant medžių skerspločių sumos (ΣG) pokytį bei išlikusių gyvų medžių skerspločių sumos prieaugį (2.58 pav.), nustatyta, kad intensyviausiu prieaugiu pasižymi paprastosios eglės medžiai. Šios rūšies medžių vidutinis skerspločių sumos prieaugis per tiriamąjį laikotarpį sudarė apie 3,6 m²/ha arba apie 0,21 m²/ha (2,5 % skerspločių sumos) per metus. Pušų skerspločių sumos prieaugis per tiriamąjį laikotarpį sudarė apie 2,1 m²/ha arba 0,12 m²/ha (apie 0,9 % ΣG) per metus.

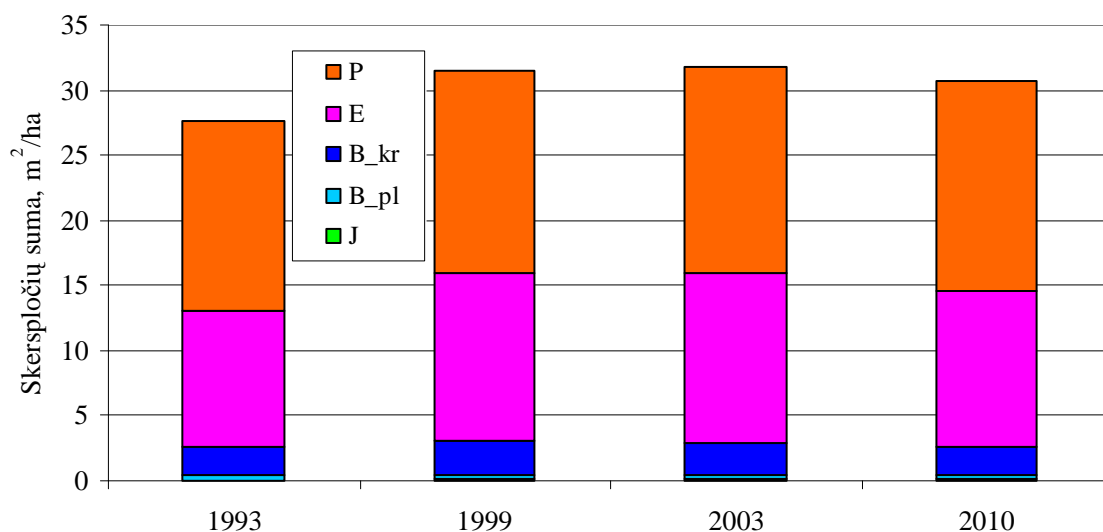


2.57 pav. Aukštaitijos IMS baseino pagrindinių rūšių medžių skaičiaus kaita



2.58 pav. Aukštaitijos IMS baseino pagrindinių rūšių medžių skersplotis ir išlikusių gyvų medžių skerspločių prieaugis 1 ha ($Z_{\Sigma G}$) 1993-2010 m. laikotarpiu

Aukštaitijos KMS 1 ha teritorijoje pagal skerspločių sumą vyrauja pušynai. Jų ΣG per visą tiriamąjį laikotarpį didėjo nuo 14,6 iki 16,1 m^2/ha . Kiek mažesnė dalis teko eglėms. Jų skerspločių suma pradžioje sudarė 10,4 m^2/ha , 2003 m. pasiekė savo maksimumą – 13,0 m^2/ha ir paskutiniaisiais 2010 m. sumažėjo iki 12,0 m^2/ha . Pagrindinė tokios kaitos priežastis – vėjalaužos ir vėjavartos. Beržų skerspločio suma kito analogiškai eglių skerspločio sumai. Pradžioje, nuo 1993 iki 2003 m. jų skerspločių suma didėjo nuo 2,5 m^2/ha iki 2,9 m^2/ha , o 2010 m. vėl sumažėjo iki 2,5 m^2/ha . Tai taip pat vėjalaužų ir snieglaužų rezultatas. Tokiu būdu Aukštaitijos KMS teritorijos medynų skerspločių suma 1993 m. siekė 27,6 m^2/ha , 2003 m. padidėjo iki 31,8 m^2/ha , o paskutiniaisiais 2010 m. vėl sumažėjo iki 30,7 m^2/ha .



2.59 pav. Aukštaitijos KMS baseine augančių medžių skerspločių sumos kaita 1993-2010 m.

Apskaičiavus augančių medžių stiebų, šakų, spyglių biomasę, nustatyta, kad Aukštaitijos IMS 1 ha baseino plote augančių medynų biomasė nuo 1993 iki 1999 metų dėl medžių išskritimo sumažėjo vidutiniškai nuo 218t iki 206t/ha, t.y. 12 t/ha arba 5%, 1999 m. augančių medžių biomasės padidėjo 5 t/ha arba apie 2% biomasės, o paskutiniaisiais sumažėjo vėl 4 t/ha iki 207 t/ha.

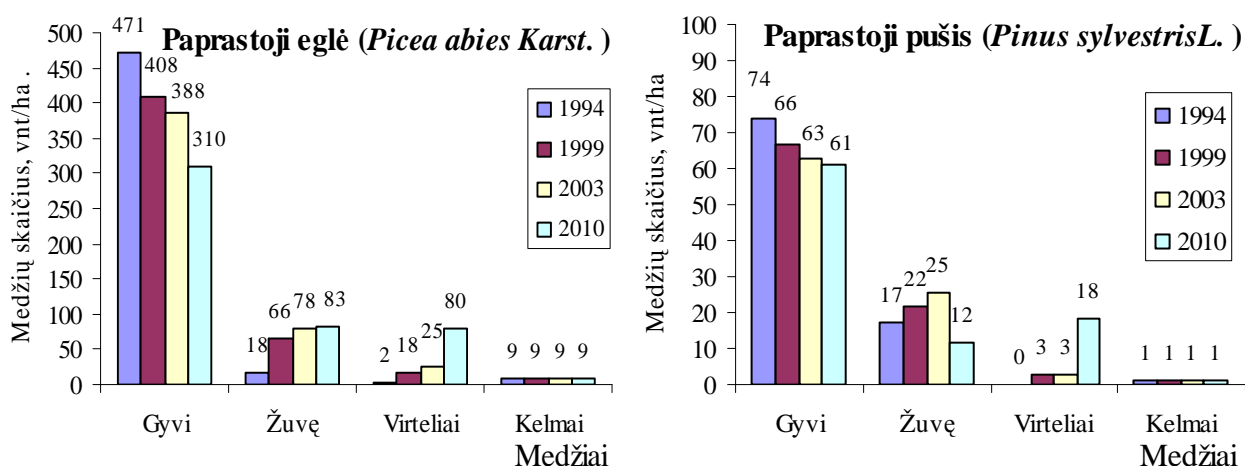
Pagrindinių medynų biomasės bei bioelementų tyrimo rezultatai parodė, kad Aukštaitijos KMS teritorijoje augančių medynų biomasė 2003 m. sudarė 211t/ha, kurioje pagrindinių bioelementų kiekiai buvo tokie: azotas 376,6 kg/ha, fosforas 42,1kg/ha, kalis 142,1 kg/ha, kalcis 229,6kg/ha. Priklausomai nuo bioelemento, jų kiekis per 17 metų laikotarpį sumažėjo nuo 5 iki 7% dėl medžių žuvimo. 2010 m negyvoji mortmasė susidarė 99,2 t/ha, kuri priklausomai nuo jos sudulėjimo palaipsniui pereina į dirvožemį, jį praturtindama. Per tiriamąjį laikotarpį nuo 1993 iki 2010 susidarė 55,5 t/ha negyvosios mortmasės, t.y. maždaug po 3,3 t/ha per metus. Tai sudarytų 5,9 kg azoto, 2,2 kg kalio, 3,6 kg kalcio 0,67 kg fosforo, 0,77 kg magnio ir mangano bei 0,69 kg sieros.

Per tiriamąjį laikotarpį 2010 m. išlikusių gyvų medžių biomasės prieaugis sudarė 46 t/ha, arba 2,7 t/ha per metus (1,3 % išlikusių gyvų medžių biomasės per metus)

2.7.2. Žemaitijos KMS teritorijos medynų biomasė bei pagrindinių bioelementų kiekiai

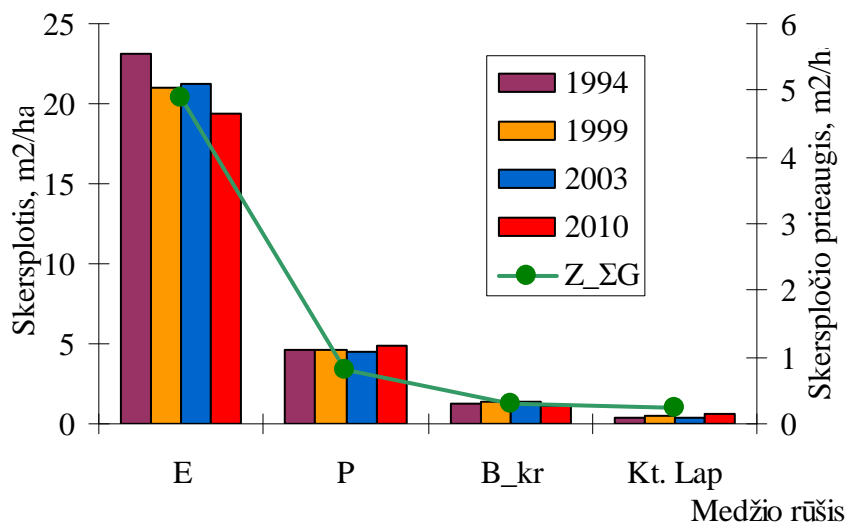
Medžių bioelementų bei medynų biomasės kaitos įvertinimui panaudoti 1994, 1999, 2003 ir 2010 metų apskaitų duomenys, kurie gauti vykdant pilna medynų inventorizaciją Žemaitijos KMS baseine 37 pastoviuose tyrimo ploteliuose.

Nustatyta, kad per 16 m. laikotarpį 1 ha plote gyvų medžių vidutiniškai sumažėjo nuo 605 iki 411 (32,0% arba 2,0% per metus). Paprastosios pušies ir eglės medžių dinamika rodo (2.59 pav.), kad per tiriamąjį laikotarpį pušies iškritimas siekė 17,6% (1,1% per m.). Dėl žievėgraužio tipografo ir nepalankių klimatinių veiksnių (vėjalaužų ir vėjavartų) eglės žuvimo intensyvumas pasiekė net 34,2% (2,1% per m.), kas žymiai viršijo eglėlių iškritimo intensyvumą Aukštaitijos KMS teritorijoje.



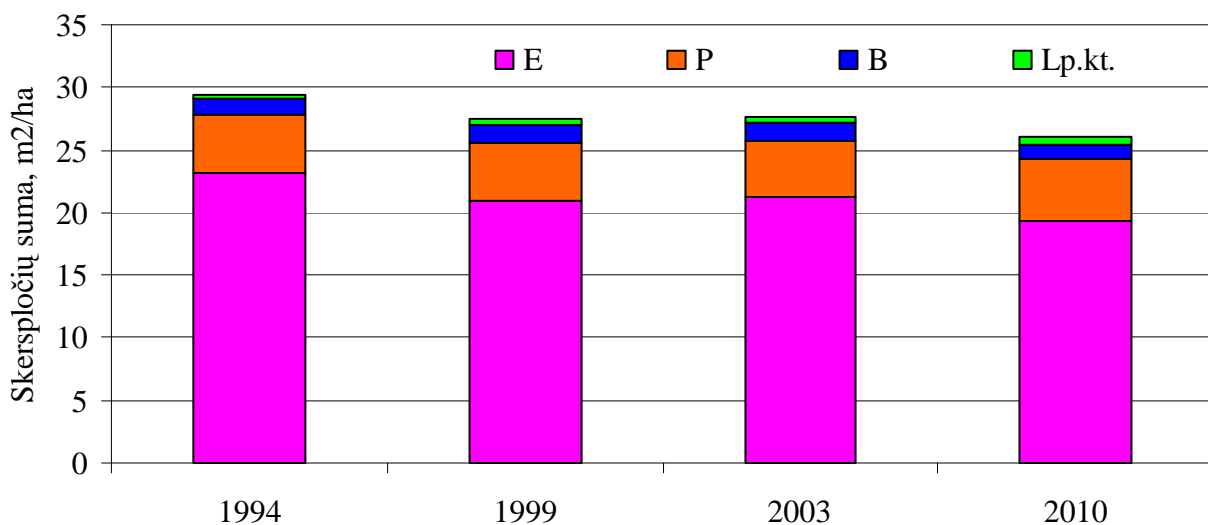
2.59pav. Žemaitijos KMS baseino pagrindinių rūšių medžių skaičiaus kaita

Tiriant medžių skerspločių sumos pokytį bei išlikusių gyvų medžių skerspločių sumos prieaugį (2.60 pav.), nustatyta, kad intensyviausiu prieaugiu, kaip ir Aukštaitijos KMS, pasižymi paprastosios eglės medžiai. Šios rūšies medžių vidutinis skerspločių sumos prieaugis per tiriamąjį laikotarpį sudarė apie 5 m²/ha arba apie 1,6 % skerspločių sumos per metus. Pušų skerspločių sumos prieaugis per tiriamąjį laikotarpį sudarė apie 0,8 m²/ha arba apie 1,0 % skerspločių sumos per metus. Iš pateiktų duomenų matyti, kad metiniai skerspločių sumos prieaugiai abiejose stotyse yra labai panašūs.



2.60 pav. Žemaitijos KMS baseino pagrindinių rūšių medžių skersplotis ir išlikusių gyvų medžių skerspločių prieaugis 1 ha (Z_ΣG) 1994-2003 m. laikotarpiu

Apibendrinus skerspločių sumos pokyčių tyrimo rezultatus nustatyta, kad Žemaitijos KMS 1 ha teritorijoje augančių medžių skerspločių suma 1994 m. pagal rūšį buvo pasiskirsčiusi taip: pušis – 4,6, eglė – 22, beržai bei kitos rūšys apie – apie 1,8 m²/ha. 2010 m. skerspločių suma turtų medžių rūšių buvo: pušis – 4,9, eglė – 19,4, beržai bei kitos rūšys apie – apie 1,7 m²/ha. Tokiu būdu Žemaitijos KMS teritorijoje augančių medynų skerspločių suma per tiriamąjį 16 m. laikotarpį vidutiniškai pakito nuo 28,4 m²/ha iki 26,0 m²/ha, t.y sumažėjo 2,37 m²/ha 8,3 %, o išlikusių gyvų medžių skerspločio prieaugis sudarė 6,25 (nuo 17,8 iki 26,0 m²/ha) arba 23,2 % (1,4 % per metus).



2.61 pav. Žemaitijos KMS baseine augančių medžių skerspločių sumos kaita 1993-2010 m.

Apskaičiavus augančių medžių stiebų, šakų spyglių biomasę, nustatyta, kad Žemaitijos KMS 1 ha baseino plote augančių medynų biomasė nuo 1993 iki 1999 metų dėl medžių iškritimo sumažėjo vidutiniškai nuo 196t iki 185t/ha, t.y. apie 10 t/ha arba 5% biomasės. Per antrąjį tyrimų laikotarpį, t.y. nuo 1999 iki 2003 m. biomasė nežymiai dar padidėjo iki 186 185t/ha, tačiau paskutiniu metu laikotarpiu, t.y. nuo 2003 iki 2010 m. augančių medžių biomasės vėl mažėjo iki 178t/ha. Toks pastovus biomasės mažėjimas yra žievėgraužio tipografo ir nepalankių klimatinė veiksmų poveikio rezultatas. Tiriant tik išlikusių gyvų iki 2010 m. medžių biomasės prieaugį nustatytas 48,8 t/ha prieaugis, arba 3,1 t/ha prieaugis per metus.

Pagrindinių medynų biomasės bei bioelementų tyrimo rezultatai parodė (1 lentelė), kad Žemaitijos KMS teritorijoje augančių medynų biomasė 2003 m. sudarė 186t/ha, kurioje pagrindinių bioelementų kiekiai buvo tokie: azotas 341,6 kg/ha, fosforas 33,7 kg/ha, kalis 127,1 kg/ha, kalcis 242,2 kg/ha. Priklausomai nuo bioelemento, jų kiekis per 6 metų laikotarpį sumažėjo panašiai kaip ir Aukštaitijos KMS. 2010 m. medynų biomasė buvo 178,5 t/ha, kurioje pagrindinių bioelementų kiekiai buvo tokie: azotas 327,2 kg/ha, fosforas 32,7 kg/ha, kalis 122,1 kg/ha, kalcis 230,0 kg/ha, mangano 51,9 kg/ha, magnio 39,3 kg/ha ir sieros 11 kg/ha.

2010 m. negyvoji mirtmasė susidarė 81,2 t/ha, kuri priklausomai nuo jos sudulėjimo palaipsniui pereina į dirvožemį, jį praturtindama. Per tiriamąjį laikotarpį nuo 1993 iki 2010 susidarė 68,0 t/ha negyvosios mirtmasės, t.y. maždaug po 4,3 t/ha per metus. Tai sudarytų 7,9 kg azoto, 2,9 kg kalio, 5,5 kg kalcio, 0,79 kg fosforo, 1,2 kg mangano, 0,95 kg magnio bei 0,26 kg sieros per metus.

1 lentelė. Aukštaitijos IMS baseino 1 ha augančių medžių atskirų frakcijų biomasė ir bioelementų kiekiai 1993, 1999, 2003 m.

		1994				1999				2003				2010			
Rodiklis	Matav.	Stiebas	Šakos	Spygliai	Iš viso	Stiebas	Šakos	Spygliai	Iš viso	Stiebas	Šakos	Spygliai	Iš viso	Stiebas	Šakos	Spygliai	Iš viso
Paprastoji eglė																	
Biomasė	t	71,51	12,00	3,93	87,45	67,47	11,00	3,31	81,79	68,52	11,12	3,20	82,84	64,41	10,56	3,00	77,97
N	kg	51,49	69,62	50,96	172,06	48,58	63,83	42,88	155,29	49,33	64,51	41,44	155,27	46,38	61,24	38,90	146,52
P	Kg	3,58	7,56	5,35	16,49	3,37	6,93	4,50	14,81	3,43	7,01	4,35	14,78	3,22	6,65	4,09	13,96
K	kg	18,59	27,37	18,81	64,77	17,54	25,09	15,83	58,46	17,81	25,36	15,29	58,47	16,75	24,07	14,36	55,18
Ca	kg	52,20	52,69	18,22	123,12	49,26	48,31	15,33	112,90	50,02	48,82	14,81	113,65	47,02	46,35	13,91	107,28
Mg	kg	7,87	7,44	4,01	19,32	7,42	6,82	3,38	17,62	7,54	6,90	3,26	17,70	7,09	6,55	3,06	16,70
Fe	kg	0,23	6,48	0,24	6,95	0,22	5,94	0,20	6,36	0,22	6,01	0,19	6,42	0,21	5,70	0,18	6,09
Mn	kg	8,87	16,13	3,30	28,30	8,37	14,79	2,77	25,93	8,50	14,95	2,68	26,12	7,99	14,19	2,52	24,69
Na	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	kg	0,72	0,60	0,20	1,51	0,67	0,55	0,17	1,39	0,69	0,56	0,16	1,40	0,64	0,53	0,15	1,32
Cu	kg	0,55	0,08	0,03	0,66	0,52	0,07	0,03	0,61	0,53	0,07	0,02	0,62	0,50	0,07	0,02	0,59
B	kg	0,00	0,12	0,04	0,16	0,00	0,11	0,03	0,14	0,00	0,11	0,03	0,14	0,00	0,11	0,03	0,14
Paprastoji pušis																	
Biomasė	t	88,48	17,66	3,40	109,54	84,90	16,97	3,15	105,03	87,83	17,60	3,21	108,63	90,58	18,21	3,34	112,13
N	kg	52,20	90,40	46,53	189,13	50,09	86,91	43,11	180,11	51,82	90,09	43,83	185,74	53,44	93,24	45,60	192,28
P	Kg	2,65	9,89	13,31	25,85	2,55	9,51	12,33	24,38	2,63	9,85	12,54	25,03	2,72	10,20	13,04	25,96
K	kg	21,23	41,14	13,75	76,13	20,38	39,55	12,74	72,67	21,08	41,00	12,95	75,03	21,74	42,43	13,48	77,65
Ca	kg	42,47	44,14	10,28	96,89	40,75	42,44	9,52	92,71	42,16	43,99	9,68	95,83	43,48	45,52	10,07	99,08
Mg	kg	13,27	10,59	3,06	26,93	12,74	10,18	2,84	25,76	13,17	10,56	2,89	26,62	13,59	10,93	3,00	27,52
Fe	kg	0,22	1,06	0,18	1,46	0,21	1,02	0,17	1,40	0,22	1,06	0,17	1,45	0,23	1,09	0,18	1,50
Mn	kg	4,16	15,59	1,42	21,17	3,99	14,99	1,32	20,29	4,13	15,54	1,34	21,00	4,26	16,08	1,39	21,73
Na	kg	4,42	0,18	0,03	4,63	4,25	0,17	0,03	4,45	4,39	0,18	0,03	4,60	4,53	0,18	0,03	4,74
S	kg	39,81	2,30	0,27	42,38	38,21	2,21	0,25	40,67	39,52	2,29	0,26	42,07	40,76	2,37	0,27	43,40
Zn	kg	0,44	0,35	0,10	0,90	0,42	0,34	0,09	0,86	0,44	0,35	0,10	0,89	0,45	0,36	0,10	0,92
Cu	kg	0,09	0,08	0,02	0,18	0,08	0,08	0,01	0,18	0,09	0,08	0,01	0,18	0,09	0,08	0,02	0,19
B	kg	0,00	0,18	0,03	0,21	0,00	0,17	0,03	0,20	0,00	0,18	0,03	0,21	0,00	0,18	0,03	0,22

1 lentelės tęsinys.

Rodiklis	Matav.	1994				1999				2003				2010			
		Stiebas	Šakos	Spygliai	Iš viso	Stiebas	Šakos	Spygliai	Iš viso	Stiebas	Šakos	Spygliai	Iš viso	Stiebas	Šakos	Spygliai	Iš viso
Lapuočiai																	
Biomasė	t	18,21	2,67	0,29	21,17	16,94	2,50	0,26	19,69	16,81	2,49	0,25	19,56	14,95	2,22	0,23	17,39
N	kg	18,94	13,28	6,63	38,85	17,61	12,44	5,88	35,93	17,49	12,41	5,74	35,63	15,55	11,05	5,16	31,76
P	Kg	1,09	1,04	0,35	2,48	1,02	0,97	0,31	2,30	1,01	0,97	0,30	2,28	0,90	0,87	0,27	2,04
K	kg	4,92	2,64	1,87	9,42	4,57	2,47	1,66	8,70	4,54	2,47	1,62	8,62	4,04	2,20	1,45	7,69
Ca	kg	9,83	9,63	2,32	21,78	9,15	9,02	2,06	20,22	9,08	9,00	2,01	20,08	8,07	8,01	1,81	17,89
Mg	kg	2,73	1,52	0,80	5,05	2,54	1,42	0,71	4,67	2,52	1,42	0,69	4,63	2,24	1,27	0,62	4,13
Fe	kg	0,07	0,08	0,02	0,17	0,07	0,07	0,02	0,16	0,07	0,07	0,02	0,16	0,06	0,06	0,02	0,14
Mn	kg	1,24	0,61	0,30	2,15	1,15	0,57	0,27	1,99	1,14	0,57	0,26	1,98	1,02	0,51	0,23	1,76
Na	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	kg	0,18	1,84	0,02	2,04	0,17	1,72	0,02	1,91	0,17	1,72	0,02	1,90	0,15	1,53	0,01	1,69
Cu	kg	0,02	0,02	0,00	0,04	0,02	0,02	0,00	0,04	0,02	0,02	0,00	0,04	0,01	0,02	0,00	0,03
B	kg	0,00	0,03	0,01	0,03	0,00	0,02	0,01	0,03	0,00	0,02	0,01	0,03	0,00	0,02	0,00	0,03
Iš viso Aukštaitijos KMS 1 ha teritorijoje																	
Biomasė	t	178,20	32,33	7,63	218,15	169,31	30,48	6,72	206,51	173,16	31,21	6,66	211,03	169,94	30,99	6,57	207,49
N	kg	122,63	173,3	104,12	400,04	116,29	163,18	91,87	371,34	118,64	167,0	91,00	376,65	115,37	165,53	89,66	370,56
P	Kg	7,32	18,49	19,01	44,82	6,94	17,41	17,14	41,49	7,07	17,83	17,19	42,09	6,83	17,71	17,40	41,95
K	kg	44,74	71,15	34,43	150,32	42,49	67,11	30,23	139,83	43,43	68,82	29,86	142,12	42,52	68,70	29,29	140,51
Ca	kg	104,50	106,5	30,82	241,79	99,16	99,76	26,91	225,83	101,25	101,8	26,51	229,57	98,57	99,89	25,79	224,25
Mg	kg	23,87	19,56	7,87	51,30	22,70	18,43	6,92	48,05	23,23	18,87	6,84	48,94	22,91	18,74	6,69	48,34
Fe	kg	0,52	7,62	0,44	8,59	0,50	7,03	0,39	7,92	0,51	7,13	0,39	8,03	0,49	6,86	0,38	7,73
Mn	kg	14,26	32,34	5,02	51,62	13,51	30,35	4,36	48,22	13,77	31,06	4,28	49,10	13,26	30,78	4,14	48,18
Na	kg	4,42	0,18	0,03	4,63	4,25	0,17	0,03	4,45	4,39	0,18	0,03	4,60	4,53	0,18	0,03	4,74
S	kg	39,81	2,30	0,27	42,38	38,21	2,21	0,25	40,67	39,52	2,29	0,26	42,07	40,76	2,37	0,27	43,40
Zn	kg	1,34	2,79	0,32	4,45	1,27	2,61	0,28	4,16	1,29	2,63	0,27	4,19	1,25	2,42	0,26	3,93
Cu	kg	0,66	0,17	0,05	0,88	0,62	0,16	0,04	0,83	0,63	0,17	0,04	0,84	0,60	0,16	0,04	0,81
B	kg	0,00	0,32	0,08	0,40	0,00	0,30	0,07	0,37	0,00	0,31	0,07	0,38	0,00	0,31	0,07	0,38

2 lentelė. Žemaitijos IMS baseino 1 ha augančių medžių atskirų frakcijų biomasė ir bioelementų kiekiai 1994, 1999, 2003 m.

		1994				1999				2003				2010			
Rodiklis	Matav.	Stiebas	Šakos	Spygliai	Iš viso	Stiebas	Šakos	Spygliai	Iš viso	Stiebas	Šakos	Spygliai	Iš viso	Stiebas	Šakos	Spygliai	Iš viso
Paprastoji eglė																	
Biomasė	t	131,88	23,46	5,41	160,76	120,93	21,64	4,77	147,34	122,49	22,03	4,64	149,17	114,50	20,48	4,45	139,43
N	kg	94,96	136,09	70,08	301,13	87,07	125,49	61,83	274,39	88,20	127,77	60,11	276,08	82,44	118,78	57,61	258,83
P	Kg	6,59	14,78	7,36	28,74	6,05	13,63	6,49	26,17	6,12	13,88	6,31	26,32	5,73	12,90	6,05	24,68
K	kg	34,29	53,50	25,87	113,66	31,44	49,33	22,82	103,60	31,85	50,23	22,19	104,26	29,77	46,69	21,26	97,73
Ca	kg	96,28	103,01	25,06	224,34	88,28	94,98	22,11	205,37	89,42	96,71	21,49	207,62	83,59	89,91	20,60	194,09
Mg	kg	14,51	14,55	5,52	34,58	13,30	13,41	4,87	31,59	13,47	13,66	4,73	31,87	12,60	12,70	4,54	29,83
Fe	kg	0,42	12,67	0,33	13,42	0,39	11,68	0,29	12,36	0,39	11,90	0,28	12,57	0,37	11,06	0,27	11,69
Mn	kg	16,35	31,54	4,54	52,42	15,00	29,08	4,00	48,08	15,19	29,61	3,89	48,69	14,20	27,53	3,73	45,45
Na	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	kg	1,32	1,17	0,27	2,76	1,21	1,08	0,24	2,53	1,22	1,10	0,23	2,56	1,15	1,02	0,22	2,39
Cu	kg	1,02	0,15	0,04	1,21	0,93	0,14	0,04	1,10	0,94	0,14	0,04	1,12	0,88	0,13	0,03	1,05
B	kg	0,00	0,23	0,05	0,29	0,00	0,22	0,05	0,26	0,00	0,22	0,05	0,27	0,00	0,20	0,04	0,25
Paprastoji pušis																	
Biomasė	t	20,54	3,87	0,85	25,26	20,90	3,96	0,88	25,73	20,80	3,95	0,82	25,57	22,93	4,39	0,93	28,24
N	kg	12,12	19,80	11,68	43,60	12,33	20,27	11,97	44,57	12,27	20,25	11,17	43,69	13,53	22,46	12,66	48,64
P	Kg	0,62	2,17	3,34	6,12	0,63	2,22	3,42	6,27	0,62	2,21	3,20	6,03	0,69	2,46	3,62	6,76
K	kg	4,93	9,01	3,45	17,39	5,02	9,23	3,54	17,78	4,99	9,21	3,30	17,51	5,50	10,22	3,74	19,46
Ca	kg	9,86	9,67	2,58	22,11	10,03	9,90	2,64	22,57	9,99	9,89	2,47	22,34	11,01	10,97	2,80	24,77
Mg	kg	3,08	2,32	0,77	6,17	3,13	2,38	0,79	6,30	3,12	2,37	0,74	6,23	3,44	2,63	0,83	6,90
Fe	kg	0,05	0,23	0,05	0,33	0,05	0,24	0,05	0,34	0,05	0,24	0,04	0,33	0,06	0,26	0,05	0,37
Mn	kg	0,97	3,41	0,36	4,74	0,98	3,50	0,37	4,84	0,98	3,49	0,34	4,81	1,08	3,87	0,39	5,34
Na	kg	1,03	0,04	0,01	1,07	1,04	0,04	0,01	1,09	1,04	0,04	0,01	1,09	1,15	0,04	0,01	1,20
S	kg	9,24	0,50	0,07	9,81	9,40	0,51	0,07	9,99	9,36	0,51	0,07	9,94	10,32	0,57	0,07	10,96
Zn	kg	0,10	0,08	0,03	0,21	0,10	0,08	0,03	0,21	0,10	0,08	0,02	0,21	0,11	0,09	0,03	0,23
Cu	kg	0,02	0,02	0,00	0,04	0,02	0,02	0,00	0,04	0,02	0,02	0,00	0,04	0,02	0,02	0,00	0,05
B	kg	0,00	0,04	0,01	0,05	0,00	0,04	0,01	0,05	0,00	0,04	0,01	0,05	0,00	0,04	0,01	0,05

2 lentelės tęsinys.

Rodiklis	Matav.	1994				1999				2003				2010			
		Stiebas	Šakos	Spygliai	Iš viso	Stiebas	Šakos	Spygliai	Iš viso	Stiebas	Šakos	Spygliai	Iš viso	Stiebas	Šakos	Spygliai	Iš viso
Lapuočiai																	
Biomasė	t	9,07	1,22	0,15	10,44	10,01	1,38	0,16	11,55	10,38	1,46	0,16	12,00	9,43	1,35	0,14	10,91
N	kg	9,43	6,07	3,47	18,97	10,41	6,86	3,62	20,90	10,79	7,28	3,71	21,79	9,80	6,71	3,27	19,78
P	Kg	0,54	0,48	0,18	1,20	0,60	0,54	0,19	1,33	0,62	0,57	0,20	1,39	0,57	0,53	0,17	1,26
K	kg	2,45	1,21	0,98	4,63	2,70	1,36	1,02	5,09	2,80	1,45	1,05	5,30	2,54	1,33	0,92	4,80
Ca	kg	4,90	4,40	1,22	10,51	5,41	4,97	1,27	11,65	5,60	5,28	1,30	12,18	5,09	4,86	1,14	11,09
Mg	kg	1,36	0,69	0,42	2,47	1,50	0,79	0,43	2,72	1,56	0,83	0,45	2,84	1,41	0,77	0,39	2,57
Fe	kg	0,04	0,04	0,01	0,08	0,04	0,04	0,01	0,09	0,04	0,04	0,01	0,10	0,04	0,04	0,01	0,09
Mn	kg	0,62	0,28	0,16	1,05	0,68	0,32	0,16	1,16	0,71	0,34	0,17	1,21	0,64	0,31	0,15	1,10
Na	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	kg	0,09	0,84	0,01	0,94	0,10	0,95	0,01	1,06	0,10	1,01	0,01	1,12	0,09	0,93	0,01	1,03
Cu	kg	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02
B	kg	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02
Iš viso Žemaitijos KMS 1 ha teritorijoje																	
Biomasė	t	161,49	28,55	6,42	196,46	151,84	26,97	5,81	184,62	153,67	27,45	5,62	186,74	146,86	26,21	5,52	178,59
N	kg	116,50	161,96	85,24	363,71	109,81	152,63	77,42	339,86	111,26	155,30	75,00	341,56	105,77	147,95	73,53	327,25
P	Kg	7,75	17,42	10,89	36,06	7,27	16,39	10,11	33,77	7,37	16,66	9,70	33,74	6,98	15,88	9,84	32,70
K	kg	41,67	63,72	30,30	135,68	39,16	59,92	27,38	126,46	39,64	60,89	26,54	127,07	37,82	58,25	25,92	121,99
Ca	kg	111,03	117,08	28,85	256,96	103,72	109,86	26,02	239,59	105,01	111,87	25,26	242,15	99,68	105,73	24,54	229,95
Mg	kg	18,95	17,56	6,71	43,22	17,94	16,58	6,09	40,61	18,15	16,86	5,92	40,93	17,45	16,10	5,76	39,31
Fe	kg	0,51	12,94	0,38	13,83	0,48	11,96	0,35	12,79	0,49	12,18	0,34	13,00	0,46	11,36	0,33	12,15
Mn	kg	17,94	35,23	5,05	58,22	16,66	32,89	4,53	54,08	16,87	33,44	4,40	54,71	15,92	31,71	4,26	51,89
Na	kg	1,03	0,04	0,01	1,07	1,04	0,04	0,01	1,09	1,04	0,04	0,01	1,09	1,15	0,04	0,01	1,20
S	kg	9,24	0,50	0,07	9,81	9,40	0,51	0,07	9,99	9,36	0,51	0,07	9,94	10,32	0,57	0,07	10,96
Zn	kg	1,51	2,09	0,31	3,91	1,41	2,11	0,27	3,80	1,43	2,19	0,27	3,89	1,35	2,04	0,26	3,65
Cu	kg	1,05	0,17	0,05	1,27	0,96	0,16	0,04	1,17	0,97	0,17	0,04	1,18	0,91	0,16	0,04	1,11
B	kg	0,00	0,29	0,07	0,35	0,00	0,27	0,06	0,33	0,00	0,27	0,06	0,33	0,00	0,26	0,06	0,32

IŠVADOS

Apibendrinus atliktus rezultatus nustatyta, kad per tiriamąjį laikotarpį tirtų gyvų medžių skaičius Žemaitijos KMS sumažėjo intensyviau (32,0 %) nei Aukštaitijos KMS (28,0 %). Žemaitijos KMS pušų iškritimo intensyvumas siekė 17,6 %, eglių 34,2%, kai tuo tarpu Aukštaitijos KMS 14,0 % ir 31,3 % atitinkamai.

Aukštaitijos KMS teritorijos medynų skerspločių suma 1993 m. siekė 27,6 m²/ha, 2003 m. padidėjo iki 31,8 m²/ha, o paskutiniaisiais 2010 m. vėl sumažėjo iki 30,7 m²/ha. Eglių vidutinis skerspločių sumos prieaugis per tiriamąjį laikotarpį sudarė apie 3,6 m²/ha arba apie 0,21 m²/ha (2,5 % skerspločių sumos) per metus. Pušų skerspločių sumos prieaugis per tiriamąjį laikotarpį sudarė apie 2,1 m²/ha arba 0,12 m²/ha (apie 0,9 % ΣG) per metus.

Aukštaitijos IMS 1 ha baseino plote augančių medynų biomasė nuo 1993 iki 1999 metų dėl medžių iškritimo sumažėjo vidutiniškai nuo 218t iki 206t/ha, t.y. 12 t/ha arba 5%, 1999 m. augančių medžių biomasės padidėjo 5 t/ha arba apie 2% biomasės, o paskutiniaisiais sumažėjo vėl 4 t/ha iki 207 t/ha.

Aukštaitijos KMS teritorijoje augančių medynų biomasė 2003 m. sudarė 211t/ha, kurioje pagrindinių bioelementų kiekiai buvo tokie: azotas 376,6 kg/ha, fosforas 42,1kg/ha, kalis 142,1 kg/ha, kalcis 229,6kg/ha. Priklausomai nuo bioelemento, jų kiekis per 17 metų laikotarpį sumažėjo nuo 5 iki 7% dėl medžių žuvimo. 2010 m negyvoji mortmasė susidarė 99,2 t/ha, kuri priklausomai nuo jos sudulėjimo palaipsniui pereina į dirvožemį, jį praturtindama. Per tiriamąjį laikotarpį nuo 1993 iki 2010 susidarė 55,5 t/ha negyvosios mortmasės, t.y. maždaug po 3,3 t/ha per metus. Tai sudarytų 5,9 kg azoto, 2,2 kg kalio, 3,6 kg kalcio 0,67 kg fosforo, 0,77 kg magnio ir mangano bei 0,69 kg sieros. Išlikusių gyvų medžių biomasės prieaugis per 17 m. sudarė 46 t/ ha, arba 2,7 t/ha per metus (1,3 % išlikusių gyvų medžių biomasės per metus)

Žemaitijos KMS teritorijoje augančių medynų skerspločių suma per tiriamąjį 16 m. laikotarpį vidutiniškai pakito nuo 28,4 m²/ha iki 26,0 m²/ha, t.y sumažėjo 2,37 m²/ha 8,3 %, o išlikusių gyvų eglių vidutinis skerspločių sumos prieaugis per tiriamąjį laikotarpį sudarė apie 5 m²/ha arba apie 1,6 % skerspločių sumos per metus. Pušų skerspločių sumos prieaugis per tiriamąjį laikotarpį sudarė apie 0,8 m²/ha arba apie 1,0 % skerspločių sumos per metus.

Žemaitijos KMS 1 ha baseino plote augančių medynų biomasė nuo 1993 iki 1999 metų dėl medžių iškritimo sumažėjo vidutiniškai nuo 196t iki 185t/ha, t.y. apie 10 t/ha arba 5% biomasės. Per antrąjį tyrimų laikotarpį, t.y. nuo 1999 iki 2003 m. biomasė nežymiai padidėjo

iki 186 t/ha, tačiau paskutiniu metu laikotarpiu, t.y. nuo 2003 iki 2010 m. augančių medžių biomasės vėl mažėjo iki 178 t/ha. Toks pastovus biomasės mažėjimas yra žievėgraužio tipografo ir nepalankių klimatinių veiksnių poveikio rezultatas. Tiriant tik išlikusių gyvų iki 2010 m. medžių biomasės prieaugį nustatytas 48,8 t/ha prieaugis, arba 3,1 t/ha prieaugis per metus.

Pagrindinių medynų biomasės bei bioelementų tyrimo rezultatai parodė (3.1 lentelė), kad Žemaitijos KMS teritorijoje augančių medynų biomasė 2003 m. sudarė 186 t/ha, kurioje pagrindinių bioelementų kiekiai buvo tokie: azotas 341,6 kg/ha, fosforas 33,7 kg/ha, kalis 127,1 kg/ha, kalcis 242,2 kg/ha. Priklausomai nuo bioelemento, jų kiekis per 6 metų laikotarpį sumažėjo panašiai kaip ir Aukštaitijos KMS. 2010 m. medynų biomasė buvo 178,5 t/ha, kurioje pagrindinių bioelementų kiekiai buvo tokie: azotas 327,2 kg/ha, fosforas 32,7 kg/ha, kalis 122,1 kg/ha, kalcis 230,0 kg/ha, mangano 51,9 kg/ha, magnio 39,3 kg/ha ir sieros 11 kg/ha.

2010 m. negyvoji mortmasė susidarė 81,2 t/ha, kuri priklausomai nuo jos sudulėjimo palaipsniui pereina į dirvožemį, jį praturtindama. Per tiriamąjį laikotarpį nuo 1993 iki 2010 susidarė 68,0 t/ha negyvosios mortmasės, t.y. maždaug po 4,3 t/ha per metus. Tai sudarytų 7,9 kg azoto, 2,9 kg kalio, 5,5 kg kalcio, 0,79 kg fosforo, 1,2 kg mangano, 0,95 kg magnio bei 0,26 kg sieros per metus.

2.8 Intensyviai besikeičiančių klimatinių veiksnių poveikis medžių augimui

Medžiai yra vieni jautriausių aplinkos būklės indikatorių. Metinių rėvių dinamika suteikia informaciją apie klimatinės vietovės sąlygas ([2]Juknys R., 2005). Optimaliose sąlygose klimato veiksnių koreliacija su medžių metiniu radialiuoju prieaugiu yra nežymi; kuo augimo sąlygos blogesnės, tuo jų poveikis medžių metinio radialiojo prieaugio formavimuisi didesnis ([1]Läänelaid, 1994). Pastaruoju laikotarpiu išaiškinti didesni medžių augimo tempai dažniausiai ir yra siejami su klimato kaita. Todėl pateiktame darbe mes pamėginome patikrinti iškeltą hipotezę, kad dėl klimato kaitos šiltėjantis šaltasis metų laikotarpis skatina net perbrendusių pušų, kurių amžius viršija 150 m. augimą.

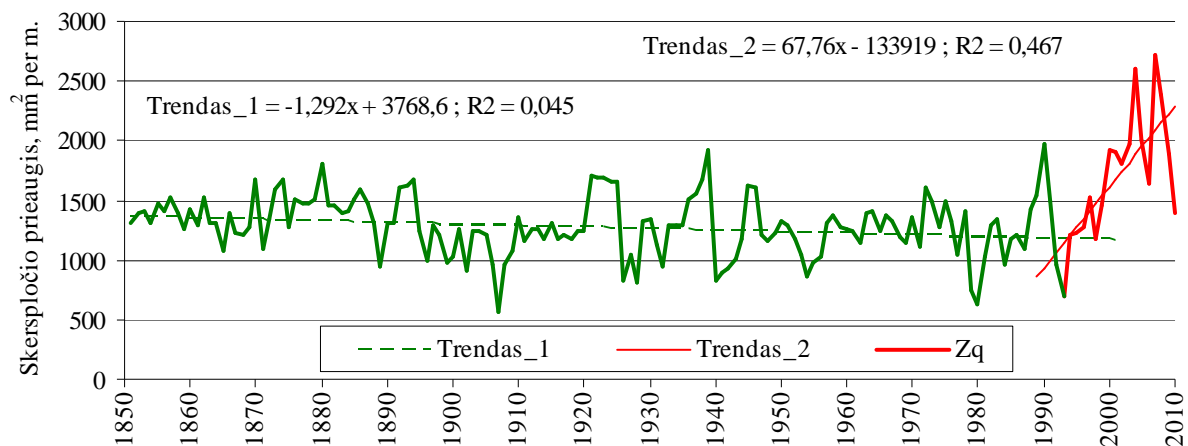
Darbo objektas ir metodas

Tyrimai atlikti 2010 m. Aukštaitijos kompleksiško monitoringo (KM) stotyje, vykdamas Valstybinę sąlygiškai natūralių miško ekosistemų KM paprogramę. Tyrimų ploteliuose buvo grežiami skirtingos rūšies medžių kamienai. Iš 150 modelinių medžių atrinkome 10 pušų, kurių skersmuo krūtinės aukštyje viršijo 50 cm, o amžius 150 m. Medžių prieaugio tyrimuose dažniausiai naudojamas kamienų radialiojo prieaugio indeksai, kurie įgalina eliminuoti amžiaus įtaką. Tyrimams palengvinti panaudojome kamienų skerspločio prieaugį, kuris metų eigoje nepriklauso nuo medžio amžiaus.

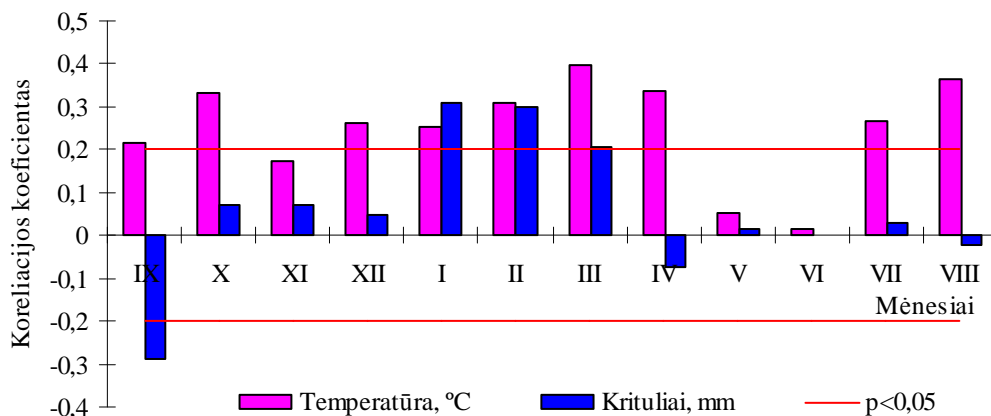
Darbo rezultatai

Išgrežtų ir išmatuotų medžių kamienų skerspločio metinio prieaugio vidurkiai pateikti 1 paveiksle. Iš pateiktų duomenų matyti, kad iki 1990 m. pradžios atrinktų perbrendusių pušų kamienų skerspločių prieaugis išliko stabilus ar mažėjo vos po $1,3 \text{ mm}^2$ per metus. Tik nuo 1993 m., kai pušų prieaugis buvo sumažėjęs iki vienos iš mažiausių savo reikšmių, prasidėjo intensyvus ir statistiškai reikšmingas prieaugio didėjimas, kuris viršijo net 67 mm^2 per metus (2.62 pav.). Tokią prieaugio kaitą galėjo sąlygoti meteorologiniai veiksniai. Porinė regresinė analizė parodė, kad temperatūros turi didesnę ir tik tiesioginę teigiamą įtaką kamienų prieaugiui negu kritulių kiekis (2.63 pav.). Išsiskiria pavasario ir rudens mėnesių temperatūrų teigiamas poveikis, t.y. temperatūroms didėjant medžių prieaugis mažėja.

Kritulių poveikis skirtingas. Šaltuoju laikotarpiu didesni kritulių kiekiai skaitina metinį pušų prieaugį, o šiltuoju laikotarpiu apskritai nereikšmingas. Išsiskiria rugsėjo mėnesio kritulių poveikis prieaugiui. Didesni kritulių kiekiai ne tik kad mažina pušų prieaugį, bet ir didina pušų lajų defoliacijos laipsnį.



2.62 pav. Perbrendusių pušų kamieno skerspločio metinis prieaugis



2.63 pav. Pušų prieaugį lemiantys meteorologiniai veiksniai.

Daugianarės regresinės analizės metodu išaiškinome, kad kovo, balandžio ir rugsėjo mėnesių vidutinė temperatūra (T_m) ir sausio bei rugsėjo kritulių kiekiai (Kr) lėmė 40% prieaugio kaitos.

$$Zq = -18,11 + 25,3 \times T_m(\text{III}) + 35,5 \times T_m(\text{IV}) + 69,2 \times T_m(\text{VIII}) + 30,0 \times T_m(\text{XI}) + 4,41 \times Kr(\text{I}) - 3,25 \times Kr(\text{IX}); \quad R^2 = 0,403, \quad p < ,000$$

Išvada

Dėl klimato kaitos didėjančios šalčio laikotarpio mėnesių vidutinės temperatūros ir iš dalies kritulių kiekis tiesiogiai sąlygoja didėjančią pušų kamienų skerspločio prieaugio didėjimą pastaruosiu laikotarpiu.

Literatūra

- [1] Läänelaid A. 1994. A Dendrochronological study of decline of pine stands in South Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Biology*, 43, p. 89-98.
- [2] Juknys R. 2005. *Aplinkotyra*. Bendrasis vadovėlis. Kaunas: VDU leidykla. 334 p.

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

Sieros dioksido koncentracijos Aukštaitijoje per tiriamąjį laikotarpį mažėjo nuo 2.73 (1994 m.) iki 0.36 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (2010 m.) ir Žemaitijoje – nuo 2.22 (1995 m.) iki 0.39 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (2010 m.). Ypač ryškus koncentracijų mažėjimas matomas iki 2000 m. ir ženkliai lėtesnis per pastarąjį dešimtmetį, o nuo 2007 m. jos mažai kinta. To priežastimi gali būti SO_2 emisijos mažinimo tempai ES-27 ir Lietuvoje.

Aerolinių sulfatų metinių koncentracijų kaita rodo jų mažėjimą nuo 3.32 iki 0.67 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (–66 %) Aukštaitijos KMS ir nuo 2.03 iki 0.56 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (–55 %) Žemaitijos. Tačiau, 5 pastarųjų metų (2006 – 2010 m.) duomenys rodo tik 1% mažėjimą Aukštaitijos IMS ir didesnę (–35%) sulfatų koncentracijos mažėjimą Žemaitijos IMS.

Vidutinės metų ΣNO_3 koncentracijos Aukštaitijoje kito nuo 0.57 iki 0.50 $\mu\text{gN}\cdot\text{m}^{-3}$ (–23%), Žemaitijoje nuo 0.66 iki 0.51 $\mu\text{gN}\cdot\text{m}^{-3}$ (–23%). 5 pastarųjų metų (2006 – 2010 m.) duomenys rodo tik 16% mažėjimą Aukštaitijos IMS ir didesnę 36% sumNO_3 koncentracijos mažėjimą Žemaitijos IMS, o Preiloje 3% koncentracijų didėjimą.

Vidutinė metinė ΣNH_4 koncentracija ore Aukštaitijoje kito nuo 2.23 iki 1.08 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, Žemaitijoje nuo 2.20 iki 1.03 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, Preiloje – nuo 3.07 iki 1.43 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$. Visose stotyse stebima ΣNH_4 metinių koncentracijų mažėjimo tendencija per pastaruosius penkis metus (2006–2010 m.): –14, –42 ir –27 % atitinkamai LT01, LT03 ir LT15. Priešingai tokiai SO_2 ir ΣNH_4 kaitai, NO_2 koncentracijų kaitoje nėra aiškios tendencijos per visą tiriamąjį laikotarpį.

Teršalų koncentracijoms atmosferos ore KM stotyse ir Preiloje didžiausią poveikį daro SO_2 ir NO_2 emisijos šaltiniai, kurie yra centrinėje, pietinėje ir pietrytinėje Europoje. Akivaizdi metinio kritulių kiekio didėjimo tendencija rytinėje ir vakarinėje Lietuvos dalyse darė įtaką daugumos cheminių priemaišų šlapiems srautams. Nesikeičiant nuo 2005 m. sulfatų koncentracijai krituliuose, didėja jų šlapiji srautai Aukštaitijoje ir Preiloje, atitinkamai 20 ir 48%. Sulfatų srautų mažėjimo tendencija (10%) matoma tik Žemaitijoje.

Aukštaitijos KMS ir Žemaitijos KMS nitratų koncentracijos krituliuose mažėja, o Preiloje – didėja. Nuo 2005 m. nitratų šlapiųjų metinių srautų kaitoje stebima mažėjimo tendencija tik Žemaitijoje, o Aukštaitijoje ir ypač Preiloje – didėjimo.

Amonio koncentracija ir jo šlapiasis srautas per paskutiniuosius metus nuo 2005 m. visumoje rodo didėjimo tendenciją. Ypač ryški ji matoma Aukštaitijos KMS (~ 51 %) ir ši amonio srauto didėjimo tendencija žymiai mažesnė (~ 3 %) Žemaitijos IMS ir Preiloje.

Metinė sulfatų (SO_4^{2-}) koncentracija Preiloje SO_4^{2-} - S_{tot} – apie 3 kartus didesnė nei IM stotyse. Mažėjimo tendencija rytų kryptimi matoma nitratų (NO_3^-) koncentracijų erdvinėje kaitoje. Nežymi erdvinė kaita gauta amonio (NH_4^+) metinei koncentracijai. Ypatingai ryški didėjimo tendencija vakarų kryptimi yra natrio (Na^+) ir chloridų (Cl^-) metinių koncentracijų erdvinėje kaitoje.

Atmosferiniams krituliams krentant per medžių lają, cheminių priemaišų, išskyrus azoto junginius, koncentracijos ir jų kiekiai iškritose į polajį yra didesni nei atviroje vietoje. Sulfatų koncentracijos padidėjimas polajiniuose krituliuose gali būti siejamas su sieros junginių (sulfatų ir sieros dvideginio) nuplovimu nuo lajos. Azoto junginių koncentracijų pokyčiai polajiniuose krituliuose gali būti siejami su jų išplovimu iš lajos, nuplovimu nuo lajos, o taip pat ir dėl azoto junginių absorbcijos laja. Didžiausias koncentracijų ir srautų padidėjimas abiejose IM stotyse rastas kaliui. Tai rodo šio elemento išplovimą iš lajos.

Žemaitijos IMS visų pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos polajiniuose krituliuose yra didesnės nei Aukštaitijos IMS, o atviroje vietoje rinktuose krituliuose koncentracijos yra gan panašios, išskyrus, NO_3^- , Cl^- ir Na^+ . Tai gali būti siejama su skirtingu lajų tankiu: Aukštaitijos stotyje – vyrauja pušynai, Žemaitijos stotyje – vyrauja eglynai.

Pagrindinių cheminių priemaišų srautai į miško paklotę abiejose IM stotyse 2010 m. yra netolygūs kritulių kiekiui, esant 20% didesniam kritulių metiniam kiekiui Žemaitijos IMS nei Aukštaitijos IMS, į polajį Žemaitijoje pateko 2.8 kartus daugiau sieros, 5.4 karto daugiau nitratinio azoto ir 2.9 karto daugiau amonio azoto, 3.6 – 4.5 karto daugiau chloridų, natrio ir kalio, 2.5 – 3.2 karto daugiau kalcio ir magnio. Šie skirtumai tarp stočių gali būti dėl lajos skirtingos struktūros: Aukštaitijoje vyrauja pušynai, o Žemaitijoje – eglynai.

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 2009-2010 m. vėl išaugo, ir viršijo 2004-2007 m. lygį.

Per stebėjimo laikotarpį Aukštaitijos stotyje daugumos medžiagų koncentracijos turi tendenciją augti (išskyrus sulfatus, K, Cl ir Si), o Žemaitijos – yra stabilios arba mažėja (išskyrus visuminio azoto koncentraciją, kuri didėja)

2004–2010 m. gruntinio vandens elektrinis laidumas, pH ir šarmingumas stabilus. Gruntiniame vandenyje mažėja tirpių medžiagų, ypač Ca, Mg, sulfatų koncentracijos. Pastaruosius 2 metus augalų mitybos makroelementų N ir P migracija į gruntinius vandenis padidėjo, tikėtina, dėl išaugusio bendro garavimo ir šiluminių ekstremumų dirvožemyje.

Upelių vandens rūgštingumas 2010 metais buvo mažas, šarmingumas, specifinis laidumas ir daugumos tirpių medžiagų koncentracijos išliko panašios į praėjusių metų lygį arba sumažėjo. Ypač sumažėjo sulfatų koncentracija. Šiluminiai veiksniai (aukšta temperatūra ir mažė svyravimo amplitudė) lėmė ištirpusios organinės anglies ir biogeninių elementų koncentracijų padidėjimą upelio vandenyje.

Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS nuo 2005 iki 2010 m. išaiškintos bendros pagrindinių maistinių komponentų kaitos tendencijos asimiliaciniuose medžių organuose. Azoto koncentracija tiek beržų lapuose, tiek ir eglės bei pušies spygliuose praktiškai buvo stabili, bendrojo fosforo koncentracija reikšmingai mažėjo tik beržų lapuose, po -0,11 g/kg per metus.

Aukštaitijos KMS per paskutinįjį 6 m laikotarpį (2005-2010 m.) beržų lapuose K, Ca, Mg ir Mn koncentracijos turėjo tendencija mažėti. Eglių spygliuose mažėjimo tendencija nustatyta tik Mg ir Ca, o nežymiai didėjo K ir Mn koncentracijos. Pušies spygliuose šių metalų koncentracijų kaitoje reikšmingos tendencijos nustatyti nepavyko, nors svyravimai ryškūs.

Žemaitijos KMS, kaip ir Aukštaitijoje ženkliai mažėja kalcio koncentracijos lapijoje, kalio koncentracijų kaitoje nežymus didėjimas stebimas tik pušies spygliuose, kai tuo tarpu eglės spygliuose ir beržų lapuose šio elemento kiekis ženkliai mažėja.

Išaiškintos bendros maistinių elementų koncentracijų nuokritose tendencijos. Bendrojo azoto kiekis nuokritose turėjo tendenciją didėti, o fosforo kiekis – mažėti. Kalcio koncentracija nuokritose reikšmingai mažėja visus metus. Kalio koncentracijos nuokritose praktiškai išlieka stabilios.

Palyginus tirtų elementų koncentracijas atskirai beržų lapuose, pušies spygliuose ir jų rudeninėse nuokritose Aukštaitijos KMS nustatyta, kad bendrojo azoto nukritusiuose lapuose ir spygliuose sumažėja beveik vienodai 2,7-3,0 karto, kalio 3,3-3,8 karto, magnio 1,2-1,3 karto ir tik bendrojo fosforo koncentracijos išsiskyrė: nukritusiuose beržų lapuose P koncentracija sumažėjo 2,4 karto, o pušies spygliuose 4,0 karto. Nežymiai, vos 1,3-1,4 karto nuokritose padidėjo tik kalcio jonų. Žemaitijos KMS ši kaita yra truputį silpnesnė.

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

Aukštaitijos IMS 1 ha baseino plote augančių medynų biomasė nuo 1993 iki 1999 metų dėl medžių iškritimo sumažėjo vidutiniškai nuo 218t iki 206t/ha, t.y. 12 t/ha arba 5%, 1999 m. augančių medžių biomasės padidėjo 5 t/ha arba apie 2% biomasės, o paskutiniaisiais sumažėjo vėl 4 t/ha iki 207 t/ha.

Aukštaitijos KMS teritorijoje augančių medynų biomasė 2003 m. sudarė 211t/ha, kurioje pagrindinių bioelementų kiekiai buvo tokie: azotas 376,6 kg/ha, fosforas 42,1kg/ha, kalis 142,1 kg/ha, kalcis 229,6kg/ha. Priklausomai nuo bioelemento, jų kiekis per 17 metų laikotarpį sumažėjo nuo 5 iki 7% dėl medžių žuvimo. 2010 m negyvoji mortmasė susidarė 99,2 t/ha, kuri priklausomai nuo jos sudulėjimo palaipsniui pereina į dirvožemį, jį praturtindama. Per tiriamąjį laikotarpį nuo 1993 iki 2010 susidarė 55,5 t/ha negyvosios mortmasės, t.y. maždaug po 3,3 t/ha per metus. Tai sudarytų 5,9 kg azoto, 2,2 kg kalio, 3,6 kg kalcio 0,67 kg fosforo, 0,77 kg magnio ir mangano bei 0,69 kg sieros. Išlikusių gyvų medžių biomasės prieaugis per 17 m. sudarė 46 t/ ha, arba 2,7 t/ha per metus (1,3 % išlikusių gyvų medžių biomasės per metus)

Žemaitijos KMS teritorijoje augančių medynų skerspločių suma per tiriamąjį 16 m. laikotarpį vidutiniškai pakito nuo 28,4 m²/ha iki 26,0 m²/ha, t.y. sumažėjo 2,37 m²/ha 8,3 %, o išlikusių gyvų eglių vidutinis skerspločių sumos prieaugis per tiriamąjį laikotarpį sudarė apie 5 m²/ha arba apie 1,6 % skerspločių sumos per metus. Pušų skerspločių sumos prieaugis per tiriamąjį laikotarpį sudarė apie 0,8 m²/ha arba apie 1,0 % skerspločių sumos per metus.

Žemaitijos KMS 1 ha baseino plote augančių medynų biomasė nuo 1993 iki 1999 metų dėl medžių iškritimo sumažėjo vidutiniškai nuo 196t iki 185t/ha, t.y. apie 10 t/ha arba 5% biomasės. Per antrąjį tyrimų laikotarpį, t.y. nuo 1999 iki 2003 m. biomasė nežymiai padidėjo iki 186 t/ha, tačiau paskutiniu metu laikotarpiu, t.y. nuo 2003 iki 2010 m. augančių medžių biomasės vėl mažėjo iki 178t/ha. Toks pastovus biomasės mažėjimas yra žievėgraužio tipografo ir nepalankių klimatinių veiksnių poveikio rezultatas. Gyvų iki 2010 m. medžių biomasės prieaugis yra 48,8 t/ha, arba 3,1 t/ha per metus.

Pagrindinių medynų biomasės bei bioelementų tyrimo rezultatai parodė, kad Žemaitijos KMS teritorijoje augančių medynų biomasė 2003 m. sudarė 186t/ha, kurioje pagrindinių bioelementų kiekiai buvo tokie: azotas 341,6 kg/ha, fosforas 33,7 kg/ha, kalis 127,1 kg/ha, kalcis 242,2 kg/ha. Priklausomai nuo bioelemento, jų kiekis per 6 metų laikotarpį sumažėjo panašiai kaip ir Aukštaitijos KMS. 2010 m. medynų biomasė buvo 178,5 t/ha, kurioje pagrindinių bioelementų kiekiai buvo tokie: N 327,2 kg/ha, P 32,7 kg/ha, K 122,1 kg/ha, Ca 230,0 kg/ha, Mn 51,9 kg/ha, Mg 39,3 kg/ha ir S 11 kg/ha.

2010 m negyvoji mortmasė susidarė 81,2 t/ha, kuri priklausomai nuo jos sudulėjimo palaipsniui pereina į dirvožemį, jį praturtindama. Per tiriamąjį laikotarpį nuo 1993 iki 2010 susidarė 68,0 t/ha negyvosios mortmasės, t.y. maždaug po 4,3 t/ha per metus. Tai sudarytų 7,9

kg azoto, 2,9 kg kalio, 5,5 kg kalcio, 0,79 kg fosforo, 1,2 kg mangano, 0,95 kg magnio bei 0,26 kg sieros per metus.

Dėl klimato kaitos didėjančios šaltojo laikotarpio mėnesių vidutinės temperatūros ir iš dalies kritulių kiekis tiesiogiai sąlygoja didėjančių pušų kamienų skerspločio prieaugio didėjimą pastaruoju laikotarpiu.

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).

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 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

Sparčiai vystantis pasaulinei industrijai ir energijos gamybai didėja ir susidariusių atmosferos teršalų kiekis. Emituojami teršalai nusėda sausu būdu arba yra išplaunami krituliais į žemės ir vandens paviršių, patenka į gilesnius dirvos ir vandens dugno nuosėdų sluoksnius, dėl ko iškyla atmosferos teršalų koncentracijos kaitos ir jų pasiskirstymo tarp įvairių biosferos objektų problema, nes daugelis teršalų yra pavojingi žmogui ir gyvajai 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. Tarp labiausiai paplitusių aplinkoje toksinių teršalų, svarbią vietą užima sunkieji metalai ir policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAA).

Metalai į atmosferą patenka tiek iš antropogeninių šaltinių – pramonės įmonių, šiluminių jėgainių bei transporto priemonių, tiek ir iš natūralių šaltinių – vulkanų, 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 toksinėmis savybėmis, todėl yra pavojingi žmogui ir gyvajai gamtai. Tai sąlygoja jų sklidimo aplinkoje ir nusėdimo procesų tyrimų svarbą globaliniu mastu. Buvo nustatyta, kad didžiąją metalų dalį iš atmosferos išplauna lietus bei sniegas, o likusi metalų dalis iš atmosferos pasišalina sauso nusėdimo būdu. Iš bendro antropogeninės kilmės sunkiųjų metalų kiekio, nusėdusio ant žemės paviršiaus, 70 – 90. jų nusėda su krituliais [1]. Metalai atmosferos iškritose yra gana gerai ištirti foninėse vietovėse [2,3,4,5] ir kiek mažiau tirti miesto sąlygomis [6, 7].

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]. 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.

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

Praktiškai visi sunkieji metalai, išskyrus gyvsidabri, atmosferoje būna aerozolio dalelių sudėtyje. Didžioji gyvsidabrio dalis atmosferoje yra dujinėje būsenoje. Kiek mažesnė dalis (apie 5 – 10 %) yra aerozolio dalelių sudėtyje. Gyvsidabrio antropogeniniai šaltiniai sudaro daugiau nei 70% visų šaltinių, likusi dalis yra vulkaninės bei foninės kilmės [13]. Atmosferoje aptinkamos įvairios gyvsidabrio formos: elementinis gyvsidabris ($\text{Hg}(0)$), neorganiniai (HgCl_2) bei organiniai gyvsidabrio junginiai (CH_3Hg). Nuo to, kokioje formoje atmosferoje yra gyvsidabris, priklauso jo išsiplovimo iš atmosferos ypatumai.

Benz(a)pirenas (B(a)P) yra stipriausias kancerogenas PAA junginių grupėje, todėl jo migracijos dėsninumų ir koncentracijų žinojimas įvairiuose biosferos objektuose tarnauja gyvų organizmų vėžinių susirgimų profilaktikai [14,15]. Benz(a)pireno koncentracija atmosferos ore Lietuvoje yra tiriama nuo 1980 metų Fizikos instituto Aplinkos tyrimo stotyje Preiloje. Šie tyrimai buvo atliekami nenutrūkstamai, kas leido išnagrinėti benz(a)pireno kitimo tendencijas ir priežastis atmosferos ore foninėje stotyje 22 metų laikotarpyje [16]. Benz(a)pireno srautas į žemės paviršių tiek Lietuvoje, tiek ir pasaulyje, iki praėjusio dešimtmečio, buvo tiriamas gana epizodiškai [17,18,19]. Paskutiniaisiais dešimtmečiais šie tyrimai suintensyvėjo, kas leido nustatyti jo išsivalymo iš atmosferos ypatumus, bei įvertinti žemės paviršiaus apkrovas kancerogeniškai aktyviais junginiais netgi regioninėje plotmėje [20,21,22]. Nustatyta, kad Preilos foninėje stotyje 1993-1995 metais benz(a)pireno srautas kito nuo 0.4 iki 3.0 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{mėn.}$, o Švedijos foninėje stotyje Rorvik kito nuo 0.15 iki 2.1 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{mėn.}$ [18,19,20]. Paryžiaus priemiestyje 1999-2000 metais 6 PAHs sumos srautas kito nuo 2.1 iki 27.7 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{mėn.}$ [22].

Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai yra priskiriami prie pusiau lakių junginių, todėl yra išmetami iš šaltinių į atmosferą tiek dujiniame, tiek ir aerozoliniame pavidale. Mažesnio molekulinio svorio PAA (fenantrenas, fluorantenas, pirenas, chrizenas ir kt.) atmosferoje aptinkami dažniausia dujiniame stovyje, o didesnio molekulinio svorio PAA (benz(a)pirenas, dibenz(a,h)antracenas, koronenas) aptinkami atmosferoje dažniausia kietame pavidale, t.y. susiję su aerozolinėmis dalelėmis [23], dėl ko PAA junginių išsiplovimo iš atmosferos mechanizmai ir greičiai yra skirtingi. Vidutinis nusėdimo greitis 0.01 cm s^{-1} buvo nustatytas fenantrenui bei 0.06 cm s^{-1} fluorantenui ir pirenui [24] ir net 0.99 cm s^{-1} indeno(1,2,3-c,d)pirenui ir benz(g,h,i)perilenui [25]. Vykdamas Tarptautinę teršalų transporto ir

transformacijos tyrimo programą EUROTRAC, buvo nustatyta, kad benz(a)pireno nusėdimo iš atmosferos į žemės paviršių greitis gali kisti 0.03-0.38 m/s intervale vasaros metu ir 0.02-0.26 žiemos metu. Nustatyta, kad benz(a)pireno išsivalymo iš atmosferos procesui didelę įtaką turi atmosferos oro temperatūra ir kritulių pobūdis bei intensyvumas [26].

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

Darbo metodika

Kritulių bandiniai Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stotyse buvo renkami 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" ir 56⁰01'05" šiaurės platumos. Šiose stotyse buvo įrengta po tris rinktuvų laikiklius. Kiekvienam ruošama 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 $1\text{m}^3/\text{val.}$ 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 aerolio 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 dienas. 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 aerolinių 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 sužadėjimas 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 2010 m. Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stotyse yra pateiktos 3.1 lentelėje. Iš lentelės matyti, kad sunkiųjų metalų koncentracija krituliuose, išskyrus Pb, Cr, 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.

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 (per parą 3.2a lentelėje). 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.

Iš duomenų pateiktų 3.2 lentelėje matyti, kad rytinėje Lietuvos dalyje, kuri toliau jūros, kritulių iškrito mažiau negu vakarinėje Lietuvos dalyje. Sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno kiekio procentinės 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.

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, µg·l ⁻¹										
Aukštaitijos IM stotis											
2010 01	6,72	5,64	2,11	0,701	4,66	0,0422	0,0478	19,2	2,14	0,0180	0,015
2010 02	7,31	9,27	1,58	0,992	4,32	0,0936	0,0945	31,9	3,55	0,0098	0,012
2010 03	4,35	6,73	0,919	0,848	3,03	0,0661	0,0882	26,0	3,49	0,0103	0,006
2010 04	2,44	11,3	0,930	1,08	3,10	0,130	0,470	79,8	7,12	0,0190	0,030
2010 05	1,63	4,59	0,511	0,567	1,78	0,0751	0,144	60,6	6,73	0,0039	0,002
2010 06	1,59	3,06	0,463	0,536	1,86	0,0289	0,121	48,7	5,41	0,0062	0,003
2010 07	1,31	3,90	0,361	0,443	1,63	0,0710	0,125	52,2	5,13	0,0113	0,002
2010 08	8,24	15,8	1,46	2,28	3,30	0,217	0,135	58,3	6,48	0,0080	0,002
2010 09	1,54	5,05	0,459	0,618	1,52	0,0745	0,0470	26,9	2,32	0,0058	0,003
2010 10	1,42	10,8	0,498	0,942	2,32	0,108	0,133	53,5	5,95	0,0127	0,004
2010 11	0,711	9,30	0,488	0,504	1,27	0,0441	0,0662	34,6	2,51	0,0068	0,030
2010 12	0,700	11,0	0,300	1,30	6,60	0,129	0,115	53,2	8,95	0,0100	0,011
Vidurkis*	2,87	7,67	0,698	0,928	2,60	0,0936	0,124	48,3	5,31	0,0087	0,0068
Žemaitijos IM stotis											
2010 01	3,27	4,10	1,45	0,869	1,97	0,0501	0,0467	28,8	2,53	0,0214	–
2010 02	3,05	22,8	0,975	4,09	11,6	0,158	0,129	62,0	6,89	0,0131	–
2010 03	3,25	15,3	0,637	2,32	7,21	0,122	0,0819	37,0	4,11	0,0135	–
2010 04	4,77	98,5	2,64	16,7	34,9	0,372	1,29	520	57,8	0,0122	–
2010 05	5,61	15,1	0,563	3,34	5,75	0,116	0,349	140	17,4	0,0184	–
2010 06	5,78	57,7	0,807	8,07	15,9	0,374	0,820	307	35,3	0,0149	–
2010 07	1,07	7,65	0,316	1,59	3,03	0,0694	0,151	48,3	5,84	0,0184	–
2010 08	0,896	6,66	0,393	1,93	2,78	0,0884	0,241	80,9	8,99	0,0147	–
2010 09	0,847	19,3	0,602	4,40	6,34	0,200	0,229	108	11,4	0,0118	–
2010 10	0,853	12,5	0,349	2,46	5,16	0,0787	0,143	57,3	6,37	0,0074	–
2010 11	0,266	8,76	0,161	1,61	2,93	0,0601	0,0779	33,3	3,70	0,0118	–
2010 12	0,843	9,70	0,449	4,22	4,68	0,116	0,207	89,1	9,23	0,0050	–
Vidurkis*	1,87	15,75	0,506	3,148	5,79	0,1256	0,231	91,6	10,32	0,0133	–

*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 3.1 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 samaną patenka su krituliais.

3. 2 lentelė. Kritulių kiekiai ir sunkiųjų metalų ir benz(a)pireno, iškritusių su krituliais, kiekiai į kvadratinį metrą per mėnesį.

Metai, mėnuo	h, mm	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Fe	Mn	Hg	B(a)P
		Iškritęs kiekis, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mėn.}^{-1}$										
Aukštaitijos IM stotis												
2010 01	11,6	77,7	65,2	24,4	8,1	53,9	0,488	0,553	222	24,7	0,208	0,550
2010 02	29,8	218	277	47,2	29,6	129	2,79	2,82	953	106	0,293	0,437
2010 03	39,8	173	267	36,5	33,7	121	2,63	3,50	1035	139	0,410	0,337
2010 04	26,0	63,5	293	24,1	28,0	80,5	3,38	12,2	2073	185	0,493	0,312
2010 05	68,7	112	315	35,1	39,0	122	5,16	9,90	4165	463	0,269	0,055
2010 06	125	200	383	58,1	67,2	233	3,63	15,2	6108	679	0,772	0,210
2010 07	125	164	489	45,3	55,6	204	8,91	15,7	6546	644	1,42	0,090
2010 08	115	948	1817	167	262	379	24,9	15,5	6707	745	0,917	0,075
2010 09	67,3	104	340	30,9	41,6	102	5,01	3,16	1811	156	0,391	0,237
2010 10	43,6	61,8	470	21,7	41,1	101	4,71	5,81	2336	260	0,555	0,225
2010 11	54,3	38,6	505	26,5	27,4	68,8	2,39	3,59	1878	136	0,369	0,550
2010 12	59,9	41,9	656	18,0	77,9	395	7,73	6,89	3184	536	0,600	0,750
$\Sigma_{\text{mėn}}$	767	2202	5877	535	711	1990	71,8	94,8	37018	4073	6,70	3,83
Žemaitijos IM stotis												
2010 01	17,9	58,4	73,3	25,9	15,5	35,3	0,897	0,835	515	45,3	0,382	–
2010 02	36,7	112	838	35,8	150	424	5,81	4,74	2275	253	0,479	–
2010 03	147	478	2247	93,7	342	1061	18,0	12,1	5439	604	1,99	–
2010 04	25,8	123	2544	68,2	431	901	9,60	33,4	13443	1494	0,315	0,463
2010 05	140	784	2116	78,7	467	804	16,2	48,8	19618	2432	2,58	0,514
2010 06	77,0	445	4441	62,2	622	1221	28,8	63,1	23668	2717	1,15	0,566
2010 07	184	196	1409	58,3	294	559	12,8	27,8	8907	1076	3,39	0,428
2010 08	234	209	1557	91,9	452	650	20,7	56,4	18916	2102	3,43	0,633
2010 09	224	190	4331	135	985	1422	44,9	51,3	24252	2545	2,65	0,718
2010 10	143	122	1786	49,9	351	738	11,3	20,4	8193	910	1,06	0,771
2010 11	212	56,4	1856	34,2	341	621	12,7	16,5	7060	784	2,51	0,814
2010 12	81,7	68,9	793	36,7	345	382	9,49	16,9	7282	755	0,409	0,857
$\Sigma_{\text{mėn}}$	1523	2844	23992	770	4795	8820	191	352	139669	15717	20,3	5,76
$\Delta\%$	49,7	22,6	75,5	30,5	85,2	77,4	62,5	73,1	73,5	74,1	67,1	33,6

3.2a lentelė. Sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno kiekiai, išskritę ant žemės paviršiaus, į kvadratinį metrą per parą.

Metai, mėnuo	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Fe	Mn	Hg	B(a)P
	Iškritęs kiekis, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{para}^{-1}$										
Aukštaitijos IM stotis											
2009 01	2,51	2,10	0,787	0,261	1,74	0,0157	0,0178	7,2	0,796	0,0067	0,0177
2009 02	7,79	9,88	1,69	1,06	4,61	0,100	0,101	34,0	3,78	0,0105	0,0156
2009 03	5,57	8,62	1,18	1,09	3,89	0,0848	0,113	33,4	4,48	0,0132	0,0109
2009 04	2,12	9,77	0,805	0,934	2,68	0,113	0,406	69,1	6,17	0,0164	0,0104
2009 05	3,61	10,2	1,13	1,26	3,94	0,166	0,319	134	14,9	0,0087	0,0018
2009 06	6,66	12,8	1,94	2,24	7,77	0,121	0,506	204	22,6	0,0257	0,0070
2009 07	5,30	15,8	1,46	1,79	6,59	0,288	0,505	211	20,8	0,0459	0,0029
2009 08	30,6	58,6	5,40	8,46	12,2	0,804	0,501	216	24,0	0,0296	0,0024
2009 09	3,46	11,3	1,03	1,39	3,41	0,167	0,105	60,4	5,21	0,0130	0,0079
2009 10	1,99	15,2	0,701	1,33	3,27	0,152	0,187	75,3	8,37	0,0179	0,0073
2009 11	1,29	16,8	0,882	0,912	2,29	0,080	0,120	62,6	4,55	0,0123	0,0183
2009 12	1,35	21,2	0,580	2,51	12,7	0,249	0,222	103	17,3	0,0193	0,0242
Vidurkis	6,03	16,1	1,47	1,95	5,45	0,197	0,260	101	11,2	0,0184	0,0105
Žemaitijos IM stotis											
2009 01	1,89	2,36	0,834	0,501	1,14	0,0289	0,0269	16,6	1,46	0,0123	–
2009 02	4,00	29,9	1,28	5,36	15,2	0,207	0,169	81,2	9,03	0,0171	–
2009 03	15,42	72,5	3,02	11,0	34,2	0,581	0,389	175	19,5	0,0641	–
2009 04	4,11	84,8	2,27	14,4	30,0	0,320	1,11	448	49,8	0,0105	0,0154
2009 05	25,31	68,3	2,54	15,1	25,9	0,523	1,58	633	78,4	0,0831	0,0166
2009 06	14,84	148	2,07	20,7	40,7	0,961	2,10	789	90,6	0,0382	0,0189
2009 07	6,34	45,5	1,88	9,48	18,0	0,413	0,896	287	34,7	0,109	0,0138
2009 08	6,76	50,2	2,96	14,6	21,0	0,667	1,82	610	67,8	0,111	0,0204
2009 09	6,33	144	4,50	32,8	47,4	1,50	1,71	808	84,8	0,0885	0,0239
2009 10	3,94	57,6	1,61	11,3	23,8	0,363	0,657	264	29,4	0,0342	0,0249
2009 11	1,88	61,9	1,14	11,4	20,7	0,425	0,550	235	26,1	0,0836	0,0271
2009 12	2,22	25,6	1,18	11,1	12,3	0,306	0,545	235	24,3	0,0132	0,0276
Vidurkis	7,79	65,7	2,11	13,1	24,2	0,524	0,965	382	43,1	0,0557	0,0210

Iš 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 didesniam kritulių kiekiui oro masė yra labiau išplauta ir krituliai surenka mažesnį sunkiųjų metalų kiekį, todėl ir vidutinė koncentracija yra mažesnė.

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 ir B(a)P kiekiu											
Aukštaitijos IMS	0,488	0,535	0,562	0,581	0,601	0,593	0,798	0,946	0,894	0,805	-0,573
Žemaitijos IMS	0,128	0,293	0,558	0,500	0,380	0,570	0,409	0,407	0,390	0,904	0,234
Kritulių kiekis su metalų ir B(a)P koncentracija krituliuose											
Aukštaitijos IMS	-0,190	-0,171	-0,436	0,095	-0,398	0,127	-0,138	0,288	0,270	-0,546	-0,557
Žemaitijos IMS	-0,593	-0,477	-0,711	-0,470	-0,524	-0,394	-0,396	-0,420	-0,412	-0,078	–

Pastaba: tamsiau pažymėtos vertės rodo patikimesnį nei 95% koreliacinį ryšį ($r > 0,576$, kai $n = 12$).

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

Aukštaitijos IMS											
	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Fe	Mn	Hg	B(a)P
Pb	1,000	0,369	0,916	0,571	0,374	0,383	-0,114	-0,277	-0,249	0,242	-0,081
Zn		1,000	0,247	0,865	0,400	0,858	0,321	0,367	0,392	0,228	0,292
Cr			1,000	0,357	0,416	0,164	-0,053	-0,346	-0,364	0,478	0,161
Ni				1,000	0,470	0,933	0,204	0,328	0,452	0,100	-0,086
Cu					1,000	0,346	0,015	-0,057	0,340	0,411	0,125
Cd						1,000	0,368	0,534	0,579	0,106	-0,091
As							1,000	0,803	0,533	0,506	0,451
Fe								1,000	0,844	0,120	0,089
Mn									1,000	0,027	-0,126
Hg										1,000	0,470
B(a)P											1,000
Žemaitijos IMS											
	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Fe	Mn	Hg	
Pb	1,000	0,596	0,554	0,518	0,566	0,620	0,606	0,604	0,625	0,438	
Zn		1,000	0,791	0,979	0,982	0,922	0,965	0,973	0,969	-0,089	
Cr			1,000	0,798	0,835	0,613	0,730	0,759	0,745	0,169	
Ni				1,000	0,978	0,888	0,958	0,973	0,965	-0,193	
Cu					1,000	0,866	0,924	0,939	0,933	-0,125	
Cd						1,000	0,899	0,901	0,900	-0,108	
As							1,000	0,997	0,998	-0,043	
Fe								1,000	0,999	-0,060	
Mn									1,000	-0,042	
Hg										1,000	

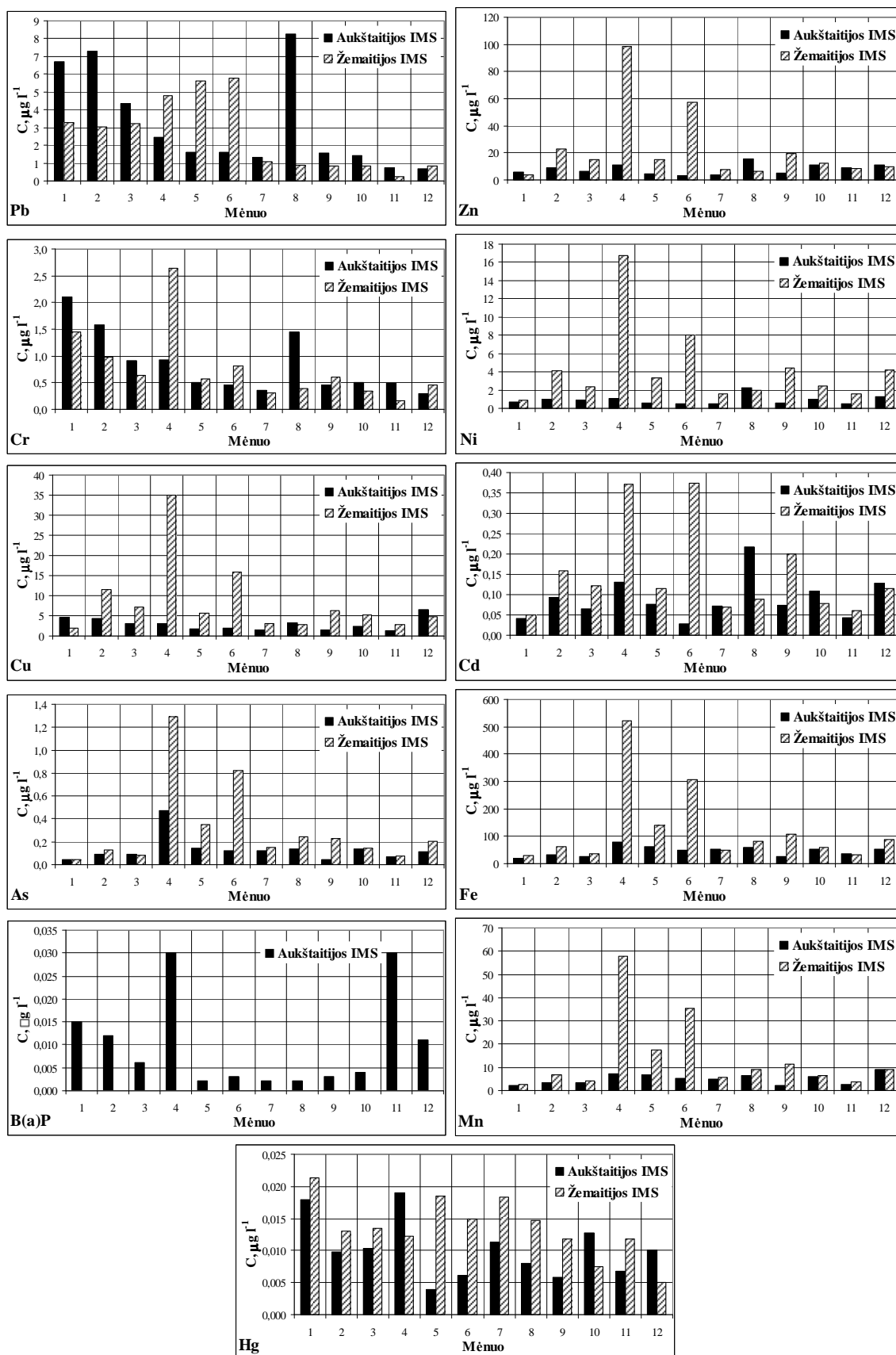
Tamsiau pažymėtos vertės rodo patikimesnį nei 95% koreliacinį ryšį.

Iš 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 didesniam kritulių kiekiui oro masė yra labiau išplauta ir krituliai surenka mažesnę teršalų kiekį.

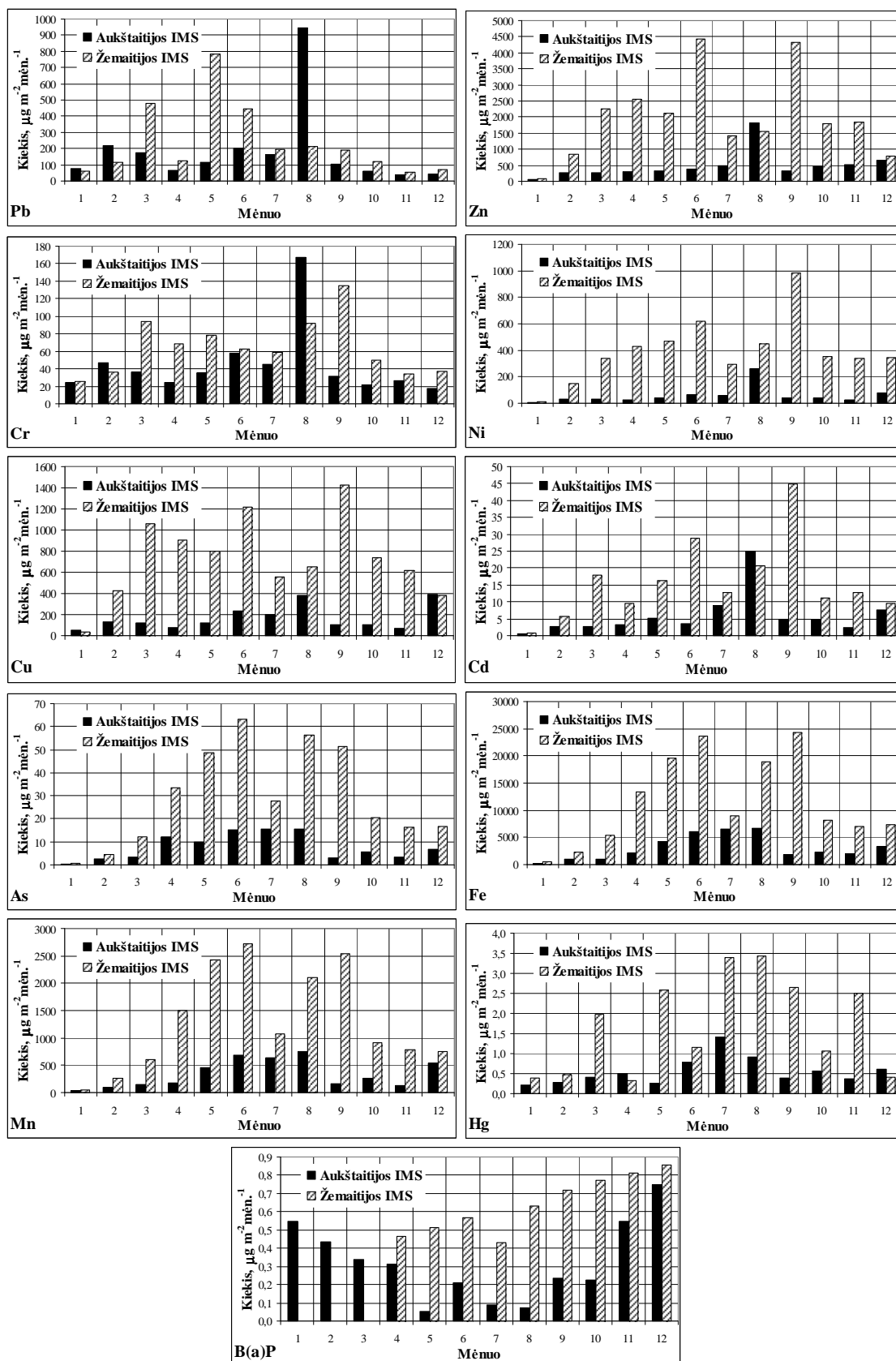
4 ir 5 lentelėse yra pateiktos tarpusavio koreliacijos koeficientų vertės tarp sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno koncentracijos krituliuose bei iškritusių su krituliais sunkiųjų metalų kiekiuose. Iš 4 lentelės matyti, kad stipresni koreliaciniai ryšiai stebimi Žemaitijos IMS, o tiek Aukštaitijos IMS, tiek ir Žemaitijos IMS stebimas Mn-Fe. koreliacinis ryšys. 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 aerozolio dalelių dydžio [27]. Metalai aerozolio dalelėse pasiskirstę nevienodai, todėl ir koreliacinis ryšys tarp elementų koncentracijos pakinta. Tikėtina, kad Zn-Ni-Cd grupėje šie metalai turi bendrus šaltinius ir jų pasiskirstymas pagal aerozolio dalelių dydį yra panašus. 5 lentelės duomenys rodo, kad daugumai metalų iškritę su krituliais jų kiekiai gerai koreliuoja tiek Žemaitijos IMS, tiek ir Aukštaitijos IMS.

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

Aukštaitijos IMS											
	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Fe	Mn	Hg	B(a)P
Pb	1,000	0,888	0,993	0,938	0,577	0,901	0,474	0,546	0,531	0,379	-0,441
Zn		1,000	0,885	0,976	0,733	0,967	0,510	0,614	0,636	0,469	-0,286
Cr			1,000	0,937	0,580	0,895	0,535	0,613	0,584	0,420	-0,476
Ni				1,000	0,766	0,973	0,561	0,656	0,687	0,474	-0,353
Cu					1,000	0,741	0,537	0,660	0,807	0,545	0,002
Cd						1,000	0,587	0,683	0,696	0,557	-0,419
As							1,000	0,919	0,867	0,779	-0,621
Fe								1,000	0,965	0,818	-0,607
Mn									1,000	0,761	-0,459
Hg										1,000	-0,440
B(a)P											1,000
Žemaitijos IMS											
	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	Fe	Mn	Hg	B(a)P
Pb	1,000	0,388	0,419	0,284	0,449	0,312	0,487	0,482	0,548	0,330	-0,484
Zn		1,000	0,678	0,888	0,954	0,871	0,742	0,820	0,798	0,235	-0,186
Cr			1,000	0,816	0,798	0,844	0,638	0,712	0,679	0,546	-0,226
Ni				1,000	0,879	0,951	0,780	0,880	0,840	0,383	0,031
Cu					1,000	0,865	0,670	0,756	0,732	0,303	-0,191
Cd						1,000	0,740	0,827	0,785	0,483	0,030
As							1,000	0,977	0,982	0,476	-0,439
Fe								1,000	0,995	0,431	-0,325
Mn									1,000	0,443	-0,397
Hg										1,000	-0,224
B(a)P											1,000



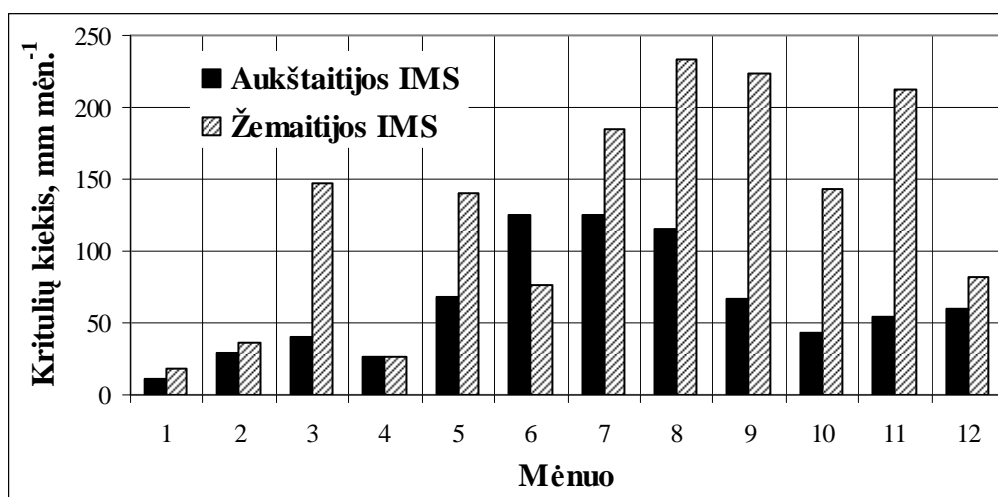
Pav.3.1. Vidutinė mėnesinė Pb, Zn, Cr, Ni, Cu, Cd, As, Fe, Mn, Hg ir B(a)P koncentracija ($C, \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) krituliuose Žemaitijos ir Aukštaitijos integruoto monitorinio stotyse 2010 m.



Pav. 3.2. Iškritę Pb, Zn, Cr, Ni, Cu, Cd, As, Fe, Mn, Hg ir B(a)P mėnesiniai kiekiai (μg) į žemės paviršiaus kvadratinį metrą Žemaitijos ir Aukštaitijos integruoto monitorinio stotyse 2010 m.

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 μm^2 per mėnesį, iškritusių su krituliais, metinė eiga.

Matyti, kad atskiriems elementams sunkiųjų metalų koncentracijos krituliuose mėnesinės vertės išsidėsčiusios gana netolygiai tiek laiko, tiek ir stočių atžvilgiu, kai, tuo tarpu, toks nesutapimas tarp sunkiųjų metalų kiekių, iškritusių μm^2 per mėnesį yra mažesnis. Paveikslėlyje 3.3 yra pateikti vidutiniai mėnesiniai kritulių kiekiai abiejose stotyse. Iš 2 ir 3 pav. matyti, kad sunkiųjų metalų kiekiai, iškritę μm^2 per mėnesį abiejose stotyse pasiskirstę panašiai, kaip ir kritulių kiekiai. Iš 5 lentelės duomenų ir 2 bei 3 pav. matyti, kad lemiamą įtaką žemės paviršiaus apkrovai sunkiaisiais metalais turi krituliai, ką rodo ir darbo [5] duomenys.



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

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	0,641	0,649
Zn	0,471	0,684
Cr	-0,075	0,313
Ni	0,272	0,841
Cu	0,333	0,432
Cd	0,356	0,816
As	0,469	0,450
Fe	0,438	0,532
Mn	0,459	0,634
Hg	0,294	-0,041
B(a)P	-0,145	0,639

Koreliacijos koeficientų tarp sunkiųjų metalų bei benz(a)pireno kiekių iškritusių su krituliais bei koncentracijos krituliuose verčių dydžiai pateikti 6 lentelėje.

Kaip matoma iš atliktų tyrimų rezultatų benz(a)pireno koncentracija Aukštaitijos IMS krituliuose kito intervale nuo 0,002 $\mu\text{g.l}^{-1}$ iki 0,030 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Benz(a)pireno srautas į žemės paviršių buvo didesnis Žemaitijos IMS. Jis kito nuo 0,428 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ iki 0,857 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$. Benz(a)pireno srautas Aukštaitijos IMS monitoringo stotyje kito nuo 0,09 iki 0,75 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$. Atitinkamai metinė žemės paviršiaus apkrova benz(a)pirenu Aukštaitijos IMS buvo lygi 3,83 $\mu\text{g m}^{-2}$, o Žemaitijos monitoringo stotyje ji buvo 33,6% didesnė ir lygi 5,76 $\mu\text{g m}^{-2}$. 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-balandžio mėnesiais), kas yra susiję su policiklinių aromatinių angliavandenilių taršos šaltinių suintensyvėjimu kūrenimo sezono metu. Benz(a)pireno srauto į žemės paviršių kaita priklausomai nuo sezoniškumo yra pateikta 7 lentelėje. Matoma, kad Aukštaitijos IMS benz(a)pireno mėnesinis srautas, o tuo pačiu ir žemės paviršiaus apkrova dėl namų šildymo šalto sezono metu yra padidėjusi apie 70,5%, o Žemaitijos IMS tik apie 21,3%, kas rodo tų stočių neadekvatų išsidėstymą policikliniu aromatinių angliavandenilių taršos šaltinių atžvilgiu.

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

Šaltas periodas (spalis- balandis)		Šiltas periodas (gegužė-rugsėjis)	
Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS	Aukštaitijos IMS	Žemaitijos IMS
0,452±0,179	0,726±0,179	0,133±0,084	0,572±0,111

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.

Nagrinėjant benz(a)pireno išsivalymo iš atmosferos dėsningumus, reikia pabrėžti, kad dauguma organinių junginių tame tarpe ir didesnio molekulinio svorio PAA yra aeroliniai, atmosferoje susiję su dalelėmis mažesnėmis nei 1 μm , be to, aeroliniai PAA yra praktiškai netirpūs vandenyje. Jų išsivalymo iš atmosferos mechanizmai yra sudėtingi ir dar menkai ištirti. 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 Masačusetos įlankoje [28]. Kai kuriuose darbuose yra nustatyta, kad šlapias PAA nusėdimas sudaro mažesniąją viso

atmosferos srauto dalį, apie 13-16% [29]. 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]. Lyginant 2007, 2008 ir 2009 m. 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 2010 m. lėmė tai, kad oro masės, iš kurių krituliais išplaunami sunkieji metalai, vakarų Lietuvoje yra labiau užterštos nei rytų Lietuvoje.

Žemės paviršiaus apkrova gyvsidabriu dėl didesnio kritulių kiekio didesnė vakarinėje Lietuvos dalyje.

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 2009–2010 m kritulių duomenis. Pagrindinė priežastis – didelė oro masių trajektorijų kaita bei kritulių nereguliarumas.

Benz(a)pireno srautas į žemės paviršių kito nuo 0,09 iki 0,75 $\mu\text{g m}^{-2}\text{ mėn}^{-1}$ Aukštaitijos IMS ir nuo 0,428 $\mu\text{g m}^{-2}\text{ mėn}^{-1}$ iki 0,857 $\mu\text{g m}^{-2}\text{ mėn}^{-1}$ 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.

Rekomendacija

Atsižvelgiant į sunkiųjų metalų ir benz(a)pireno atliktus tyrimus Žemaitijos ir Aukštaitijos integruoto monitoringo stotyse 2006-2010 m. rekomenduojame juos tęsti abiejose stotyse analizuojant šiuos teršalus tiek atmosferos iškritose, tiek ir ore, vertinant mėnesinius matavimo rodiklius. Abi stotys yra skirtingose Lietuvos dalyse ir abi vietovės dažnai yra įtakojamos skirtingų taršos šaltinių bei meteorologinių sąlygų.

3.2 Sunkieji metalai geosistemoje

Sunkieji metalai patekę į atmosferą 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. Todėl pagal kompleksiško monitoringo programa jų koncentracijų tyrimai vykdomi dirvožemyje bei dirvožemio, gruntiniuose ir paviršiniuose vandenyse. Gauti rezultatai leidžia vertinti sunkiųjų metalų judėjimo ir nusėdimo ypatumus geo ekosistemoje.

Sunkieji metalai dirvožemio vandenyje

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

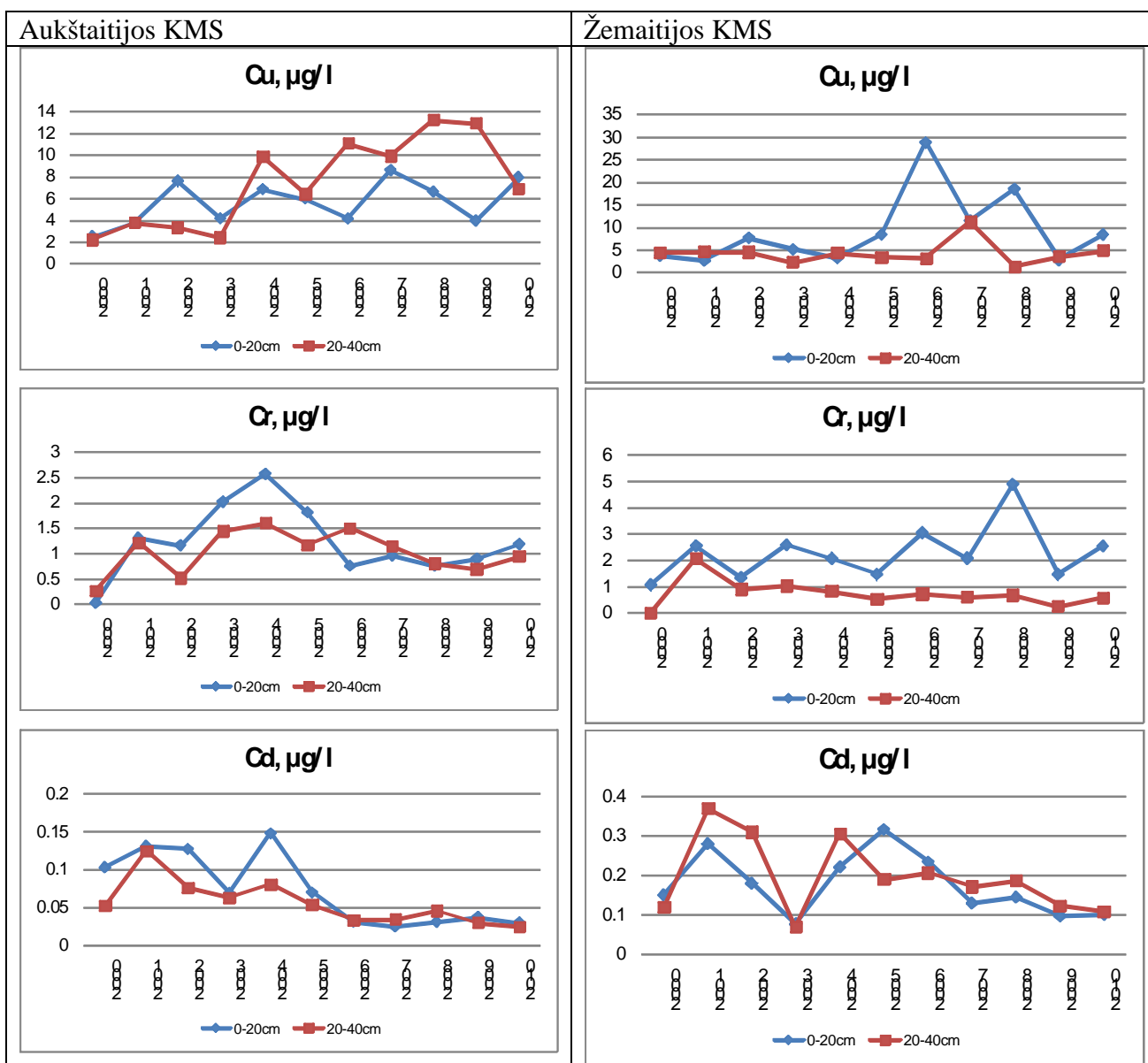
Pastaraisiais metais Cu, koncentracija dirvožemio vandenyje auga. Cr ir Cd koncentracijos Aukštaitijos KMS ir Cd koncentracija Žemaitijos KMS per stebėjimų laikotarpį mažėja. 2008 Cr Žemaitijos KMS pasiekė maksimalią reikšmę (3.8 pav. 1). Pagrindinę priežastį, manome, kad bus galima nustatyti, tik tęsiant 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, tačiau paskutiniųjų metų rudenį šio elemento koncentracija dirvožemio vandenyje padidėjo virš 5 kartų, ir tik tolimesnis tyrimas parodys tokio padidėjimo galimas priežastis.

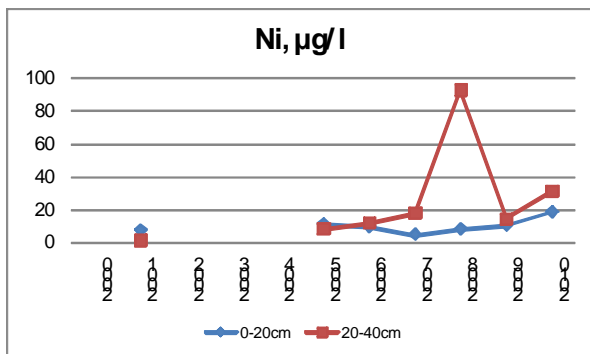
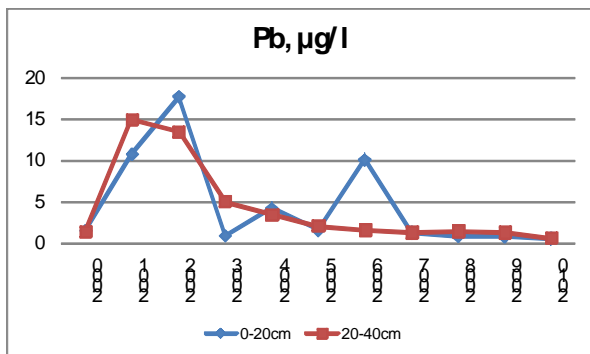
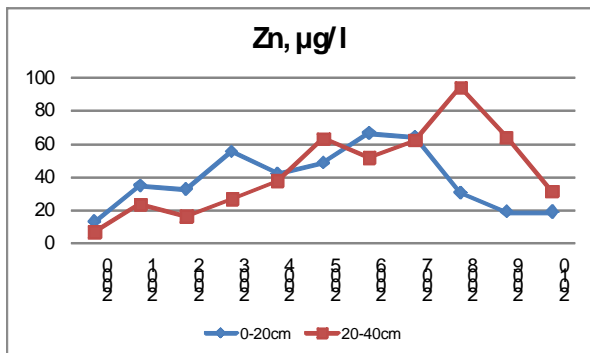
Aukštaitijos stotyje 2009 m. vidurkį viršijo Zn, Ni ir Cu koncentracija, ypač 20–40 cm gylyje, o Žemaitijoje sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio vandenyje laikosi vidutiniame ir žemame lygyje.

2010 metais sunkiųjų metalų koncentracijos buvo artimos vidurkiui arba tarp žemiausių per stebėjimo laikotarpį. 2010 m. Aukštaitijos stotyje 2000-2009 vidurkį nežymiai viršijo tik Ni koncentracija. Pb, Cd koncentracija dirvožemio vandenyje buvo viena mažiausių, artima mažiausiai nustatamai reikšmei. 2010 m. Žemaitijos stotyje visų sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio vandenyje laikosi vidutiniame ir žemame lygyje, tik Cr ir Cu koncentracijos 2000-2009 metų vidurkį viršijo (3.4 pav.). Mažas metalų koncentracijas lemia neutralus (nerūgštus) dirvožemio tirpalas.

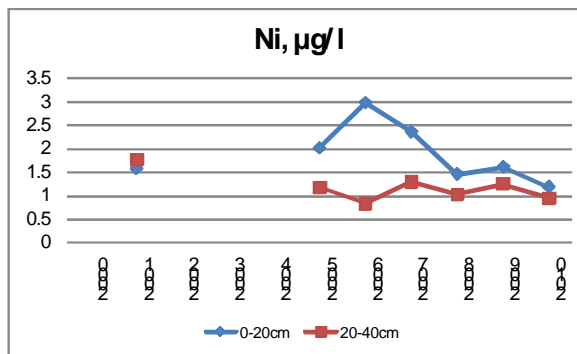
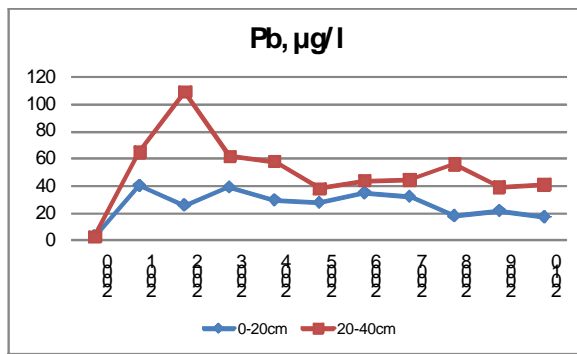
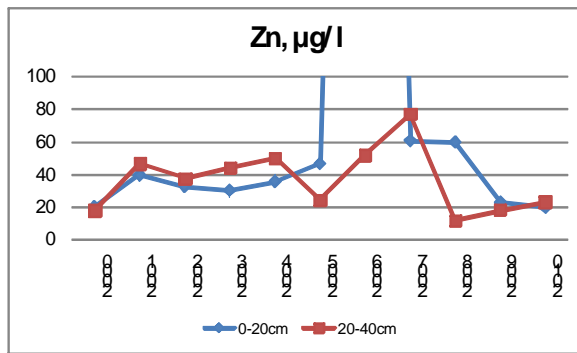


3.4 pav. Sunkieji metalai dirvožemio vandenyje (1 iš 2).

Aukštaitijos KMS



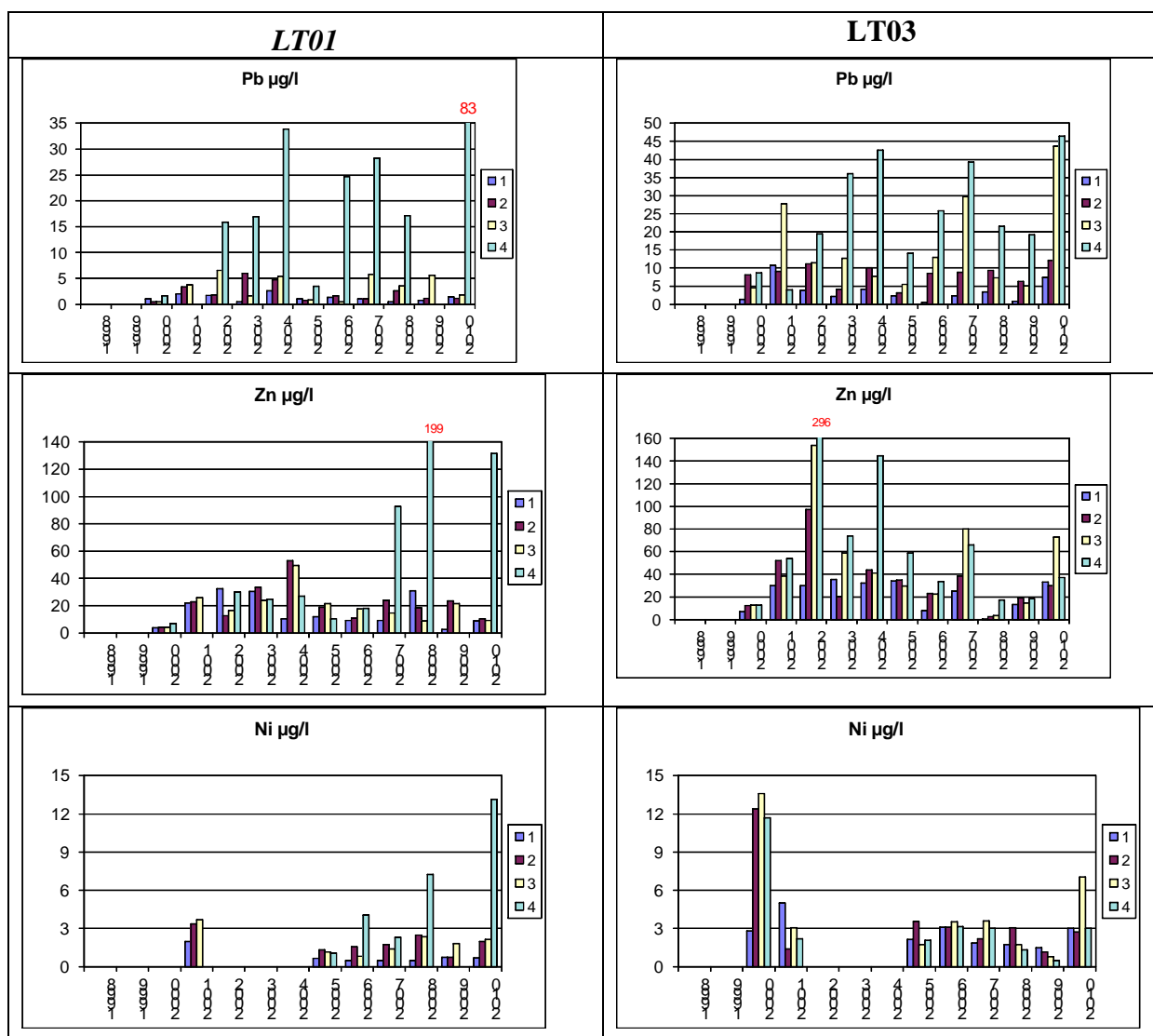
Žemaitijos KMS



3.4 pav. Sunkieji metalai dirvožemio vandenyje (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.



3.5 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis

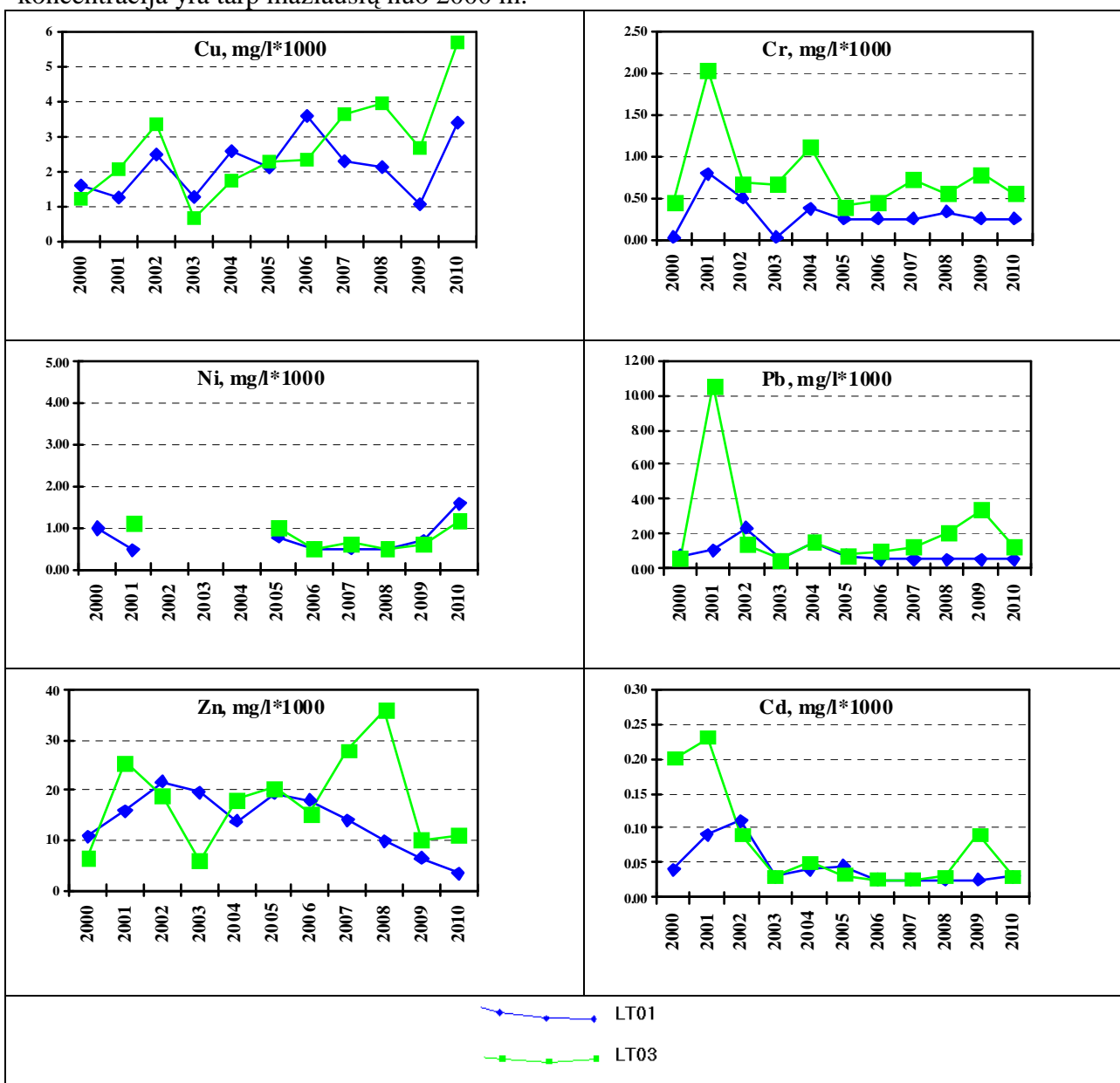
Žemaitijos gruntiniame vandenyje sunkiųjų metalų koncentracijos 2009 m. buvo, palyginti su 2000-2008 m. mažos. Cu ir Zn koncentracija, kaip ir 2008 m., liko mažiausia per stebėjimų laikotarpį (3.5 pav.).

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.

2010 m. buvo stebimas sunkiųjų metalų koncentracijų, ypač ketvirtajame, giliausiame gręžinyje augimas. Ryškiausios metalų koncentracijos padidėjimas stebimas Aukštaitijos sotyje, o Žemaitijos gruntiniame vandenyje padidėjo tik Pb ir Zn koncentracijos (3.5 pav.).

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. 2010 m. didesnė nei vidutiniškai buvo ir vario bei nikelio koncentracija. Kitų sunkiųjų metalų koncentracija yra tarp mažiausių nuo 2000 m.



3.6 pav. Vidutiniai upelio vandens parametrai (4 iš 4)

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. 2007–2010 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 (3.6 pav.).

IŠVADOS

2010 metais sunkiųjų metalų koncentracijos buvo artimos vidurkiui arba tarp žemiausių per stebėjimo laikotarpį. 2010 m. Aukštaitijos stotyje 2000-2009 vidurkį nežymiai viršijo tik Ni koncentracija. Pb, Cd koncentracija dirvožemio vandenyje buvo viena mažiausių, artima mažiausiai nustatomi reikšmei. 2010 m. Žemaitijos stotyje visų sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio vandenyje laikosi vidutiniame ir žemame lygyje, tik Cr ir Cu koncentracijos 2000-2009 metų vidurkį viršijo

Sunkiųjų metalų koncentracijų gruntiniame vandenyje 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. Žemaitijos gruntiniame vandenyje padidėjo tik Pb ir Zn koncentracijos.

Daugumos sunkiųjų metalų koncentracijos santykinai natūralių miško ekosistemų upelio vandenyje 2010 metais buvo mažesnės ir lygios vidurkiui. Upelio vandenyje Žemaitijos stotyje Fe, Cu ir Ni koncentracijos padidėjo dėl analogiškų pokyčių dirvožemio ir gruntiniame vandenyje, kurie gali būti susiję su teršimu.

Literatūra

1. W. Salomons, U. Förster. (1984) Metals in the hydrocycle. Springer-Verlag. 352 p.
2. Heaton R. W., Rahn K. A., Lowenthal D. H. (1992). Regional apportionment of sulfate and trace elements in Rhode Island precipitation. Atmospheric Environment, 26A, 1529-1543.
3. Nriagu J. O., Pacyna J. M. (1988). Quantitation assessment of worldwide contamination of air, water and soil by trace elements. Nature, 333, 134-139.
4. Berg T., Royset O., Steinnes E. (1994). Trace elements in atmospheric precipitation at Norwegian background stations (1989-1990) measured by ICP-MS. Atmospheric Environment, 28, 21, 1537-1549.
5. Šakalys J., Kvietkus K. and Valiulis D. (2004). Variation tendencies of heavy metal concentration in the air and precipitation. Environmental and Chemical Physics, 26, 2, 61-67.
6. Georgn H. W., Perseke C., Rohbock E. (1984). Deposition of acidic components and heavy metals in the Federal Republic of Germany for the period 1979-1981. Atmospheric Environment, 18, 581-589.

7. German J., Svensson G. (2002). Metal content and particle size distribution of street sediments and street sweeping waste. *Water Science and Technology* 46, 6-7, 191-198.
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, J.Sucharova, I.Suchara, D.Valiulis. (2009) Changes in total concentrations and assessed background concentrations of heavy metals in moss in Lithuania and the Czech Republic between 1995 and 2005. *Chemosphere*, Vol. 76(1), 91-97.
13. P.Schuster, D.Krabbenhoft, D.Naftz et al. (2002) Atmospheric mercury deposition during the last 270 years: a Glacial ice core record of natural and anthropogenic sources.
14. L.Griciute, 1979. Carcinogenicity of polycyclic aromatic hydrocarbons. –Environmental carcinogens-selected methods of analysis. Red. N. Egan, IARC, Lyon, pp.3-15.
15. A.Milukaite, L. Griciute, 2004. Differential assessment of population health risk due to appearance of polycyclic aromatic hydrocarbons in the human environment and meal. *Fresenius Environmental Bulletin*, **13**, p. 21-24.
16. A.Milukaite, 2006. Long-term trends of benzo(a)pyrene concentration on the eastern coast of the Baltic Sea. *Atmospheric Environment*, 40, 2046-2057.
17. E. Matzner, 1984. Annual rates of deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons in different forest ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution*, 21, 425-434.
18. E.Brorstrom-Lunden, A. Lindskog, J.Mowrer, 1994. Concentrations and fluxes of organic compounds in the atmosphere of the Swedish west coast. *Atmospheric Environment*, 28, 3605-3615.
19. A.Milukaite, A.Galvonaite, 1991. Benz(a)pireno iškritų monitoringas ir jo koncentracijų įvertinimas atmosferos ore. *Atmosferos Fizika*, 15, 89-96 (rusu k.)
20. Milukaitė. Flux of benzo(a)pyrene to the ground surface and its distribution in the ecosystem. - *J. Water, Air and Soil Pollution*, 1998, **105**, p. 471-480.
21. 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.
22. D.Ollivon, H.Blomchoud, A.Motelay-Massei, B.Garban, 2002. Atmospheric deposition of PAHs to an urban sites, Paris, France. *Atmospheric Environment*, 36, 17, 2891-2900.
23. H.Yamasaki, K.Kuwata, H.Miyamoto, 1982. Effects of temperature on aspects of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environmental Science and Technology*, 16, 4 189-194.
24. W. T. Farmer, T.Wade, 1986. Relationship of ambient atmospheric hydrocarbons (C12-C32) concentrations to deposition. *Water Air and Soil Pollution*, 29, 439-452.
25. B.D. McVeety, R.A.Hites, 1988. Atmospheric deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons to water surfaces: a mass balance approach. *Atmospheric Environment*, 22, 3, 511-536.
26. Milukaitė, A. Mikelinskienė, 1999. The influence of meteorological and physico-chemical factors on benzo(a)pyrene washout from the atmosphere.- *Proceedings of EUROTRAC Symposium'98*, Garmisch-Partenkirchen, Germany, p. 390-394 .
27. 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.
28. D.Golomb, E.Barry, G.Fisher, P.Varanusupakul, M.Koleda, T.Rooney, 2001. Atmospheric deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons near New England coastal waters. *Atmospheric Environment*, 35, 6245-6258.
29. Atmospheric deposition: PCBs, PAHs, organochlorine, pesticides and heavy metals. NJADN report-<http://www..state.nj.us/dep/dsr/index.html>.

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

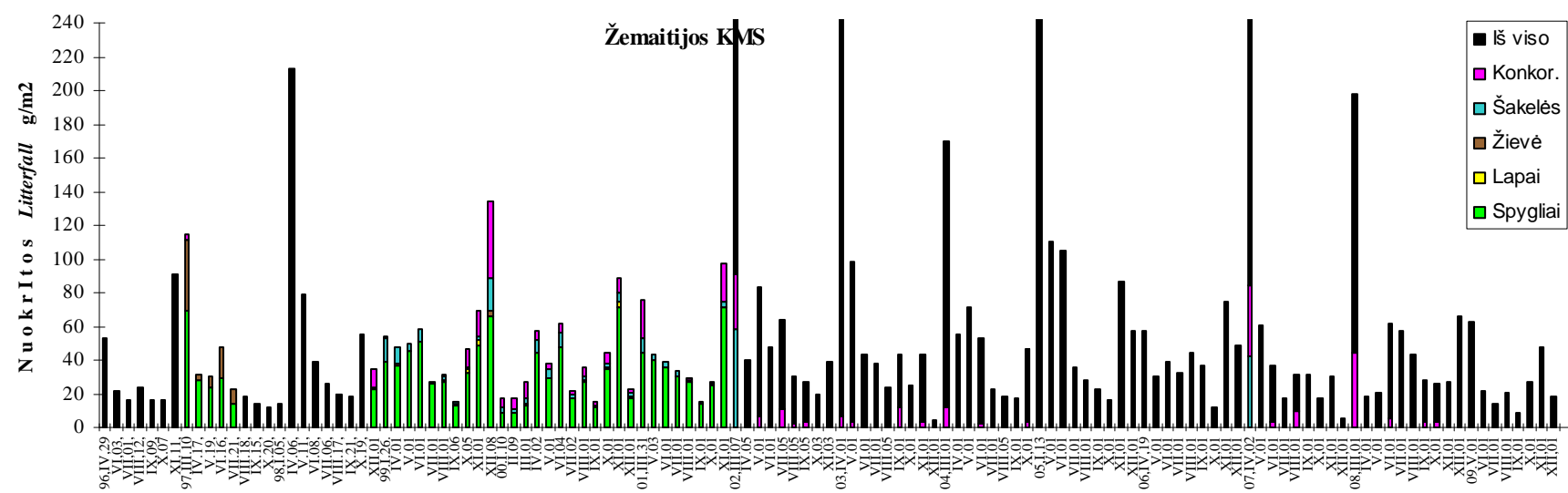
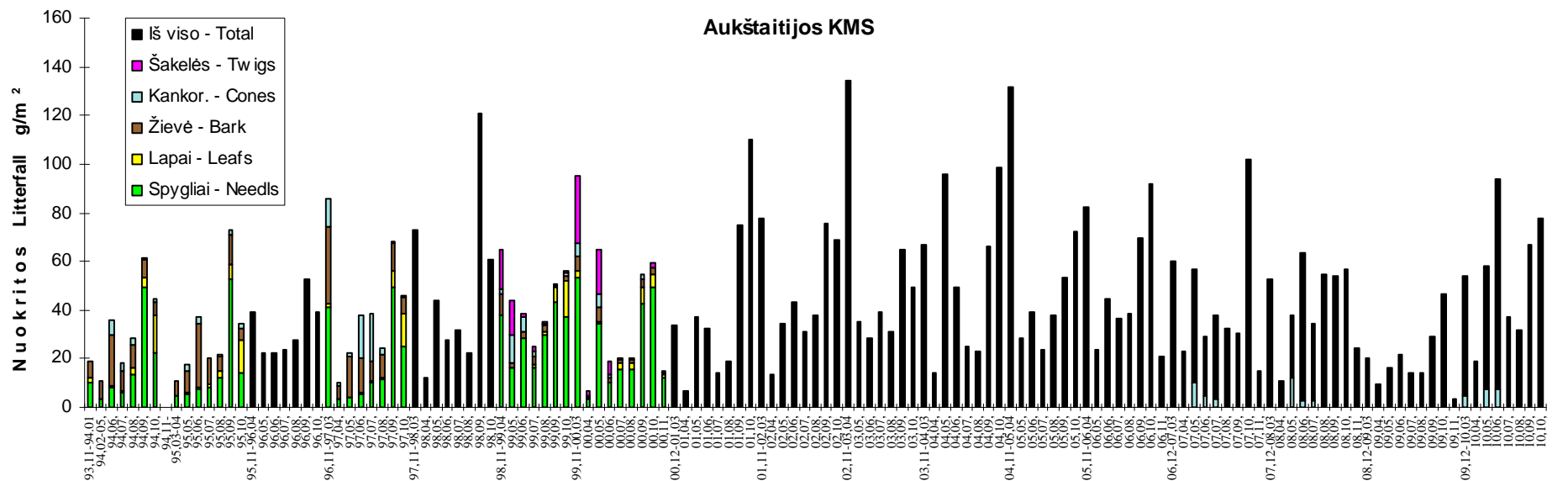
Nuokritų sezoninė dinamika

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
2010				19,7	417,8
g/m ²	183,9	29,9	94,8	27,6	336,1
kg/ha	1839	299	948	276	3361
%	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.

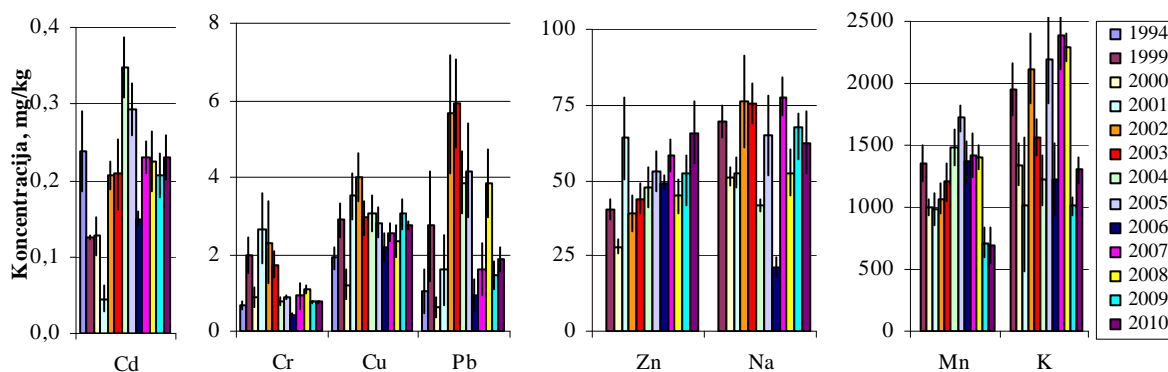
2009 m. nuokritų kiekis sumažėjo beveik 2 kartus, pasiekdamas minimumą per visą tiriamąjį laikotarpį – 1756 kg/ha. Matyt dėl šios priežasties, paskutiniaisiais 2010 m. nuokritų kiekis labai padidėjo pasiekdamas 4000 kg/ha kiekį.

Metalu koncentracijų nuokritose sezoninė dinamika

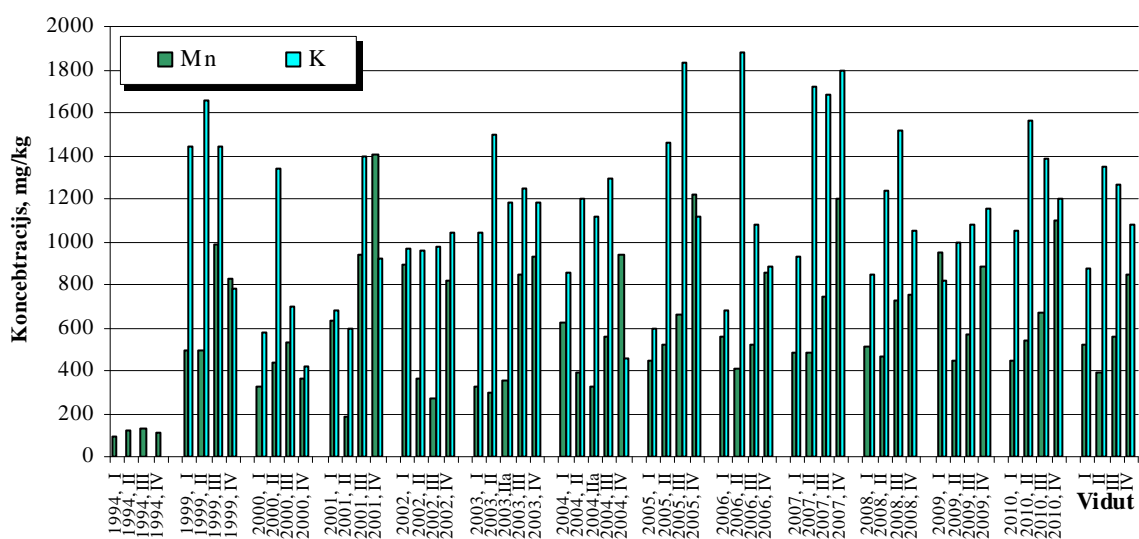
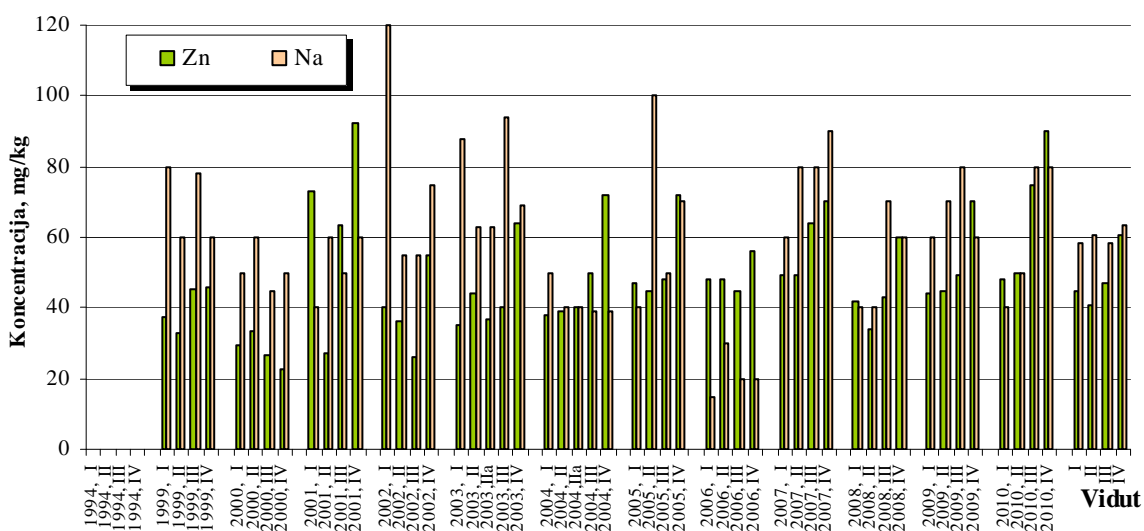
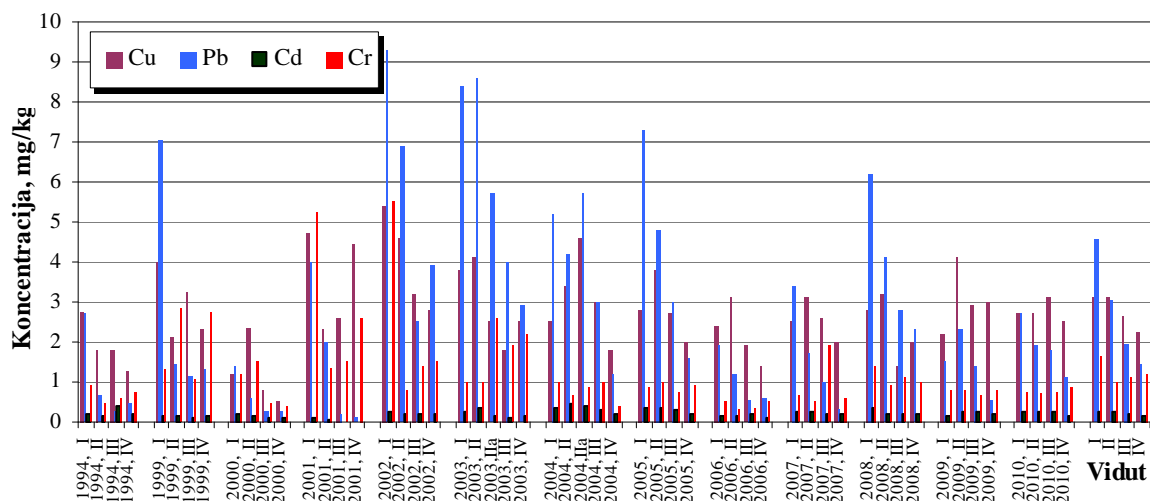
Lapijos cheminės sudėties tyrimas yra viena iš efektyviausių priemonių medžių stresui, sukkelto aplinkos užteršimo, įvertinti. Tokio tyrimo metu nustatoma kaip maistinių, taip ir toksiškų elementų kiekis spygliuose ir lapuose. Lyginant gyvų lapų ir spyglių cheminę sudėtį su nuokritų sudėtimi įvertinamas 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 šaltiniu. Dėl šios priežasties jų cheminės sudėties tyrimas tampa išskirtiniu, analizuojant miško ekosistemų maistinių ir toksinių elementų balansą.

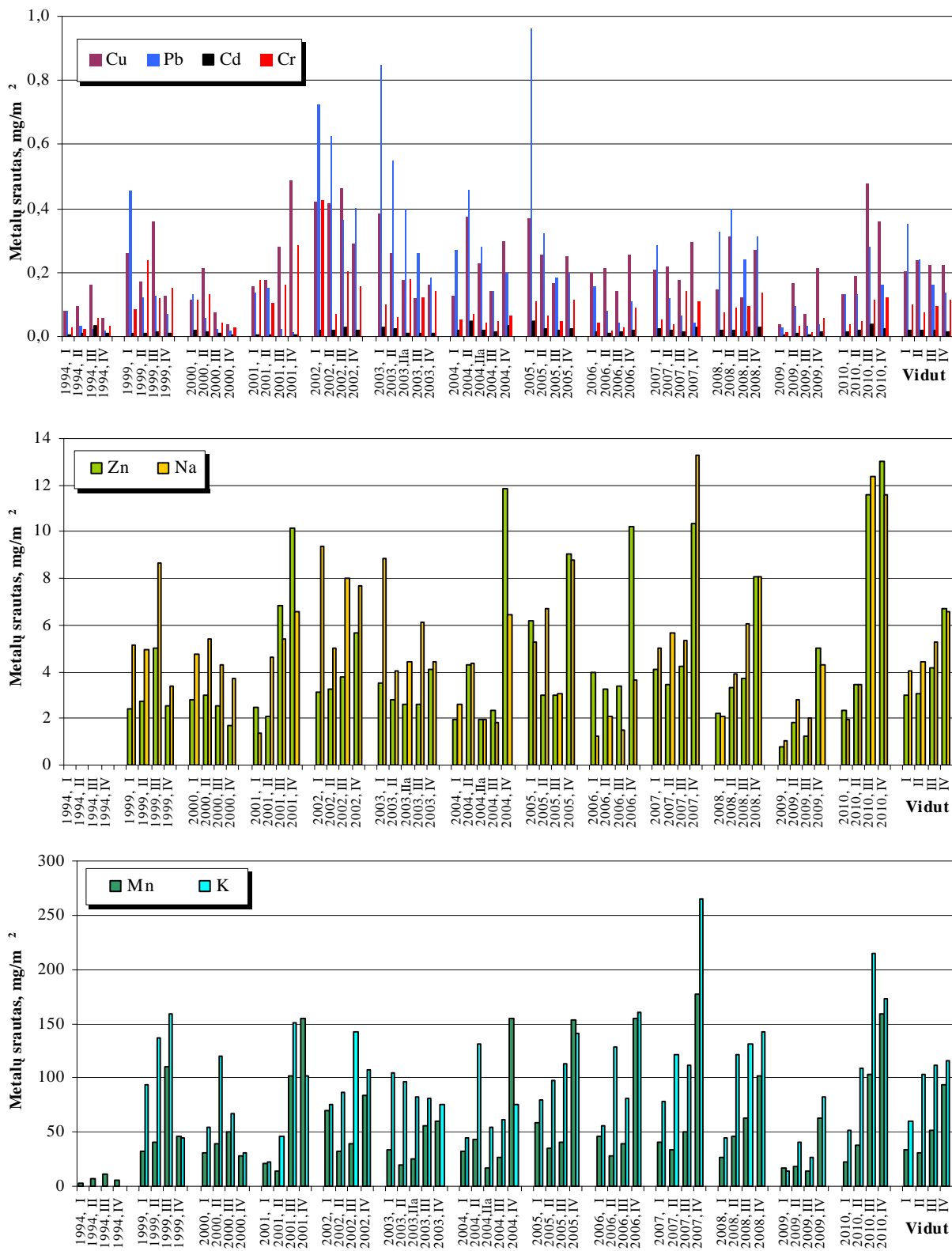
Analizuojant Aukštaitijos KMS nuokritų cheminę sudėtį, nustatyta statistiškai reikšminga ($p < 0,05$) sezoniškumo įtaka tirtų metalų koncentracijoms (3.11 pav.). Tokių tirtų metalų, kaip švino (Pb), vario (Cu), chromo (Cr) koncentracijos nuokritose yra didžiausios žiemos mėnesiais, t.y. gruodį, sausį, vasarį. 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 1994-2010 m.



3.11 pav. Metalų koncentracijų nuokritose sezoninė dinamika 1994-2010 m.



3.13 pav. Metalų koncentracijų srautų su nuokritomis sezoninė dinamika 1994-2010 m.

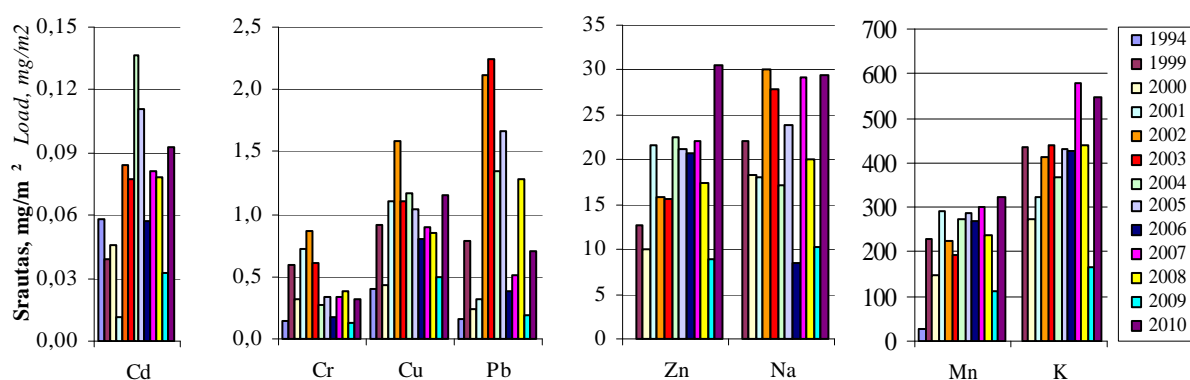
Tokių elementų, kaip cinko (Zn), natrio (Na) ir mangano (Mn) koncentracijų nuokritose sezoniškumas neturi ryškių tendencijų, tačiau mažesnės koncentracijos atrodo, kad yra būdingesnės žiemos mėnesių nuokritoms. Ypač tai galima išvelgti, tiriant paskutiniųjų metų sunkiųjų metalų nuokritose sezoniškumą.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

2010 m. po ženklaus visų metalų koncentracijos nuokritose sumažėjimo 2009 m., vėl registruojamas sunkiųjų metalų koncentracijų padidėjimas nuokritose.

Apibendrinus tirtų metalų koncentracijas nuokritose 1994-2010 m. laikotarpiu, nustatyta, kad per tiriamąjį laikotarpį ženkliai didėjo tik Zn ir iš dalies K koncentracijos nuokritose (iki 2009 m.) (3.13 pav.). Kitų elementų koncentracijos nuokritose išliko stabilios ar turėjo tendencija mažėti (Cr, Pb, Cu).

Metalu 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 metalų srautai su nuokritomis Aukštaitijos KMS 1994-2010 m.

Metinių metalų srautų su nuokritomis analizė parodė, kad metalų srautai kito analogiškai jų koncentracijoms nuokritose, o padidėjęs nuokritų kiekis neturėjo reikšmingesnės įtakos šių metalų srautų tendencijai. Didėjo Zn, Na ir K srautai su nuokritomis, Na srautas buvo stabilus, o Cd, Cr, Cu ir Pb srautams buvo būdinga mažėjimo tendencija

2005 -2010 m. metalų srautų sumažėjimui su nuokritomis esminės reikšmės turėjo ir koncentracijų nuokritose, ir pačių nuokritų kiekio mažėjimas.

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 eglyne, 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 (1996-2010m.)

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
2010				7,0	498,5
g/m ²	346,9	4,0	61,7	34,4	447,0
kg/ha	3469	40	617	344	4470
%	77,6	0,9	13,8	7,7	100

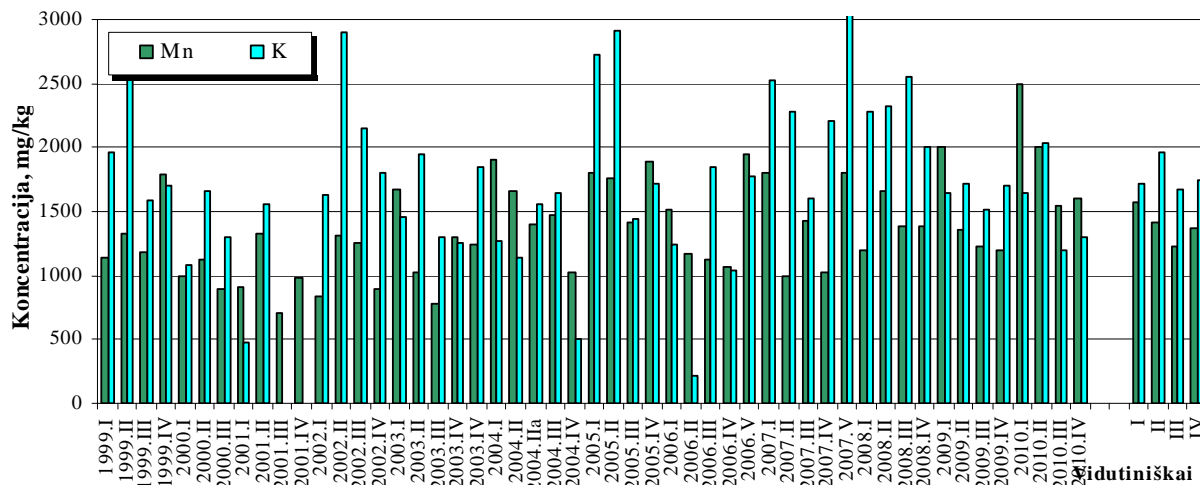
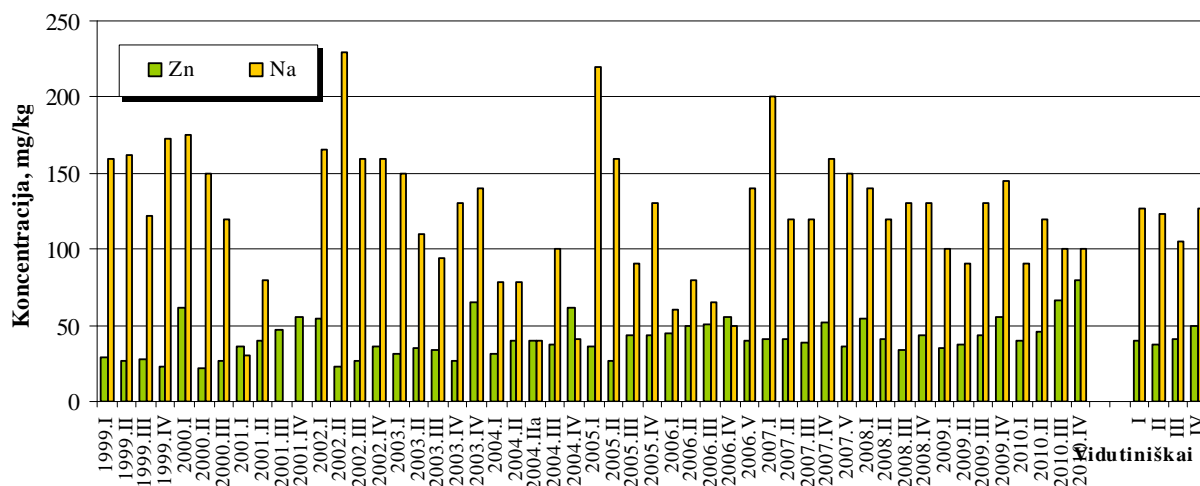
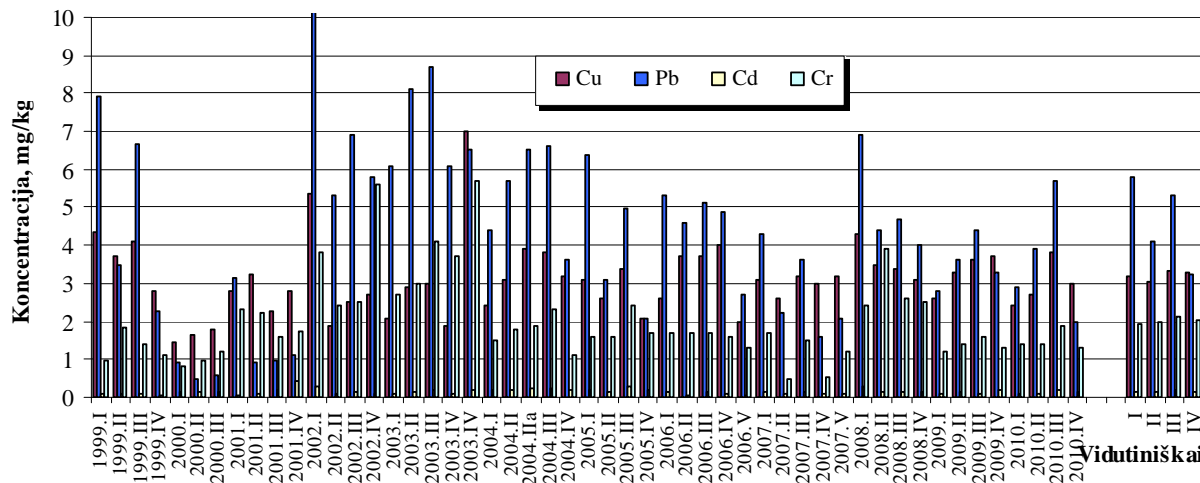
• - 1996 m. duomenys nepanaudoti nustatant vidutinius nuokritų kiekius.

Nustatyta, kad 2008 m. nuokritų kiekis Žemaitijos KMS beveik siekė daugiamečių vidurkį, o 2009 buvo net iki 2,2 karto mažesnis. 2010 m. nuokritų kiekis buvo vėl padidėjęs ir

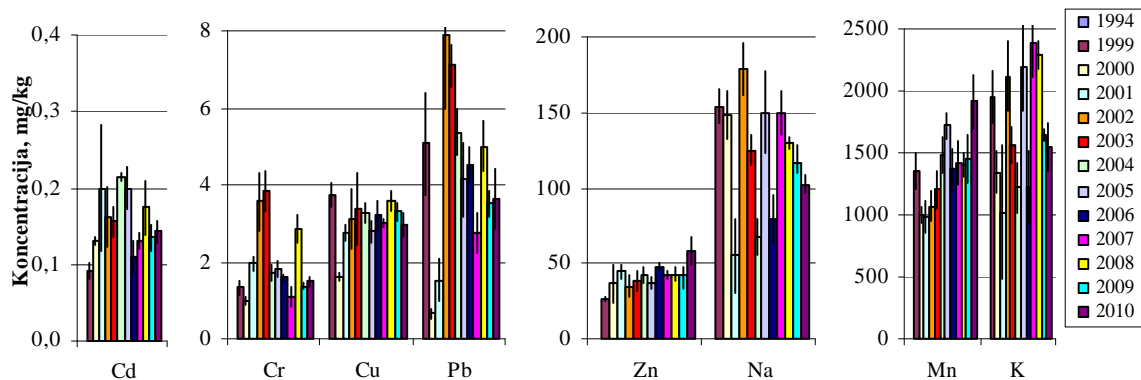
siekė 500g/m². Manome, kad reikšmingos įtakos tokiai nuokritų susidarymo kaitai pastaruoju laikotarpiu galėjo turėti kritulių kiekis.

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 1999-2010 m.

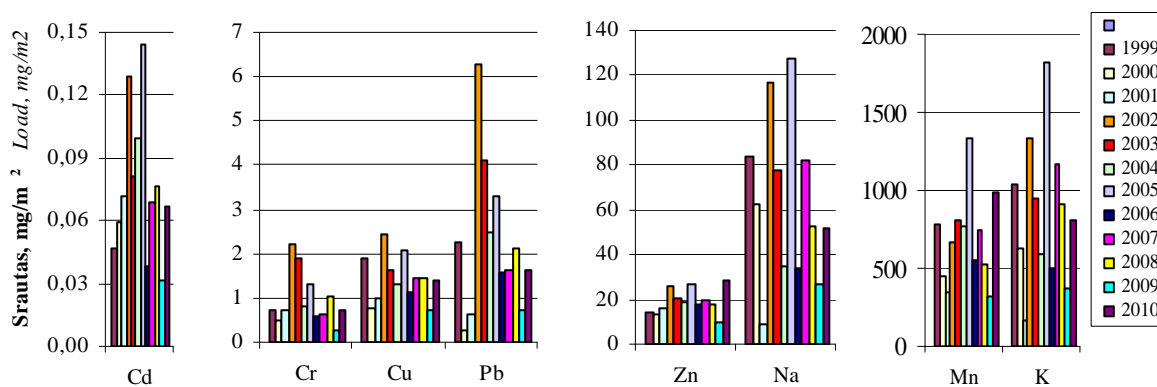


3.16 pav. Metalų metinių koncentracijų nuokritose kaita Žemaitijos KMS 1999-2010 m.

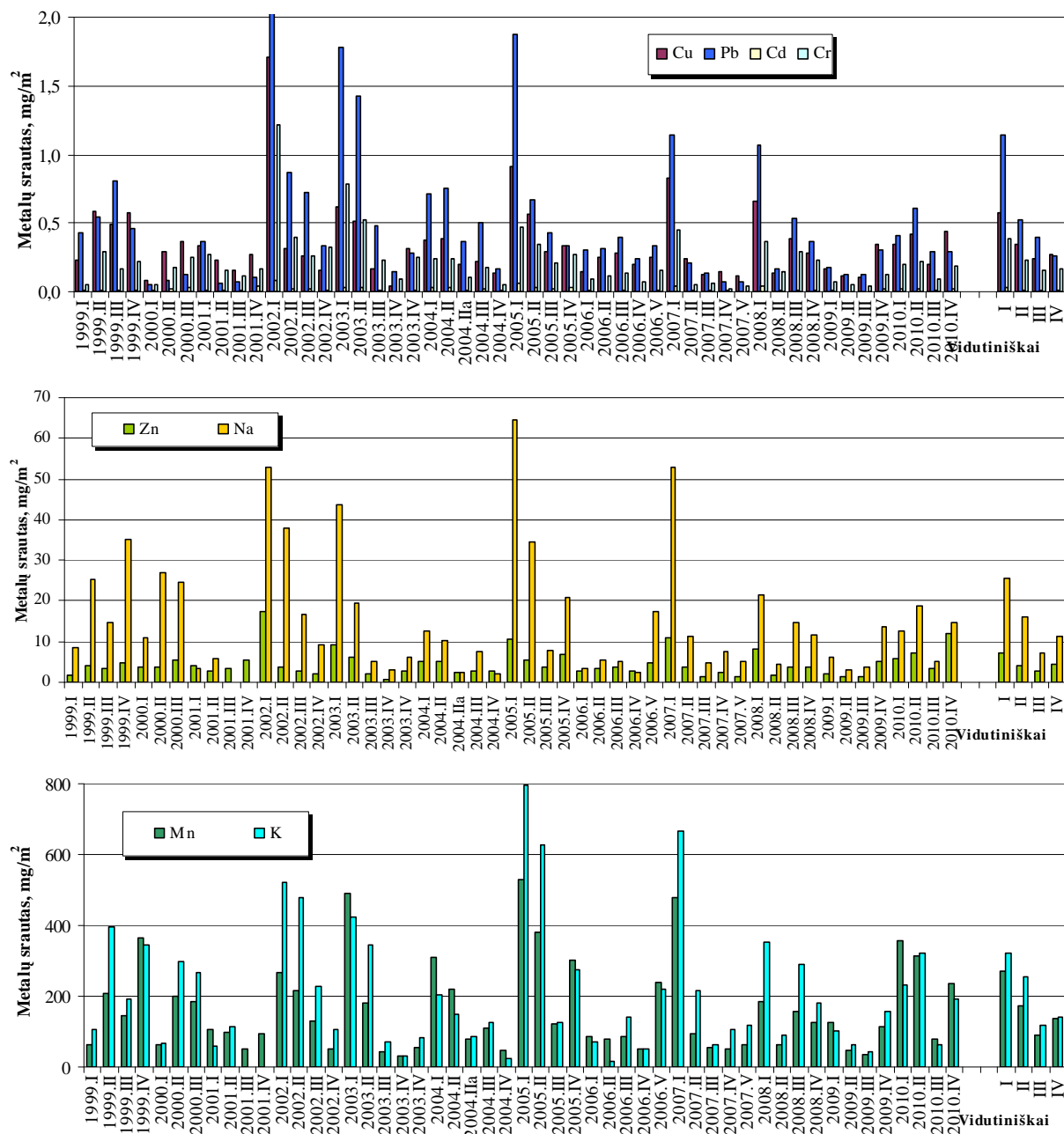
Metinių koncentracijų kitimas 1999-2010 m. laikotarpiu analizė rodo, kad tirtų metalų didžiausios koncentracijos buvo būdingos 2001-2002 m. nuokritoms. *Nuo 2003 metų, kaip ir Aukštaitijos KMS, reikšmingai mažėjo tik Cd, Pb Cr koncentracijos. Kalio ir mangano koncentracijoms buvo būdinga augimo tendencija, tik ne tokia reikšminga kaip Aukštaitijos KMS. Vario ir cinko koncentracijos nuokritose išliko stabilios.*

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 tokį tirtų metalų sezoniškumą buvo nuokritų kiekio sezoniškumas, o ne metalų koncentracijos jose.



3.18 pav. Metalų metinių srautų su nuokritomis kaita Žemaitijos KMS 1999-2010 m.



3.17 pav. Metalų koncentracijų srautų su nuokritomis sezoninė dinamika 1999-2010 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. *Per paskutinįjį 6 m. laikotarpį (2005-2010 m.) stabilūs išliko tik Zn ir Cu srautai, visų likusių tirtų metalų srautai gan ženkliai mažėjo.*

3.10 lentelė. Metalo srauto su nuokritomis (mg/m²) koreliacinis ryšys su jo koncentracija nuokritose (mg/kg) ir nuokritų kiekiu (kg/m²) (1999-2010)

Parametras	Metalų srautas su nuokritomis										
	CU	PB	CD	CR	ZN	NA	MN	K	NI	FE	AL
Aukštaitija	Koreliacijos koeficientai @ / patikimumo lygmuo (p)										
Elemento koncentracija nuokritose	0,555 p=,000	0,888 p=,000	0,662 p=,000	0,819 p=,000	0,759 p=,000	0,649 p=,000	0,818 p=,000	0,601 p=,000	0,844 p=,000	0,412 p=,046	0,149 p=,488
Nuokritų kiekis	0,673 p=,000	0,186 p=,179	0,595 p=,000	0,298 p=,029	0,841 p=,000	0,689 p=,000	0,790 p=,000	0,720 p=,000	0,454 p=,026	0,648 p=,001	0,874 p=,000
Žemaitija											
Elemento koncentracija nuokritose	0,284 p=,044	0,701 p=,000	0,569 p=,000	0,414 p=,003	0,240 p=,090	0,697 p=,000	0,589 p=,000	0,581 p=,000	0,450 p=,041	0,274 p=,230	0,094 p=,687
Nuokritų kiekis	0,852 p=,000	0,729 p=,000	0,817 p=,000	0,805 p=,000	0,847 p=,000	0,924 p=,000	0,894 p=,000	0,886 p=,000	0,845 p=,000	0,794 p=,000	0,922 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

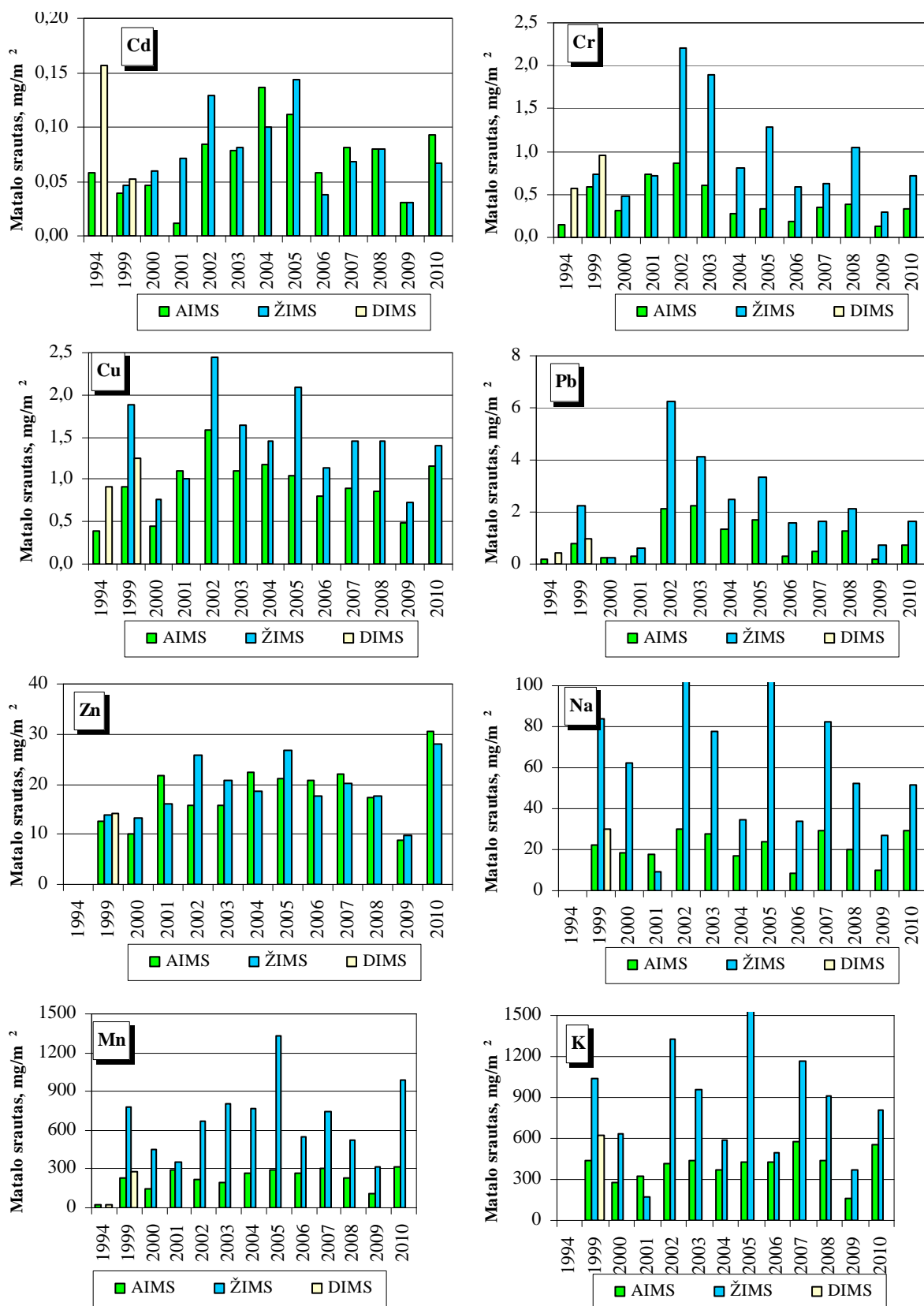
Palyginus tirtų metalų koncentracija tarp atskirų KM stočių nustatyta, kad tik Cd ir Zn koncentracijos Aukštaitijos KMS yra didesnės nei Žemaitijos KMS nuokritose. Tyrimų pradžioje, iki 2002 m. didesnės koncentracijos nuokritose buvo ir Cu, tačiau paskutiniuoju laikotarpiu šio elemento koncentracijos 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.

Tik Cd koncentracijos nuokritose ir jo srautai su jomis Aukštaitijos KMS viršija šio elemento koncentracijas ir srautus Žemaitijos KMS. Likusių tirtų metalų koncentracijos ir srautai su nuokritomis Žemaitijos KMS yra didesni nei Aukštaitijos KMS.



3.19 pav. Tirtų metalų koncentracijos nuokritose KM stotyse 1994-2010 m.



3.20 pav. Tirtų metalų srautai su nuokritomis KM stotyse 1994-2010 m.

IŠVADOS

1. Aukštaitijos KMS perbrendusiame, brukniniame pušyne (AKMS_01) vidutiniškai susidaro apie 3360 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 4470kg/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 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 Aukštaitijos KMS yra didesni nei Žemaitijos KM stotyje.

3.4 Sunkieji metalai dirvožemyje.

Sunkiųjų metalų koncentracijų tyrimai pirmą kartą atlikti 1993 m. Aukštaitijos ir Dzūkijos KM stotyse, o 1994 m. Žemaitijos KMS. Tyrimai Aukštaitijos ir Žemaitijos KM stotyse antrą kartą pakartoti 2000 m.

Nustatytas Cu koncentracijų augimas iš eliuvinio į žilvinių horizontus. Jei viršutiniame horizonte šio metalo koncentracijos svyravo 1,17-2,27 mg/kg ribose tai apatiniuose horizontuose nuo 2,19 iki 4,92 mg/kg. Šio metalo kitimo amplitudės Žemaitijos KMS buvo didesnės nei Aukštaitijos KMS.

Pb koncentracijų kaitai dirvožemio profilyje buvo būdingos žymiai didesnės reikšmės. Skirtingai nei Cu koncentracijoms, didžiausi Pb kiekiai nustatyti paviršiniuose horizontuose, o leidžiantys profiliu gilyn, šio elemento koncentracija mažėjo nuo 8,22 iki 3,64 mg/kg Aukštaitijos KMS ir nuo 13,61 iki 4,61 mg/kg Žemaitijos KMS. Pastaruoju laikotarpiu statistiškai reikšmingas šio elemento koncentracijų augimas užregistruotas Aukštaitijoje (1993 m. – 1,0 mg/kg ir 2000 m. 4,35), Žemaitijos KMS Pb koncentracija dirvožemyje taip pat padidėjo, tačiau šis skirtumas yra nereikšmingas.

Cd koncentracijų kaita panaši KM stočių profiliuose. Aukštaitijoje šio elemento koncentracija dirvožemyje svyravo apie 0,03-0,04mg/kg, o Žemaitijos KMS – apie 0,03-0,06 mg/kg. Paskutiniaisiais metais užregistruotas statistiškai reikšmingas Cd kiekio dirvožemyje sumažėjimas.

Ni koncentracijos profiliuose neturi bendros tendencijos. Jei Aukštaitijos KMS viršutiniame horizonte šio elemento koncentracijos yra mažesnės nei gilesniuose, tai Žemaitijos KMS – atvirkščiai. Per tiriamąjį laikotarpį šio elemento koncentracijos turi tendencija didėti. Aukštaitijos KMS nuo 2,19 iki 6,97 mg/kg, Žemaitijos KMS nuo 2,59 iki 4,29 mg/kg.

Cr koncentracijos pastaruoju laikotarpiu KM stotyse siekia apie 8-9 mg/kg ir turi tendencija augti. Nuo tyrimų pradžios Aukštaitijos KMS Cr koncentracijos dirvožemyje padvigubėjo, o Žemaitijos KMS išaugo net 10 kartus.

Zn, kaip ir daugelio kitų tirtų sunkiųjų elementų koncentracijų augimas dirvožemyje buvo statistiškai reikšmingas Aukštaitijos KMS (nuo 3,8 iki 18,55 mg/kg) ir ne toks žymus Žemaitijos KMS (nuo 12,37 iki 18,69 mg/kg).

2010 m. dirvožemio pavyzdžiai yra surinkti. Atlikus jų cheminę analizę gauti rezultatai galėtų būti pateikti 2011 m. ataskaitoje.

3.5 Sunkieji metalai samanose

Atmosferos užterštumas labai priklauso nuo kritulių režimo. Metalų koncentracija ore sumažėja lyjant lietui. Tai rodo, kad priklausomai nuo kritulių režimo, žymi dalis teršalų gali būti išplauti Lietuvos teritorijoje. Kadangi kritulių kiekis pagrindiniuose Lietuvos regionuose skiriasi iš esmės, todėl šių teritorijų užterštumui sunkiaisiais metais tirti buvo panaudotos augalų kaupiamosios savybės. Aukštesnieji augalai sulaiko ore esančius sunkiuosius metalus. Tačiau į aukštesniųjų augalų audinius šie elementai patenka ir per šaknų sistemą iš dirvožemio. Todėl vien tik lapų ar spyglių cheminės sudėties analizė, neatsižvelgiant į sunkiųjų metalų koncentraciją dirvožemyje ir šių elementų paėmimo iš dirvožemio intensyvumą, negali patikimai informuoti apie aplinkos užterštumą sunkiaisiais metalais (Мэннинг, Федер, 1985).

Sunkiųjų metalų biomonitoringui plačiai naudojamos samanos. Jų biomasė miškų ekosistemose nėra didelė, tačiau jos funkcionuoja kaip aktyvus sluoksnis, laidus dideliame kiekiui dujų ir skysčių. Kai kuriuose miško tipuose aktyvus samanų paviršiaus plotas priartėja prie medyno lapijos paviršiaus ploto (Мартин, 1984). Skirtingai negu aukštesnieji augalai, jos neturi išvystytos šaknų sistemos ir yra nuolat žaliuojantys daugiamečiai augalai. Visus cheminius elementus šie žemesnieji augalai paima tiesiai iš oro su atmosferos krituliais. Dėl visų šių savybių samanos yra nepakeičiami oro taršos bioindikatoriai, kurie įgalina nustatyti priklausomybę tarp sunkiųjų metalų kiekio samanose ir šių metalų koncentracijos ore bei jų nusėdimo intensyvumo (Rühling and Tyler, 1969; Галвонайте, Шакалис, 1984; Мартин, 1984; Мартин, Мартин, 1987; Мэннинг, Федер, 1985).

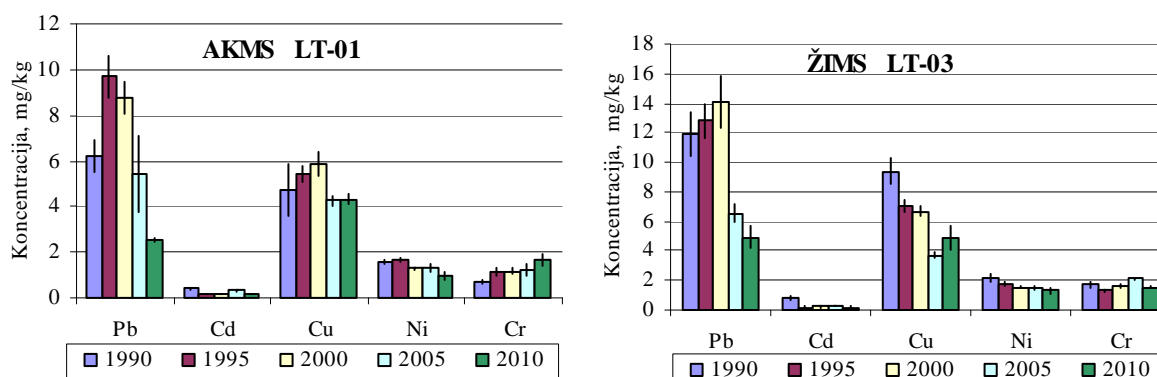
Lietuvos regionų užterštumo sunkiaisiais metalais tendencijoms išaiškinti, patikimiau remtis sunkiųjų metalų matavimo samanose duomenimis. Tokie tyrimai visoje Lietuvos teritorijoje LŽŪU ir Fizikos instituto mokslininkų pirmą kartą buvo atlikti 1990 m. 1992 m. LŽŪU mokslininkai šiuos tyrimus pakartojo Nacionalinių parkų pušynuose, o nuo 1995 Fizikos instituto mokslininkų sunkiųjų metalų tyrimai vykdomi reguliariai, kas 5 m. laikotarpi.

20 metų tyrimų rezultatai rodo, kad Lietuvos teritorijoje iš esmės sumažėjo sunkiųjų metalų koncentracijos samanose. 1990 m. nustatytos koncentracijos visų tirtų sunkiųjų metalų viršijo daugelio tirtų metalų vidutines koncentracijas ir 1995, 2000 ir 2010 m. Paskutiniuoju laikotarpiu (2000 – 2010) toliau iš esmės mažėja (virš 20%) Pb, Ni, Cu ir Fe koncentracijos samanose. Palaipsniškai didėjo tik Cr koncentracijos, o Zn ir Cromo svyravo savo kaitos intervale.

1 lentelė. Sunkiųjų metalų kaita samanose Lietuvos teritorijoje 1990-2010 m.

Metalas	Laikotarpis				Pokytis, %		
	1990	1995	2000	2010	1990-2000	1995-2000	2000-2010
Pb	9,90	11,40	8,54	3,73	-13,7	-25,1	-56,3
Ni	2,03	1,75	1,39	1,14	-31,5	-20,6	-18,0
Cu	7,10	5,99	6,54	4,63	-7,9	9,2	-29,2
Cr	1,41	1,34	1,29	1,60	-8,5	-3,7	+24,0
Cd	1,24	0,19	0,15	0,17	-87,9	-21,9	+13,3
V	4,53	4,53	3,43		-24,3	-24,3	
As		0,44	0,33			-25,0	
Zn	100,8	40,20	34,50	49,00	-65,8	-14,2	+42,0
Fe	1720,0	596,0	636,0	176,7	-63,0	6,7	-72,2
Hg		0,08	0,09			13,7	

Cheminių analizių tyrimai KMS teritorijose bei jų apylinkėse parodė (3.21 pav.), kad 1990-2010 m. laikotarpiu iš esmės mažėjo Pb, Cu ir Ni koncentracijos ir iš dalies Cd. Tik Cr koncentracijų kaitoje pastebima didėjimo tendencija, ypač Aukštaitijos KMS.



3.21 pav. Pagrindinių sunkiųjų metalų koncentracijos samanose 1990-2010 m. laikotarpiu.

Tačiau tokius tyrimų rezultatus galėjo sąlygoti tai, kad šių metalų kaitai nustatyti panaudoti ne KMS teritorijose, o jų artimiausių rajonų samanų užterštumo sunkiaisiais metalais duomenys. Dėl šios priežasties naujoje Valstybinėje aplinkos monitoringo programoje, numatyta šiuos tyrimus reguliariai vykdyti KMS teritorijose.

IŠVADA

Cheminių analizių tyrimai KMS teritorijose bei jų apylinkėse parodė, kad 1990-2010 m. laikotarpiu iš esmės mažėjo Pb, Cu ir Ni koncentracijos ir iš dalies Cd. Tik Cr koncentracijų kaitoje pastebima didėjimo tendencija, ypač Aukštaitijos KMS.

Žemaitijos KMS yra labiau teršiama sunkiaisiais metalais negu Aukštaitijos KMS, ką patvirtina ir oro bei kritulių sunkiųjų metalų tyrimo rezultatai.

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. Милукаите (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. Милукаите. 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.

3.6 Trace metal budgets for forested catchments in Europe

Lage Bringmark¹, Lars Lundin¹, Mike Hutchins², Helga Dieffenbach-Fries³, Buckard Beudert⁴, Maria-Theresia Grabner⁵, Tuija Ruoho-Airola⁶, Iraidia Lyulko⁷, Milan Vana⁸, Pavel Kram⁹ and Algirdas Augustaitis¹⁰

¹Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Aquatic Sciences and Assessment, P.O. Box 7050, SE-750 07 Uppsala, Sweden

²Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, UK

³Federal Environment Agency, Langen, Germany

⁴Nationalpark Bayerischer Wald, Spiegelau, Germany

⁵Federal Environment Agency, Vienna, Austria

⁶Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland

⁷Latvian Environment, Geological and Meteorological Agency, Riga, Latvia

⁸Czech Hydrometeorological Institute, Kosetice, Czech Republic

⁹Czech Geological Survey, Prague, Czech Republic

¹⁰Lithuanian University of Agriculture, Kaunas, Lithuania

Keywords: Lead, Cadmium, Mercury, Forest catchment, Deposition, Litterfall, Streamflow, Accumulation, Europe

Abstract

Concentration and input/output budgets for cadmium (Cd), lead (Pb) and mercury (Hg) in the years 1996-2008 were calculated for 15 small forest covered catchments across Europe in the Integrated Monitoring (IM) program of long-range pollutants in forests. Inputs were derived from bulk deposition, throughfall and litterfall. Outputs were estimated from run-off values. Litterfall plus throughfall is taken as a measure of total deposition (wet + dry), assuming internal circulation as negligible. Excluding a few sites with high discharge, metals were accumulating in catchments with average retention of Pb at 83% and Cd at 70%. Two Central European mountain sites with high water discharge showed the greatest losses of Pb ($>0.9 \text{ mg m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) and Cd ($>0.17 \text{ mg m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$). All other sites had outputs below 0.3 and $0.04 \text{ mg m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ for the two metals. Almost complete retention of Hg, 90-

97% of input, was reported from Swedish sites. The ongoing metal retention takes place even in the recent situation of much reduced pollution loads.

Introduction

Metals have accumulated in soils and catchments over long time periods and the accumulation has partly resulted in unnaturally high metal levels at many sites. Elevated metal concentrations could exert negative influences on biological systems in soils as well as in downstream systems along hydrologic pathways within and out from the catchments (Johansson et al 2001). Metal stored in soils should be seen in relation to a history of much higher pollution loads in earlier decades (Rühling and Tyler 2001, EMEP 2004, Harmens et al 2008). Deposition of lead (Pb) has been reduced by 85% since 1980, cadmium (Cd) by 75% and mercury (Hg) by 70% according to moss surveys in Sweden. Relocation of metals, such as Pb and Cd, from the humus layers to the upper mineral soil and further in the catchments has been described from sites in the Swedish monitoring program (Eriksson 2002) and other areas. However, net loss of metals seldom or never occurs on the catchment scale. The aim of the present study is to assess to what degree metals are accumulating in European forested catchments in the recent one and a half decades. A few noteworthy cases of large metal outflows are presented.

Catchment monitoring with well-defined input and output are very informative with regards to development of pollution loads on ecosystems. Such investigations are costly but the cooperative program on Integrated Monitoring (IM) in Europe gives us the unique opportunity of a European scale comparison of sites at different pollution loads and climates. This program is part of the family of six environmental monitoring and modelling programs initiated to support the work of the UN Convention on Long-range Air Pollution, CLRTAP. These are all international cooperative programs involving a large number of national efforts. Pb, Cd and Hg are toxic metals that were pinpointed as components of the long-range atmospheric pollutants of concern in the Convention. The concept of Critical Load has been developed the sum up results of the environmental monitoring and modelling in terms of pollution loads that do not harm ecosystems. Measuring exceedances of these loads are an important part of the activities.

Methods

The Integrated Monitoring program carries out determinations of relevant fluxes and compartments in small un-managed forested catchments in order to make budgets and balances for the elements. The methods are set out in the Manual for Integrated Monitoring (1998). Good assessment of atmospheric input to the catchment area and output by stream water is a basic idea. Principal processes involving metals are demonstrated in Figure 1. Bulk deposition (BD), (wet+gravitational

dry) was collected, usually monthly, in treeless locations by one or two funnel collectors. At sites with regular winter conditions there were adjustments for snow-collection in wintertime. A larger number of funnel collectors were used for spatially representative throughfall (TF) sampling under the tree canopies within the catchments, again with provisions for winter sampling when necessary. Sampling frequency was usually once per month. Litterfall (LF) was sampled in mesh sacks or funnel type collectors of defined area with rough sampling also in wintertime. Runoff (RW) was collected, often fortnightly, in the outlet streams at weirs with continuous recording of the water flow. Complicated hydrologic pathways at the site AT01 called for a special approach (see site description). Measurements at Swedish sites are thoroughly described in Lundin et al (this issue).

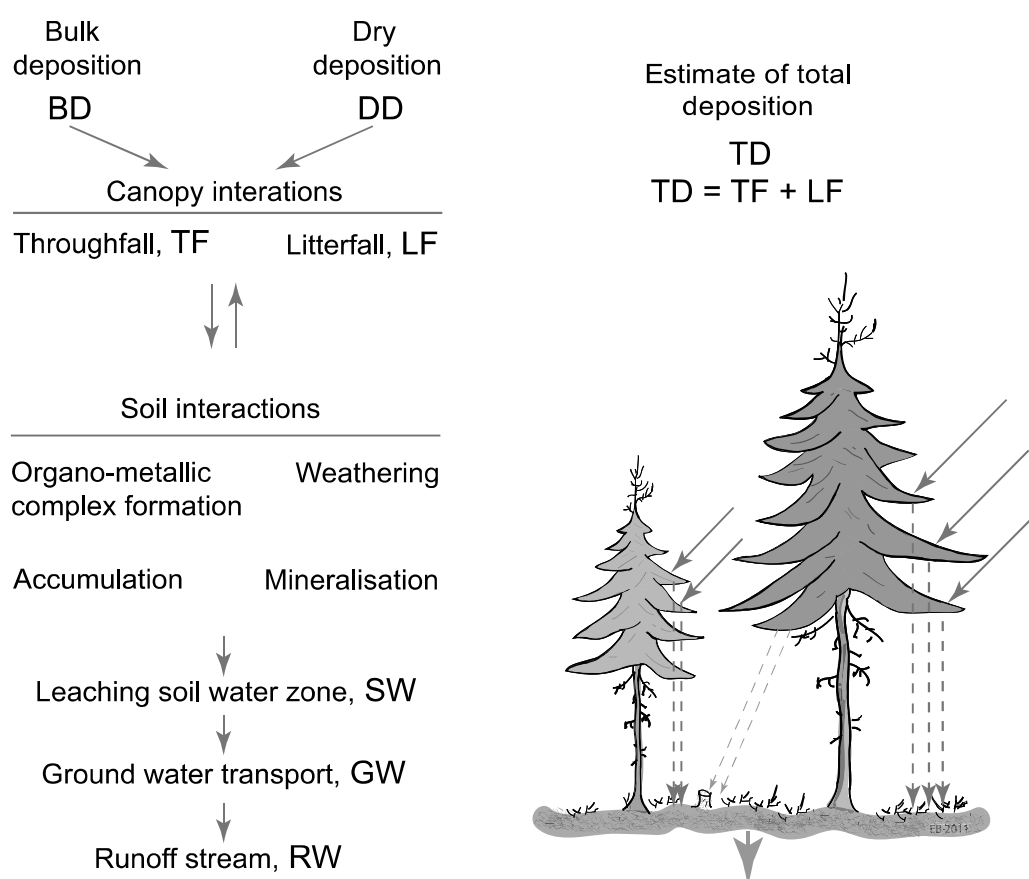


Figure 1. Processes involving metals in forest catchment.

The fine litter fraction (<5mm) was measured. Coarse debris such as stems and large branches were excluded. The fine litter is the most relevant fraction for obtaining a measure associated with the capture of pollutants. Litterfall flux of metals was only available for a few sites.

Results used in this study have been retrieved from the central database of the international IM program at the Finnish Environment Institute in Helsinki. Measurements of heavy metals are optional in the program, which means that the data is heterogeneous in terms of reported sites, metals, subprograms and years. Only Swedish sites are reporting Hg to a greater extent. Results covering a whole or several years from 1996 to 2008 have been utilised. In most cases metals were reported for a number of years. It was necessary to have matching data on water flow and quantities of litterfall to combine with concentrations for flux calculations.

Large numbers of values below detection limits did seriously limit usability of data especially for Cd. The Manual has provisions for data quality assurance of special importance in trace metal studies. Clean procedures for aqueous samples used for Hg determinations were rigorous.

Site descriptions

In the assessment, 15 sites from eight countries are included but information on heavy metals in different compartments varies. National codes of contributing countries are explained in Table 1. The sites are all small hydrologic catchments, which usually have with well-defined borders of the watersheds. Forests are dominating the land cover to various extents and at one site, GB 01 mainly shrubs and grass exist (Table 1). Forest management is in most cases avoided to allow natural development of the stands as part of nature protection. Altitudes include near sea level to mountain locations up to 950 meters. There is a range of annual precipitation from 590 to 1650 mm, the former in an eastern location and the latter at high altitude.

Table 1. Site description of IM sites included. Nation code: AT-Austria, CZ-Czech republic, DE-Germany, FI-Finland, GB-United Kingdom, LV-Latvia and SE-Sweden. Land covers are usually forest types, T: long-term annual mean temperature, P: long-term annual mean precipitation.

IM site	Land cover	Area, km²	Altitude, m	T, °C	P, mm
AT 01	Mixed mountain forest, beech dom.	0.90	550 - 950	+ 7	1650
CZ 01	Coniferous forest dom. 91%	2.68	464 - 633	+ 7	621
CZ 02	Spruce 75% over 20 y. 30% young	0.27	829 - 949	+ 5	953
DE 01	Mixed mountain forest, forest 65%	0.69	787 -1292	+ 6	1630
FI 01	66% Forest, spruce dom.	0.30	150 - 190	+ 3	618
FI 03	Forest, pine dom.	4.64	165 - 214	+ 2	592
GB 01	Heather and fescue grassland	9.98	225 -1111	+ 6	1000
LT 01	Coniferous forest, pine spruce	1.02	159 - 189	+ 6	682
LT 03	Coniferous forest, pine spruce	1.47	147 - 180	+ 6	788
LV 01	Mixed forest, pine, birch, spruce	6.65	6 - 16	+ 6	772
LV 02	Mixed mesic coniferous forest	0.27	184 - 192	+ 5	727

SE 04	Mixed mesic coniferous forest	0.04	114 - 140	+ 7	1143
SE 14	Mixed mesic coniferous forest	0.20	210 - 240	+ 6	712
SE 15	Mesic coniferous forest, spruce dom.	0.20	312 - 15	+ 4	900
SE 16	Spruce and pine forests	0.45	410 - 545	+ 1	750

Site conditions for catchments areas vary from sorted sediments on sedimentary bedrock over morainic landscapes on igneous bedrock to sites with substantial catchment subareas being peatlands and lakes. Mineral soils dominate but in the UK and Finland there are to a large extent peaty soils. The underlying bedrock is mainly granite. However, in Latvia the underlying bedrock is found at great depth and is mainly made up by sedimentary rocks, e.g. sandstone and limestone. Above the bedrock fairly deep layers (3.5 – 8.5 m) of mainly fine sand prevail. Karstic conditions exist in Austria, where the dolomite and limestone furnish complicated water flows. At this site, an appropriate water runoff was calculated with observed hydrological balances from a catchment area extending beyond the original site and thereby having a better control of the hydrology. Ideally, the catchment provides excellent and controlled conditions by a well-defined water divide and output only in one streamwater section.

Results

Deposition and litterfall

Bulk deposition of the long-range pollutant Pb in the years measured at the different sites during 1996-2007 was in the range 0.6-2.8 mg m⁻² a⁻¹ (Table 2).

Table 2. Flows of lead (Pb) and cadmium (Cd) in bulk deposition (BD), throughfall (TF) and stream water (runoff-RW) at ICP IM sites for one or more years during 1996-2008 (mg.m².a⁻¹).

IM site	Lead, Pb, mg.m ⁻² .a ⁻¹				Cadmium, Cd, mg.m ⁻² .a ⁻¹			
	BD	TF	LF	RW	BD	TF	LF	RW
SE16, Gammtratten	0.77	0.71	0.46	0.10	0.031	0.031	0.025	0.008
SE 15, Kindla	1.22	1.06	0.92	0.20	0.051	0.039	0.027	0.031
SE14, Aneboda	0.76	1.08	1.23	0.29	0.027	0.039	0.064	0.012
FI03, Hietajärvi	0.57		0.53	0.04	0.020			
FI01, Valkea-Kotinen	0.65			0.12	0.024			0.004
LV02, Zoseni	1.01	0.91		0.06	0.073	0.14		0.005
LV01, Rucava	1.90	1.76		0.11	0.153	0.22		0.021
LT01 Aukstatija			0.86	0.09			0.054	0.006
LT03 Zematija			1.94	0.24			0.050	0.014
CZ02, Lysina	0.62	0.67		0.88	0.042	0.037		0.168
CZ01, Anenske Povodi	2.83	1.34		0.07	0.12	0.080		0.010
DE01, Forellenbach	1.26	1.69	1.44	1.42	0.26	0.17	0.11	0.310

AT01, Zöbelboden, beech	1.09	0.73	0.31	0.043	0.035	< 0.02
AT01, Zöbelboden, spruce	1.09	1.73	0.31	0.043	0.087	< 0.02

* SE bulk deposition from one single year

The extreme values were found for the Czech sites with a high number at the lowland site and a low number at the highland site. Pb deposition by TF and LF were both often of about the same magnitude as BD, hence the combined TF+LF was several times higher than BD. In the Baltic region some sites (LV01, LT03) displayed rather high loads of Pb by either BD, TF or LF.

Otherwise no regional patterns were evident in our limited selection of sites. It is possible that such patterns are less evident in a decade of much reduced pollution loads.

The total range was found to be 0.03-0.26 mg·m⁻²·a⁻¹ for Cd in bulk deposition. Relatively elevated deposition of Cd was observed in both BD and TF at the high altitude site DE01 (Table 2). Cd by TF was in some cases similar to BD, in others higher. On the other hand, the few values for Cd in LF were either similar to BD or much lower. Cd can be expected to follow wet pathways to larger extent than Pb.

The range of bulk deposition for Cu was 0.13-3.6 mg·m⁻²·a⁻¹ and for Zn 2-18 mg·m⁻²·a⁻¹. No regional gradients were expected as these metals are not considered to be long-range pollutants. TF was either similar to BD or enriched to a large extent.

Metals in stream flow

Annual water discharges varied too greatly between the sites. This was of consequence for metal transports. High mountain sites subject to high amounts of precipitation and low evapotranspiration had annual water discharges between 800 to 1400 mm irrespective of a land cover of grassland or forest (AT01, DE01, and GB01). East European lowland sites in continental conditions of rather low precipitation had annual stream water discharges of only 50-200 mm (sites CZ01, FI01, FI03, LV01, LV02, LT01, LT01, and LT03). Swedish sites of the study and the Czech highland site CZ02 were intermediary with annual stream water flows between 280-520 mm. The very contrasting stream flow characteristics of adjacent sites in the Bohemian Massif was described by Kram et al (2008), the site DE01 having a water discharge of 990 mm, CZ02 480 mm and CZ01 in the lowland merely 57 mm during the years of the metal study.

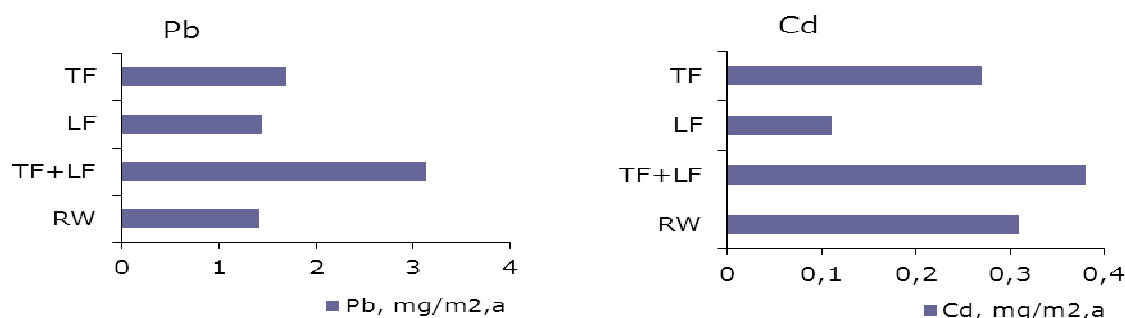


Figure 2. Lead and cadmium balances for the DE 01 catchment including throughfall, TF, litterfall, LF and runoff, RW. The sum of TF+LF also presented. Note different x-axis scales

The general range of stream water flux for Pb was found to be $0.04\text{--}0.3\text{ mg m}^{-2}\text{ a}^{-1}$ with two exceptional sites, CZ02 and DE01 at high elevation at the Czech-German border, reaching 0.9 and $1.4\text{ mg m}^{-2}\text{ a}^{-1}$ (Table 2). In the time period of our investigation, 1996-2008, Pb was retained in the catchments to a degree of 70-95% of input via TF. The sites CZ02 and DE01 deviated from this, CZ02 even having larger outflow than TF. However, TF + LF, measured at DE01, was clearly larger than runoff even in that case (Fig. 2). CZ02 experienced a storm flow event while DE01 was recovering from an earlier massive bark beetle attack, which might have affected the metal budgets. At the Finnish site FI03 and the two northern sites in Sweden runoff transport of Pb was very low. A somewhat larger export occurred at the South Swedish site SE14 (Fig. 3), where the organic content was rather high (Löfgren et al., this issue).

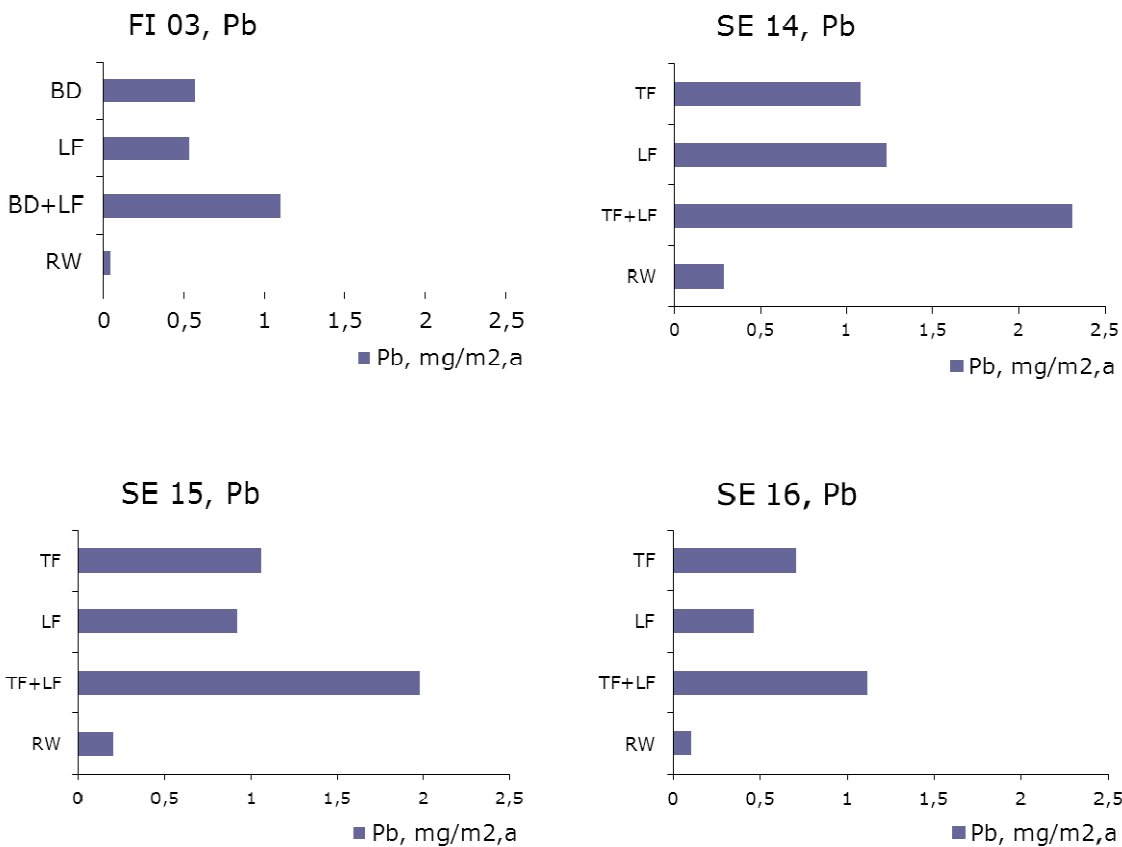


Figure 3. Lead balances for the Finnish FI 03 catchment (note; BD instead of TF) and the three Swedish catchments SE 14, SE15 and SE 16 with throughfall, TF, litterfall, LF and runoff, RW included. TF+LF is also presented.

The range of Cd-flux at eight sites was 0.004-0.03 mg·m⁻²·a⁻¹ irrespective of differences in water discharge (Table 2). Effluxes were low at FI01 and LV02 in the east and somewhat higher at SE15 and LV01. Deviating from this was the high exports at CZ02 and DE01 (Figure 2). Generally, the flux balances for Cd showed retention of 21-95% in relation to input by BD or TF (Table 2, Fig. 4).

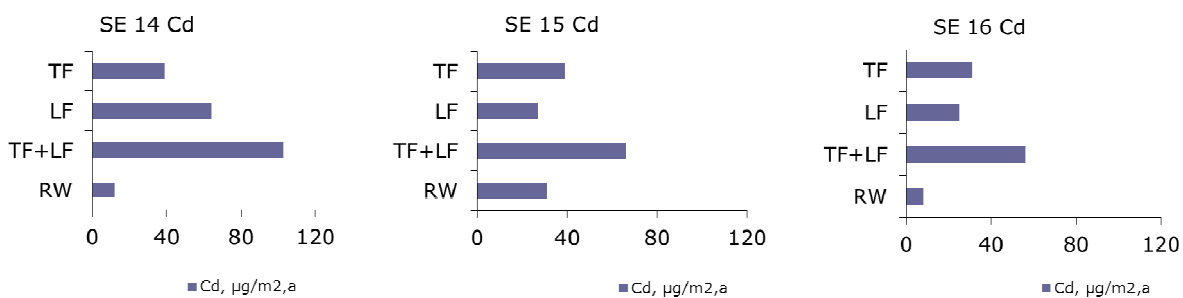


Figure 4. Cadmium balances for the three Swedish catchments SE 14, SE 15 and SE 16 including throughfall, TF, litterfall, LF and runoff, RW. TF+LF is also presented.

Cu displayed large variation in the exports with a range of 0.05 to 0.4 mg·m⁻²·a⁻¹ and a very large outflow from the British moorland site, GB01 (Table 3). Except for the latter site retention to various degrees was commonplace, 81-97%, compared to TF. For Zn, large transports by runoff occurred at CZ02 and GB01 (Table 3), otherwise the range was 0.4-3 mg·m⁻²·a⁻¹.

Table 3. Flows of copper (Cu) and zink (Zn) in bulk deposition (BD), throughfall (TF) and stream water (runoff-RW) at ICP IM sites for one or more years during 1996-2008 (mg·m²·a⁻¹).

IM site	Tree specie	Copper, Cu (mg. m ⁻² ·a ⁻¹)				Zink, Zn (mg. m ⁻² ·a ⁻¹)			
		BD*	TF	LF	RW	BD	TF	LF	RW
SE16, Gammtratten	spruce	1.22	1.06	0.44	0.09	9.81	9.6	12.2	1.1
SE 15, Kindla	spruce	0.68	1.86	0.59	0.10	5.6	11.0	11	3.2
SE14, Aneboda	spruce	0.87	1.50	1.28	0.20	5.3	14.9	22.4	1.4
FI03, Hietajärvi	pine	0.54	1.43		0.05	1.9	8.3		0.31
FI01, Valkea-Kotinen	spruce	0.55	2.12		0.06	2.46	14.1		2.7
LV02, Zoseni	pine	1.78	3.18		0.13	18.3	16.1		1.42
LV01, Rucava	pine	1.94	2.29		0.43	17.2	21.7		3.0
LT01, Aukstatija	pine			0.84	0.20			19.5	1.5
LT03, Zematija				1.23	0.41			16.3	2.8
CZ01, AnenskePovodi	spruce	0.13	0.09		0.10	10.4	12.1		0.40
GB01, Allta'Mharcaidh	grass	3.6			0.95	17.7			5.7

* SE bulk deposition from one single year

Mercury at Swedish sites

Hg was measured at Swedish sites during two special campaign years. Additional years of Hg measurements were added for litterfall and streamwater. The results are shown in Fig. 5.

Numerically the values were as follows for SE04, SE14, SE15 and SE 16, respectively:

For BD: 7, 6, 5 and 2.4 µg·m⁻²·a⁻¹. For TF: 16, 18, 12, and 8.2 µg·m⁻²·a⁻¹. For LF: 49, 24, 12 and 8.1 µg·m⁻²·a⁻¹. For RW: 2.0, 1.9, 1.7 and 1.7 µg·m⁻²·a⁻¹. There was a pronounced enrichment in TF and LF compared to BD. There are north-south gradients for deposition and litterfall but no such gradient for runoff amounts, which were remarkably similar. The degree of retention in the catchments was 70-95% in relation to combined input by TF+LF.

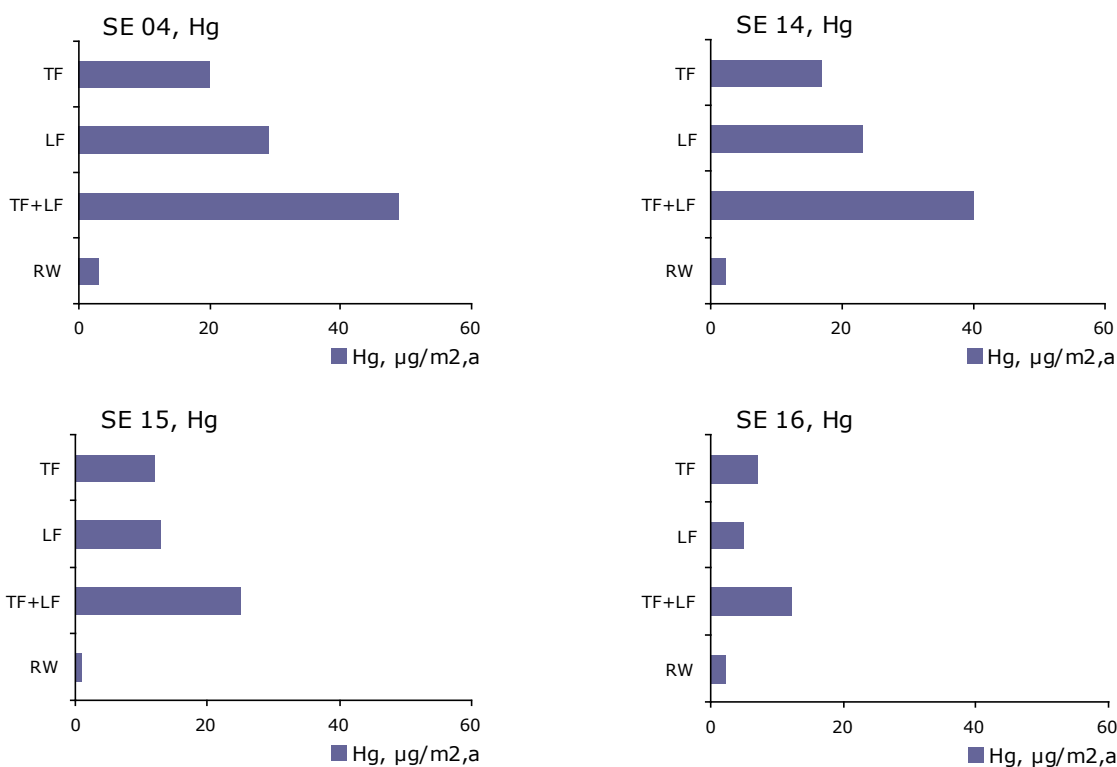


Figure 5. Mercury balances for the four Swedish catchments SE 04, SE 14, SE15 and SE 16 with throughfall, TF, litterfall, LF and runoff, RW. TF+LF is also presented.

Discussion

Metal deposition to forest ecosystems

Total deposition of metals has a wet and a dry component (Fig. 1), the latter mainly consisting of particle capture. In open field situations this equals gravimetric bulk deposition while there is a substantially larger interception in forest. We are of the opinion that the combined metal input by throughfall and litterfall can be used as a rough estimate of total deposition, at least in situations of high air pollution. This is valid with the assumption that uptake from the soil by trees and the internal circulation are negligible. There is evidence of barriers in roots against the uptake of toxic metals such as Hg (Godbold 1994, Grigal 2003). Transport of Hg by way of the xylem sap has been shown to be small compared to the deposition by litterfall (Bishop et al 1998). ***For Pb, an isotope study in a forest ecosystem has shown that root uptake is only about one tenth of wet deposition*** (Klaminder et al 2005). Its share of total deposition would be even less. ***Conclusions from metal budgets on soil-plant systems have indicated a larger plant uptake of Pb, Cd and other metals from the soil, which is a logical consequence of lower input estimates*** (Bergkvist 1987, Ukonmaanaho et al 2001). One way that total deposition has been assessed is to use the easily

determined dry deposition to bulk deposition ratios of Na to represent the same ratios for other elements. Then it has to be assumed that heavy metal particles are captured in similar ways as Na salts. By this application, used for Finnish IM sites by Ukonmaanaho et al (2001), external input was calculated to be less than TF +LF. There certainly are components of internal flux in LF and TF leading to an over-estimation of total deposition, but at least for Hg and Pb it is a realistic deposition estimate.

Ratios of LF/TF amounted approximately to 1 for the fluxes of Pb and Cd at Swedish sites but decreased to 0.7 and 0.3 respectively at DE01, the German site (Table 2). The density of forests has a direct influence on litterfall and throughfall. High amounts of precipitation at DE01 (Table 1) had favoured the wet TF pathway over LF. Also the tree species affect element capture. *Deciduous trees, with autumn shedding of leaves, yield much lower total annual metal deposition than evergreen coniferous trees to the soil.* This was demonstrated by TF of Pb and Cd for beech and spruce (Table 2). LF/TF ratios for Hg at Swedish sites varied within the range 1 to 3 with the dry LF pathway favoured at higher pollution loads in the South.

Deposition calculated as the sum of flows in TF and LF was several times higher than incoming bulk deposition, BD (Tables 2 and 3). This was the case for Pb, Cd, Cu and Zn in the Swedish and the one German site in which LF was measured. *The importance of the forest cover for metal deposition is great.* For Hg at the Swedish sites the total deposition by TF+LF was 9, 7, 5 and 7 times higher than BD at SE04, SE14, SE15 and SE16 respectively, i.e. the capture of Hg in the tree canopies was extremely large for this element. *The total atmospheric input is relevant for the formation and fate of large metal stores in the soil.* Unfortunately, LF could only be reported for a few sites, so in most cases TF or BD had to be used as measures of input to the IM sites in our survey.

It is of interest to compare the deposition determined at IM sites with official estimates by EMEP, the UN program for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe. EMEP has a model based mapping procedure for deposition, which is driven by a massive input of spatially defined data on meteorological and geophysical conditions and on metal emissions. *The estimated Pb deposition for the year 2000 amounted to 0.5-1 mg·m⁻² in large parts of Europe with levels in Central Europe reaching up to 5 mg·m⁻²* (EMEP 2004). Such values correspond to the bulk deposition we obtained at IM sites (Table 2). *The deposition levels for Pb seemed to remain about the same in 2008* (EMEP 2010). The BD and TF values at IM sites were in

the same range as EMEP values for Pb (Table 2), but combined TF+LF fluxes were higher. This is of importance when considering the exceedance of critical loads.

The general range of total deposition of Cd estimated by EMEP in year 2008 was 0.05-0.05 mg·m⁻² but with much higher values in some areas (EMEP 2010). For Hg the estimate was 0.007-0.015 mg·m⁻² in a gradient from north to south in Scandinavia and Germany while levels were higher in other parts of Europe. Our assessments of TF+LF in Swedish forest sites were clearly larger than EMEP estimates (Fig. 5).

High altitude locations are especially exposed to deposition of pollutants. The humus layer of DE01, which is a location in mountains of Central Europe, had received a very high Pb content, 260 µg·g⁻¹, at high altitudes, with concentrations decreasing downslope. This is an indication of historically large deposition due to altitude. But, the current deposition values were not exceptional. An altitude gradient of humus layer Pb was also experienced in the rather steep topography of the site SE15 Kindla (Eriksson 2002), which had relatively large deposition of Pb in bulk deposition (Table 2).

Catchment balances

In deducing the input/output balances for Pb and Cd from input and output data (Table 3, Figures 1, 2, 3 and 4), it is evident that the major population of sites has effective retention with a few remarkable exceptions. Disregarding DE01 and CZ02, the average outflow for the other sites was 17 and 30% of the input by throughfall (TF) for Pb and Cd respectively. It should be borne in mind that TF is only a part of the total deposition. Cd is considered more mobile than Pb in soils. Cd occurs more in the solution phase and is subject to cation exchange, while Pb is tightly bound to the soil organic material and dependent on its mobility. Observations of a very effective retention of Pb and Cd has been made in numerous catchment studies, often with the addition that Pb is retained to a larger degree than Cd (Lindberg and Turner 1988, Aastrup et al 1995, Ukonmaanaho et al 2001, Minarik et al 2003, Watmough and Dillon 2007). The period of our study is one of dramatically lowered pollution loads, but pronounced retention is still a general condition. Stores of Pb and Cd are still building up in the soils when viewed on the catchment scale. Model calculations involving soil processes in catchments in semi-natural moorlands have demonstrated that the time scale for change of loosely sorbed Cd and Zn may involve decades to centuries while time scales for Pb might be centuries to millennia (Tipping et al 2006). This does not mean that there is no improvement. Relocation in soils of Pb, Cd and others has been reported in many cases (Fridland et

al 1992, Bergkvist 2001, Eriksson 2002, Watmough et al 2004, Johnson and Richter 2010, Kobler et al 2010). In combination with lowered deposition this takes the metal burden off the biologically important topsoils. The outflow to aquatic recipients may also decrease (Watmough and Dillon 2007).

Scandinavian sites showed somewhat less retention of Cd and Pb than the extreme retention at some eastern European sites, notably LV01, LV02 and CZ01. This is associated with the very small water discharge for these sites. Of the sites with very large water discharge, notably the mountain sites AT01 and DE01, the German site had great losses of Pb and Cd, about equal to the input by throughfall (Table 2, Fig. 2). Deposition calculated as TF + LF exceeded outflow even at DE01. For AT01 it is another story due to complicated soil conditions and irregular hydrologic flow paths within limestone bedrock (Kobler et al 2010). Metals are less mobile at the less acid soil conditions and alkaline bedrock of this site. CZ02, another mountain site, had one year of large water discharge that had consequences for the Cd outflow.

The site SE15 displayed larger Cd losses by runoff than other Fennoscandian sites in spite of similar soils of acid character. In this case shallow soils and rapid through-flow contribute to a high proportion of runoff.

Hg is especially strongly bound to organic material in soil and transports are tightly governed by movement of the organic material. For this metal it is especially justified to take TF + LF as measure of the input. Input and output data for Swedish IM sites (Fig. 5) then yielded the result that outflow is 3-10% of the input. Similar results have been reported from other Fennoscandian sites with LF used as input parameter (Lee et al 1998). Larssen et al (2008) reported somewhat lower retention, which can be attributed to relatively low Hg deposition and shallow soils at that site. For the Swedish sites runoff of Hg is almost the same for all sites at 1.7 to $2.0 \mu\text{g m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ showing no relation to the deposition.

In Larssen et al (2008) some of the uncertainties in catchment studies are discussed. Chemical analysis and the usually well-defined output by stream discharge are considered less of a problem than up-scaling from deposition and terrestrial point measurements to the catchment scale. However, annual differences in amounts of runoff are sometimes large. The degree of forest cover

under which LF and TF occur is important and delineation of catchment areas are crucial. However, the results on metal retention presented in this paper are very pronounced and should in principle be correct in spite of uncertainties.

In the CLRTAP protocol, the priority heavy metals are Pb, Cd and Hg as highly toxic long-range pollutants. A number of other metals could be considered even though not regarded as the most hazardous pollutants. Cu and Zn could be included here although they may mainly constitute local problems. Comparison of outflow in streams with TF or BD shows that outflow was much smaller (10%) than input even for these metals (Table 3). The sites DE01 and CZ02 were exceptions to the general pattern as shown for Zn with output not too different from input by TF, while Cu was not determined at these sites. SE15 had a locally enhanced probably soil acidity driven output of Zn similar to that of Cd due to shallow soils. The British grassland site GB01 on peaty soils and the Latvian site LV 01 had rather large Cu flows (25% of input). Also the Swedish IM site SE 15 reached comparably high output with c. 25%. In this case shallow soils and rapid through-flow in the soils contributed to a high proportion of runoff.

References

- Aastrup, M., Iverfeldt, Å., Bringmark, L., Kvarnäs, H., Thunholm, B. and Hultberg, H. 1995. Monitoring of heavy metals in protected forest catchments in Sweden. *Water, Air and Soil Pollution* 85, 755-760.
- Bergkvist, B. 1987. Soil solution chemistry and metal budgets of spruce forest ecosystems in S. Sweden. *Water, Air and Soil Pollution* 33, 131-154.
- Bergkvist, B. 2001. Changes of lead and cadmium pools of Swedish forest soils. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 1: 371-383.
- Bishop, K., Lee, Y.-H., Munthe J., Dambrine, E. 1998. Xylem sap as a pathway for total mercury and methylmercury transport from soils to tree canopy in the boreal forest. *Biogeochemistry* 40: 101-113
- Eriksson, J. 2002. Concentrations of cadmium, lead and mercury in different soils in two Swedish forest catchments. *Scand. J. For. Research* 17:436:445.
- EMEP 2004. EMEP Assessment Part 1, European Perspective. In: Lövblad, G., Tarrason, L., Törseth, K. and Dutchak, S. (eds.). Norwegian Meteorological Institute. 180 pp.
- EMEP 2010. Heavy Metals: Transboundary Pollution of the Environment. EMEP Status Report 2/2010. Meteorological Synthesizing Centre-East, Moscow, Russia.
- Fridland, A.J., Craig B.W., Miller E. K., Herrick G.T., Siccama T.G., Johnson A.H. 1992. Decreasing lead levels in forest floor of northeastern USA. *Ambio* 21: 400-403.
- Godbold, D.L. 1994. Mercury in forest ecosystems: risk and research needs. In: Watras CJ & Huckabee JW. *Mercury Pollution, Integration and Synthesis*. p295-303.
- Grigal, D.F. 2002. Mercury sequestration in forests and peatlands: a review. *J. Environ. Qual.* 32:393-405.
- Harmens, H., Norris, D. et al. 2008. Spatial and temporal trends in heavy metals accumulation in mosses in Europe 1990-2005. Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, UK. 52pp.
- Johansson, K., Bergbäck, B., Tyler, G. 2001. Impact of atmospheric long-range transport of lead, mercury and cadmium on the Swedish forest environment. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 1: 279-297.
- Johnson, A. H. and Richter, S. L. 2010. Organic horizon lead, copper and zinc contents of Mid-Atlantic forest soils 1978-2004. *Soil Science Society of America Journal* 74 (3): 1001-1009.

- Kram, P., Beudert, B., Cervenkova, J., Cech J., vana M., Fottova, D. and Diffenbach-Fries, H. 2008. Daily streamwater runoff characteristics of three ICP IM catchments (CZ01, CZ02 DE01) in the Bohemian Massif. *The Finnish Environment* 28, 39-47.
- Klaminder, J., Bindler, R., Emteryd, O., Rehnberg, I. 2005. Uptake and recycling of lead by boreal forest plants: Quantitative estimates from a site in northern Sweden. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 69 (10) 2485-2496.
- Kobler, J., Fitz, W.J., Dirnböck, T., Mirtl, M. 2010. Soil type affects migration pattern of airborne Pb and Cd under a spruce-beech forest of UN-ECE integrated monitoring site Zöbelboden, Austria. *Environmental Pollution* 158, 849-854.
- Larssen, T., de Wit, H., Wiker, M., Halse, K. 2008. Mercury budget of a small forested boreal catchment in southeast Norway. *The Science of the Total Environment* 404, 290-296.
- Lee, Y.H., Bishop, K.H., Munthe, J., Iverfeldt, Å., Verta, M., Parkman, H. Hultberg, H. 1998. An examination of current Hg deposition and export in Fennoscandian catchments. *Biogeochemistry* 40: 125-135.
- Lindberg, S. E. and Turner R R. 1988. Factors influencing atmospheric deposition, stream export and landscape accumulation of trace metals in forested watersheds. *Water, Air and Soil Pollution* 39, 123-156.
- Löfgren, S., Aastrup, M., Bringmark, L., Hultberg, H., Lewin-Pihlblad, L., Lundin, L., Pihl-Karlsson, G. Thunholm, B. (this issue) Recovery from acidification in soil water, groundwater and surface water at the Swedish integrated monitoring sites. *Ambio* this issue.
- Lundin, L., Karlsson, P.-E., Pihl Karlsson, G., Bringmark, L. (this issue). External inputs and internal cycling of nutrients at the Swedish integrated monitoring sites. *Ambio* this issue.
- Manual for Integrated Monitoring. 1998. ICP IM Programme Centre. Finnish Environment Institute. Helsinki.
- Minarik, L., Skrivan, P., Novak, J.K., Fottova, D., Navratil, T. 2003. Distribution, cycling and Impact of selected inorganic contaminants in ecosystem of the Lesni potok catchment, the Czek Republic. 2003. *Ekologia Bratislava* 22(3), 305-323.
- Rühling, Å. and Tyler, G. 2001. Changes in atmospheric deposition rates of heavy metals in Sweden. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 1: 311-323.
- Tipping, E., Lawlor, A.J., Lofts, S., Shotbolt, L. 2006. Simulating the long-term chemistry of an upland UK catchment: Heavy metals. *Environmental Pollution* 141(1), 139-150.
- Ukonmaanaho, L., Starr, M., Mannio, J. and Ruoho-Airola, T. 2001. Heavy metal budgets for two headwater forested catchments in background areas of Finland. *Environmental Pollution* 114, 63-75.
- Watmough, S.A., Hutchinson, T.C., and Dillon, P.J. 2004. Lead dynamics in the forest floor and mineral soil in south-central Ontario. *Biogeochemistry* 71: 43-68.
- Watmough, S.A. and Dillon .P.J. 2007. Lead biogeochemistry in a central Ontario forested watershed. *Biogeochemistry* 84(2). 143-159.

3.7. 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.

Analizuojant 2007 ir 2008 metų benz(a)pireno ir sunkiųjų metalų koncentracijos duomenis Aukštaitijos IMS atmosferos ore buvo stebima ryški sezoninė eigą. Šios eigos praktiškai nebuvo arba buvo tik silpnai stebima analizuojant 2009–2010 m kritulių duomenis. Pagrindinė priežastis – didelė oro masių trajektorijų kaita bei kritulių nereguliarumas.

Benz(a)pireno srautas į žemės paviršių kito nuo 0,09 iki 0,75 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ Aukštaitijos IMS ir nuo 0,428 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ iki 0,857 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ Žemaitijos IMS. Abiejose stotyse benz(a)pireno koncentracija krituliuose ir jo srautas į žemės paviršių turėjo išreikštą sezoniškumą. Didesnės benz(a)pireno koncentracijos krituliuose ir jo srautai į žemės paviršių Žemaitijos KMS rodo intensyvesnių benz(a)pireno šaltinių įtaką šios stoties aplinkai.

2010 metais sunkiųjų metalų koncentracijos buvo artimos vidurkiui arba tarp žemiausių per stebėjimo laikotarpį. 2010 m. Aukštaitijos stotyje 2000-2009 vidurkį nežymiai viršijo tik Ni koncentracija. Pb, Cd koncentracija dirvožemio vandenyje buvo viena mažiausių, artima mažiausiai nustatamai reikšmei. 2010 m. Žemaitijos stotyje visų sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio vandenyje laikosi vidutiniame ir žemame lygyje, tik Cr ir Cu koncentracijos 2000-2009 metų vidurkį viršijo

Sunkiųjų metalų koncentracijų gruntiniame vandenyje 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. Žemaitijos gruntiniame vandenyje padidėjo tik Pb ir Zn koncentracijos.

Daugumos sunkiųjų metalų koncentracijos santykinai natūralių miško ekosistemų upelio vandenyje 2010 metais buvo mažesnės ir lygios vidurkiui. Upelio vandenyje Žemaitijos stotyje Fe, Cu ir Ni koncentracijos padidėjo dėl analogiškų pokyčių dirvožemio ir gruntiniame vandenyje, kurie gali būti susiję su teršimu.

Nuokritos vienas iš sunkiųjų metalų judėjimo tarpsnių 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.

Apibendrinus tirtų metalų koncentracijas nuokritose 1994-2010 m. laikotarpiu, nustatyta, kad per tiriamąjį laikotarpį ženkliai didėjo tik Zn ir iš dalies K koncentracijos nuokritose (iki 2009 m.). Kitų elementų koncentracijos nuokritose išliko stabilios ar turėjo tendencija mažėti (Cr, Pb, Cu).

Nuo 2003 metų, kaip ir Aukštaitijos KMS, reikšmingai mažėjo tik Cd, Pb Cr koncentracijos. Kalio ir mangano koncentracijoms buvo būdinga augimo tendencija, tik ne tokia reikšminga kaip Aukštaitijos KMS. Vario ir cinko koncentracijos nuokritose išliko stabilios.

Cheminių analizių tyrimai KMS teritorijose bei jų apylinkėse parodė, kad 1990-2010 m. laikotarpiu iš esmės mažėjo Pb, Cu ir Ni koncentracijos ir iš dalies Cd. Tik Cr koncentracijų kaitoje pastebima didėjimo tendencija, ypač Aukštaitijos KMS.

Žemaitijos KMS yra labiau teršiama sunkiaisiais metalais negu Aukštaitijos KMS, ką patvirtina ir oro bei kritulių sunkiųjų metalų tyrimo rezultatai.

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.

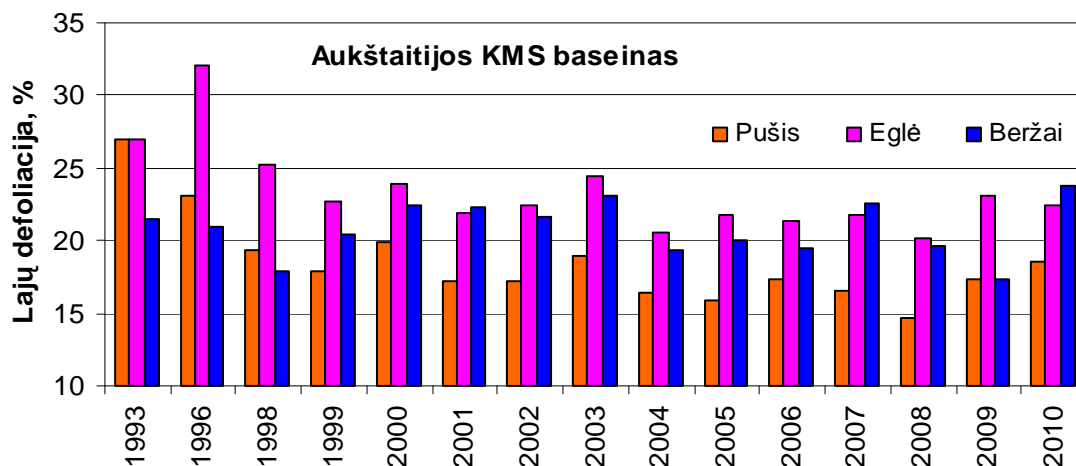
Darbo tikslas: nustatyti KMS teritorijose augančių medynų būklę, įvertinti išaiškintus pokyčius ir bei juos lėmusius pagrindinius biotinius ir abiotinius veiksnius.

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..

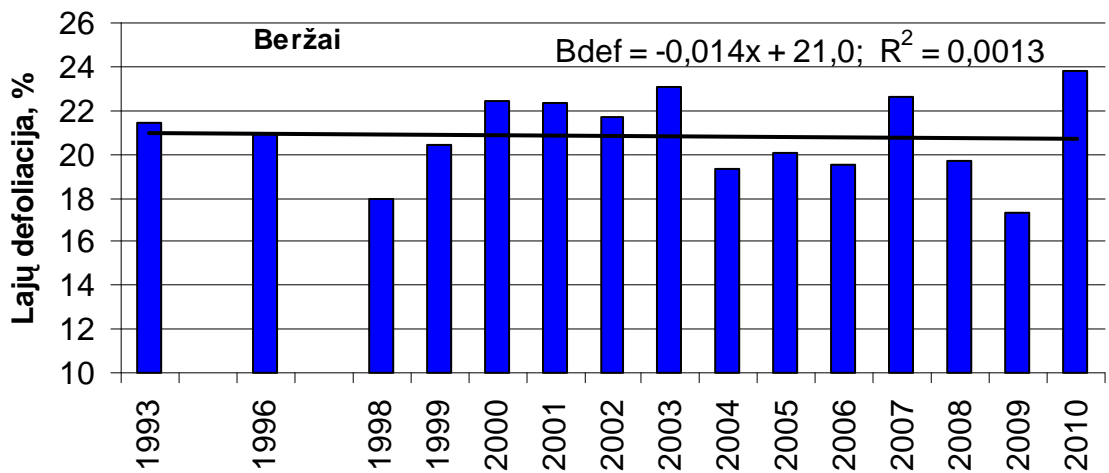
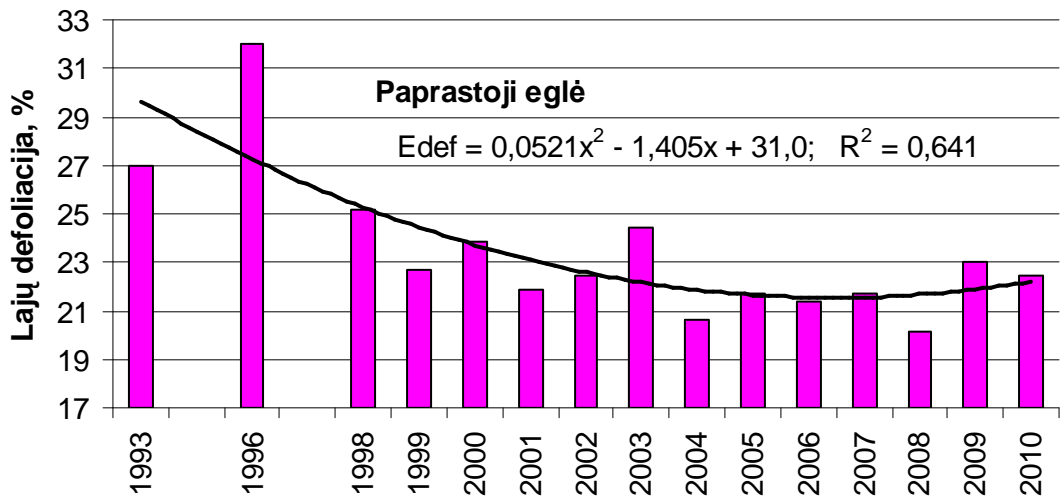
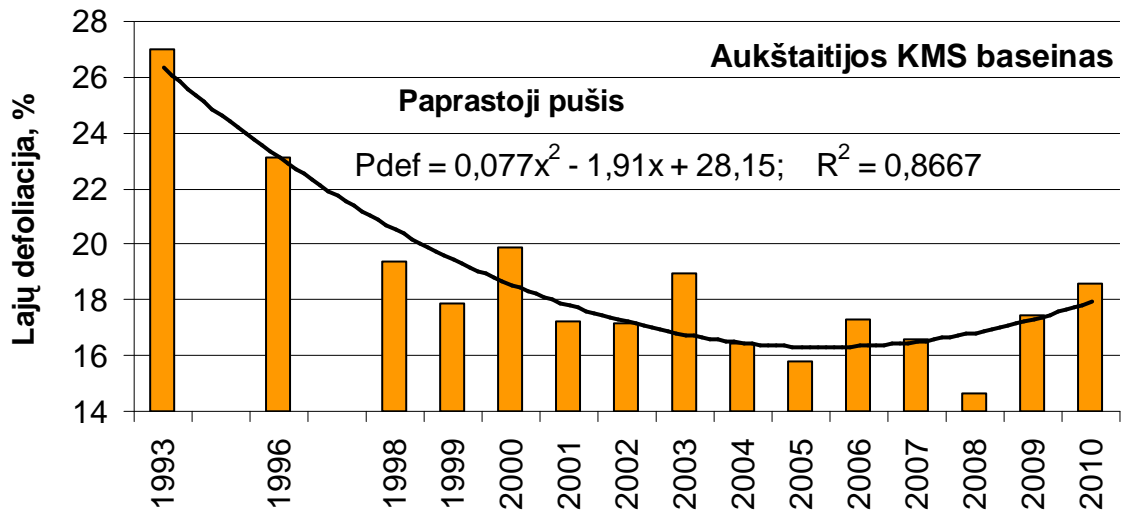
Per 1998-99 m. laikotarpį užfiksuotas žymus medžių būklės pagerėjimas. Tirtų pušų vidutinė lajos defoliacija sumažėjo nuo 24,1 iki 18,4%. Vidutinė eglėlių defoliacija taip pat sumažėjo nuo 34,4 iki 26,6%.



4.1. pav. Aukštaitijos KMS vyraujančių medžių rūšių vidutinė lajos defoliacijos kaita 1993-2010m.

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	10±	1
ALNU GLU	D	5±...	1	15±...	1	15±...	1	20±...	1	15±	1	10±	1	10±	1	15±		10±	1	25±	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	17,5±7,5	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	25,9±4,2	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	17,0±2,2	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	25,2±2,9	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	40,0±13	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	20,6±2,5	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	33,3±3,7	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	24,9±2,2	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	19,1±2,4	49
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	19,2±1,4	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	23,4±1,2	155
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	34,7±1,5	215
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	27,4±0,9	485
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	18,9±1,6	115
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	19,3±1,6	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	21,2±1,8	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	31,2±5,1	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	19,5±1,1	175
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	12,9±2,4	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	15,0±5,0	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	13,3±2,0	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	19,8±1,3	188
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	18,9±0,9	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	23,2±1,0	203
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	34,6±1,4	227
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	25,1±0,7	743



4.2 pav. Vyraujančių medžių rūšių lajų defoliacijos kaita tiriamuoju laikotarpiu AKMS

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 ($p < 0,05$).

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.

2010 m. medžių lajų būklė toliau blogėjo ir visų tirtų medžių lajų vidutinė defoliacija pasiekė 25,1% lygį. Reikšmingiausiai blogėjo beržynų būklė, vidutinė defoliacija per paskutiniuosius metus padidėjo nuo 18,2 iki 24,9%, kiek mažiau – pušynų būklė, nuo 17,7 iki 19,5%, o eglynų būklė priešingai – pagerėjo, vidutinė defoliacija sumažėjo nuo 28,4 iki 27,4%.

Pušų vidutinės defoliacijos kaitos sekoje išskiriamas laikotarpis, kada pušynų būklė Aukštaitijos KMS buvo geriausia. Tai 2004-2008 m. laikotarpis, kai pušų vidutinė defoliacija svyravo apie 15-17% riba. Paskutiniu metu laikotarpiu pušų lajų defoliacija vėl pradėjo didėti.

Eglių vidutinės defoliacijos kaitoje taip pat galima išvelgti tokius pat defoliacijos kaitos dėsningumus. Geriausios būklės eglės Aukštaitijos KMS buvo būtent tuo pačiu laikotarpiu, nuo 2004 iki 2008 m., kai jų vidutinė defoliacija svyravo apie 20-22%. Paskutiniaisiais metais eglių vidutinė defoliacija siekė šioje stotyje 23%.

Tik beržų defoliacijos kaitoje per visą turiamąjį laikotarpį nepavyko išaiškinti reikšmingesnių pokyčių. Vidutinė defoliacija svyruoja apie 18-23%.

4.1.2. 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%. Eglėnų 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%. Eglėnų būklė stabilizavosi ir pradėjo gerėti.

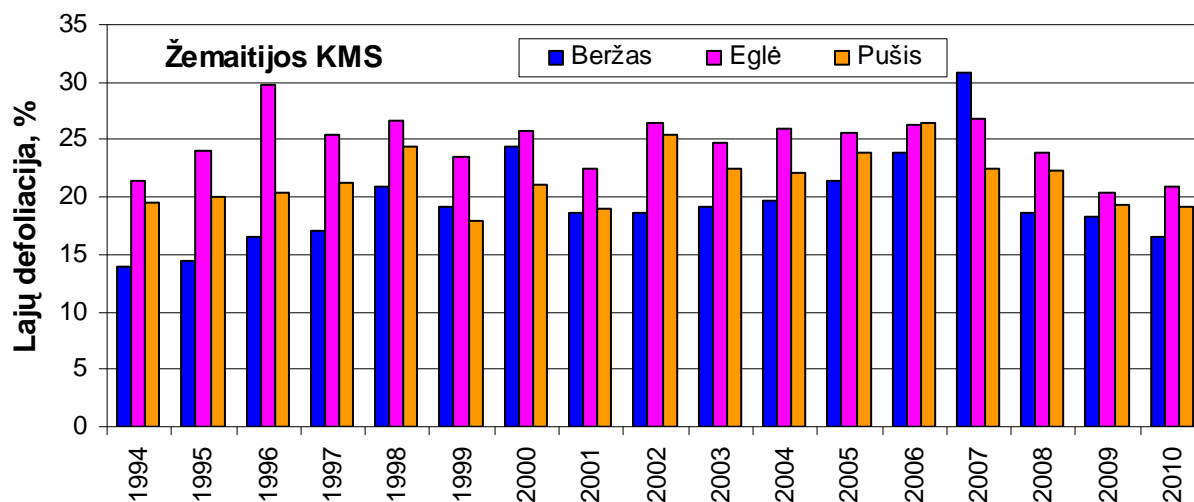
2000 m. medynų būklė vėl pablogėjo, vidutinė defoliacija pakilo iki 23,4%. Didžiausias neigiamas būklės pokytis užfiksuotas tirtų pušų bei beržų, kur jis sudaro 4-5%. Kiek mažesnis eglėnų defoliacijos pokytis, kuris siekia 3%.

2001 metais buvo stebimas medynų būklės pagerėjimas. Vidutinė tirtų medžių defoliacija sumažėjo net apie 3% ir siekė 20,3%. Intensyviausiai pagerėjo eglėnų 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 užstelbtų – 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 ($p > 0,05$).

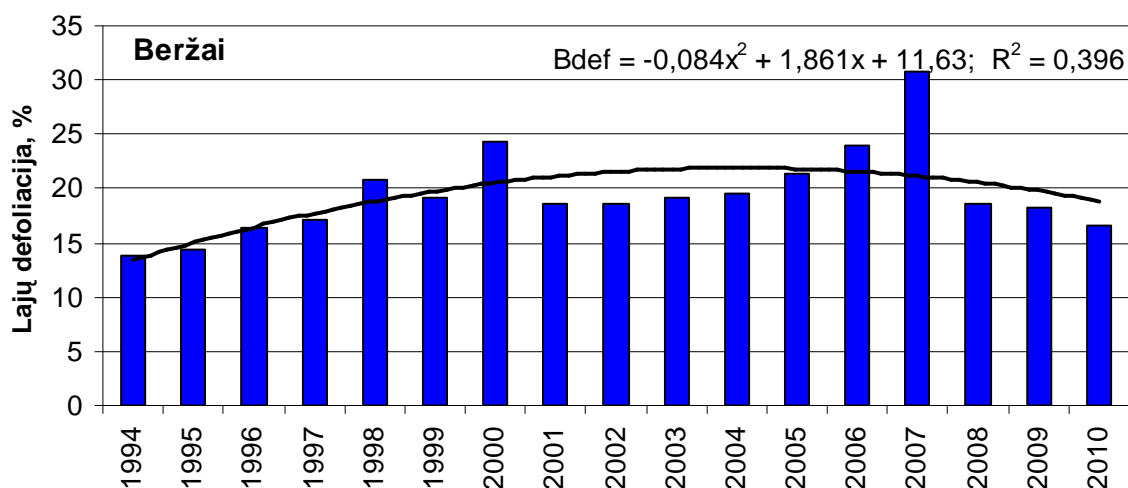
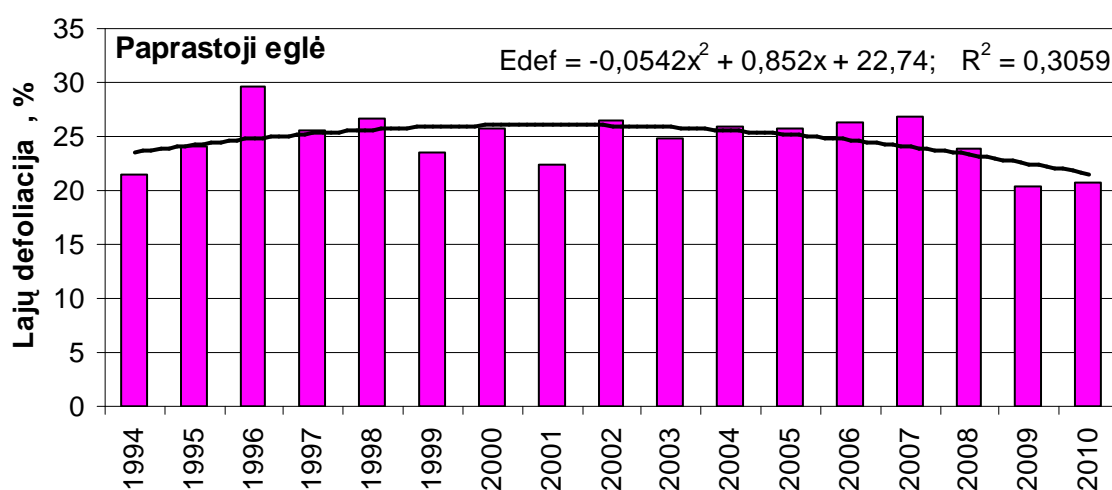
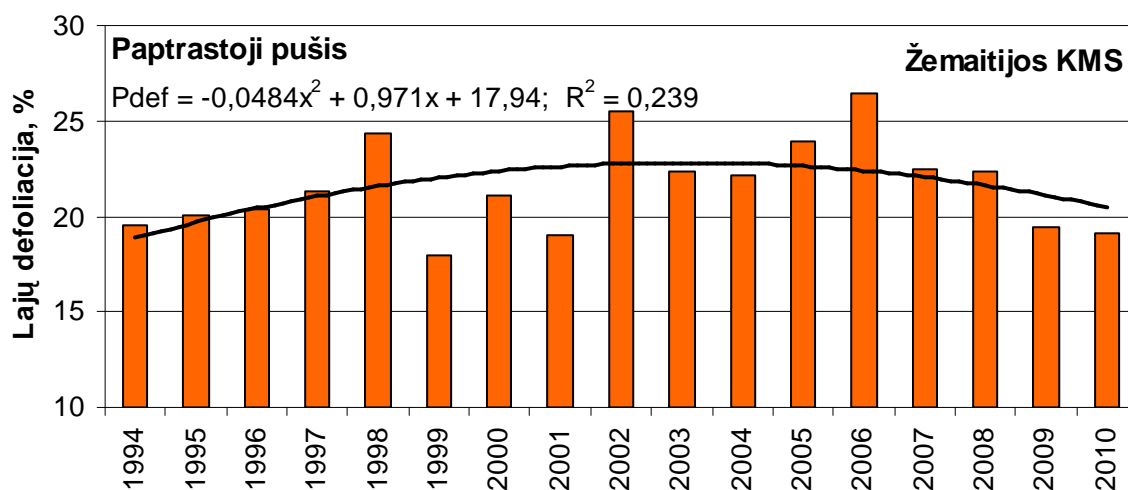
Pastarųjų kelių metų laikotarpiu tik eglėnų vidutinė defoliacija kito reikšmingai. Dėl sausros poveikio 2002 m. jų vidutinė defoliacija padidėjo apie 4%, t.y. nuo 20,7 iki 24,1%. Kitais metais jau buvo registruojamas defoliacijos sumažėjimas iki 22,6%, o paskutiniaisiais metais padidėjimas iki 24,2%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



4.3. pav. Aukštaitijos KMS vyraujančių medžių rūšių vidutinė lajos defoliacijos kaita 1993-2010m.

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	10±	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	16,3±6,6	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	14,0±1,4	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	22,5±6,3	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±4,2	2	25,0±	1
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	18,5±3,0	27
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	14,4±1,0	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	106	15,0±0,8	106
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	105	22,4±1,4	105
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	34,0±2,4	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	343	21,5±0,9	343
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	13,3±2,5	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	52	18,8±1,2	52
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	24,4±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	19,1±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	20±	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	25,0±7,6	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	37,0±15	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	43,0±5,8	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	14,5±0,9	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	16,4±0,7	170
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	22,7±1,3	129
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	33,8±2,3	89
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	21,3±0,7	453



4.4 pav. Vyraujančių medžių rūšių lajų defoliacijos kaita tiriamuoju laikotarpiu ŽKMS

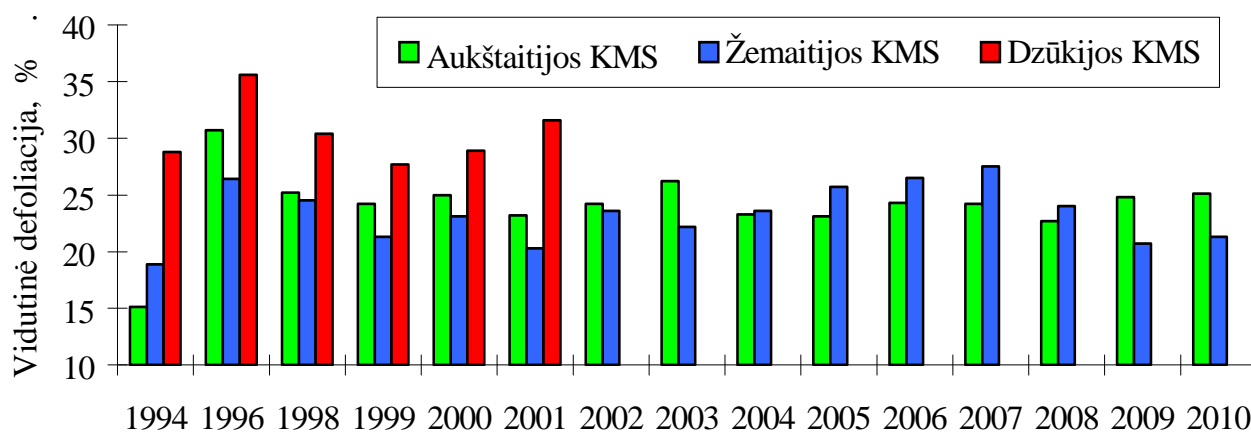
2003-2007 metų laikotarpiu beržų ir pušų lajų vidutinė defoliacija nors ir nereikšmingai, tačiau didėjo. Pastaraisiais 2008 m. visų medžių būklė pagerėjo. Reikšmingiausiai pagerėjo beržų, kiek mažiau eglė, o pušų lajų būklės pagerėjimas buvo mažiausias. 2009 m. buvo užregistruotas vienas reikšmingiausių 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.

2010 m. medžių lajų būklė iš esmės nesiskyrė nuo 2009 m., nors visų medžių lajų vidutinė defoliacija padidėjo nuo 20,7 iki 21,3%, tačiau šis pablogėjimas buvo nereikšmingas ($p > 0,05$). Iš vyraujančių medžių rūšių, intensyviausiu defoliacijos padidėjimu pasižymėjo eglės, nors jų lajų vidutinė defoliacija padidėjo vos 0,4%, t.y. nuo 21,1 iki 21,5%. Kitų vyraujančių medžių rūšių vidutinė defoliacija sumažėjo: beržų nuo 20,2 iki 18,5%, o pušų nuo 19,4 iki 19,1%.

Analizuojant tirtų medžių lajų defoliacijos kaitą per visą turiamąjį laikotarpį išskiriamas atvirkštinis kaitos trendas negu Aukštaitijos KMS. Laikotarpiu, kai medžių lajų būklė Aukštaitijos KMS buvo geriausia, Žemaitijos KMS medžių lajų būklė buvo blogiausia. Pušų lajų vidutinė defoliacija 2002-2006m. laikotarpiu svyravo apie 24-26%, eglių – viršijo 25% riba, o beržų 24%.

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 nuo 2009 m. Žemaitijos KMS tirtų medžių vidutinei defoliacijai reikšmingai sumažėjus, Aukštaitijos KMS padidėjo. Vidutinė medžių defoliacija Aukštaitijos KMS siekė 25,1%, o Žemaitijos KMS 21,3%. Jau antri metai kai šis skirtumas yra reikšmingas ($p < 0,05$).



4.5 pav. KMS teritorijose augančių medžių būklės dinamika

Užregistruotus neigiamus būklės pokyčius galėjo sąlygoti nepalankios klimatinės sąlygos – sausros vegetacinio sezono viduryje, kurių pasėkoje eglynus intensyviai pažeisdavo eglinis tipografas. Paskutiniaisiais metais visų medynų būklei įtakos turėjo vėjovartos, vėjalaūžos ir snieglaūžos - ypač Žemaitijos KMS bei išskirtinai karšta ir sausa vasara. 2009 m šalta ir ilgai

trunkanti žiema taip pat galėjo turėti reikšmingos įtakos medžių lajų būklės pablogėjimui. Būklės pablogėjimui įtakos galėjo turėti ir kai kurių taršos komponentų koncentracijų didėjimas aplinkoje.

IŠVADOS

Tiriamuoju laikotarpiu (1994-2010 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.

Aukštaitijos KMS pušų vidutinės defoliacijos kaitos sekoje išskiriamas laikotarpis, kada pušynų būklė buvo geriausia. Tai 2004-2008 m. laikotarpis, kai pušų vidutinė defoliacija svyravo apie 15-17% riba. Paskutiniu juo laikotarpiu pušų lajų defoliacija vėl pradėjo didėti. Eglių vidutinės defoliacijos kaitoje taip pat galima išvelgti tokius pat defoliacijos kaitos dėsningumus. Geriausios būklės eglės Aukštaitijos KMS buvo būtent tuo pačiu laikotarpiu, nuo 2004 iki 2008 m., kai jų vidutinė defoliacija svyravo apie 20-22%. Paskutiniaisiais metais eglų vidutinė defoliacija siekė šioje stotyje 23%. Tik beržų defoliacijos kaitoje per visą turiamąjį laikotarpį nepavyko išaiškinti reikšmingesnių pokyčių. Vidutinė defoliacija svyruoja apie 18-23%.

Analizuojant tirtų medžių lajų defoliacijos kaitą per visą turiamąjį laikotarpį Žemaitijos KMS išskiriamas atvirkštinis kaitos trendas negu Aukštaitijos KMS. Laikotarpiu, kai medžių lajų būklė Aukštaitijos KMS buvo geriausia, Žemaitijos KMS medžių lajų būklė buvo blogiausia. Pušų lajų vidutinė defoliacija 2002-2006m. laikotarpiu svyravo apie 24-26%, eglų – viršijo 25% riba, o beržų 24%.

2009-2010 m. laikotarpiu vyko priešingi procesai. Aukštaitijos KMS medžių lajų būklė blogėjo, o Žemaitijos KMS gerėjo, ar išliko stabili.

4.2. Medynų būklė augalijos tyrimų stacionaruose

1993m. Aukštaitijos kompleksinio monitoringo stotyje (KMS) buvo išskirtas vienas kartografuotas 50m × 50m tyrimo barelis visų augalijos ardu 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.

Vienas pagrindinių tikslų yra medyno struktūros kaitos analizė, kurios metu nustatomi bioindikaciniai rodikliai labiausiai atspindintys būdingiausias medynų pokyčius sąlygojamus foninės taršos bei klimatinių veiksniu. 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 ardu 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.

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

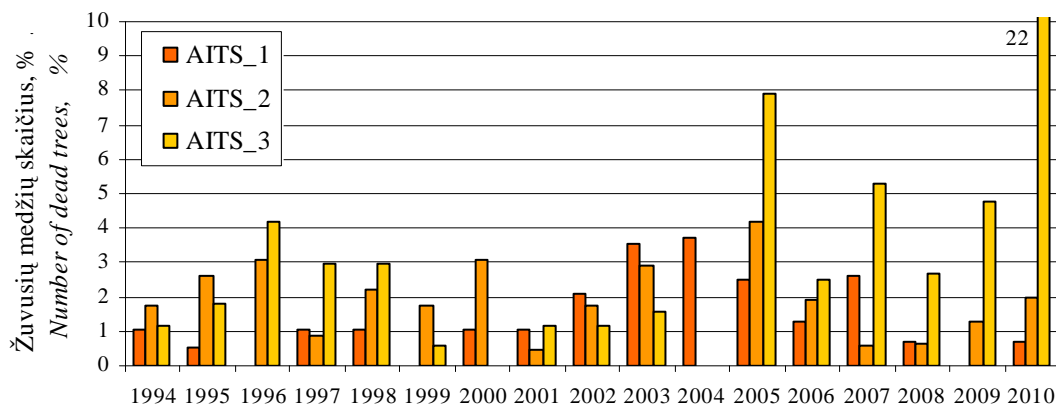
4.2.1. Medynų būklė Aukštaitijos KMS stacionaruose

Vienas iš pagrindinių medynų būklės rodiklių, šalia vidutinės medžių defoliacijos laikomas žuvusių medžių skaičius. Aukštaitijos KMS pirmajame stacionare medžių išsiretinimo intensyvumas buvo mažiausias. Per 17 m. laikotarpį žuvo 45 medžiai iš 192 užregistruotų 1994 metais. Tai sudaro 23,4% visų medžių, o medžių išsiretinimo intensyvumas siekia tik 1,4% per metus. Intensyviausiai sumažėjo lapuočių medžių, kiek mažiau žuvo eglių ir mažiausiai pušų.

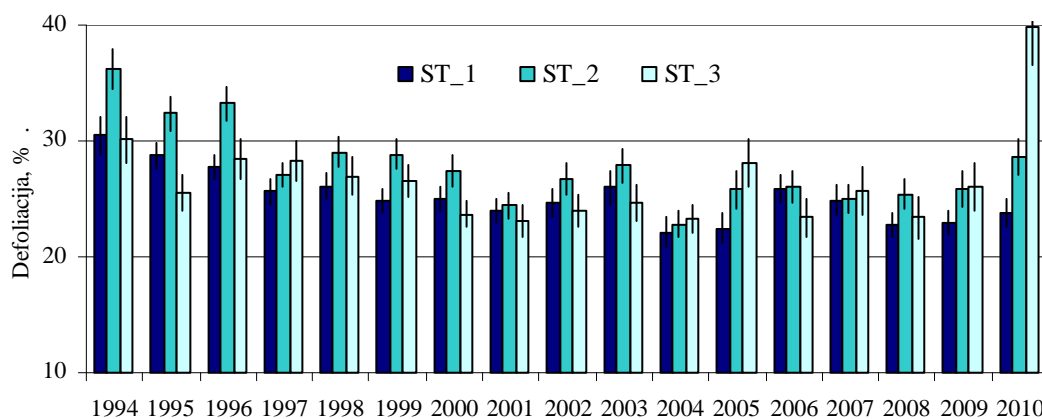
Antrajame stacionare AKMS_02 bendras medžių iškritimas viršijo 26% arba 1,6% per metus. Mažiausiai žuvo lapuočių. Vos keli beržai nudžiūvo per 17 m. laikotarpį, kai tuo tarpu pušų iškritimas viršijo 10%. Intensyviausias iškritimas užfiksuotas eglių. Per tiriamąjį laikotarpį šiame stacionare žuvo apie 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 48% arba 2,8% 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 nugražtos bebrų. Išskirtiniai 2010 m., kai dėl vėjavartų stacionaruose žuvo 26 medžiai. Iš jų tik 1 pirmame stacionare, 3 antrame, o likę 22 3 stacionare. Dėl tokio intensyvaus pažeidimo problematiškas pasidarė tyrimų tęsimas šiame stacionare ateityje. Pastaruoju laikotarpiu šiame stacionare yra išlikę tik 78 gyvi medžiai.

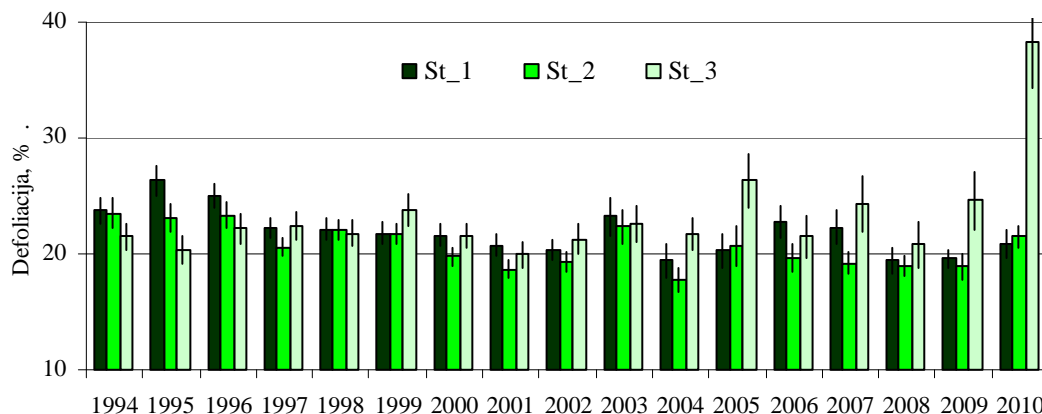
Žuvusių medžių skaičiaus dinamika rodo (4.6 pav.), kad per tiriamąjį laikotarpį kasmet vidutiniškai iškrenta apie 2,3% medžių.



4.6 pav. Žuvusių medžių skaičius Aukštaitijos KMS tyrimų stacionaruose 1994-2010 m.

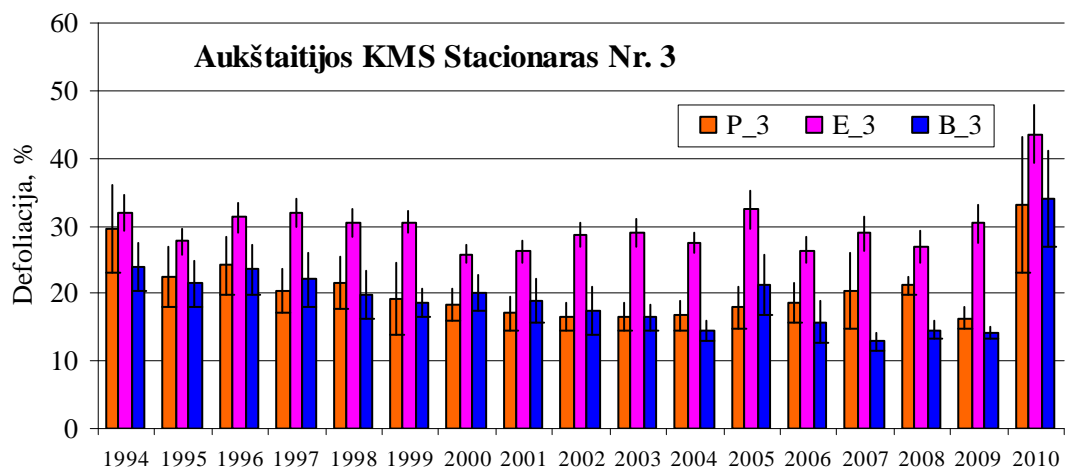
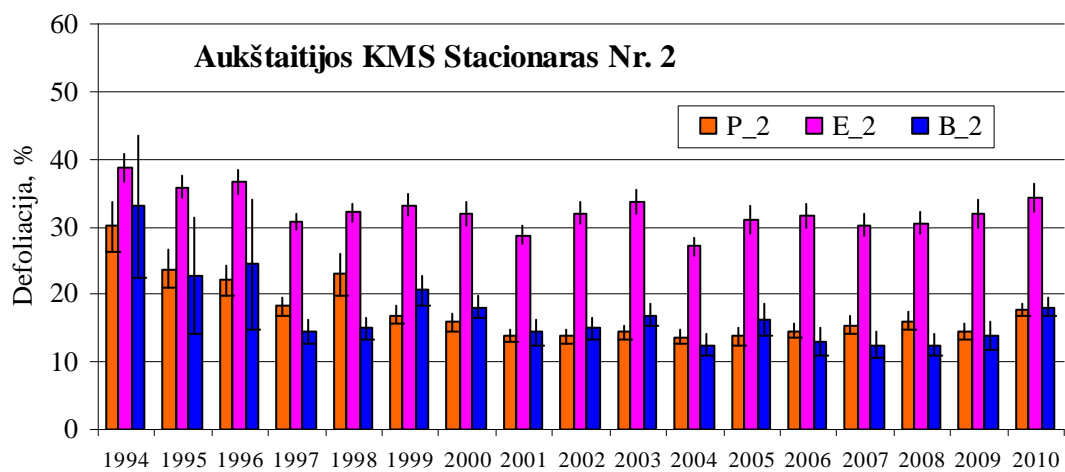
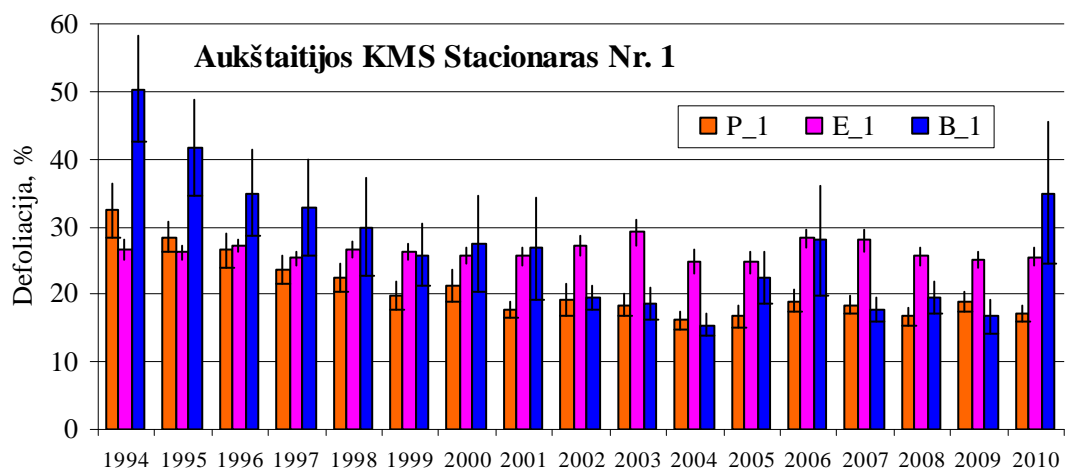


4.7 pav. Visų medžių vidutinės defoliacijos kaita Aukštaitijos KMS stacionaruose 1994-2010 m.

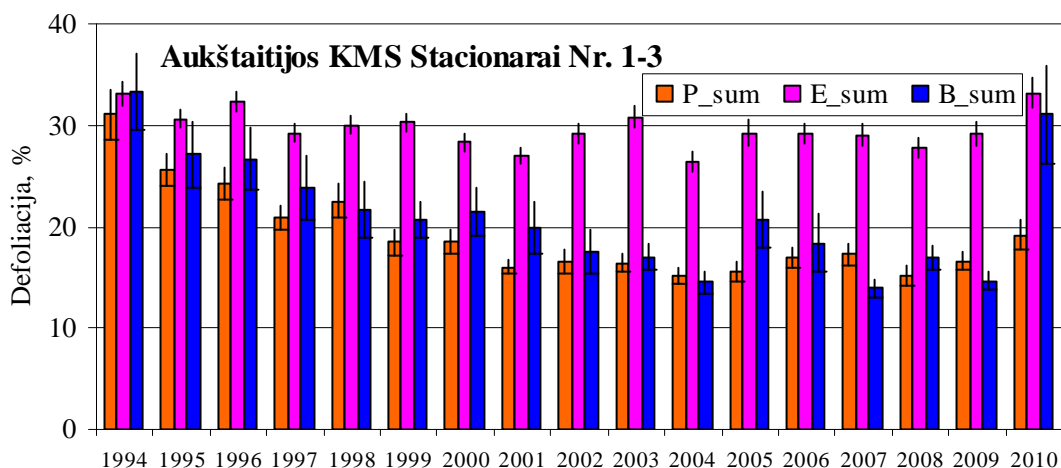


4.8 pav. 1-3 Krafto klasių medžių vidutinės defoliacijos kaita Aukštaitijos KMS stacionaruose

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. Tokį defoliacijos augimą galėjo sąlygoti nepalankūs klimatiniai veiksniai. AKMS 3-io stacionaro labai aukštą defoliaciją 2005 ir 2007m.(virš 28 %) sąlygojo dėl žievėgraužio tipografo pažeidimų žuvusios eglės, o 2010 m. dėl vėjovartų žuvę medžiai.

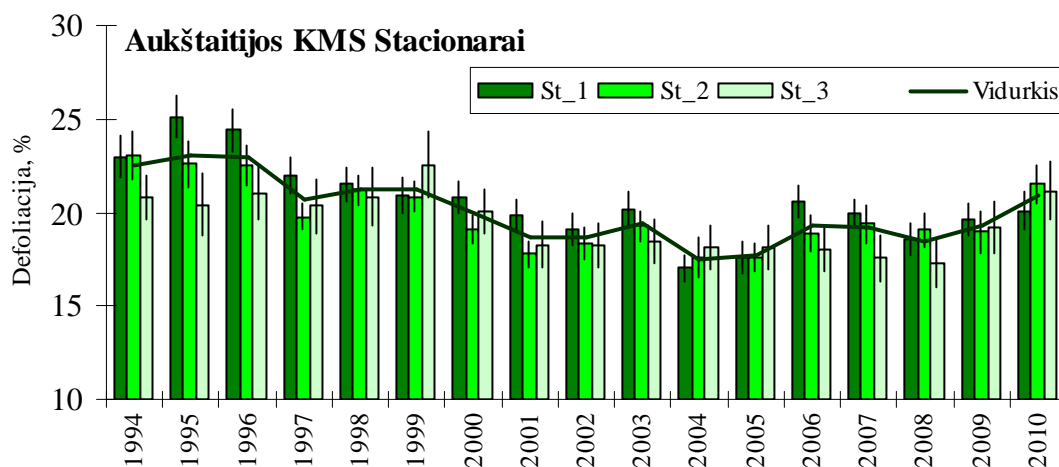


4.9 pav. Atskirų rūšių medžių vidutinės defoliacijos kaita Aukštaitijos KMS stacionaruose



4.10 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. Beržų vidutinės defoliacijos padidėjimą 2010 m. sąlygojo dėl vėjalaūžų žuvę beržai.

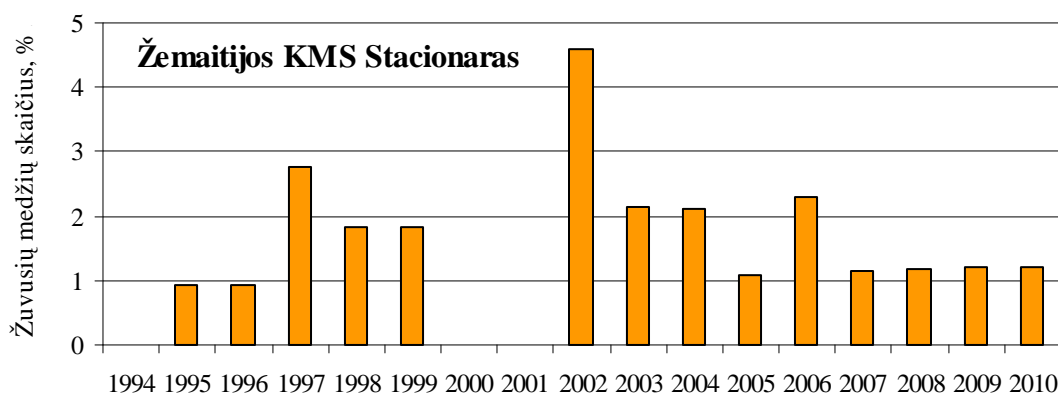


4.11 pav. 1-3 Krafto klasių išlikusių gyvų medžių vidutinės defoliacijos kaita Aukštaitijos KMS stacionaruose

Eliminavus dėl nepalankių klimatinių veiksnių žuvusių medžių įtaką vidutinei defoliacijai, nustatyta, kad iki 2004 metų tirtų išlikusių gyvų medžių vidutinė defoliacija mažėjo reikšmingai po 0,5% kiekvienais metais, tačiau nuo 2005 metų iki 2010 m. buvo stebimas atvirkštinis procesas, medžių lajų vidutinė defoliacija didėjo reikšmingai maždaug po 0,6%. Šio proceso priežastingumui išaiškinti bus naudojama aplinkos veiksnių daugianarė regresinė analizė.

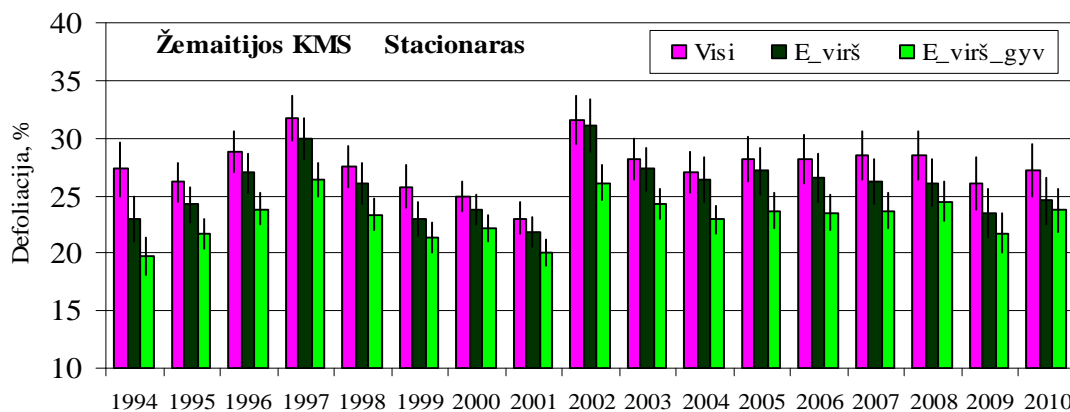
4.2.2 Medyno būklė Žemaitijos KMS stacionare

Žemaitijos stacionare bendras medžių iškritimas per 16 m. laikotarpį siekia 22% ar 1,3% 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 žūties priežastis - entokenkėjai ir vejalaužos. 2002 metais net apie 5% eglė buvo pažeistos snieglaūžos, o paskutiniaisiais metais eglė žuvimo priežastis – žievėgraužis tipografas, tačiau šiame stacionare nuo 2007 m. kasmet žūsta tik po viena eglę.



4.12 pav. Žuvusių medžių skaičius Žemaitijos KMS tyrimų stacionare 1995-2010 m.

Pagrindiniai medžių būklės kaitos parametrai Žemaitijos KMS stacionare pateikti 4.12 – 4.13 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.



4.13 pav. Visų, viršaujančių ir išlikusių gyvų viršaujančių eglė būklė 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 viršaujančių eglių. Tokia eglių būklės kaita indikuoja mums apie gerėjančią bendrą miškų ekosistemų būklę, pirmiausiai apie mažėjančią užterštumo lygį ir palankias augimo sąlygas.

2010 m. medžių lajų būklės pablogėjimas buvo nereikšmingas ir pasiekė 24,5%. **2005 – 2010 m. laikotarpiu registruojamas reikšmingas viršaujančių eglių lajos būklės gerėjimas. Vidutinė defoliacija mažėja maždaug po 0,6% per metus**

Išvados

Vienas iš pagrindinių medynų būklės rodiklių, šalia vidutinės medžių defoliacijos laikomas žuvusių medžių skaičius. Aukštaitijos KMS pirmajame stacionare medžių išsiretinimo intensyvumas buvo mažiausias ir siekia tik 1,4% per metus, antrajame stacionare - 1,6% per metus ir didžiausias trečiajame stacionare - 2,8% per metus. Po 2010 m., kai dėl vėjovartų šiame stacionaruose žuvo 22 medžiai, problematiškas pasidarė tyrimų tęsimas šiame stacionare ateityje. Pastaruoju laikotarpiu šiame stacionare yra išlikę tik 78 gyvi medžiai.

Žuvusių medžių skaičiaus dinamika rodo, kad per tiriamąjį laikotarpį kasmet vidutiniškai iškrenta apie 2,3% medžių.

Eliminavus dėl nepalankių klimatinių veiksnių žuvusių medžių įtaką vidutinei defoliacijai, nustatyta, kad iki 2004 metų tirtų išlikusių gyvų medžių vidutinė defoliacija mažėjo reikšmingai po 0,5% kiekvienais metais, tačiau nuo 2005 metų iki 2010 m. buvo stebimas atvirkštinis procesas, medžių lajų vidutinė defoliacija didėjo reikšmingai maždaug po 0,6%.

Žemaitijos stacionare bendras medžių iškritimas per 16 m. laikotarpį siekia 22% ar 1,3% per metus. 2002 metais net apie 5% eglių buvo pažeistos snieglaužos, o paskutiniaisiais metais eglių žuvimo priežastis – žievėgraužis tipografas, tačiau šiame stacionare nuo 2007 m. kasmet žūsta tik po viena eglę. 2005 – 2010 m. laikotarpiu registruojamas reikšmingas viršaujančių eglių lajos būklės gerėjimas. Vidutinė defoliacija mažėja maždaug po 0,6% per metus

Palyginus eglių defoliaciją tyrimų stacionaruose, nustatyta, kad Žemaitijos stacionaro eglių vidutinė defoliacija mažesnė negu Aukštaitijos KMS stacionarų.

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 3.1 lentelėje.

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				

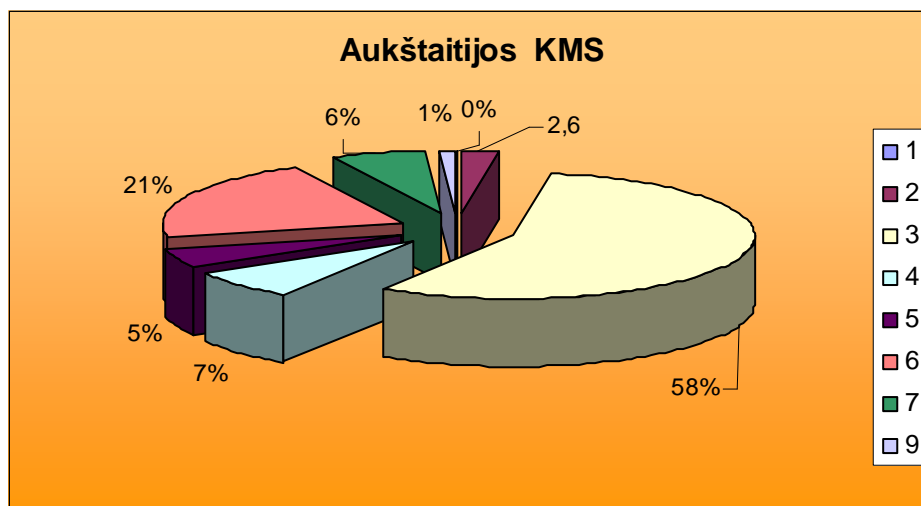
Darbo rezultatai

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

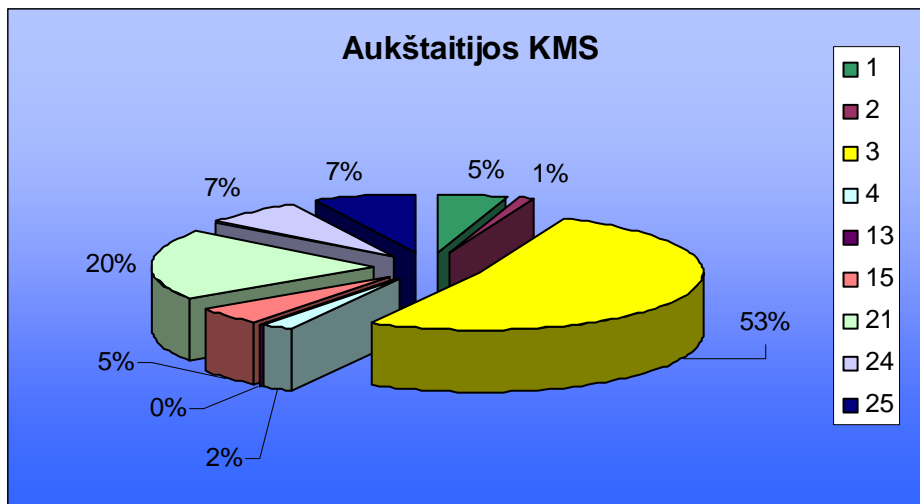
Nustatyta, kad Aukštaitijos KMS teritorijoje iš 506 atrinktų viršaujančių, vyraujančių ir iš dalies stelbiamų miško medžių 76 identifikuoti pažeidimai, kurie iš esmės įtakuoja ar galėjo įtakoti jų būklę. 5 medžiai turėjo 2jų rūšių pažeidimus, kurie galėjo reikšmingai sąlygoti jų būklę. Pažeisti medžiai sudaro 15,0% šių medžių. Palyginus su praėjusiais metais pažeistų medžių padidėjo vos 0,2%.

Iš 4.14 pav. pateiktos schemos matyti, kad daugiausiai pažeistos išlieka medžių kamienų apatinė dalis (3). Pažeidimai šioje srityse išaugo iki 58% visų užregistruotų pažeidimų. Kiek mažiau pažeistas lajos kamienas. Tai stipraus vėjo padarinys. Kitoms medžio sritims tenka žymiai mažiau pažeidimų. Visame kamieno (4), viršutinėje kamieno dalyje (5) ir šakose (7) užregistruota maždaug po lygiai pažeidimų, t.y. po 5-7%. Mažiausiai pažeidimų rasta šaknų ir priekelminėje kamieno srityje (1; 2) (3%) ir lapijoje (9) (iki 3%).



4.14 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; 7 – šakos; 9 – lapai, spygliai)



4.15 pav. Pažeidimų ir ligų pasiskirstymas pagal rūšį

Kamieno ir šaknų pažeidimai: 1. – vėžys; 2 – grybų vaisiakūniai; 3, - atviros žaizdos; 4. – sakotakių pažeidimas;

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

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

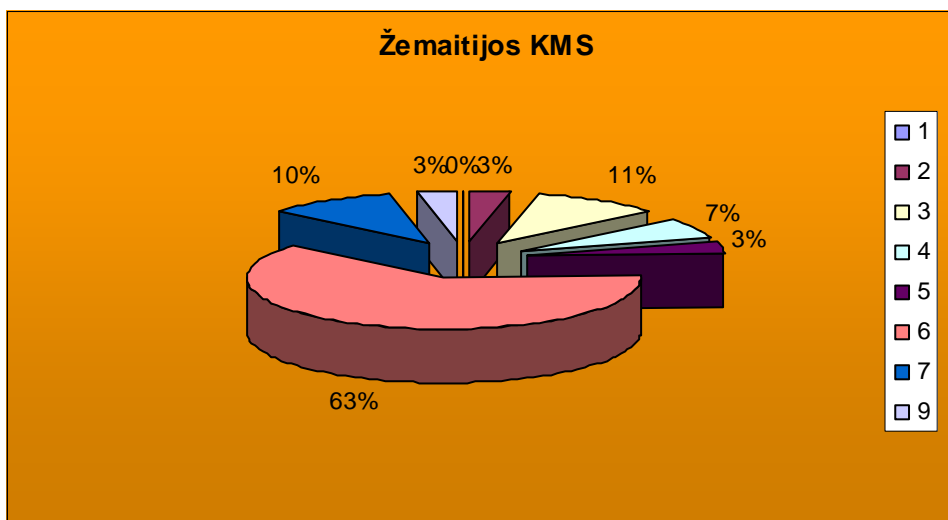
25 – eglinio tipografo pažeidimai.

Iš nustatytų pažeidimų dažniausiai pasikartojantis pažeidimas buvo: atviros žaizdos (3). Šis pažeidimas sudarė 53% visų pažeidimų (4.15 pav.). Tai įvairaus senumo bei intensyvumo elnių nulopyti egliai kamienai. 20% pažeidimų sudarė viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas (21), kuri sąlygoja snieglauzos ir vėjalaužos. Eglinio topografo, ūglių ir lapų pažeidimai, o taip pat vėžiniai susirgimai ir įvairūs kamieno nulenkimai dėl smarkaus vėjo sudarė apie 5 – 7 % visų pažeidimų. Likę užregistruoti pažeidimai nesiekė 2%.

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 (2002-2010 m.) pažeidimų priežastys ir pažeidimų sritys medyje praktiškai iš esmės nekito, išskyrus reikšmingai kintantį eglinio tipografo pažeidimų intensyvumą. Atskirais metais šis pažeidimas lėmė išskirtinai aukštą medžių iškritimo intensyvumą stacionaruose. Didelę žalą miškų būklei vis dažniau daro smarkios audros ir gausus sniegas, kurių padariniai – išversti ir sulaužyti medžiai bei jų kamienai.

4.3.2 Žemaitijos KMS medžių pažeidimai bei pagrindinės priežastys

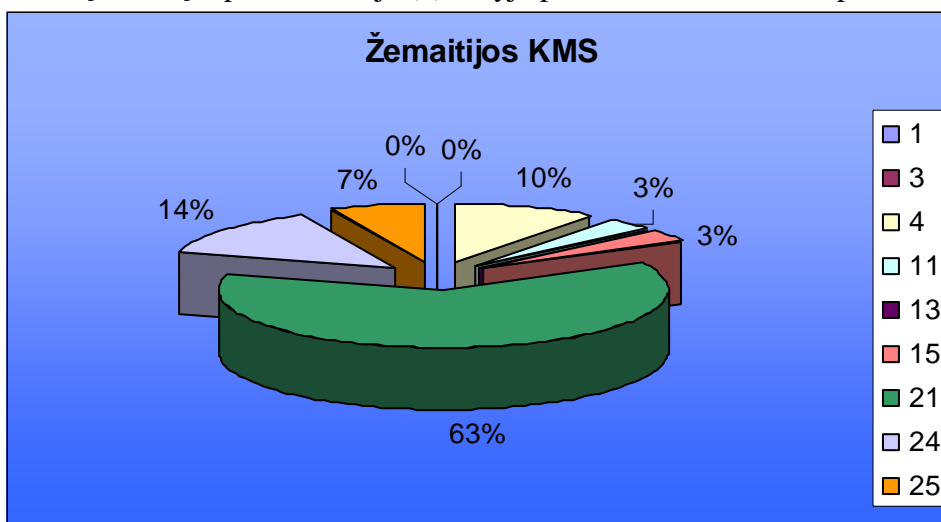


4.16 pav. Pažeidimų pasiskirstymas pagal pažeistą medžio sritį

(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 8,1% tirtų viršaujančių, vyraujančių ir iš dalies stelbiamų miško medžių buvo pažeisti. Paliginus su praėjusiais metais jų skaičius padidėjo 0,8%.

Iš 4.16 pav. pateiktos schemos matyti, kad daugiausiai pažeidimų rasta lajos kamieno srityje (6). Pažeidimai šiose srityse 2010 m. viršijo 60% visų užregistruotų pažeidimų. Kiek mažiau buvo pažeista kamieno apatinė sritis (3) bei šakos (7) – 11 ir 10% visų pažeidimų. Kiek rečiau pažeidimai buvo registruojami visame kamiene (4), 7% visų pažeidimų Likusiuose srityse pažeidimai sudarė tik 3 % visų pažeidimų. Šaknų ir priekelminėje (1) srityje paskutiniaisiais metais pažeidimų nerasta.



4.17 pav. Pažeidimų ir ligų pasiskirstymas pagal rūšį

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

11 – nulaužtas kamienas; 15 – nulenktas 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 jau eilę metų sudarė apie 63% visų pažeidimų (4.17 pav.). Toki didelį šio pažeidimo registracijų skaičių sąlygojo vėl pasikartojančios vėjalaužos ir snieglaūžos. 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 2010 m. sumažėjo nuo 28% (2008) iki 7% visų pažeidimų.

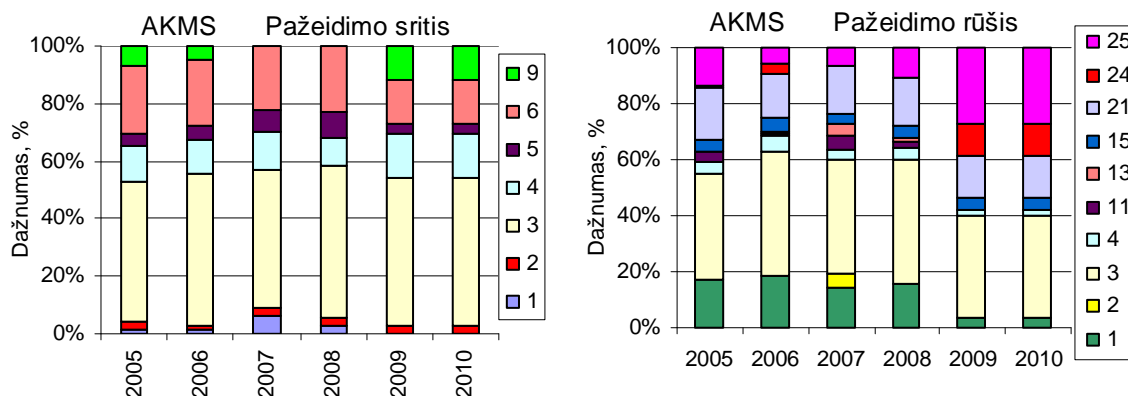
Daugiausiai pažeistos buvo paprastosios eglės, kurios sudarė 80% visų pažeistų medžių. 10% visų pažeidimų teko beržams ir 10% pušims.

Apibendrinus gautų tyrimų rezultatus, nustatyta, kad paskutiniu metu laikotarpiu (2002-2010 m.), kaip ir Aukštaitijos KMS, pažeidimų priežastys ir pažeidimų sritys medyje praktiškai iš esmės nekinta. Po intensyvių snieglaūžų ar vėjavartų kelerius metus suintensyvėja žievėgraužio tipografo veikla, kurio rezultatas papildomai žuvusios eglės.

4.3.3. KM stočių teritorijose augančių medžių pažeidimų ir pagrindinių priežasčių kaita.

Apibendrinus 6 metų pažeidimų tyrimo rezultatus Aukštaitijos KMS nustatyta, kad paskutiniu metu sumažėjo pažeidimų priekelminėje ir šaknų srityje, t.y. sumažėjo vėjavartų ir kamieno srityje, tačiau vėl pradėjo didėti pažeidimai lapijoje (4.18 pav.). Iš pažeidimo rūšių išsiskiria eglinio tipografo pažeidimai, kurių gausa Aukštaitijos KMS intensyviai didėja.

6 metų pažeidimų tyrimo rezultatai Žemaitijos KMS parodė, kad daugėja pažeidimų lajos kamieno dalyje, kas yra būdinga eglinio tipografo pažeidimams, o mažėja, kaip ir Aukštaitijos KMS šaknų ir priekelminėje medžio dalyje (4.19 pav.). Iš pažeidimų rūšių vyrauja jau daugelį metų viršūnės netekimas dėl snieglaūžų, o taip pat išsiskiria eglinio tipografo pažeidimų mažėjimas. Šio kenkėjo didžiausi pažeidimai buvo registruojami 2007-2008 m.

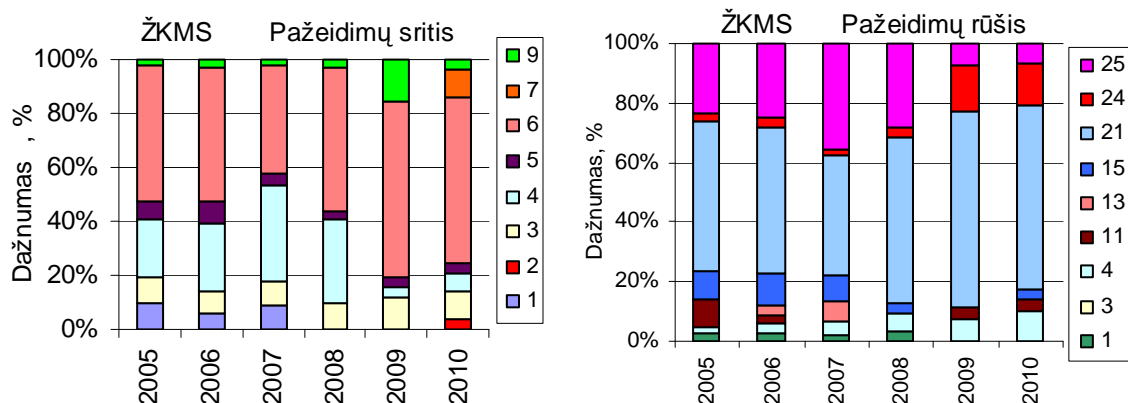


4. 18 pav. Aukštaitijos KMS medžių pažeidimų pasiskirstymo pagal pažeistą sritį ir pagal rūšį kaita.

Medžio sritis: 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;

Pažeidimų rūšis: Kamieno ir šaknų pažeidimai: 1. – vėžys; 3, - atviros žaizdos; 4. –sakotakių pažeidimas; 11 – nulaužtas kamienas; 15 – nulenktas kamienas

Pažeidimai medžio lajoje:21 - viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas; 24 – ūglių – lapų pažeidimai; 25 – eglinio tipo grafo pažeidimai.



4. 19 pav. Žemaitijos KMS medžių pažeidimų pasiskirstymo pagal pažeistą sritį ir pagal rūšį kaita.

Medžio sritis: 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; 7 – šakos; 9 – lapai, spygliai;

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

11 – nulaužtas kamienas; 15 – nulenktas kamienas

Pažeidimai medžio lajoje:21 - viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas; 24 – ūglių – lapų pažeidimai; 25 – eglinio tipo grafo pažeidimai.

IŠVADOS

1. Aukštaitijos KMS teritorijoje iš 506 atrinktų viršaujančių, vyraujančių ir iš dalies stelbiamų miško medžių 76 identifiukuoti pažeidimai, kurie iš esmės įtakojo ar galėjo įtakoti jų būklę. 5 medžiai turėjo 2jų rūšių pažeidimus, kurie galėjo reikšmingai sąlygoti jų būklę. Pažeisti medžiai sudaro 15,0% šių medžių. Palyginus su praėjusiais metais pažeistų medžių padidėjo vos 0,2%.

2. Aukštaitijos KMS daugiausiai pažeista išlieka medžių kamienų apatinė dalis (3), 58% visų užregistruotų pažeidimų. Kiek mažiau pažeistas lajos kamienas. Tai stipraus vėjo padarinys. Visame kamiene (4), viršutinėje kamieno dalyje (5) ir šakose (7) užregistruota maždaug po lygiai pažeidimų, t.y. po 5-7%.
3. Aukštaitijos KMS dažniausiai pasikartojantys buvo: atviros žaizdos (3), 53% visų pažeidimų. Tai įvairaus senumo bei intensyvumo elnių nulopyti eglių kamienai. 20% pažeidimų sudarė viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas (21), kurių sąlygojo snieglaužos ir vėjalaūžos. Eglinio topografo, ūglių ir lapų pažeidimai, o taip pat vėžiniai susirgimai ir įvairūs kamieno nulenkimai dėl smarkaus vėjo sudarė apie 5 – 7 % visų pažeidimų. Likę užregistruoti pažeidimai nesiekė 2%.
4. Žemaitijos KMS teritorijoje 8,1% tirtų viršaujančių, vyraujančių ir iš dalies stelbiamų miško medžių buvo pažeisti. Paliginus su praėjusiais metais jų skaičius padidėjo 0,8%.
5. Žemaitijos KMS teritorijoje daugiausiai pažeidimų rasta lajos kamieno srityje (6). Pažeidimai šiose srityse 2010 m. viršijo 60% visų užregistruotų pažeidimų. Kiek mažiau buvo pažeistos kamieno apatinė sritis (3) bei šakos (7) – 11 ir 10% visų pažeidimų. Kiek rečiau pažeidimai buvo registruojami visame kamiene (4), 7% visų pažeidimų.
6. Žemaitijos KMS dažniausiai pasikartojantis pažeidimas buvo viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas (21). Šis pažeidimas jau eilę metų sudarė apie 63% visų pažeidimų (3.4 pav.). Tokį didelį šio pažeidimo registracijų skaičių sąlygojo vėl pasikartojančios vėjalaūžos ir snieglaužos. Tai turėtų kelti nerimą, nes tokie nusilpę medžiai gali padėti eilinių kartų kenkėjams išplisti. Be šio pažeidimo, tyrimų metu užregistruotos dar 6 priežastys iš kurių aktualiausias turėtų būti eglinio topografo pažeidimai (25). Šio kenkėjo pažeidimai 2010 m. sumažėjo nuo 28% (2008) iki 7% visų pažeidimų.
7. Apibendrinus 6 metų pažeidimų tyrimo rezultatus Aukštaitijos KMS nustatyta, kad paskutiniu metu sumažėjo pažeidimų priekelminėje ir šaknų srityje, t.y. sumažėjo vėjavartų ir kamieno srityje, tačiau vėl pradėjo didėti pažeidimai lapijoje. Iš pažeidimo rūšių išsiskiria eglinio tipografo pažeidimai, kurių gausa Aukštaitijos KMS intensyviai didėja.
8. 6 metų pažeidimų tyrimo rezultatai Žemaitijos KMS parodė, kad daugėja pažeidimų lajos kamieno dalyje, kas yra būdinga eglinio tipografo pažeidimams, o mažėja, kaip ir Aukštaitijos KMS šaknų ir priekelminėje medžio dalyje. Iš pažeidimų rūšių vyrauja jau daugelį metų viršūnės netekimas dėl snieglaužų, o taip pat išsiskiria eglinio tipografo pažeidimų mažėjimas. Šio kenkėjo didžiausi pažeidimai buvo registruojami 2007-2008 m.

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.

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. intensy vumas, 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
2010	145	105	7,0	9,0	1,1	1,8	5,1	6,0
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
2010	242	175	9,0	8,7	1,9	1,0	6,2	8,0

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

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

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.

2009-10 m. tyrimų rezultatai rodo, 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.
3. 2009-10 m. tyrimų rezultatai rodo, kad KMS baseinuose turėtų mažėti tarša azoto junginiais.

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

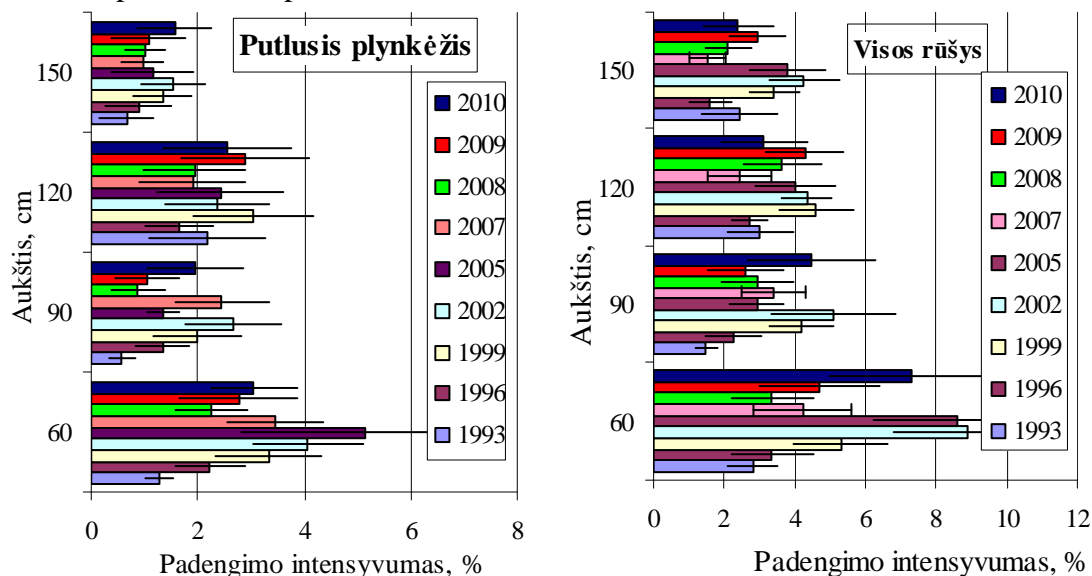
Taigi lyginant su pirma lichenometrine apskaita, absoliutūs padengimo kerpėmis skaičiai liko beveik nepakitę.

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 4.18 paveiksle.



4.18 pav. Pušies kamienų kerpėtumo (%) kaita Aukštaitijos KMS teritorijoje 1993-2010m.

Iš pateiktų duomenų matyti, kad 2010 m. epifitinių kerpių padengimo intensyvumas iš esmės didėjo visuose matavimo lygiuose. Šis procesas, tik su nedidele išimtimi 2002-2005 m. tęsiasi praktiškai nuo tyrimų pradžios ir ypač žemesniuose lygiuose (60-90 cm aukštyje). Aukštesniuose lygiuose bendras kamieno kerpėtumas išlieka stabilus, nors padengimas putliuoju plynkežiu reikšmingai didėja.

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

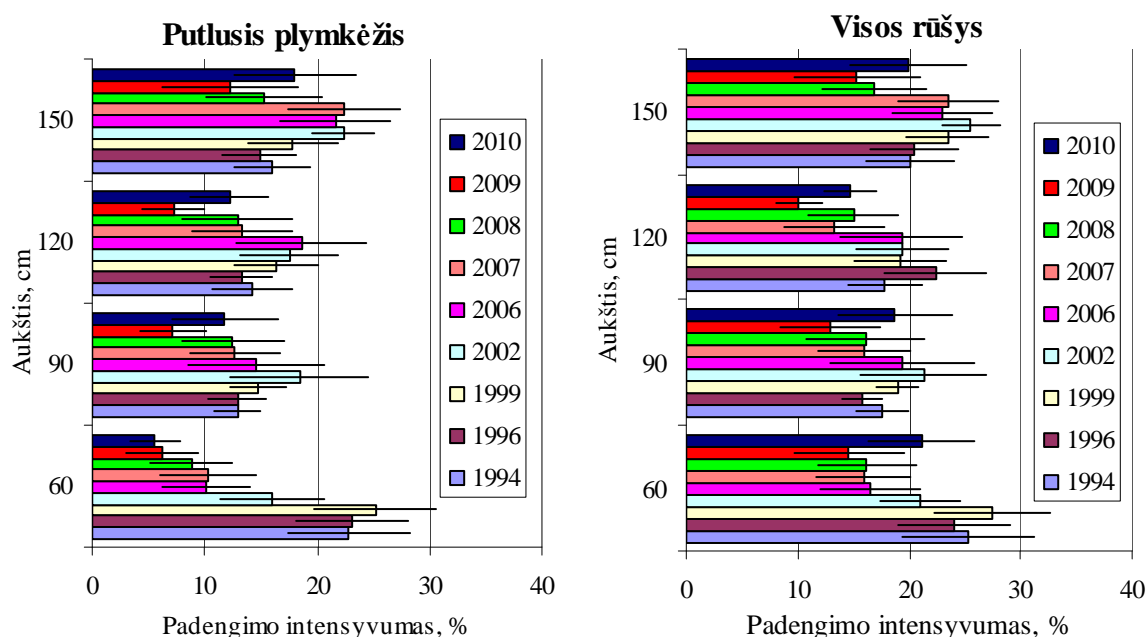
Epifitinių kerpių rūšinė įvairovė jau daugelį metų nekinta. Tai tris epifitinių kerpių rūšys: putlusis plynkežis, neapibrėžtoji kežuotė ir šiurės genties rūšys.

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

Žemaitijos KMS kerpių tyrimo stotyje gauti epifitinių kerpių gausumo apskaitos rezultatai pateikti 4.19 paveiksle. Iš pateiktų duomenų matyti, kad epifitinių kerpių gausumas ant atrinktų stebimų medžių per paskutinįjį laikotarpį išiko 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.

Iki 2009 m. epifitinių kerpių gausa, kaip ir Aukštaitijos KMS, mažėjo ir ypač putliuoju plynkėžių 60 cm aukštyje. Tačiau paskutiniaisiais 2010 m. registruojamas reikšmingas bendras tirtų medžių kamienų kerpėtumo padidėjimas bei padidėjimas padengimo ir putliuoju plynkėžiu ypač aukštesniuose lygiuose. 60 cm aukštyje padengimas putliuoju plynkėžiu ir toliau mažėja.



4.19 pav. Medžių kamienų kerpėtumas (%) Žemaitijos KMS teritorijoje 1994-2010m.

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 procesu, o padidėjimas paskutiniaisiais metais – palankių meteorologinių sąlygų.

4.6 Žolinės augmenijos tyrimai pagal ICP IM programą

Įvadas

Žolinės augmenijos tyrimai pagal ICP IM programą intensyvaus monitoringo srityse yra sudėtinė integruoto monitoringo augalinės dangos dalis. Pradiniame etape Aukštaitijos (Aukštaitija-100 ir Aukštaitija-102) ir Žemaitijos intensyvaus monitorinio stotyse buvo atliktas augalinės dangos kartografavimas monitoringo plote įsikūrusių bendrijų ir jų erdvinio pasiskirstymo nustatymui. Pagal naudojamą metodiką, šie darbai atliekami kas 20-25 metai, todėl per pastaruosius 5 metus pakartojimai nebuvo daryti. Naudojant apskritas tyrimų aikšteles, atliekama augalų rūšių inventorizacija, kurios metu registruojamos monitoringo teritorijos plote esančios rūšys. Šie tyrimai kartojami kas 5 metai. Kasmetiniai gamtiniai stebėjimai vienu metu vykdomi visose ITS birželio mėnesio antroje pusėje intensyvaus monitoringo ploteliuose.

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 (paprogramė VG) 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 2010 metais buvo stebima 99 rūšių augalai (68 induočiai ir 31 samanos bei kerpės).

2010 metais birželio mėnesio antroje pusėje Aukštaitijos ir Žemaitijos ITS buvo atlikti pakartotiniai stebėjimai apskritose aikštelėse (paprogramė VS). Aukštaitijos ITS buvo atlikti stebėjimai 50- dešimtyje apskritų aikštelių, Žemaitijos ITS – 37- iose. Apskritose aikštelėse, kurių spindulys 5,64, o plotas 100 m² buvo atlikti matavimai:

a) medžių I, medžių II, krūmų, žolių ir krūmokšnių, samanų ardu projektinio padengimo procentinis vertinimas;

b) kiekvienos rūšies projektinio padengimo procentinis vertinimas;

c) nustatytas bendrijos pavadinimas ir užimamas plotas stebėjimų aikštelėje.

Statistiniam duomenų apdorojimui buvo panaudotos programos EXCEL, SPSS.

REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

4.6.1. AUKŠTAITIJOS KMS augalijos tyrimų stacionarai

Aukštaitijos ITS buvo atlikti stebėjimai 50-dešimtyje apskritų aikštelių, kurių metu buvo atlikta augalų rūšių inventorizacija, suregistruotos monitoringo teritorijos plote esančios rūšys. Šių stebėjimų rezultatai pateikiami 1 priede.

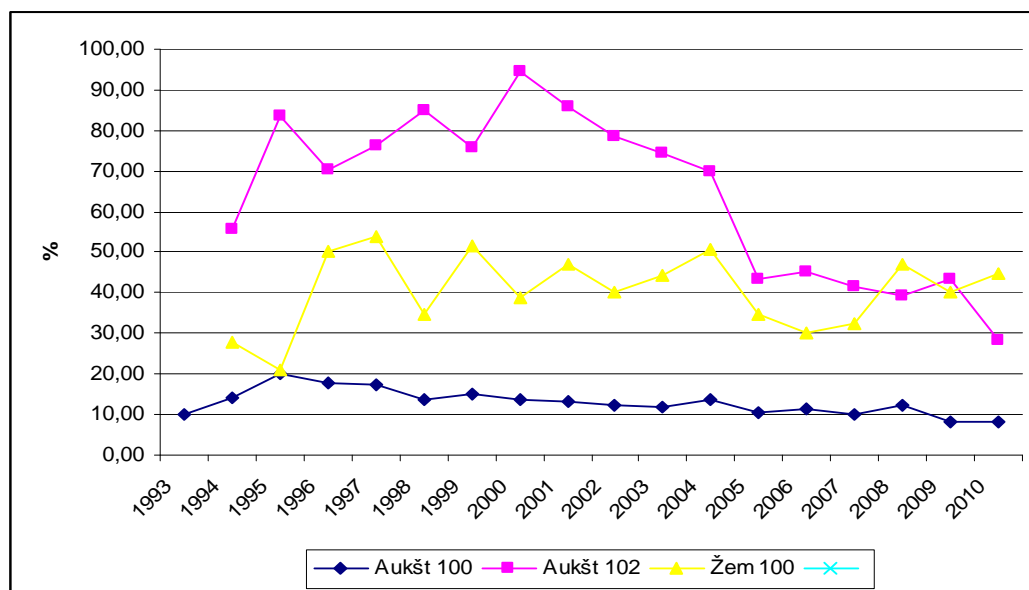
Aukštaitija – 100

Aukštaitijos ITS-100 žolių ir krūmokšnių ardo projektinis padengimas nedidelis. 1993-2010 metais jis svyravo nuo 8,1 % iki 20 % (4.20 pav.). Šiame arde buvo užregistruota ir stebima 15 rūšių induočių augalų (*Calamagrostis arundinacea*, *Convalaria majalis*, *Festuca ovina*, *Goodyera repens*, *Luzula pilosa*, *Maianthemum bifolium*, *Melampyrum pratense*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Pteridium aquilinum*, *Rubus saxatilis*, *Sorbus aucuparia*, *Trientalis europaea*, *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*) (4 priedas) . Ne visos jų išaugdavo kasmet. Per visą stebėjimo laikotarpį nepranykdamos augo tik 8 rūšys.

Žolių ir krūmokšnių ardo projektinis padengimas daugiausiai priklauso nuo 2 augalų rūšių projektinio padengimo: *Vaccinium myrtillus* ir *Pteridium aquilinum*. *Vaccinium myrtillus* yra vienintelis pastovus dominantas, o *Pteridium aquilinum*, jeigu kuriais metais išauga laukelyje, tai duoda didelį padengimą. Tačiau *Pteridium aquilinum* šakniastiebis kasmet pailgėja apie 1 m ir ne visada lapus išaugina intensyvaus stebėjimo laukeliuose.

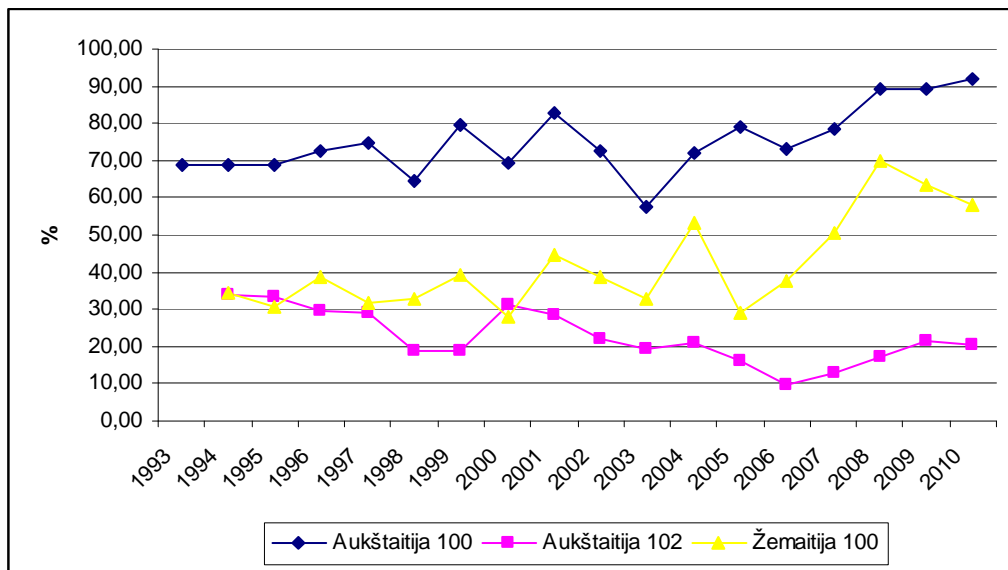
Vaccinium myrtillus yra jautri grybinėms ligoms, kurios pakanda lapus. Ligų protrūkio metu, *Vaccinium myrtillus* numeta lapus, taip sumažindama bendrą projekcinį padengimą (4.22 pav.).

1993-2010 metais vykdytų stebėjimų metu svyravimas ir buvo susijęs su minėtomis priežastimis.



4.20 pav. Žolių ir krūmokšnių ardo projekcinio padengimo kitimas 1993-2010 metais

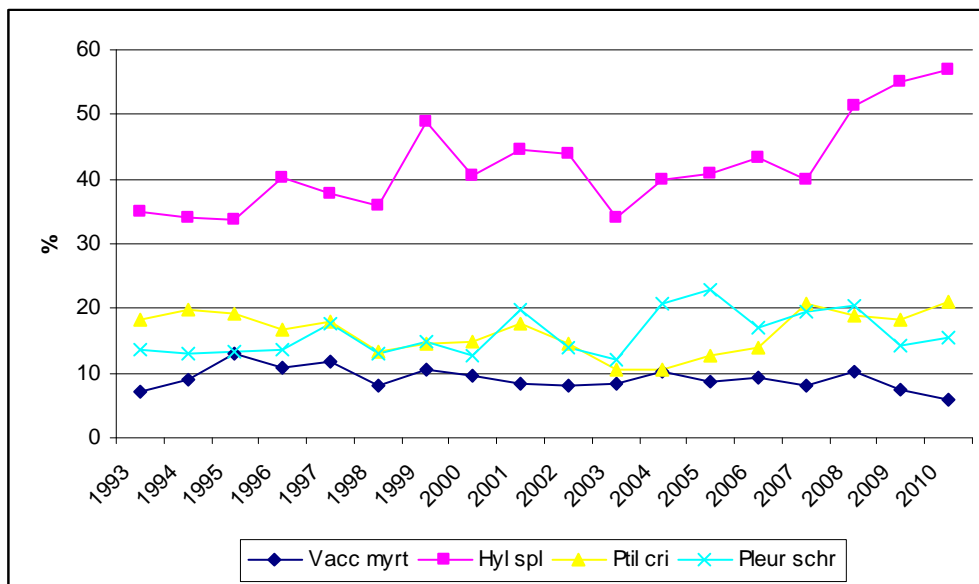
Samanų ardas Aukštaitijos ITS-100 intensyvaus monitoringo laukeliuose labai vešlus. Jo projekcinis padengimas per 1993-2010 metus svyravo nuo 64,3 % iki 91,8 % (4.21 pav.). Rūšių sudėtis nėra labai turtinga, per minėtą laikotarpį buvo stebėta 13 rūšių samanų (*Brachythecium oedipodium*, *Brachythecium salebrosum*, *Dicranum polysetum*, *Dicranum scoparium*, *Hylocomium splendens*, *Lophocolea heterophylla*, *Plagiothecium curvifolium*, *Plagiothecium denticulatum*, *Pleurozium schreberi*, *Pohlia nutans*, *Polytrichum formosum*, *Ptilium crista-castrensis*, *Tetraphis pelucida*) ir 1 rūšis kerpių (*Cladonia sp.*). (4 priedas) Per visą stebėjimo laikotarpį nepranykdamos augo tik 4 samanų rūšys.



4.21 pav. Samanų ardo projekcinio padengimo kitimas 1993-2010 metais

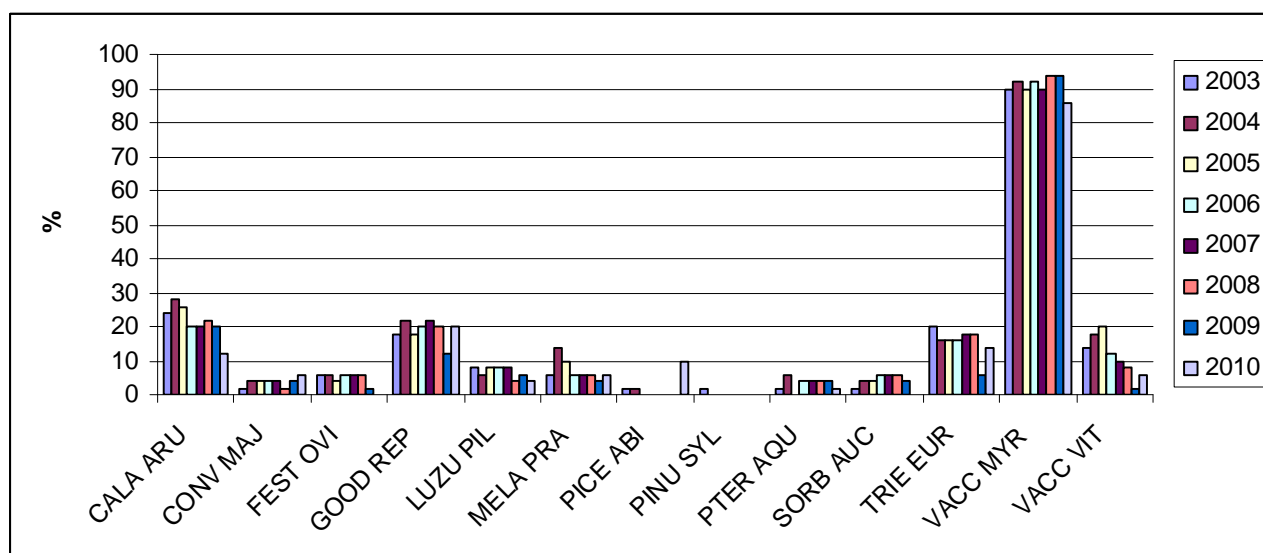
Samanų ardo Aukštaitijos ITS-100 projekcinio padengimo kitimas (2 pav.) labiausiai susijęs su jo gausiausio dominanto – *Hylocomium splendens* projekcinio padengimo svyravimu (4.22 pav.).

Samanų ardo projekcinio padengimo svyravimui turėjo įtakos ir *Betula pendula* sumažėjimas Aukštaitijos ITS-100. Išvirtus beržams, sumažėjo nukritusių lapų kiekis, kuris mechaniškai stelbdavo samanas.

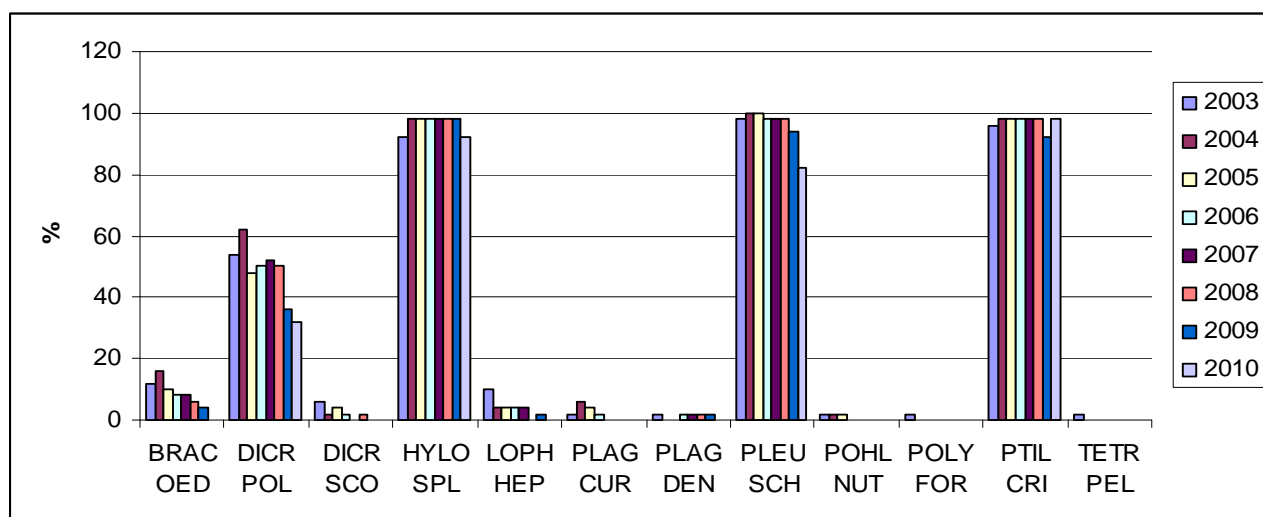


4.22 pav. Aukštaitijos ITS-100 vyraujančių induočių augalų ir samanų gausumo kitimas 1993-2010 metais

Dažniausia induočių augalų rūšis per 2003-2010 metus buvo vienintelė - *Vaccinium myrtillus* (4.23 pav.). Kitos dvi rūšys, kurių dažnumas perkopė 20 % buvo *Calamagrostis arundinacea* ir *Goodyera repens*. Jų dažnumas kito nežymiai.



4.23 pav. Aukštaitijos ITS-100 induočių augalų dažnumo kitimas 2003-2010 metais



4.24 pav. Aukštaitijos ITS-100 samanų dažnumo kitimas 2003-2010 metais

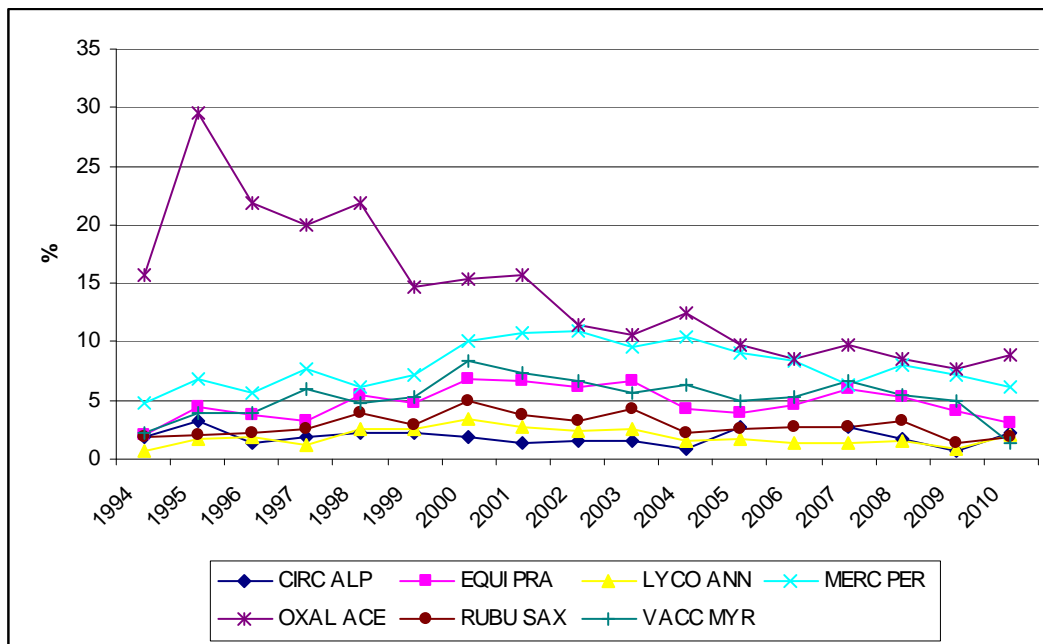
Samanų arde Aukštaitijos ITS-100 2003-2010 metais dažniausios išliko tos pačios 4 rūšys: *Dicranum polysetum*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Ptilium crista-castrensis* (4.24 pav.). Tokių rūšių, kaip *Brachythecium oedipodium*, *Plagiothecium denticulatum*, *Plagiothecium curvifolium* dažnumo mažėjimas susijęs su *Betula pendula* sumažėjimu stebimajame plote, kadangi jos paprastai augdavo po *Betula pendula* laja.

Aukštaitija – 102

Aukštaitijos ITS-102 žolių ir krūmokšnių arde buvo stebimos 63 rūšys (*Acer platanoides*, *Aegopodium podagraria*, *Agrostis stolonifera*, *Athyrium filix-femina*, *Betula pubescens*, *Cardamine amara*, *Carex digitata*, *Carex caespitosa*, *Carex remota*, *Carex loliacea*, *Chrysosplenium alternifolium*, *Circaea alpina*, *Cirsium oleraceum*, *Cystopteris fragilis*,

Corylus avellana, Crepis paludosa, Daphne mezereum, Dryopteris dilatata, Dryopteris carthusiana, Dryopteris expansa, Elymus caninus, Equisetum pratense, Equisetum sylvaticum, Fragaria vesca, Frangula alnus, Fraxinus excelsior, Galium aparine, Lamiastrum galeobdolon, Geranium robertianum, Geum rivale, Geum urbanum, Gymnocarpium dryopteris, Glechoma hederacea, Huperzia selago, Impatiens noli-tangere, Impatiens parviflora, Juncus compressus, Lycopodium annotinum, Lysimachia vulgaris, Luzula pilosa, Majanthemum bifolium, Melica nutans, Mercurialis perrennis, Mycelis muralis, Myosotis aquatica, Neotia nidus-avis, Oxalis acetosella, Padus avium, Paris quadrifolia, Picea abies, Populus tremula, Rubus idaeus, Rubus saxatilis, Solanum dulcamara, Sorbus aucuparia, Stellaria nemorum, Trientalis europaea, Urtica dioica, Vaccinium myrtillus, Vaccinium vitis-idaea, Viola palustris, Viola riviniana, Viola epipsila) (5 priedas), tačiau visą stebėjimų laikotarpį nepranykdamos augo tik apie trečdalį – 24 rūšys.

Aukštaitijos ITS-102 žolių ir krūmokšnių ardo projekcinis padengimas 1994-2004 metų laikotarpiu svyravo labai ryškiai - nuo 28,5 % iki 94,3 % (4.20 pav.). Pastarųjų penkerių metų (2005-2010) bėgyje, 2005- aisiais metai stipriai sumažėjo, kitų ketverių metų bėgyje svyravo nežymiai, o 2010 metais vėl krito. 2005 metais užregistruotas žolių ir krūmokšnių ardo projekcinio padengimo kritimas įvyko dėl apšvietimo sąlygų pasikeitimo. Išvirtus daliai medžių, suvešėjo jaunos eglaitės, kurios nustelbė dalį žolinių augalų. Kai kurie žoliniai augalai žuvo dėl laukelius užgriuvusių išvartų. Žolinėje dangoje sumažėjo dominantų (*Oxalis acetosella, Mercurialis perrennis, Vaccinium myrtillus* projekcinis padengimas) (4.25 pav.). 2006-2009 žolių ir krūmokšnių ardo projekcinio padengimo svyravimai nežymūs. 2010 metais atskirų rūšių projekciniai padengimai ir didėjo, ir mažėjo, tačiau bendras žolių ir krūmokšnių ardo projekcinis padengimas vėl sumažėjo. Šis sumažėjimas įvyko dėl vėtros padarinių, kai apie 1 savaitę prieš stebėjimus buvo išversta daug medžių ir kai kurie laukeliai sunaikinti arba užkloti nuvirtusių medžių šakomis.



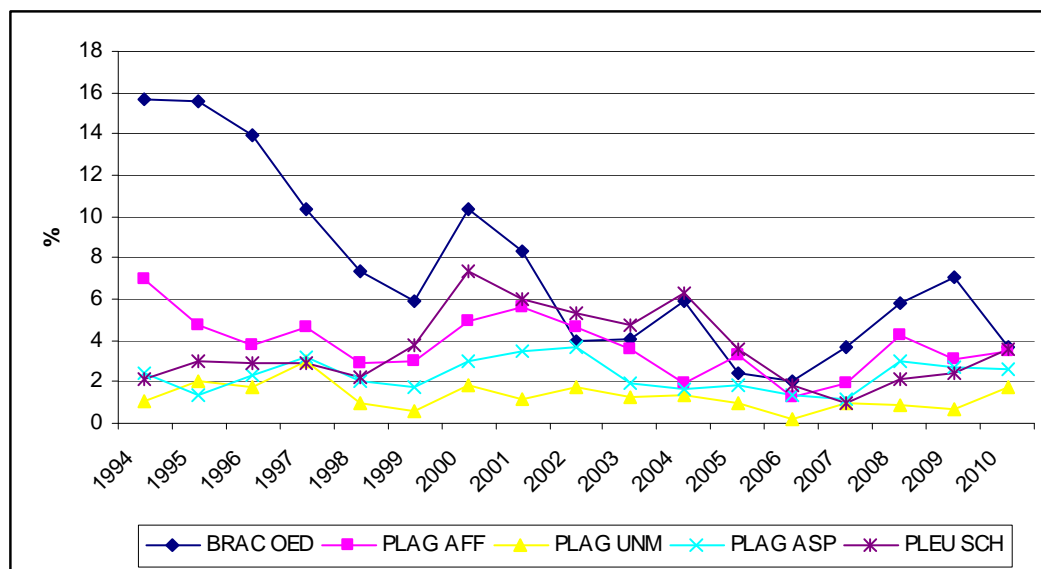
4.25 pav. Aukštaitijos ITS-102 vyraujančių induočių augalų gausumo kitimas 1993-2010 metais

1994-2004 metų laikotarpiu ryškiausias pokytis žolinėje dangoje buvo *Oxalis acetosella* projekcinio padengimo mažėjimas, kuris stabilizavosi 2005-2010 metų periodu (4.25 pav.).

1999-2004 metų laikotarpiu buvo stebimas *Mercurialis perrennis* projekcinio padengimo didėjimas, tačiau 2005-2010 metų periodu jis grįžo prie panašių reikšmių, kaip buvo 1994-2004 laikotarpiu (4.25 pav.).

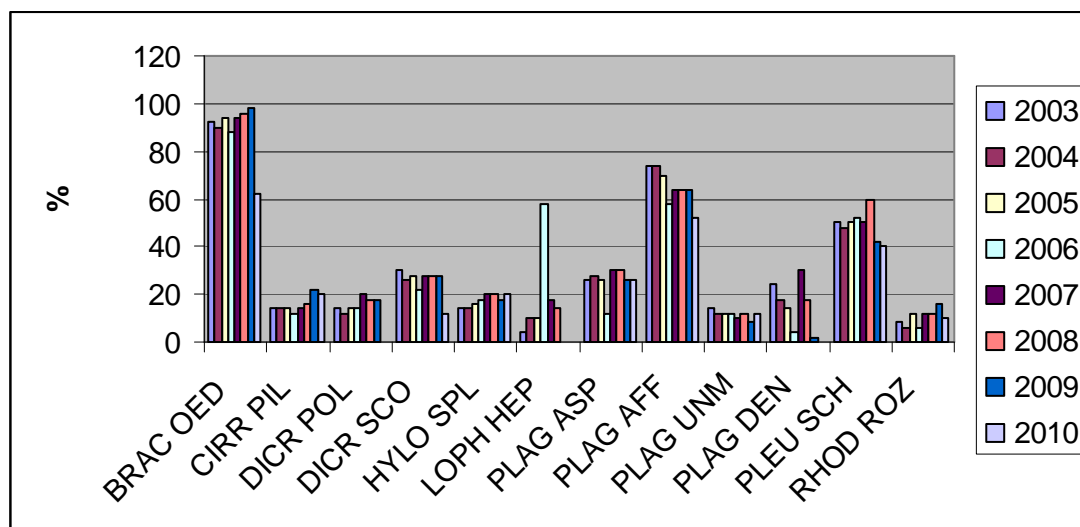
Aukštaitijos ITS-102 tyrimo laukeliuose buvo stebima 31 rūšis samanų (*Atrichum undulatum*, *Brachythecium oedipodium*, *Brachythecium salebrosum*, *Brachythecium velutinum*, *Cirriphylum piliferum*, *Climacium dendroides*, *Dicranum polysetum*, *Dicranum scoparium*, *Dicranella subulata*, *Herzogiella seligeri*, *Hylocomium splendens*, *Hypnum cupressiforme*, *Lophocolea bidentata*, *Lophocolea heterophylla*, *Plagiomnium affine*, *Plagiothecium curvifolium*, *Plagiothecium denticulatum*, *Plagiomnium undulatum*, *Plagiochila asplenioides*, *Pleurozium schreberi*, *Pohlia nutans*, *Polytrichum formosum*, *Polytrichum longisetum*, *Ptilium crista-castrensis*, *Rhizomnium punctatum*, *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Rhodobryum roseum*, *Sphagnum girgensohnii*, *Tetraxis pelucida*, *Thuidium delicatulum*, *Thuidium tamariscinum*), (5 priedas) tačiau, kaip ir induočių augalų, tik trečdalis - 11 jų visą stebėjimų laikotarpį augo neišnykdamos.

Aukštaitijos ITS-102 tyrimo laukeliuose samanų 1993-2010 metų laikotarpiu dengė ne daugiau kaip trečdali paviršiaus ploto. Vyraujančių rūšių tarpe (4.26 pav.) gausiausia buvo *Brachythecium oedipodium*, kurios projekcinis padengimas ryškiai svyravo. Kitų vyraujančių rūšių projekcinis padengimas svyravo keletu procentų.



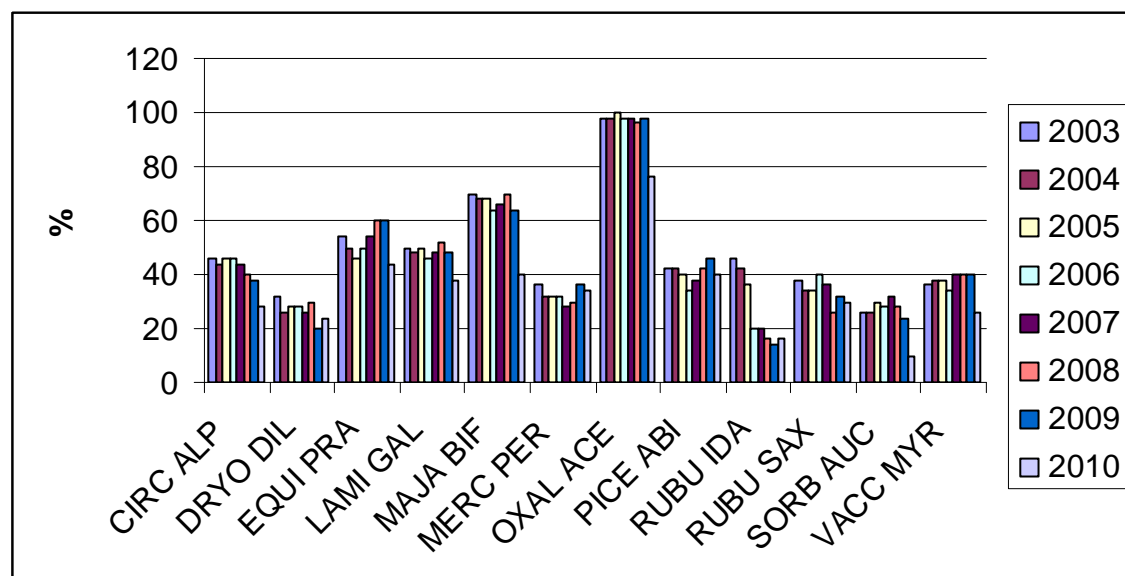
4.26 pav. Aukštaitijos ITS-102 vyraujančių samanų rūšių gausumo kitimas 1993-2010 metais

Aukštaitijos ITS-102 2003-2010 metais dažniausiai pasitaikančios samanų rūšys (dažnumas didesnis nei 50 %) buvo tik trys: *Brachythecium oedipodium*, *Plagiomnium affine*, *Pleurozium schreberi* (4.27 pav.). Kerpsamanė *Lophocolea heterophylla* taip dažnai buvo sutinkama tik 2006 metais. Dar dviejų rūšių - *Dicranum scoparium* ir *Plagiochila asplenioides* dažnumas svyruoja apie 25 %.



4.27 pav. Aukštaitijos ITS-102 samanų dažnumo kitimas 2003-2010 metais

Aukštaitijos ITS-102 intensyvaus 2003-2010 metais stebėjimo laukeliuose buvo registruotas gana didelis skaičius induočių augalų rūšių, tačiau dažnumas didesnis nei 50 % tik keturių rūšių: *Oxalis acetosella*, *Maianthemum bifolium*, *Equisetum pratense*, *Lamiastrum galeobdolon*. Daugiau nei ketvirtadalyje laukelių aptinkami *Circaea alpina*, *Dryopteris dilatata*, *Mercurialis perennis*, *Picea abies*, *Rubus idaeus*, *Rubus saxatilis*, *Sorbus aucuparia*, *Vaccinium myrtillus*.



4.28 pav. Aukštaitijos ITS-102 induočių augalų dažnumo kitimas 2003-2010 metais

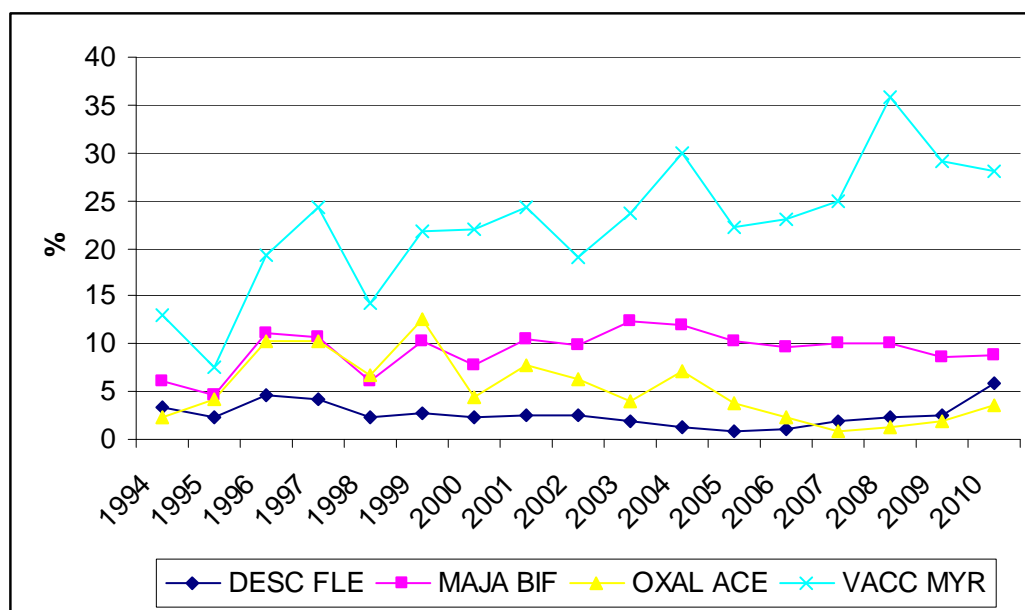
4.6.2. ŽEMAITIJOS KMS augalijos tyrimo stacionatras

Žemaitijos ITS buvo atlikti stebėjimai 37 apskritose aikštelėse, kurių metu buvo atlikta augalų rūšių inventorizacija, suregistruotos monitoringo teritorijos plote esančios rūšys. Šių stebėjimų rezultatai pateikiami 2 priede.

Žemaitijos ITS žolių ir krūmokšnių ardo projekcinis padengimas 1993-2010 metais svyravo nuo 27,8 % iki 53,7 % (4.29 pav.). Šiame arde buvo užregistruota ir stebima 21 rūšis induočių augalų (*Calamagrostis arundinacea*, *Carex pilulifera*, *Deschampsia flexuosa*, *Dryopteris expansa*, *Frangula alnus*, *Galeopsis bifida*, *Lycopodium annotinum*, *Luzula pilosa*, *Maianthemum bifolium*, *Melampyrum pratense*, *Mycelis muralis*, *Oxalis acetosella*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Pteridium aquilinum*, *Quercus robur*, *Rubus idaeus*, *Sorbus aucuparia*, *Trientalis europaea*, *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*) (3 priedas). Ne visos jų išaugdavo kasmet. Per visą stebėjimo laikotarpį nepranykdamos augo tik 7 rūšys.

Žolių ir krūmokšnių ardo projekcinis padengimas daugiausiai priklauso nuo pagrindinio dominanto - *Vaccinium myrtillus* projekcinio padengimo. Grybinių ligų protrūkio metu *Vaccinium myrtillus* numeta lapus, taip sumažindama bendrą projekcinį padengimą (4.29 pav.). Kitų vyraujančių rūšių (*Deschampsia flexuosa*, *Maianthemum bifolium*, *Oxalis acetosella*) projekcinis padengimas svyravo nežymiai.

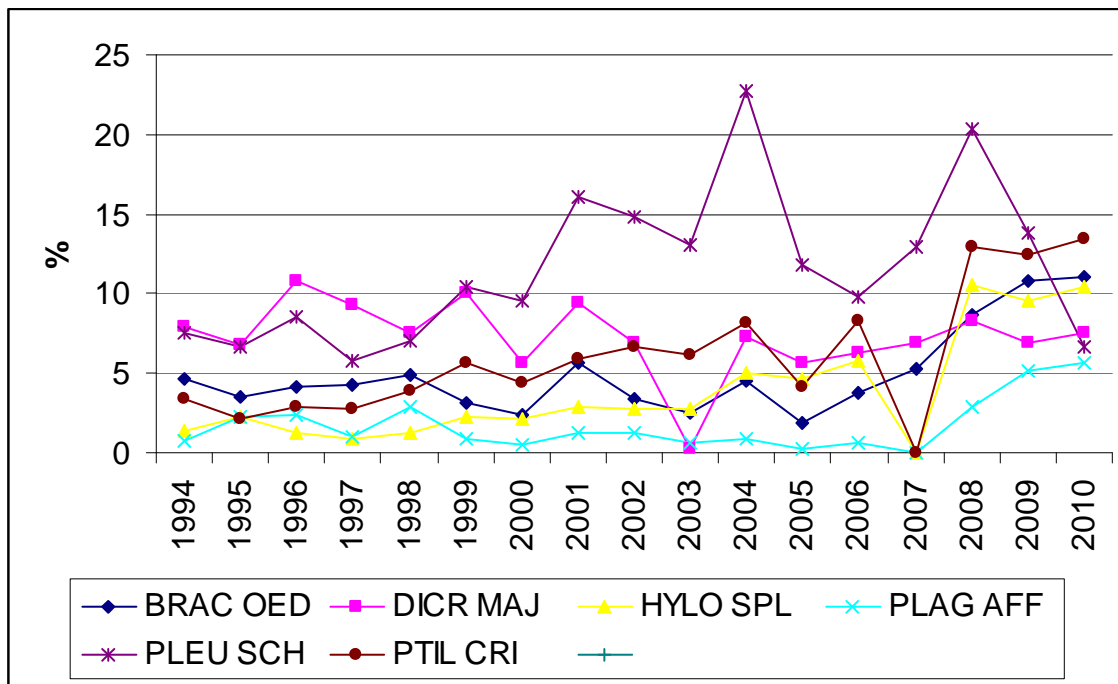
Samanų ardo projekcinis padengimas Žemaitijos ITS 1993-2010 metais svyravo panašiai, kaip ir induočių augalų - nuo 28,2 % iki 69,8 % (4.30 pav.).



4.29 pav. Žemaitijos ITS vyraujančių induočių augalų gausumo kitimas 1993-2010 metais

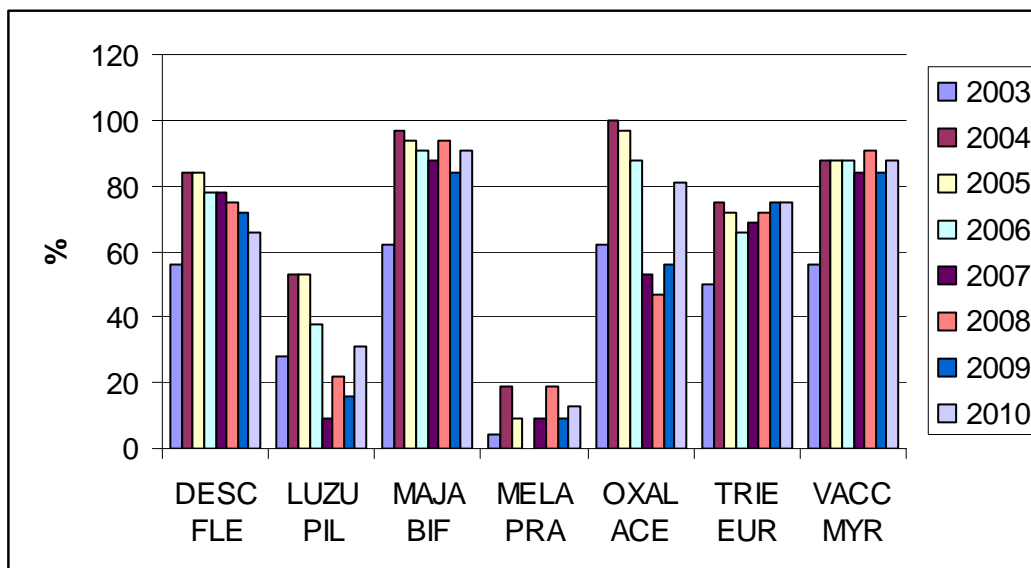
Buvo užregistruotos ir stebimos 22 samanų (*Atrichum undulatum*, *Brachythecium oedipodium*, *Brachythecium reflexum*, *Dicranum majus*, *Dicranum montanum*, *Dicranum polysetum*, *Dicranum scoparium*, *Hylocomium splendens*, *Jamesoniella autumnalis*, *Lepidozia reptans*, *Lophocolea heterophylla*, *Plagiothecium curvifolium*, *Plagiochila asplenioides*, *Plagiomnium affine*, *Plagiomnium cuspidatum*, *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum commune*, *Polytrichum formosum*, *Polytrichum juniperinum*, *Polytrichum formosum*, *Ptilium crista-castrensis*, *Sphagnum girgensohnii*) ir 1 kerpių rūšis (*Hypogymnia physodes*) (3 priedas), tačiau visą laikotarpį nepranykdamos augo 11 rūšių.

Visų vyraujančių samanų rūšių projekcinis padengimas stebimuoju 1993-2010 metų laikotarpiu svyravo 15 % ribose (4.30 pav.).



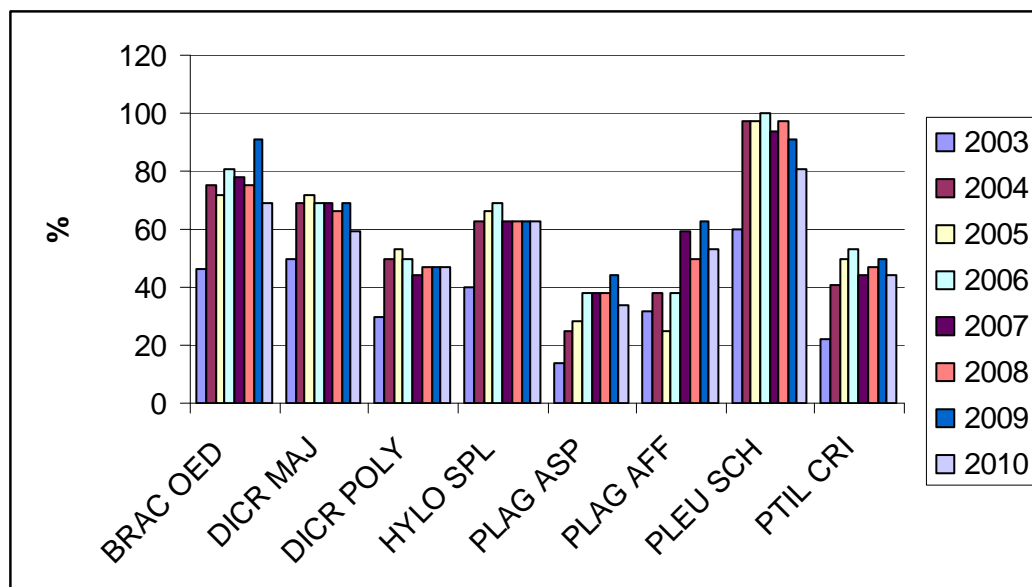
4.30 pav. Žemaitijos ITS vyraujančių samanų rūšių gausumo kitimas 1993-2010 metais

Dažniausios induočių augalų rūšys Žemaitijos ITS 2003-2010 metais buvo 5: *Deschampsia flexuosa*, *Maianthemum bifolium*, *Oxalis acetosella*, *Trientalis europaea*, *Vaccinium myrtillus* (4.31 pav.).



4.31 pav. Žemaitijos ITS induočių augalų dažnumo kitimas 2003-2010 metais

Samanų arde dažniausios buvo *Brachytheceium oedipodium* ir *Pleurozium schreberi*, tačiau dar 5 rūšys pasitaikė dažniau nei pusėje laukelių: *Dicranum majus*, *Dicranum polysetum*, *Hylocomium splendens*, *Plagiomnium affine*, *Ptilium crista-castrensis* (4.32 pav.).



4.32 pav. Žemaitijos ITS samanų dažnumo kitimas 2003-2010 metais

4.6.3. Augalinės dangos pokyčiai KMS stacionaruose

Per stebimąjį (1993-2010) laikotarpį bendrijų vyraujančios ir dažniausios rūšys išliko tos pačios. Augalinės dangos projekcinio padengimo ir rūšių dažnumo svyravimai didžiaja dalimi yra susiję su natūraliomis sukcesinėmis bendrijų kaitomis. Pagrindinės gamtinių veiksnių nulemtos kaitos bendrijose vyko dėl vėtrų ir jų padarinių (vėjovartų). Jos sukūrė vadinamuosius „šviesos langus“ bendrijose, dėl kurių pasikeitė rūšių projekcinis padengimas. Stebėtose spygliuočių miško bendrijose šviesos languose smarkiausiai suvešėjo *Picea abies* ir *Rubus idaea*, užgoždamos kitus augalus. Kitas ryškesnis augalinės dangos projekcinio padengimo svyravimas susijęs su vienu iš pagrindinių tirtųjų bendrijų dominantu *Vaccinium myrtillus* defoliacija. *Vaccinium myrtillus* yra jautri grybinėms ligoms ir jų protrūkio metu grybų pažeisti lapai nubyra, taip sumažindami projekcinį padengimą.

Per tyrimų laikotarpį išryškėjo ir kai kurių rūšių projekcinio padengimo ir dažnumo reakcija į netiesioginį antropogeninį poveikį, pasireiškiantį per oro taršą ir į dirvožemį su krituliais patenkančius įvairius cheminius elementus ir jų junginius.

Atlikus statistinę analizę, galima statistiškai patikimai ($p < 0,05$) teigti, kad žolinės dangos vidutinis projekcinis padengimas didėja priklausomai nuo patenkančių su krituliais sulfatų (1,2,7,8 lentelės) ir nitritų (1 lentelė). Yra augalų tolerantiškų ir netolerantiškų šioms medžiagoms. Tačiau didesnę projekcinį padengimą turi tolerantiški augalai, tai ir nulėmė tokius vidutinio projekcinio padengimo svyravimus. Pagrindiniai žolinės dangos atstovai, kurių projekcinis padengimas palankiai reaguoja į sulfatus, yra: *Calamagrostis arundinacea*, *Melampyrum pratense*, *Pteridium aquilinum* (3, 4, 15, 16 lentelės). Tuo tarpu tokių rūšių, kaip *Corylus avellana*, *Sorbus aucuparia*, *Carex digitata*, *Populus tremula* projekcinis padengimas mažėja daugėjant sulfatų kiekiui (9, 10 lentelės). *Sorbus aucuparia* ir *Populus tremula* yra netolerantiški sulfatams, mažėja ne tik jų projekcinis padengimas, bet ir dažnumas (11, 12 lentelės). Azoto kiekiui tolerantiškos rūšys, kurių projekcinis padengimas didėja priklausomai nuo patenkančių nitritų yra: *Frangula alnus*, *Urtica dioica*, *Oxalis acetosella* (9, 15, 16 lentelės).

IŠVADA

Per stebimąjį (1993-2010) laikotarpį bendrijų vyraujančios ir dažniausios rūšys išliko tos pačios. Augalinės dangos projekcinio padengimo ir rūšių dažnumo svyravimai didžiaja dalimi yra susiję su natūraliomis sukcesinėmis bendrijų kaitomis. Pagrindinės gamtinių veiksnių nulemtos kaitos bendrijose vyko dėl vėtrų ir jų padarinių (vėjovartų). Jos sukūrė vadinamuosius „šviesos langus“ bendrijose, dėl kurių vyko didžiausi rūšių projekcinio padengimo svyravimai.

Nors per tyrimų laikotarpį išryškėjo ir kai kurių rūšių projekcinio padengimo ir dažnumo reakcija į netiesioginį antropogeninį poveikį, pasireiškiantį per oro taršą ir į dirvožemį su krituliais patenkančius įvairius cheminius elementus ir jų junginius, per stebimąjį laikotarpį (1993-2010) tirtųjų parametrų svyravimai neviršijo gamtiniams procesams būdingų fliuktuacijų.

Remiantis atliktais Aukštaitijos ir Žemaitijos ITS žolių ir krūmokšnių bei samanų ir kerpių gausumo, dažnumo ir fertilumo 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	

4.7. Miško ekosistemų biotos komponentų tyrimo rezultatų apibendrinimas

Tiriamuoju laikotarpiu (1994-2010 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.

Aukštaitijos KMS pušų vidutinės defoliacijos kaitos sekoje išskiriamas laikotarpis, kada pušynų būklė buvo geriausia. Tai 2004-2008 m. laikotarpis, kai pušų vidutinė defoliacija svyravo apie 15-17% riba. Paskutiniu metu pušų lajų defoliacija vėl pradėjo didėti. Eglių vidutinės defoliacijos kaitoje taip pat galima išvelgti tokius pat defoliacijos kaitos dėsningumus. Geriausios būklės eglės Aukštaitijos KMS buvo būtent tuo pačiu laikotarpiu, nuo 2004 iki 2008 m., kai jų vidutinė defoliacija svyravo apie 20-22%. Paskutiniaisiais metais eglių vidutinė defoliacija siekė šioje stotyje 23%. Tik beržų defoliacijos kaitoje per visą turiamąjį laikotarpį nepavyko išaiškinti reikšmingesnių pokyčių. Vidutinė defoliacija svyruoja apie 18-23%.

Analizuojant tirtų medžių lajų defoliacijos kaitą per visą turiamąjį laikotarpį Žemaitijos KMS išskiriamas atvirkštinis kaitos trendas negu Aukštaitijos KMS. Laikotarpiu, kai medžių lajų būklė Aukštaitijos KMS buvo geriausia, Žemaitijos KMS medžių lajų būklė buvo blogiausia. Pušų lajų vidutinė defoliacija 2002-2006m. laikotarpiu svyravo apie 24-26%, eglių – viršijo 25% riba, o beržų 24%.

Vienas iš pagrindinių medynų būklės rodiklių, šalia vidutinės medžių defoliacijos laikomas žuvusių medžių skaičius. Aukštaitijos KMS pirmajame stacionare medžių išsiretinimo intensyvumas buvo mažiausias ir siekia tik 1,4% per metus, antrajame stacionare - 1,6% per metus ir didžiausias trečiajame stacionare - 2,8% per metus. Po 2010 m., kai dėl vėjovartų šiame stacionaruose žuvo 22 medžiai, problematiškas pasidarė tyrimų tęsimas šiame stacionare ateityje. Pastaruoju laikotarpiu šiame stacionare yra išlikę tik 78 gyvi medžiai.

Žuvusių medžių skaičiaus dinamika rodo, kad per tiriamąjį laikotarpį kasmet vidutiniškai iškrenta apie 2,3% medžių.

Eliminavus dėl nepalankių klimatinių veiksnių žuvusių medžių įtaką vidutinei defoliacijai, nustatyta, kad iki 2004 metų tirtų išlikusių gyvų medžių vidutinė defoliacija mažėjo reikšmingai po 0,5% kiekvienais metais, tačiau nuo 2005 metų iki 2010 m. buvo stebimas atvirkštinis procesas, medžių lajų vidutinė defoliacija didėjo reikšmingai maždaug po 0,6%.

Žemaitijos stacionare bendras medžių iškritimas per 16 m. laikotarpį siekia 22% ar 1,3% per metus. 2002 metais net apie 5% eglių buvo pažeistos snieglaužos, o paskutiniaisiais metais eglių žuvimo priežastis – žievėgraužis tipografas, tačiau šiame stacionare nuo 2007 m. kasmet žūsta tik po viena eglę. 2005 – 2010 m. laikotarpiu registruojamas reikšmingas viršaujančių eglių lajos būklės gerėjimas. Vidutinė defoliacija mažėja maždaug po 0,6% per metus. Palyginus eglių defoliaciją tyrimų stacionaruose, nustatyta, kad Žemaitijos stacionaro eglių vidutinė defoliacija mažesnė negu Aukštaitijos KMS stacionarų.

Aukštaitijos KMS daugiausiai pažeista išlieka medžių kamienų apatinė dalis (3), 58% visų užregistruotų pažeidimų. Kiek mažiau pažeistas lajos kamienas. Tai stipraus vėjo padarinys. Visame kamieno (4), viršutinėje kamieno dalyje (5) ir šakose (7) užregistruota maždaug po lygiai pažeidimų, t.y. po 5-7%.

Aukštaitijos KMS dažniausiai pasikartojantys buvo: atviros žaizdos (3), 53% visų pažeidimų. Tai įvairaus senumo bei intensyvumo elnių nulopyti eglių kamienai. 20% pažeidimų sudarė viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas (21), kurį sąlygojo snieglaužos ir vėjalaužos. Eglinio topografo, ūglių ir lapų pažeidimai, o taip pat vėžiniai susirgimai ir įvairūs kamieno nulenkimai dėl smarkaus vėjo sudarė apie 5 – 7 % visų pažeidimų. Likę užregistruoti pažeidimai nesiekė 2%.

Žemaitijos KMS teritorijoje daugiausiai pažeidimų rasta lajos kamieno srityje (6). Pažeidimai šiose srityse 2010 m. viršijo 60% visų užregistruotų pažeidimų. Kiek mažiau buvo pažeistos kamieno apatinė sritis (3) bei šakos (7) – 11 ir 10% visų pažeidimų. Kiek rečiau pažeidimai buvo registruojami visame kamieno (4), 7% visų pažeidimų.

Žemaitijos KMS dažniausiai pasikartojantis pažeidimas buvo viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas (21). Šis pažeidimas jau eilę metų sudarė apie 63% 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 2010 m. sumažėjo nuo 28% (2008) iki 7% visų pažeidimų.

Apibendrinus 6 metų pažeidimų tyrimo rezultatus Aukštaitijos KMS nustatyta, kad paskutiniu metu sumažėjo pažeidimų priekelminėje ir šaknų srityje, t.y. sumažėjo vėjavartų ir kamieno srityje, tačiau vėl pradėjo didėti pažeidimai lapijoje. Iš pažeidimo rūšių išsiskiria eglinio topografo pažeidimai, kurių gausa Aukštaitijos KMS didėja.

6 metų pažeidimų tyrimo rezultatai Žemaitijos KMS parodė, kad daugėja pažeidimų lajos kamieno dalyje, kas yra būdinga eglinio tipografo pažeidimams, o mažėja, kaip ir Aukštaitijos KMS šaknų ir priekelminėje medžio dalyje. Iš pažeidimų rūšių vyrauja jau daugelį metų viršūnės netekimas dėl snieglaužų, o taip pat išsiskiria eglinio tipografo pažeidimų mažėjimas. Šio kenkėjo didžiausi pažeidimai buvo registruojami 2007-2008 m.

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. 2009-10 m. tyrimų rezultatai rodo, kad KMS baseinuose turėtų mažėti tarša azoto junginiais.

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 procesų. Pakartojus epifitinių kerpių tyrimus abiejų stočių visoje baseino teritorijoje tikimasi išaiškinti esminius epifitinių kerpių gausos ir rūšių įvairovės kaitos ypatumus bei lemiančias priežastis.

Per stebimąjį (1993-2010) laikotarpį bendrijų vyraujančios ir dažniausios rūšys išliko tos pačios. Augalinės dangos projekcinio padengimo ir rūšių dažnumo svyravimai didžiąja dalimi yra susiję su natūraliomis sėkmesinėmis bendrijų kaitomis. Pagrindinės gamtinių veiksnių nulemtos kaitos bendrijose vyko dėl vėtrų ir jų padarinių (vėjovartų). Jos sukūrė vadinamuosius „šviesos langus“ bendrijose, dėl kurių vyko didžiausi rūšių projekcinio padengimo svyravimai.

Nors per tyrimų laikotarpį išryškėjo ir kai kurių rūšių projekcinio padengimo ir dažnumo reakcija į netiesioginį antropogeninį poveikį, pasireiškiantį per oro taršą ir į dirvožemį su krituliais patenkančius įvairius cheminius elementus ir jų junginius, per stebimąjį laikotarpį (1993-2010) tirtųjų parametrų svyravimai neviršijo gamtiniams procesams būdingų fliuktuacijų.

Remiantis atliktais Aukštaitijos ir Žemaitijos ITS žolių ir krūmokšnių bei samanų ir kerpių gausumo, dažnumo ir fertilumo matavimais galima teigti, kad stebėtos bendrijos išliko stabilios.

5. APLINKOS NATŪRALIŲ IR ANTROPOGENINIŲ VEIKSNIŲ POVEIKIS MIŠKŲ BŪKLEI

Praėjusio amžiaus 8-jame dešimtmetyje daugelis miškų būklės žymių tyrėjų pranašavo, kad didelės sieros ir azoto komponentų iškritos Europoje sąlygos masinius miškų pažeidimus ar net jų žūtį (Wentzel, 1971; Smith, 1974 ir kt.). Miškai iš tikrųjų buvo pakenkti didelėse pramonės centrų poveikio teritorijose, iš pradžių Vokietijoje (Knabe, 1981; Bauer, 1982; Bach, 1985), o vėliau ir kitose V. Europos valstybėse (Bernadzki et al. 1983, Stahel, 1984; Karl, 1986) kol galiausiai devinto dešimtmečio pradžioje pradėta teigti, kad miškų būklės blogėjimas įgauna regioninį mastą (Braker and Gaggen 1984, Mc Laughlin, 1985 ir kt.).

Nuo pat pradžių tolimosios užteršto oro pernašos ir rūgščiųjų junginių iškritos buvo laikomos pagrindine šių neigiamų miškų pokyčių priežastimi (Knabe, 1981; Bauer, 1982; Braker and Gagen, 1984), didinančia ne tik dirvožemio rūgštingumą (Falkengren-Grerup, 1987; Tamm, 1989; Bytnerowicz, Fenn, 1996), dirvožemio buferinių savybių sumažėjimą ir pagrindinių mineralinių medžiagų ir jonų iš dirvožemio išplovimą (Schulze, 1989; Likens et al., 1996), bet ir stimuliuojančia toksinių aliuminio junginių susidarymą (Ulrich 1981, Hutchinson et.al 1986, Cronan and Gregal 1995, Eisman, de Vries, 2000), didinančia medžių jautrumą šalčiui (Sheppard, 1994) ar sausroms (Dueck et al., 1998) bei galiausiai sąlygojančia dirvožemio mikroorganizmų aktyvumo sumažėjimą (Persson et al., 1989). Tačiau vėliau vis dažniau imtos minėti nepalankios klimatinės sąlygos, miško kenkėjų invazijos, ligos, miškininkų klaidos (monokultūrų veisimas, plynų kirtimų sutelkimas) ir kitos priežastys (Boneau, 1986; Nys, 1989; Auclair et al. 1992; Houston, 1992). Pastaruoju laikotarpiu, priešingai visoms ankstesnėms hipotezėms, mokslininkai pradėjo abejoti dėl miškų būklės regioninio blogėjimo fenomeno. Tam tikslui buvo pateikti nustatyti statistiškai nereikšmingi ($p > 0,05$) lajos rodiklių ir oro užterštumo bei rūgščiųjų srautų ryšiai (Schweingruber 1985, Nelleman and Frogner 1994, Klap et al. 1997) bei to laikotarpio greitesni medžių augimo tempai kai kuriuose Centrinės Europos šalyse (Kander, Innes, 1995; Spiecker, 1999).

Pastaruoju laikotarpiu kai kurie mokslininkai pradėjo teigti, kad daugelis neigiamų miškų būklės pokyčių regioniniu mastu nebuvo sąlygoti rūgščiųjų srautų (Blank et al., 1988; Innes, 1993; Skelly and Innes, 1994). Praėjusio amžiaus IX dešimtmetyje medžių lajų defoliacija padidėjo tik Centrinėje Europoje ir dalyje Skandinavijos bei Pietų Europos. Likusiose Europos regionuose buvo ir pozityvių, ir negatyvių miškų būklės pokyčių, kuriems, manoma, esminę įtaką turėjo gamtiniai aplinkos veiksniai (De Vries et al., 2000). Skelly J.M. ir Innes J.L. (1994) nuomone, pagrindinė idėja apie plačiai paplitusį fenomeną – miškų žūtį ar

jų pažeidimus, sąlygojamus aplinkos užterštumo buvo mokslinė fantazija. Matyt, dėl šios priežasties vis dažniau neigiamus miškų būklės pokyčius pradėta sieti su klimatu. Bandyta įrodyti, kad klimatas reikšmingiau veikia medžių lajų būklę nei medyno ar augavietės veiksniai, pateikiant pavyzdžius, kai tam tikrais atvejais meteorologinės sąlygos lemia net iki 79 % einamųjų metų defoliacijos kaitos (Neiryneck, Roskams, 1999).

Nežiūrint tokių prieštaringų hipotezių daugelis mokslininkų vis tik tai linę teigti, kad oro užterštumas sąlygoja augaluose biocheminius, fiziologinius ir morfologinius pokyčius, kurie vėliau sumažina augalų atsparumą žemoms temperatūroms ar drėgmės trūkimui. Antra vertus, žemos temperatūros gali tiesiogiai pažeisti medžius - jų lapiją, stiebus, o kai kuriais atvejais net šaknis. Šiuos pažeidimus gali padidinti oro tarša, ypač rudens ir pavasario mėnesiais (Chappelka, Freer-Smith, 1995).

Todėl pastaruoju laikotarpiu, atsižvelgdami į ankstesnių tyrimų rezultatus, populiariausia mokslininkų tarpe išlieka aplinkos veiksnių kompleksiško poveikio hipotezė, iš kurių tarpo kokio tai nors vieno veiksnio išskyrimas, kaip limituojančio medžio gyvybingumo procesus, pakankamai sudėtingas procesas, dėl pačių aplinkos veiksnių daugiareikšmės sąveikos. Atsižvelgiant į mažėjančius emisijų trendus Vakarų ir Vidurio Europoje, manoma, kad regioninis oro užterštumo poveikis turėtų mažėti (Mayerhofer et al., 2001), o klimato poveikis didėti (Innes, 1994; Spiecker et al., 1996; Ratio, 2000).

Problematiškas išlieka ir ozono poveikis miškams. Dėl papildomo poveikio kitų natūralių ir antropogeninių stresorių (azoto ir sieros oksidų koncentracijų ore), ozono poveikis nebuvo nenustatytas net plataus masto miškų būklės pablogėjimui (Skelly and Innes, 1994; Kandler and Innes, 1995; Klap et al., 1997, 2000), nors tai plačiai žinomas fitotoksikantas (Krupa and Manding, 1988), sustiprinantis neigiamą poveikį tokių oro teršalų kaip SO_x ir NO_x (Matyssek and Innes, 1999; Percy, 2002). Tokio poveikio rezultate sumažėja lapų fotosintezės, o padidėja kvėpavimo intensyvumas, sumažėja lapų-spyglių dydis, lapijos paviršiaus indeksas, lapijos gyvavimo trukmė bei bendras lapijos dangos tankumas (Karnosky et al., 1999). Būtent šie pokyčiai ir atsispindi medžių lajų defoliacijos rodiklyje.

Oro užterštumo poveikis faunai dar labiau komplikotas. Daugelio autorių nuomone, nors šis poveikis turi būti neigiamas, tačiau yra labai subtilus ir sunkiai nustatomas dėl jo sąveikos su nepalankiais natūraliais aplinkos veiksniais – stresais (Barker and Tingley, 1992; Szaro, 1993; Boxman et al., 1995).

Kompleksiško monitoringo programos preambulėje teigiama, kad ši programa skirta nustatyti, įvertinti ir prognozuoti sąlygiškai natūralių miško ekosistemų būklę bei jos ilgalaikius pokyčius, atsižvelgiant į tolimųjų oro teršalų (ypač sieros ir azoto junginių)

pernašų, ozono ir sunkiųjų metalų poveikį globalaus klimato atšilimo sąlygomis. Todėl vertinant aplinkos veiksnių poveikį miško ekosistemų būklei didžiausias dėmesys buvo skirtas rūgščiųjų iškritų ir ozono bei natūralių veiksnių, tokių kaip oro temperatūra ir krituliai, poveikio medžių būklei, dirvožemio pedobiontų rūšinei įvairovei, gausumui bei struktūriniam – funkciniam santykiui, o taip pat smulkiųjų žinduolių ir upelio makrobentos rūšinei įvairovei bei gausumui išaiškinti ir prognozuoti. Tyrimų rezultatai įgalino išaiškinti veiksnius sąlygojančius bendrus atskirų ekosistemos komponentų neigiamus pokyčius bei didinančius jų atsparumą nepalankiems veiksniams, taip sprendžiant vieną iš pagrindinių šių dienų prioritetinių uždavinių – nustatyti ir įvertinti oro užterštumo poveikį miškų ekosistemoms besikeičiančios aplinkos sąlygomis (Paoletti, Augustaitis et.al., 2003).

5.1 Oro teršalų ir jų sąlygotų geosistemoms parametrų poveikis miško ekosistemų būklei keičiantis klimatui

Tolimosios užteršto oro pernašos ir rūgščiųjų junginių iškritos jau nuo seno buvo laikomos pagrindine neigiamų miškų būklės pokyčių priežastimi. Todėl pagrindinis dėmesys buvo skirtas išaiškinti ar tolimosios užteršto oro pernašos ir rūgščiųjų junginių iškritos regioninio užterštumo teritorijose gali reikšmingai sąlygoti ne tik medžių lajų vidutinės defoliacijos kaitą laike, skirtingose Lietuvos regionuose (erdvėje), bet ir kitų ekosistemos komponentų - dirvožemio mikroatropodų, upelio makrobentose bei sausumos smulkiųjų žinduolių rūšinę įvairovę bei gausumą.

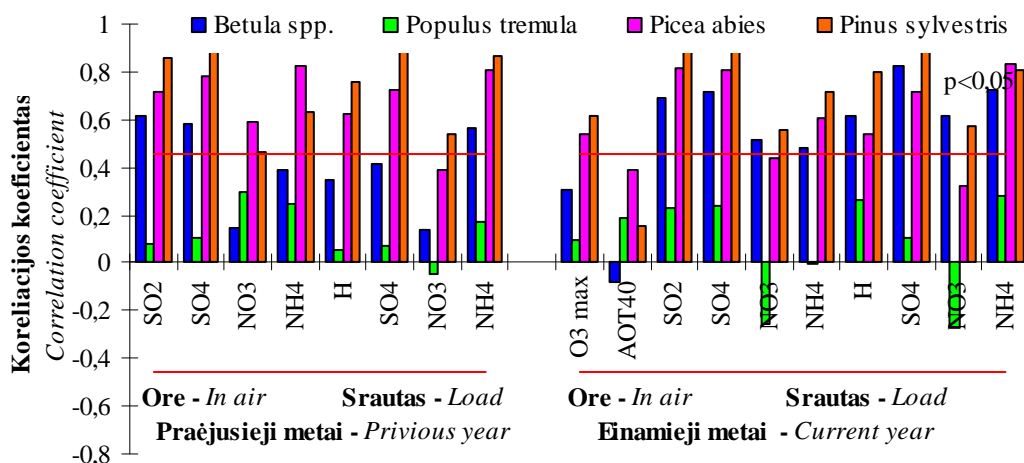
Oro užterštumo poveikio nustatymas vienas pagrindinių ir Kompleksiško, ir Miškų monitoringo programų uždavinių. Pagal oro užterštumą Lietuva Europoje užima tarpinę padėtį tarp Centrinės Europos, kurioje fiksuojamos didžiausios oro teršalų koncentracijos bei iškritos, ir Skandinavijos šalių, kuriuose oro užterštumas yra vienas žemiausių (UN-ECE, 2003). Teršalų mažėjimo gradientas einantis per mūsų valstybę, sąlygoja ir skirtingą šių valstybių miškų būklę. Pagal I.Liepą (Лиєпа, 1980) paskaičiavus aplinkos veiksnių įtakos koeficientus, rūgščiosios iškritos šiame regione paaiškina 75-80 % atskirų valstybių spygliuočių miškų daugiametės vidutinės defoliacijos variacijos, o klimatiniai veiksniai – vos 1% (Stakėnas ir Ozolinus, 1999).

Lietuvos, kaip atskiros valstybės, miškų būklės monitoringo rezultatų analizė rodo, kad regioninis oro užterštumas gali lemti tik daugiametės absoliučias vidutines lajų defoliacijos reikšmes, tačiau nepaaiškina defoliacijos kitimo skirtingose rajonuose skirtingu laikotarpiu, nors tokie pokyčiai yra ryškūs. Tai pagrįsdama bandoma sieti su klimato rodiklių

pokyčiais bei kenkėjų pažeidimais (Stakėnas, Ozolinčius, 1999). Tokius Miškų instituto mokslininkų rezultatus galėjo sąlygoti vienas iš pagrindinių tokių tyrimų trūkumų, kuris būdingas ir visai Europai – trūkumo patikimų duomenų apie aplinkos veiksnius, tame tarpe ir tikslų (ne modeliuotų EMEP tinkle su 150×150 km ar 50×50 km rezoliucija) duomenų apie užterštumą, ypač jo erdvinę kaitą (Klap et al., 2000). Matyt, dėl šios priežasties, daugelis autorių prisilaikydami nuomonės, kad regioninio masto medžių lajų būklės blogėjimą Europoje galėjo sąlygoti rūgštieji lietūs, vis tiksliai teigia, kad neigiamą teršalų įtaka augalams galima tik lokalaus užteršimo teritorijose (Muller-Edzards, et al., 1997, Smith, 1981). Bandytas nustatyti regioninės taršos įtaką medžių lajų defoliacijai buvo nesėkmingas. Europoje pušų vidutinę defoliaciją iš esmės sąlygoja tik valstybinis veiksnys, t.y. skirtingas etaloninio medžio interpretavimas ir atskirų valstybių duomenų nepalyginamumas (Klap et al., 1997, 2000). Tyrimai Kompleksinio monitoringo stotyse įgalino atsakyti į klausimą ar atskirų Lietuvos regionų oro užterštumas iš esmės sąlygoja šių teritorijų miškų būklės pokyčius.

5.1.1. Aukštaitijos KMS miškų būklę sąlygojantys veiksniai

Taršos komponentų koncentracijų ir tirtų medynų vidutinės defoliacijos koreliacinė analizė parodė, kad medžių defoliacija sąlygoja net kelių metų aplinkos užterštumo lygis (5.1 pav.). Koreliacijos koeficientai tarp užterštumo parametrų praėjusių metų laikotarpio ir defoliacijos yra didesni nei tarp einamųjų metų užterštumo ir tų pačių metų lajų defoliacijos laipsnio. Taip, matyt, pasireiškia užterštumo liekamasis bei vėlavimo poveikis miškų būklei, ką patvirtina ir visa eilė tyrimo rezultatų, gautų užsienyje (De Vries et al., 2000; Klap et al., 1997, 2000) ir mūsų Respublikoje, regioninio ir lokalaus užterštumo teritorijose (Juknys et al., 2003; Augustaitis et al., 2003; Augustaitis, 2003).



1 Pav. Aukštaitijos KMS tirtų medžių lajos defoliacijos laipsnio ir rūgštinančių komponentų koncentracijų ore bei jų iškritų koreliacinė analizė

Taršos komponentų koncentracijų ir tirtų medynų vidutinės defoliacijos koreliacinė analizė parodė, kad medžių defoliacija sąlygoja net kelių metų aplinkos užterštumo lygis (5.1 pav.). Koreliacijos koeficientai tarp užterštumo parametrų praėjusių metų laikotarpio ir defoliacijos yra didesni nei tarp einamųjų metų užterštumo ir tų pačių metų lajų defoliacijos laipsnio. Taip, matyt, pasireiškia užterštumo liekamasis bei vėlavimo poveikis miškų būklei, ką patvirtina ir visa eilė tyrimo rezultatų, gautų užsienyje (De Vries et al., 2000; Klap et al., 1997, 2000) ir mūsų Respublikoje, regioninio ir lokalaus užterštumo teritorijose (Juknys et al., 2003; Augustaitis et al., 2003; Augustaitis, 2003).

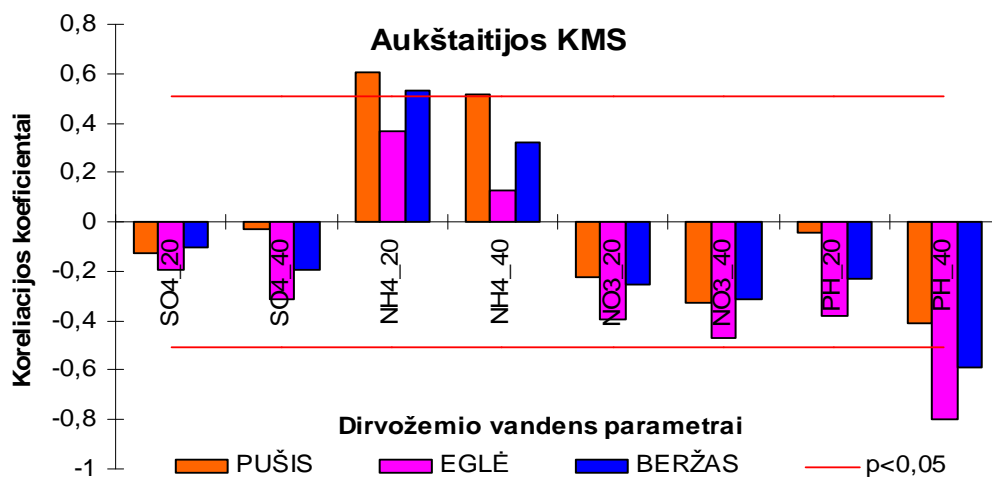
Skirtingų medžių rūšių vidutinės defoliacijos priklausomybės nuo užterštumo laipsnio analizė parodė, kad reikšmingiausiai aplinkos užterštumo komponentai sąlygojo pušų lajų vidutinę defoliaciją. Stipriais ir statistiškai reikšmingais ryšiais pasižymėjo sieros oksidų koncentracijos ore bei vandenilio, sulfatų ir amonio jonų srautai su pušų lajų defoliacija. Šių porinių priklausomybių koreliacijos koeficientai viršijo 0,8 ir buvo statistiškai reikšmingi ($p < 0,05$). *Per paskutinįjį 2005-2010 m. laikotarpį oro teršalų ir rūgščiųjų iškritų poveikis padidėjo.*

Užterštumo lygis kitų medžių vidutinę defoliaciją sąlygojo silpniau, tačiau lyginant su praėjusio laikotarpio rezultatai, reikšmingumo lygmuo taip pat padidėjo, ypač sąveikoje su eglės ir net beržų defoliacija.. Paprastosios eglės labiausiai nukentėjo nuo žievėgraužių topografų, kurių invazijos intensyvumas, pagal daugelio mokslininkų tyrimų rezultatus, priklauso nuo vėjo, šalčio, sniego, sausros pažeistų medžių skaičiaus. Tačiau pastaruoju laikotarpiu daugelis mokslininkų pradėjo teigti, kad ir oro užterštumas, rūgštūs lietūs bei ozonas, kurie kaip šių pažeidimų predisponuojantys veiksniai, padidino medynų jautrumą šių kenkėjų invazijai (Grodzki et al., 2002). Šiuos teiginius patvirtino KMS teritorijose gauti

rezultatai. *Pirmą kartą išaiškinta, kad eglių vidutinę defoliaciją Aukštaitijos KMS statistiškai reikšmingai sąlygojo praėjusių metų sieros oksidų koncentracija ore*

Mažiausią įtaką aplinkos užterštumas turėjo paprastųjų ir plaukuotuoju beržų lajų defoliacijai (*Betula spp.*). 2000-2005 m. apibendrinančioje ataskaitoje buvo teigiama, kad daugelyje atveju koreliaciniai ryšiai yra statistiškai nereikšmingi. Tęsiant tyrimus paaiškėjo, kad ir *tarp rūgščių komponentų koncentracijų ore, jų iškritų ir beržų lajų defoliacijos kaitos pradėjo ryškėti priežastinė priklausomybė*. Sulfatų koncentracijos ore bei jų iškritos atrodo, kad pradeda turėti reikšmingos įtakos beržų lajų defoliacijos kaitai.

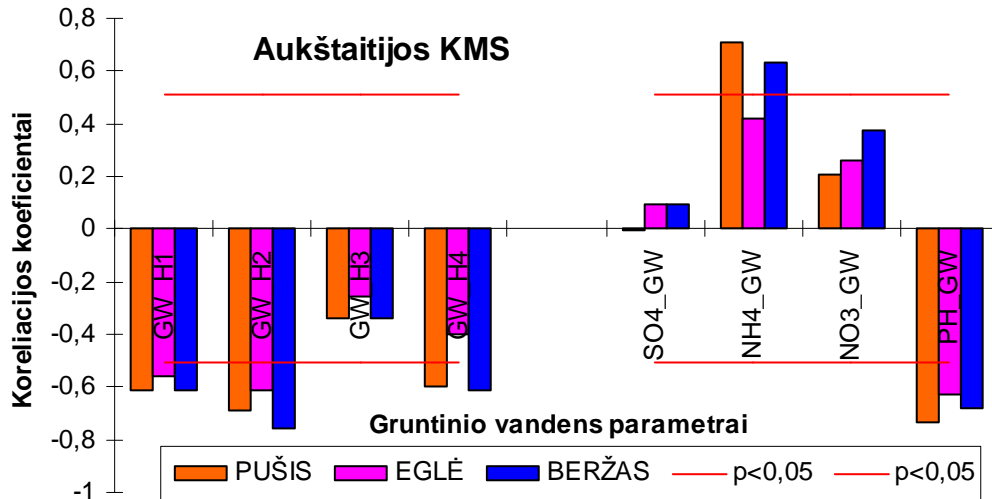
Drebulių defoliacijos ryšys, kuris prieš 5 m. dar buvo vienas iš reikšmingiausių, pastaruosiu laikotarpiu tapo nereikšmingas. Kaip ir buvo manyta, didžiausią įtaką drebulių kaitai turi nepakankamas medžių skaičius, neužtikrinantis patikimo šių medžių lajų



defoliacijos kaitos patikimumo įvertinimo.

2 pav. Aukštaitijos KMS tirtų medžių lajos defoliacijos laipsnio ir rūgštinančių komponentų koncentracijų dirvožemio vandenyje 20cm ir 40 cm gylyje analizė

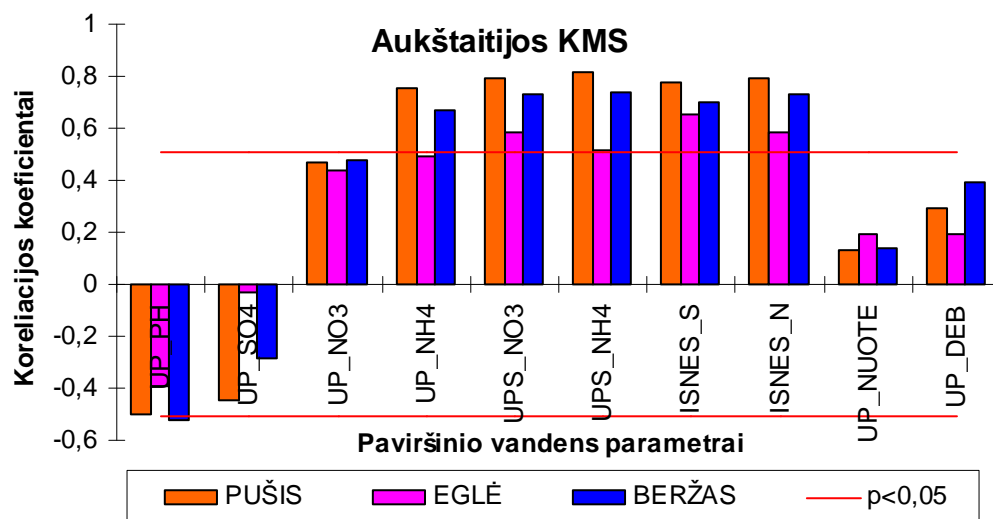
Analizuojant galimą dirvožemio vandens vandens parametru įtaką Aukštaitijos KMS medžių būklei, nustatyta, kad *didėjančios amonio jonų koncentracijos dirvožemio vandenyje galėjo sąlygoti paskutiniųjų metų tirtų medžių lajų defoliacijos didėjimą. Taip pat patvirtintas teiginys, kad rūgštėjimo procesų intensyvumas neigiamai sąlygoja medžių lajų būklę.*



3. pav. Aukštaitijos KMS tirtų medžių lajos defoliacijos laipsnio ir rūgštinančių komponentų koncentracijų gruntiniame vandenyje keturiuose gyliuose analizė

Gruntinio vandens parametrų ir tirtų medžių lajų defoliacijos kaitos koreliacinė analizė parodė, kad kaip ir dirvožemio vandenyje, *didėjanti amonio jonų koncentracija gruntiniame vandenyje bei gruntinio vandens rūgštėjimas neigiamai sąlygoja medžių lajų būklę*. Nepaaiškintas lieka tik nustatytas ryšys tarp didėjančio gruntinio vandens slūgsojimo gylio ir gerėjančios lajų būklės.

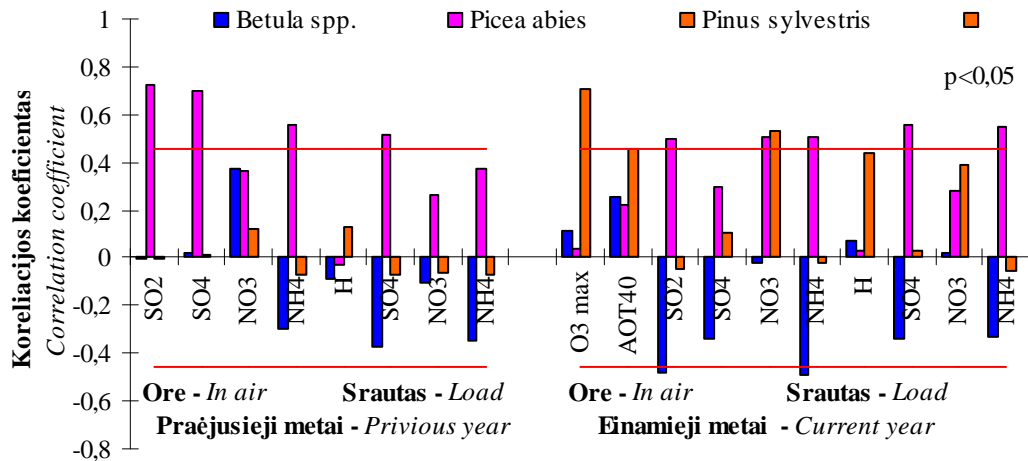
Paviršinio vandens parametrai, kurie atsoindi procesus vykstančius geoekosistemoje, rodė tą patį jau atskleistą ryšį su tirtų medžių defoliacijos laipsnio kaita. *Tiesioginis ryšys nustatytas tirtų cheminių elementų koncentracijų, jų srautų ir išnešimo iš geoekosistemo su medžių lajų defoliacijos kaita. Tai patvirtina teigini, kad didesnės koncentracijos, srautai bei išnešimai blogina medžių lajų būklę*. Atvirkštinis reikšmingas ryšys nustatytas tik tarp paviršinio vandens rūgštumo ir defoliacijos laipsnio, t.y. didesnis rūgštumas – didesnė defoliacija.



4. pav. Aukštaitijos KMS tirtų medžių lajos defoliacijos laipsnio ir rūgštinančių komponentų koncentracijų paviršiniame vandenyje bei srautų analizė

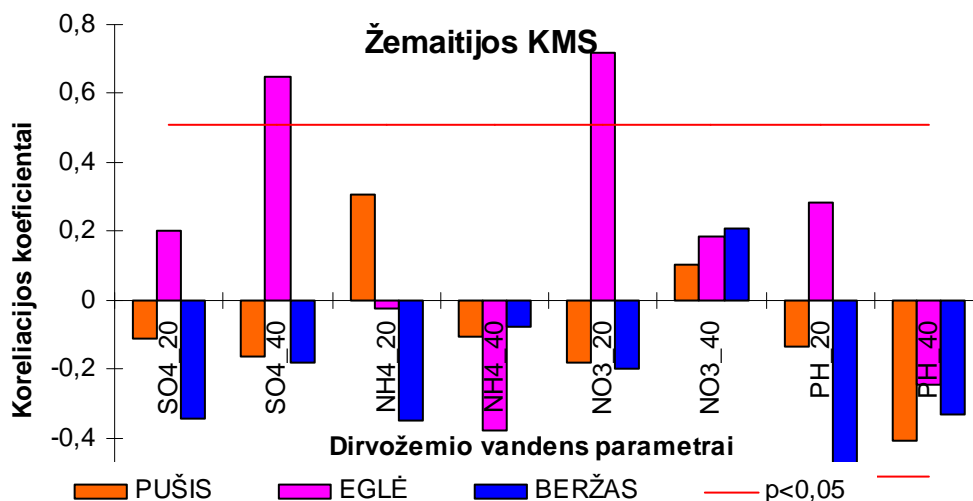
5.1.2. Žemaitijos KMS miškų būklę sąlygojantys taršos komponentai.

Per praėjusį paskutinįjį laikotarpį nuo 2005 iki 2010 m. išriškėjo eglių lajų defoliacijos ir rūgščiųjų iškritų bei jų koncentracijų ore tarpusavio priklausomybė. Taip pat padidėjo ryšys tarp tirtų aplinkos taršos komponentų ir pušų lajų defoliacijos. Tik beržų lajų defoliacijos kaitą paaiškinti aplinkos taršos komponentėmis dar šioje KM stotyje negalima.



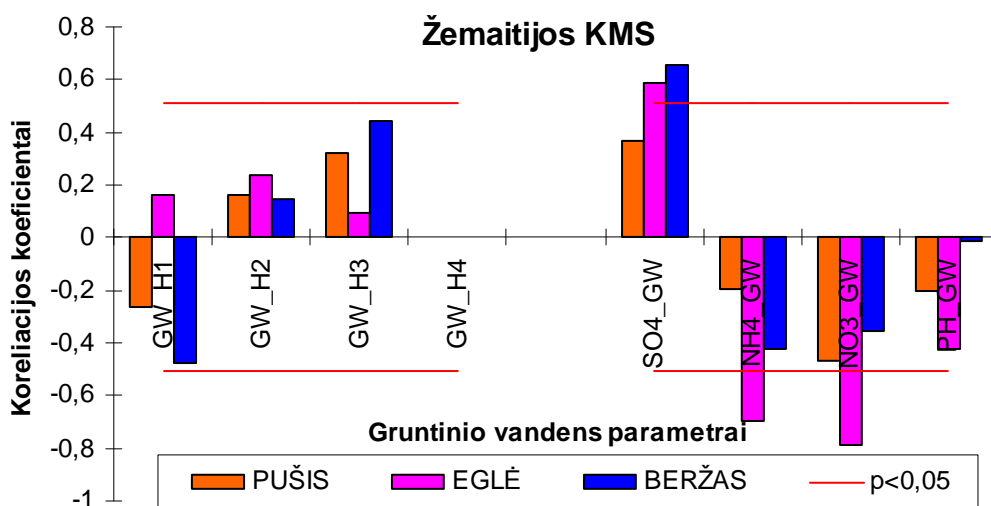
5. pav. Žemaitijos KMS tirtų medžių lajos defoliacijos laipsnio ir rūgštinančių komponentų koncentracijų ore bei jų iškritų koreliacinė analizė

Analizuojant galimą dirvožemio vandens parametrų įtaką Žemaitijos KMS medžių būklei, nustatyta, kad didėjančios sulfatų ir nitratų koncentracijos dirvožemio vandenyje galėjo sąlygoti paskutiniųjų metų tirtų eglių lajų defoliacijos didėjimą. Taip pat patvirtintas teiginys, kad rūgštėjimo procesų intensyvumas neigiamai sąlygoja medžių lajų būklę.



6. pav. Žemaitijos KMS tirtų medžių lajos defoliacijos laipsnio ir rūgštinančių komponentų koncentracijų dirvožemio vandenyje 20cm ir 40 cm gylyje analizė

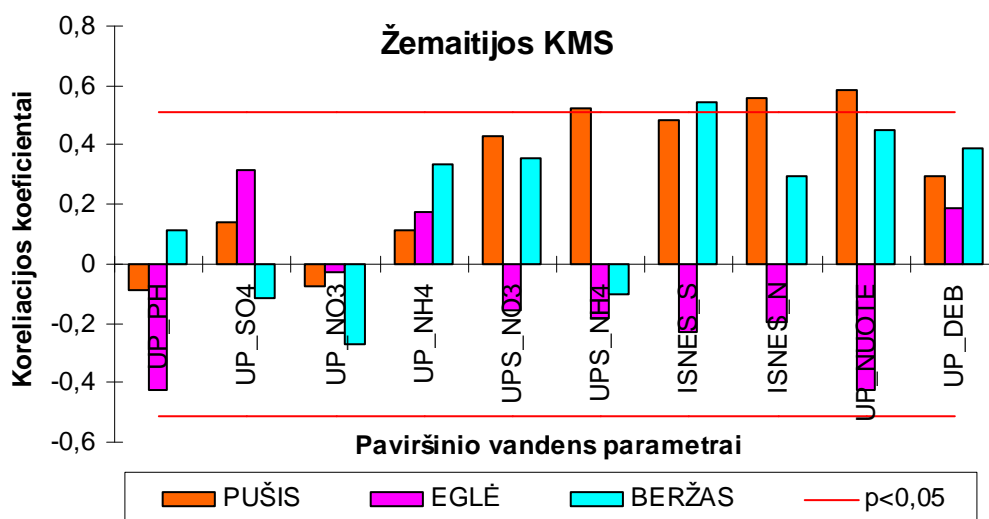
Gruntinio vandens parametru ir tirtų medžių lajų defoliacijos kaitos koreliacinė analizė parodė, kad kaip ir dirvožemio vandenyje *didėjanti sulfatų koncentracija gruntiniame vandenyje bei gruntinio vandens rūgštėjimas neigiamai sąlygoja medžių lajų būklę*. Nepaaiškintas lieka teigiamas amonio jonų ir nitratų poveikis visoms tirtoms medžių rūšims.



7. pav. Žemaitijos KMS tirtų medžių lajos defoliacijos laipsnio ir rūgštinančių komponentų koncentracijų gruntiniame vandenyje trijuose gyliuose analizė.

Paviršinio vandens kokybinių parametru įtaka iš esmės skyrėsi nuo dirvožemio ir gruntinio vandens kokybinių parametru įtakos tirtų medžių lajų defoliacijos intensyvumui.

Tiesioginis ryšys, kaip ir Aukštaitijos KMS nustatytas tarp tirtų cheminių elementų koncentracijų, jų srautų ir išnešimo iš geoekosistemo su pušų ir beržų lajų defoliacijos kaita. Tai patvirtina teiginį, kad didesnės koncentracijos, srautai bei išnešimai blogina medžių lajų būklę. Atvirkštinis ir artimas reikšmingai ryšys nustatytas tik tarp paviršinio vandens rūgštumo ir eglė defoliacijos laipsnio, t.y. didesnis rūgštumas – didesnė defoliacija.



8. pav. Žemaitijos KMS tirtų medžių lajos defoliacijos laipsnio ir rūgštinančių komponentų koncentracijų paviršiniame vandenyje bei srautų analizė.

Apibendrinus pateiktus rezultatus KMS teritorijoje nustatyta, kad **2005-2010 m. aplinkoje vyko pokyčiai, kurie sustiprino rūgščiųjų komponentų neigiamą poveikį spygliuočiams. Palaipsniui vis reikšmingesnis tampa pažemio ozono maksimalių koncentracijų ir AOT40 nustatyto miškams poveikis miškams, kuris su klimato kaitos sąlygotais meteorologiniais veiksniais ateityje gali tapti vienu iš reikšmingiausių veiksniumi sąlygojančių miškų būklę Lietuvoje.**

Kritinės tirtų taršos komponentų koncentracijos ore: NO_x – 30 µg/m³; NH₃ – 8 µg/m³; SO₂ – 20 µg/m³ (UN/ECE, 1989). Tačiau jei efektyvių temperatūrų suma per metus viršija 1000°C SO₂ kritinė reikšmė turėtų būti 15 µg/m³. Ši temperatūrų suma viršijama beveik visoje Europoje (Van Leeuwen et al., 2000). Kritinis azoto srautas siekia 15 ir 20 kg/ha spygliuočių ir lapuočių miškams atitinkamai (Bobbnik and Roelofs, 1992) bei sieros srautas 5 kg/ha. Užterštumui viršijus šias koncentracijas, medžių lajose vyksta reikšmingi pokyčiai, kurių rezultatas didelis jų defoliacijos laipsnis. Šios reikšmės nepriklauso nuo medžių augimo geografinės padėties, medžio rūšies bei dirvožemio tipo, tačiau priklauso nuo klimatinė sąlygų (temperatūrų, santykinio drėgnumo ir dirvožemio vandens) bei nuo augimą sąlygojančių veiksnių, tokių kaip spyglių amžius, medyno amžius ir struktūra (UN/ECE,

1996; 1997; De Vries et al., 2000). Nors pagrindinių taršos komponentų koncentracijos nesiekia šių kritinių reikšmių, nustatyti koreliaciniai ryšiai rodo, kad ir ženkliai mažesnis užterštumas turi statistiškai reikšmingą įtaką medžių lapų būklės kaitai, tuo pabrėždamas būtinybę tikslinti šias reikšmes konkrečiais atvejais.

5.2. Natūralių aplinkos veiksnių poveikis miško ekosistemoms

Drėgmės režimas ir žema temperatūra pagrindiniai aplinkos natūralūs veiksniai sąlygojantys ne tik sumedėjusios augalijos paplitimą mūsų planetoje, bet ir jų atsparumą kitiems, neigiamą jų poveikį sustiprinantiems veiksniams. Matyt, dėl šios priežasties, greta užterštumo poveikio hipotezės, aiškinančios miško ekosistemų būklės pablogėjimą praėjusio amžiaus pabaigoje, vis dažniau pradėta minėti natūralių veiksnių poveikio hipotezės. Šiems veiksniams priskiriami nepalankūs klimatiniai veiksniai, tokie kaip sausros ir žemos temperatūros ne tik šaltuoju laikotarpiu, bet ir pavasarį, ir rudenį (Auclair et al., 1992, Chappelka, Freer-Smith, 1995), grybinės ligos (Boneau, 1986; Kandler, 1992, 1994) bei vabzdžiai – ypač jau pažeistiems medžiams (Speight, Wainhouse, 1989). Pagal natūralių veiksnių hipotezes miškų būklės pablogėjimas gali būt stebimas ne tik lokaliai, bet ir gali tapti plataus miškų būklės pablogėjimo priežastimi, po sausrų atsiradus vabzdžių ar ligų židiniams (Houston, 1992). Šios hipotezės kritikai dažniausiai teigia, kad būtent šių veiksnių poveikis gali slėpti chroninį oro užterštumo poveikį (Innes, 1993). Tokių būdu statistiškai patikimas užterštumo poveikis gali būti prarastas „triukšme“ sąlygojamame natūralių reiškinių (Burton et al., 1991), kadangi lapijos pokyčiai sąlygojami oro užterštumo gali būti žymiai mažesni lyginant su 20-30 % lapijos sumažėjimu sėkliniais metais (De Vries et al., 1998). Nežiūrint šių visų prieštaravimų, akivaizdu išlieka tai, kad optimalaus drėgmės ir temperatūrinio režimo sąlygomis medžiai suformuoja tankią lapiją, o drėgmės trūkumas bei neigiamos temperatūros, ypač augimo sezono pradžioje ir pabaigoje gali sąlygoti neigiamus medžio lapijos morfologinius pokyčius, taip mažindamos bendrą lajos tankumą bei bendrą medžių atsparumą kitiems lydintiems nepalankiems aplinkos veiksniams.

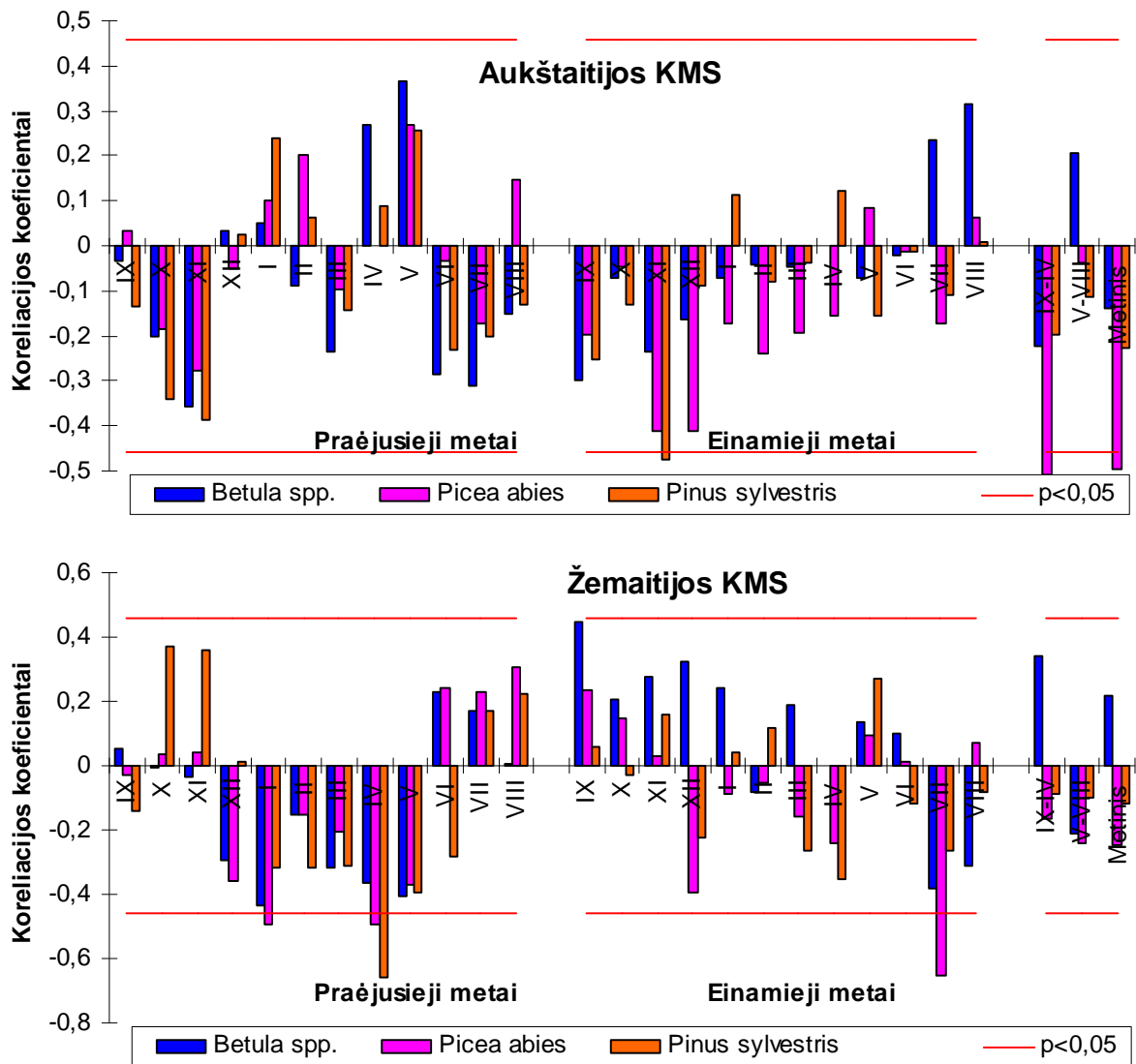
5.2.1. Meteorologinių veiksnių poveikis medžių lajų būklei

Medžių būklę iš esmės lemia dvi meteorologinių veiksnių grupės. Pirma – palankios ir nepalankios klimatinės sąlygos; antra – ekstremalūs meteorologiniai veiksniai, tiesiogiai sąlygojantys medžių būklę (snieglaužos, vėjalaūžos ir kt.) (Auclair et al., 1992). Pastaruoju laikotarpiu vis didesnę įtaką miškų būklei įgauna klimato kaita.

Klimatiniai veiksniai atskirais atvejais gali būti reikšmingesni medžių lajų būklės pokyčiams ne tik už medyno ar augavietės veiksmų, bet ir už aplinkos užterštumo poveikį. Meteorologiniai stresiniai veiksniai labiausiai siejami su tokiais reiškiniais, kaip žemos ar aukštos temperatūros atitinkamuose laikotarpiuose bei su sausra. Miškų būklės tyrimo rezultatai rodo, kad miškų būklės pablogėjimas intensyviai vyksta karštomis ir sausringomis vasaromis. Vandens poveikis pasireiškia, šiuo atveju, per jo kiekį ir medžio fiziologinę adaptaciją jo trūkumui. Sausra gali ne tik tiesiogiai paveikti medžio gyvybingumą ir sąlygoti jo žūtį, bet ir sumažinti augalo atsparumą nepalankiems aplinkos veiksniams. Kai kurie mokslininkai net teigia, kad sausros poveikis medžių lajų būklei reikšmingesnis negu realus oro užterštumas. (Prinz et al., 1987; Chappelka, Freer-Smith, 1995).

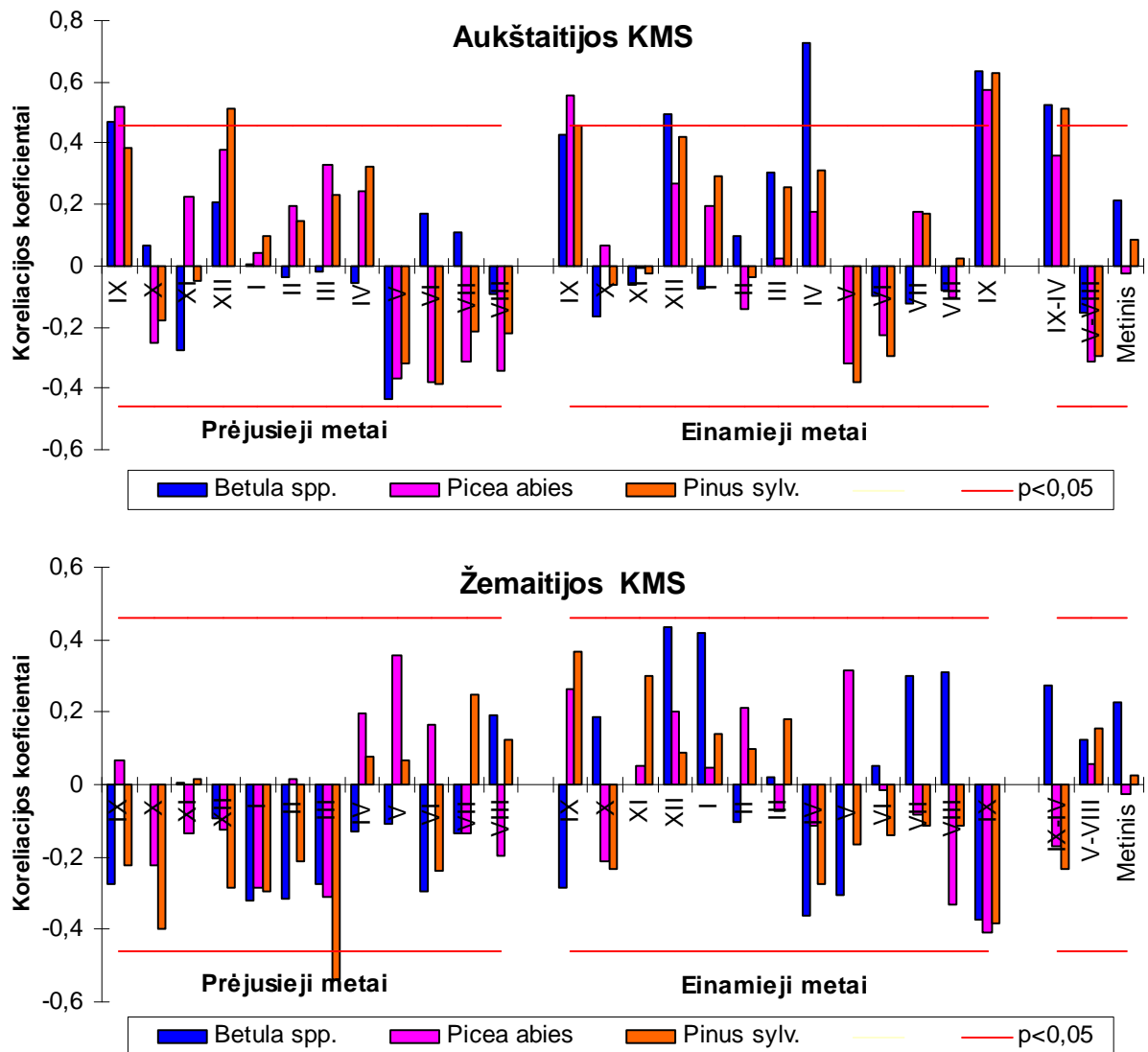
Atlikti tyrimai KMS teritorijose parodė (5.13 pav.), kad tirtų medžių būklę statistiškai reikšmingai sąlygojo meteorologinės sąlygos kelių paskutiniųjų metų. Ypač šis ryšys pasireiškia spygliuočiams medžiams. Pagrindinę įtaką tokiam poveikiui turi spyglių amžius. Pušų lajų būklę sąlygoja meteorologinės sąlygos dviejų metų, o eglių, kurių spyglių amžius siekia iki 10 m., net 5-7 metų (De Vries et al., 2000).

Pušų, kaip labiausiai paplitusių medžių KMS teritorijose, vidutinės defoliacijos kaitai reikšmingiausios įtakos turėjo pavasario (balandžio mėnesio), vasaros (birželio, rugpjūčio) ir vėlyvo rudens bei žiemos (spalio- gruodžio) mėnesių vidutinė temperatūra. Jei pavasarį ir žiemą aukštesnė mėnesio vidutinė temperatūra sąlygojo geresnę medžių lajų būklę, tai vasaros mėnesių aukštesnė temperatūra, blogesnę, nors pastarasis ryšys buvo statistiškai nepatikimas. Eglių lajų vidutinę defoliaciją mėnesio vidutinė temperatūra sąlygojo analogiškai pušų, tik temperatūrų poveikio reikšmingumas žiemą buvo žymiai didesnis. Matyt, žemų temperatūrų stresas medžiams, kuris gali pasireikšti keliais būdais - pigmentų fotooksidacija, šalčio bei žieminio džiovavimo pažeidimais ir veikti augalus pavieniai, kompleksiškai ar nuosekliai vienas po kito (Karenlampi and Skarby, 1996), turi reikšmingiausią poveikį medžių lajų defoliacijai. Tokiu būdu klimato atšilimas, kuris, kaip parodė gauti rezultatai, pasireiškė vidutinės temperatūros intensyviausiu padidėjimu pavasario ir rudens, kiek mažesniu - žiemos bei mažiausiu – vasaros mėnesiais (3.1 sk.), turėtų visumoje teigiamai sąlygoti medžių lajų būklę. Lajos turėtų būt tankesnės, o jų defoliaciją mažesnė.



5.13 pav. Medžių vidutinės defoliacijos priklausomybė nuo mėnesio vidutinės temperatūros

Mėnesių kritulių kiekis statistiškai reikšmingiau sąlygojo medžių defoliacijos kaitą negu mėnesių vidutinės temperatūros. Medžių vidutinę defoliaciją statistiškai reikšmingai sąlygojo praėjusių metų vasaros (birželio ir rugpjūčio), rudens (spalio, lapkričio) bei einamųjų metų žiemos (sausio, vasario) mėnesių kritulių kiekiai. Visų šių mėnesių kritulių kiekio ryšys su defoliacijos laipsniu atvirkštinis, t.y. didesni kritulių kiekiai lemia mažesnę vidutinę defoliaciją. Tik ankstyvo pavasario (balandžio mėn.) didesni kritulių kiekiai neigiamai veikė medžių būklę, didindami lajų defoliaciją.



5.14 pav. Medynų vidutinės defoliacijos priklausomybė nuo mėnesio kritulių kiekio

Būtent pavasario laikotarpiu medžių ūglių augimo pradžią bei intensyvų augimą sąlygoja didesnė oro temperatūra (Молчанов, 1961; Аугустайтис, 1989, 1992; Kairiūkštis, 1963; Ozolinčius 1998), o gausesni krituliai, sąlygojantys žemesnę temperatūrą, neigiamai veikia lapijos susidarymo procesus.

Miškų būklės tyrimo rezultatai rodo, kad kritulių trūkumas (sausros) ir šaltuoju (XII-II mėn.), ir vasaros laikotarpiu (VI-VIII mėn.) turi neigiamos įtakos medžių lajų būklei. Tačiau būtent vasaros mėnesių sausros, kurių poveikį (nors ir nereikšmingai) sustiprina aukštos temperatūros, turi reikšmingiausios įtakos defoliacijos padidėjimui ne tik einamaisiais, bet ir ateinančiais metais. Šiuos tyrimų rezultatus patvirtina mokslininkai ir Lietuvoje (Stakėnas, Ozolinčius, 1999), ir užsienyje (Schrock, 1995; Callaert, Schiezling, 1996; Hilton, Packham, 1997; Strand, 1997 ir kt.).

Jautriausiai į meteorologinių veiksnių poveikį reagavo eglės. Tai aiškinama šios medžių rūšies šaknų sistemos ypatumais. Paviršinė šaknų sistema daro egles labiau priklausomas nuo drėgmės režimo, negu pušis. Matyt dėl to jų būklė bei atsparumas nepalankiems aplinkos veiksniams labiau priklauso nuo kritulių kiekio nei nuo regioninio užterštumo. Priešingai eglėms, pušų, kurios pasižymi gilumine šaknų sistema, būklė reikšmingiau sąlygojo aplinkos užterštumas. Dėl nepakankamos beržų stebėjimo apimties nepavyko išaiškinti meteorologinių veiksnių poveikio jų būklei.

Apibendrinus klimatinių veiksnių galimo poveikio miškų būklei rezultatus sukūrėme spygliuočių medžių lajų būklės daugianarės regresijos modelį, kuris paaiškino viš 60% spygliuočių medžių lajų defoliacijos kintamumo per 1994-2010 m. laikotarpį. Modelio pavidalas toks:

$$F_{sp} = -408.95 + 4,611 \times (\text{Medž.r.}) - 1,202 \times T_{p(VI-VIII)} - 1,082 \times T_{(XII-II)} + 1,441 \times T_{(III-V)}$$

–

$$- 1,573 \times T_{(VI-VIII)};$$

$$R^2 = ,65175468,$$

$p < 0.0001$

Pagal sukurtą modelį auštesnė vasaros ir žiemos temperatūros teigiamai turėtų sąlygoti spygliuočių medžių lajų būklę.

5.2.2. Meteorologinių veiksnių poveikis pušynų defoliacijai Aukštaitijos KMS ir jos prognozė

Kadangi paprastoji pušis yra labiausiai paplitusi medžių rūšis ne tik visoje Lietuvos teritorijoje, tolimesniuose tyrimuose analizavome būtent jų lajų būklės priklausomybes nuo meteorologinių veiksnių Aukštaitijos KMS. Šiems tyrimams panaudoti ne vien KMS teritorijose augančių pušynų būklės duomenys, bet ir duomenys gauti nuo 1991 m vykdant Nacionalinių parkų (NP) pušynų būklės monitoringą (Augustaitis, Kliučius, 1999).

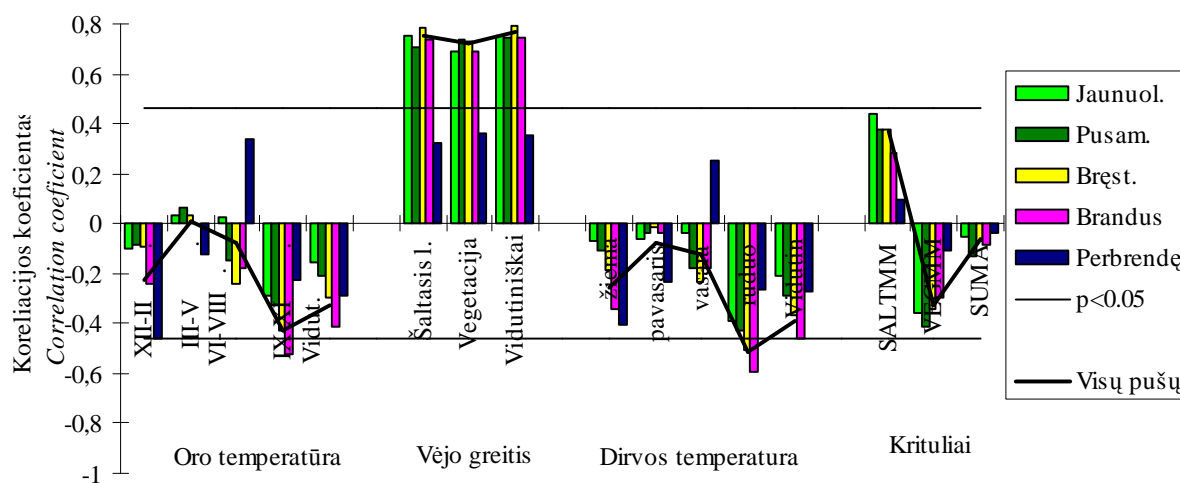
Meteorologinių veiksnių įtakos pušynų defoliacijai per 1991 – 2010 m. laikotarpį analizė parodė, kad medynų būklę reikšmingai sąlygojo rudens oro temperatūra, vegetacijos ir šaltojo laikotarpio vėjo greitis, rudens sezono dirvos temperatūra ir šiltojo bei šaltojo laikotarpio kritulių kiekis (5.15 pav.).

Statistiškai reikšminga šiltėjanti žiemos ir rudens temperatūra lėmė pušynų būklės gerėjimą, mažėjančią defoliaciją. Tą patį galima pasakyti ir apie šiltėjančią dievožemio

temperatūra – rudens sezono temperatūros didėjimas reikšmingai sąlygoja defoliacijos mažėjimą.

Vėjo greitis, naujai Lietuvos sąlygomis išaiškintas veiksnys, reikšmingiausiai sąlygoja didelę defoliacijos laipsnį. Pagal turimas žinias vėjas gali ne tik mechaniškai pažeisti medžius ar jų lajas (vėjavartos, vėjalaūžos), bet ir prie didesnių kaip 5 m/s gričių, didinti transpiraciją bei tuo pačiu didinti spyglių išdžiūvimo pavojų. Tokio poveikio rezultatas padidėjusi lajų defoliacija. Šis poveikis spygliuočiams yra pavojingas dar ir dėl to, kad gali vykti ne tik vegetacijos laikotarpiu, bet ir šaltuoju laikotarpiu. Kaip žinia prie didelių šalčių smarkus vėjas padidina asimiliacinių organų nušalimo pavojų. Todėl mūsų gauti statistiškai reikšmingi duomenys parodo, kad vėjo greitis, kuris turi aiškią mažėjimo tendenciją – apie 0,06 m/s per metus iki 2005, galėjo sąlygoti pušynų būklės gerėjimo tendenciją, o stiprėjimas nuo 2005 iki 2010 m. jų būklės pablogėjimo tendenciją.

Vegetacijos laikotarpio kritulių kiekio priklausomybė atvirkštinė, t.y. didesnis kritulių kiekis šiltuoju laikotarpiu, lėmė tankesnes pušų lajas, t.y. mažesnę jų vidutinę defoliaciją. Tik šaltojo laikotarpio didesni kritulių kiekiai neigiamai sąlygojo medžių būklę, didindami jų defoliaciją. Viena iš galimų priežasčių kodėl didesni kritulių kiekiai šaltuoju laikotarpiu neigiamai sąlygoja pušų būklę yra didėjančios rūgštiesios iškritos, kurios tiesiogiai priklauso nuo kritulių kiekio. Būtent šaltuoju laikotarpiu rūgščiųjų komponenčių koncentracijos ore yra didesnės lyginant su vegetacijos laikotarpiu.



5.15 pav. Medynų vidutinės defoliacijos priklausomybė nuo meteorologinių veiksnių

Miškų būklės prognozė – vienas iš pagrindinių miškų būklės monitoringo tikslų, į kurį iki šiol mažai kreipiamas dėmesys. Ypač aktualus šis klausimas tampa šylant klimatui. Prognozuojant miškų būklę, reikia žinoti, kaip keisi vidutinė temperatūra bei kritulių kiekis. Mokslininkai bando sukurti teorinius modelius, pagal kuriuos būtų įmanoma apskaičiuoti šių

rodyklių pokyčius. Pagal SRES A1 B projektą iki 2100 globalinė temperatūra padidės iki 3,5 °C, sumažės dienos temperatūrų svyravimai žiemą ir padidės – vasarą. Didėjant temperatūrai, didės ir kritulių kiekis, vėjo greitis bei bendras vandens lygis. (Climate change 2001,2002).

Medžių lajų defoliacijai prognozuoti sukurtas tiesialinijinis daugialypis modelis, eliminavus nereikšmingiausias ir sunkiausiai prognozuojamus veiksnius. Pagal sukurtą modelį didesni kritulių kiekiai vegetacijos laikotarpiu ir šiltesnis augalų ramybės laikotarpis kartu su mažesniu vėjo greičiu ramybės laikotarpiu ir žemesne temperatūra vegetacijos laikotarpiu teigiamai sąlygotų pušynų būklę Aukštaitijos NP. Šie veiksniai daugialypės regresijos moelyje paaiškina virš 60% pušų lajų būklės defoliacijos kaitos.

$$F=9,42-0,003K_{veg}+3,49V_{salt}+0,3T_{veg}-0,67T_{salt}, R^2= 0,635; p<0,001$$

Vilniaus universiteto klimatologai dr E. Rimkus ir prof. A. Bukantis teigia, kad palyginus su 1961-1990 m., Lietuvoje 1991-2008 m. vidutinė metų oro temperatūra padidėjo 0,7-0,9 °C. Dėl to žiemą vidutinis dienų skaičius su sniego danga sumažėjo 8-10 d., prailgėjo rudenio ir pavasaris, o vasarą padažnėjo sausrų. Prognozuojama, kad per XXI a. žiemos oro temperatūra gali pakilti dar 4-8 °C, vasarą – mažiau: 1,5 – 3,5 °C. Žemą ir pavasarių padaugės atmosferos kritulių, o vasaros ir rudenys bus mažiau lietingi, padažnės sausrų. Ir jau 2050 m., miškams gali trūkti dirvožemio drėgmės, nes dėl atmosferos kritulių stokos ir aukštesnės temperatūros suintensyvės vandens išgaravimas. Tokie pokyčiai turėtų neigiamai sąlygoti pušų būklę, tačiau atskleisti meteorologinių parametrų kaitos ypatumai nepatvirtino tokio klimato kaitos scenarijaus. Pagal išaiškintas tendencijas didesnis kritulių kiekis vegetacijos laikotarpiu ir aukštesnė oro temperatūra šaltuoju turėtų gerinti pušų būklę ir didinti jų atsparumą nepalankiems aplinkos veiksniams. Tik pradėjus didėti vėjo greičiui šaltuoju laikotarpiu, kilti oro temperatūrai vegetacijos laikotarpiu bei mažėjant kritulių kiekiui vegetacijos laikotarpiu ir didėjant šaltuoju laikotarpiu būtų galima tikėtis pušų lajų būklės pablogėjimo.

Didėjanti vidutinė temperatūra, ypač žiemos ir pavasario mėnesiais teigiamai sąlygojo medžių lajų būklę, mažindama lajų vidutinę defoliaciją. Kritulių teigiamą įtaką stebima vegetacijos laikotarpiu ir neigiama rudens mėnesiais.

Vasaros mėnesių sausros, kurių poveikį sustiprina aukštos temperatūros, turi didžiausios įtakos lajų defoliacijos padidėjimui ir einamaisiais, ir ateinančiais metais.

Meteorologinės sąlygos, dėl šaknų sistemos ypatumu, reikšmingiau sąlygojo eglių negu pušų lajų vidutinę defoliaciją. Dėl to eglių būklė bei atsparumas nepalankiems aplinkos veiksniams labiau priklausė nuo kritulių kiekio nei nuo regioninio užterštumo. Pušys, kurios pasižymi gilumine šaknų sistema, buvo mažiau jautrios meteorologinių sąlygų svyravimams, o jų būklę reikšmingiau sąlygojo aplinkos užterštumas.

5.3. Kompleksiškas regioninio oro užterštumo ir natūralių aplinkos veiksnių poveikis pušynų būklei bei jos prognozė

Pastaruoju laikotarpiu mokslininkai prisilaiko nuomonės, kad miškų būklę sąlygoja visas kompleksas tarpusavyje susijusių ir vienas kitą veikiančių aplinkos veiksnių. Iš jų tarpo išskirti pagrindinius, juos lydinčius ar pastarųjų poveikį sustiprinančius ar susilpninančius veiksnius, ypač regioninio užterštumo teritorijose iki šiol yra sunkiai įgyvendinamas uždavinys. Aplinkos užterštumas laikomas veiksniu sustiprinančiu medžio pažeidimą, tačiau tiesioginio ryšio tarp mažėjančios taršos ir miškų būklės pokyčių vis dar nenustatyta.

Sąlygiškai natūralių miško ekosistemų KM programos vykdymas įgalina Lietuvoje patikimai nustatyti aplinkos natūralių ir antropogeninių veiksnių kompleksišką poveikį medžių lajų būklei, išaiškinat pagrindinius jos pokyčius limituojančius, sustiprinančius bei slopinančius veiksnius. Tokie gauti rezultatai buvo pasiekti eliminavus daugelį išaiškintų trūkumų. Visu pirma aplinkos užterštumo rodikliai nustatyti ne pagal riboto detalumo ir patikimumo EMEP modelius, o nenutrūkstamo matavimo analizatoriais tyrimo teritorijose. Medžių lajų defoliacija vertinta tos pačios komandos narių, taip išvengiant skirtingų vertintojų skirtingų paklaidų įtakos. Pastarosios savybės įgalino sumažinti duomenų natūralų kintamumą iki minimumo.

Ankstesniųjų tyrimų rezultatai įgalino mus išskirti reikšmingiausias aplinkos teršalus, jų pobūdį bei galimą žalingiausios veiklos laikotarpį regioninio užterštumo teritorijose. Išaiškinome, kad ne tik vegetacijos, bet ypač spygliuočiams, reikšmingas gali būti ramybės laikotarpis. Tokį mūsų teiginį sustiprina ir tas faktas, kad būtent šiuo laikotarpiu rūgštinančių komponentių koncentracijos ore yra didžiausios, taip kaip ir jų iškritos gausiausios. Pastaruoju laikotarpiu, kaip rodo mūsų tyrimų rezultatai, ypač reikšmingi tapo sieros ir amonio jonų koncentracijų įvairiuose substratuose, jų srautų ir tirtų medžių defoliacijos laipsnio kaitos ryšiai. Tai leidžia teigti, kad šios dvi komponentės Lietuvoje tampa vienos iš svarbiausių ne tik sąlygojančių bendrą ekosistemo rūgštumo laipsnį, bet ir medžių lajų būklę. Šie gauti rezultatai ir mūsų teiginiai gerai sutampa su skelbiamais rezultatai Europoje (Lorenz and Mues, 2007).

Paskutiniųjų metų rezultatai rodo, kad ΣNH_4^+ opro koncentracijos, jų iškritos ir koncentracijos krituliuose tampa reikšmingiausių aplinkos užterštumo rodiklių iš esmės sąlygojančių pušynų būklę, paaiškindamos net iki 45% pušų lajų defoliacijos kaitos. Pirmą kartą nuo tyrimų pradžios sieros komponentių galima reikšmė pušynų būklei tapo mažesnė. Paaiškinamumo lygmuo svyruoja nuo 41.3 iki 44.6%. Palaipsnis NH_4^+ iškritų ir jų

koncentracijų krituliuose augimas stebimas nuo 2002 m. ir gerai sutampantis su pušynų būklės blogėjimu, ypač šiaurė rytinėje Lietuvos dalyje, Aukštaitijos NP, gali būti priskiriamas prie vienos iš naujai kylančios gresmės miško ekosistemoms.

Kompleksiškas ΣNH_4^+ oro koncentracijų, jų iškritų (DNH_4^+) ir koncentracijų krituliuose (CNH_4^+) poveikis pušų lajų defoliacijos laipsniui gali būti išreiškiamas tokio pobūdžio lygtimis:

$$F = 15.41 + 1.162 \times \Sigma\text{NH}_4^+_{(\text{V-VIII})} + 0.801 \times \Sigma\text{NH}_4^+_{(\text{IX-XII})} + 3.403 \times \text{CNH}_4^+_{(\text{IX-XII})}; \quad R^2 = 0.452; p < 0.000 \quad (10)$$

$$F = 14.83 + 0.459 \times \Sigma\text{NH}_4^+_{(\text{IX-XII})} + 2.05 \times \Sigma\text{NH}_4^+_{(\text{I-IV})} + 0.014 \times \text{DNH}_4^+_{(\text{I-IV})}; \quad R^2 = 0.451; p < 0.000 \quad (11)$$

Kompleksiškas SO_2 oro koncentracijų, jų iškritų (DSO_4^{2-}) ir koncentracijų krituliuose (CSO_4^{2-}) poveikis pušų lajų defoliacijos laipsniui gali būti išreiškiamas tokio pobūdžio lygtimis:

$$F = 15.81 + 1.669 \times \text{SO}_2_{(\text{V-VII})} + 5.73 \times \text{CSO}_4^{2-}_{(\text{IX-XII})}; \quad R^2 = 0.436; p < 0.000 \quad (4)$$

$$F = 16.48 + 1.914 \times \text{SO}_2_{(\text{V-VII})} + 0.63 \times \text{SO}_2_{(\text{IX-XII})} + 0.0196 \times \text{DSO}_4^{2-}_{(\text{IX-XII})}; \quad R^2 = 0.413; p < 0.000 \quad (5)$$

Kompleksiškas aerozolinio SO_4^{2-} oro koncentracijų, jų iškritų (DSO_4^{2-}) ir koncentracijų krituliuose (CSO_4^{2-}) poveikis pušų lajų defoliacijos laipsniui gali būti išreiškiamas tokio pobūdžio lygtimis:

$$F = 15.98 + 1.142 \times \text{SO}_4^{2-}_{(\text{IX-XII})} + 4.20 \times \text{CSO}_4^{2-}_{(\text{IX-XII})}; \quad R^2 = 0.446; p < 0.000 \quad (6)$$

$$F = 16.42 + 1.636 \times \text{SO}_4^{2-}_{(\text{IX-XII})} + 0.014 \times \text{DSO}_4^{2-}_{(\text{IX-XII})}; \quad R^2 = 0.437; p < 0.000 \quad (7)$$

Kompleksiškas aerozolinio ΣNO_3^- oro koncentracijų, jų iškritų (DNO_3^-) ir koncentracijų krituliuose (CNO_3^-) poveikis pušų lajų defoliacijos laipsniui gali būti išreiškiamas tokio pobūdžio lygtimis:

$$F = 14.07 + 9.1 \times \Sigma\text{NO}_3^-_{(\text{IX-XII})} - 0.043 \times \text{DNO}_3^-_{(\text{V-VIII})} + 0.053 \times \text{DNO}_3^-_{(\text{IX-XII})}; \quad R^2 = 0.290; p < 0.000 \quad (8)$$

$$F = 7.32 + 8.79 \times \Sigma\text{NO}_3^-_{(\text{IX-XII})} + 8.08 \times \text{CNO}_3^-_{(\text{IX-XII})} + 9.77 \times \text{CNO}_3^-_{(\text{I-VI})}; \quad R^2 = 0.273; p < 0.000 \quad (9)$$

Šiuose tyrimuose ypatingą svarbą įgaunai taip pat didėjančio priežemio ozono poveikio vertinimas bei galimo ryšio su klimato kaitos sąlygotų meteorologinių veiksnių išaiškinimas. Šis toksikantas ypač didina nitratų kompleksiską poveikį pušynų būklei. Vidutinės birželio-rugpjūčio mėnesių koncentracija padidina nitratų reikšmingumą aiškinant pušynų būklės kaitą 3-4%. Kiek silpnesnis kompleksiskas šio toksikanto ryšys su sieros komponentėmis. Jis padidina bendrą S komponentių reikšmingumą aiškinant pušynų būklės kaitą 2% ir mažiausiai reikšmingumas padidėja kompleksiskame poveikyje su amonio jonais – tik 1%. Nepaisant šių, iš pirmo žvilgsnio gan nežymių aiškinamumo lygmens padidėjimų,

visuose poveikiuose su tirtomis rūgštinančiomis komponentėmis, ozono įtaka buvo reikšminga, t.y. $p < 0,05$.

Teršalų charakterio poveikio reikšmingumas taip pat skyrėsi. Reikšmingiausi pušų lajų defoliacijos kaitai pasirodė oro teršalai, kiek mažiau reikšmingi buvo jų koncentracijo krituliuose ir santykinai mažiausiai – iškritos. Sukurti daugianarės regresijos modeliai atrodo taip:

- rūgštinančių komponentių ore galimas poveikis pušynų būklei:

$$F = 15.82 + 0.0177 \times O_{3(VI-VIII)} + 1.015 \times SO_{2(IX-XII)} - 5.745 \times NO_{3(V-VIII)} + 0.343 \times NH_{4(IX-XII)} + 2.112 \times NH_{4(I-IV)} \quad ; R^2 = 0.466; p < 0.000 \quad (12)$$

- rūgštinančių iškritų galimas poveikis pušynų būklei:

$$F = 16.43 + 0.0218 \times DSO_{4(IX-XII)}^{2-} + 0.021 \times DNH_{4(V-VIII)} + 0.045 \times DNO_{3(V-VIII)} + 0.021 \times DNO_{3(I-IV)} \quad ; R^2 = 0.440; p < 0.000 \quad (13)$$

- rūgštinančių komponentių krituliuose galimas poveikis pušynų būklei:

$$F = 16.42 + 5.949 \times CSO_{4(IX-XII)}^{2-} + 3.366 \times CNH_{4(V-VIII)} + 7.031 \times CNO_{3(V-VIII)} \quad ; R^2 = 0.453; p < 0.000 \quad (14)$$

Apibendrinant gautus rezultatus, sukūrėme bendrą daugianarės regresijos modelį, imituojantį šiaurės Lietuvos pušynų būklę, priklausomai nuo aplinkos teršalų. Kaip matyt iš pateiktos lygties, pušynų defoliacijos laipsnis tiesiogiai priklauso nuo vasaros mėnesių priežemio ozono koncentracijos, rudens (rugsėjis-gruodis) sieros dioksido ir amonio jonų koncentracijos ore, nuo šio laikotarpio sieros iškritų kiekio bei yra atvirkščiai proporcingas nitratų iškritoms vegetacijos laikotarpiu. Šie parametrai net iki 50 % paaiškina pušynų būklės kaitą laike šiame Lietuvos regione.

Daugianarės regresijo modelis atrodo taip:

$$F = 13.05 + 0.0621 \times O_{3(VI-VIII)} + 1.146 \times SO_{2(IX-XII)} + 0.673 \times NH_{4(IX-XII)} + 0.014 \times DSO_{4(IX-XII)}^{2-} - 0.0083 \times DNO_{3(V-VIII)} \quad ; R^2 = 0.478; p < 0.000 \quad (15)$$

Įvertinus pastarojo laikotarpio stabilias SO_2 ir NH_4^+ oro koncentracijas bei sieros iškritas, bei nežymiai didėjančias nitratų iškritas miškų pažeidžiamumo lygmuo turėtų mažėti. Tačiau palaipsniui didėjančios amonio jonų iškritos gali pakeisti šias optimistines prognozes, kadangi gali prisidėti prie aplinkos rūgštėjimo didinimo problemos, o tuo pačiu ir prie miškų būklės blogėjimo. Taip pat negalima būtų ignoruoti, dėl klimato kaitos didėjančios priežemio ozono neigiamos įtakos miškams. Pateiktame modelyje nėra meteorologinių veiksnių, kurie buvo eliminuoti dėl jų nereikšmingumo, tačiau gerai žinomą tarpusavio

sąveiką tarp meteorologinių parametru ir rūgštinančių komponentų taip pat negalima ignoruoti ateityje. Todėl tik tolimesnis kompleksiško monitoringo programos vykdymas gali sava laikais atskleisti naujas gresmes miško ekosistemos.

5.4. Kompleksiškas regioninio oro užterštumo ir natūralių aplinkos veiksnių poveikis KMS teritorijose augančių medžių būklei

Pušų lajų defoliacijos kaitą kompleksiško monitoringo stočių teritorijose reikšmingai sąlygoje maksimalios ozono koncentracijos, aerosolinės sulfatų koncentracijos ore bei amonio ir nitratų srautai. Šie taršos komponentai paaiškino iki 79 % pušų lajų defoliacijos kaitos. Sukurto daugianario regresinio modelio pavidalas toks:

$$F_{\text{puš}} = 3,978 + 0,0416 \times O_{3\text{max}} + 3,226 \times S \text{ SO}_4^{2-} + 0,0078 \times S \text{ NH}_4^+ + 0,0188 \times S \text{ NO}_3^-$$

;R²= 0,786; p<0.0001 (15)

Eglių defoliacijos kaitos priežastinių ryšių analizę nustatyta, kad per 1994-2010 m. laikotarpį tirtų eglių būklės kaitai statistiškai reikšmingi buvo šie parametrai: kritulių kiekis ramybės laikotarpiu (rugsėjo-balandžio mėn.), vidutinės oro temperatūros žiemą (gruodžio-vasario mėn.) ir vasarą (birželio-rugpjūčio mėn.), maksimali ozono koncentracija, ir šlapieji srautai sieros, amonio jonų ir nitratų. Eglių būklę ateityje sąlygotų temperatūros augimas šaltuoju ir vegetacijos laikotarpiu, kritulių mažėjimas šaltuoju laikotarpiu, maksimalių ozono koncentracijų mažėjimas bei mažėjimas sieros ir amonio srautų ir tik nežymus nitratų srautų didėjimas teigiamai galėtų sąlygoti eglių būklę.

$$F_{\text{egl}} = 28,37 + 0,0017 \times Kr_{(XII-II)} - 0,69 \times Tm_{(XII-II)} - 0,586 \times Tm_{(VI-VIII)} + 0,035 \times O_{3\text{max}} + 0,0128 \times S \text{ SO}_4^{2-} + 0,0022 \times S \text{ NH}_4^+ - 0,0243 \times S \text{ NO}_3^-$$

;R²= 0,767; p<0.0001 (15)

Apibendrinus kompleksiško monitoringo stočių augančių medžių lajų defoliacijos kaitos priežastinių ryšių analizę nustatyta, kad per 1994-2010 m. laikotarpį tirtų medžių būklės kaitai statistiškai reikšmingi buvo šie parametrai: kritulių kiekis ramybės laikotarpiu (rugsėjo-balandžio mėn.), vidutinės oro temperatūros žiemą (gruodžio-vasario mėn.) ir vasarą (birželio-rugpjūčio mėn.), maksimali ozono koncentracija, ir šlapieji srautai sieros, amonio jonų ir nitratų. Medžių būklę ateityje sąlygotų temperatūros augimas šaltuoju ir vegetacijos laikotarpiu, kritulių mažėjimas šaltuoju laikotarpiu, maksimalių ozono koncentracijų mažėjimas bei mažėjimas sieros ir amonio srautų ir tik nežymus nitratų srautų didėjimas teigiamai galėtų sąlygoti miškų būklę.

$$F_{\text{visų}} = 25,55 + 0,0032 \times Kr_{(\text{IX-IV})} - 0,452 \times Tm_{(\text{XII-II})} - 0,596 \times Tm_{(\text{VI-VIII})} + 0,033 \times O_{3\text{max}} + 0,0124 \times S \text{ SO}_4^{2-} + 0,0048 \times S \text{ NH}_4^+ - 0,0135 \times S \text{ NO}_3^- \quad ; R^2 = 0,767; \\ p < 0,0001 \quad (15)$$

Klimato kaitos sąlygoti meteorologinių veiksnių pokyčiai turėtų mažinti teršalų, ypač pastaruoju laikotarpiu didėjančių maksimalių ozono koncentracijų ir amonio jono srautų grėsmes miškų būklei.

Aplinkos veiksniai turintys reikšmingos įtakos vienu miško ekosistemų komponentų būklei, kaip taisyklė, reikšmingai sąlygojo ir kitų ekosistemos komponentų būklę. Taip mažėjanti sieros oksidų bei amonio jonų koncentracija ore bei jų srautai, kartu su H⁺ jonų srautu teigiamai sąlygojo visų miško komponentų būklę, mažindama medžių lajų defoliaciją, didindama smulkiųjų žinduolių, upelio makrobentosos bei dirvožemio mikroatropodų rūšinę įvairovę. Tik NO₃⁻ koncentracija ore, kartu su šio komponento srautu turėjo teigiamos įtakos ekosistemų būklei, nors šis poveikis dažniausiai buvo statistikai nereikšmingas.

Išaiškintas maksimalių ozono koncentracijų reikšmingas neigiamas poveikis dirvožemio pedobiontų bei smulkiųjų žinduolių rūšinei įvairovei liudija apie egzistuojanti priežastinį ryšį tarp vieno didžiausio aplinkos toksikanto ir tirtų faunos atstovų įvairovės. Pažemio ozono koncentracijos tolimesnis augimas ore vienareikšmiškai sąlygotų visos miško ekosistemos būklės pablogėjimą.

Tokiu būdu numatomo aplinkos užterštumo augimo bei klimato atšilimo atveju sąlygiškai natūraliose miško ekosistemose turėtų vykti du skirtingi procesai: 1, - dėl didėjančių amonio jonų ir maksimalių ozono koncentracijų ore turėtų blogėti medžių lajų būklė 2, - dėl didėjančio kritulių kiekio ir oro temperatūros turėtų didėti medžių atsparumas teršalams.

5.5. Kompleksiško monitoringo stočių teritorijose augančių miškų būklės kaitos sąlygojančių veiksnių analizės apibendrinimas

Tolimosios užteršto oro pernašos ir rūgščiųjų junginių iškritos jau nuo seno buvo laikomos pagrindine neigiamų miškų būklės pokyčių priežastimi. Todėl pagrindinis dėmesis buvo skirtas išaiškinti ar tolimosios užteršto oro pernašos ir rūgščiųjų junginių iškritos regioninio užterštumo teritorijose gali reikšmingai sąlygoti ne tik medžių lajų vidutinės defoliacijos kaitą laike, skirtingose Lietuvos regionuose (erdvėje), bet ir kitų ekosistemos komponentų - dirvožemio mikroatropodų, upelio makrobentosos bei sausumos smulkiųjų žinduolių rūšinę įvairovę bei gausumą.

Oro užterštumo poveikio nustatymas vienas pagrindinių ir Kompleksiško, ir Miškų monitoringo programų uždavinių. Pagal oro užterštumą Lietuva Europoje užima tarpinę padėtį tarp Centrinės Europos, kurioje fiksuojamos didžiausios oro teršalų koncentracijos bei iškritos, ir Skandinavijos šalių, kuriuose oro užterštumas yra vienas žemiausių (UN-ECE, 2003). Teršalų mažėjimo gradientas einantis per mūsų valstybę, sąlygoja ir skirtingą šių valstybių miškų būklę. Pagal I.Liepą (Лиєпа, 1980) paskaičiavus aplinkos veiksnių įtakos koeficientus,

rūgščiosios iškritos šiame regione paaiškina 75-80 % atskirų valstybių spygliuočių miškų daugiametės vidutinės defoliacijos variacijos, o klimatiniai veiksniai – vos 1% (Stakėnas ir Ozolinus, 1999).

Taršos komponentų koncentracijų ir tirtų medynų vidutinės defoliacijos koreliacinė analizė parodė, kad medžių defoliacija sąlygoja net kelių metų aplinkos užterštumo lygis. Skirtingų medžių rūšių vidutinės defoliacijos priklausomybės nuo užterštumo laipsnio analizė parodė, kad reikšmingiausiai aplinkos užterštumo komponentai sąlygojo pušų lajų vidutinę defoliaciją. Stipriais ir statistiškai reikšmingais ryšiais pasižymėjo sieros oksidų koncentracijos ore bei vandenilio, sulfatų ir amonio jonų srautai su pušų lajų defoliacija. Šių porinių priklausomybių koreliacijos koeficientai viršijo 0,8 ir buvo statistiškai reikšmingi ($p < 0,05$). ***Per paskutinįjį 2005-2010 m. laikotarpį oro teršalų ir rūgščiųjų iškritų poveikis padidėjo.***

Užterštumo lygis kitų medžių vidutinę defoliaciją sąlygojo silpniau, tačiau lyginant su praėjusio laikotarpio rezultatai, reikšmingumo lygmuo taip pat padidėjo, ypač sąveikoje su eglių ir net beržų defoliacija. Paprastosios eglės labiausiai nukentėjo nuo žievėgraužių topografų, kurių invazijos intensyvumas, pagal daugelio mokslininkų tyrimų rezultatus, priklauso nuo vėjo, šalčio, sniego, sausros pažeistų medžių skaičiaus. Tačiau pastaruoju laikotarpiu daugelis mokslininkų pradėjo teigti, kad ir oro užterštumas, rūgštūs lietūs bei ozonas, kurie kaip šių pažeidimų predisponuojantys veiksniai, padidino medynų jautrumą šių kenkėjų invazijai (Grodzki et al., 2002). Šiuos teiginius patvirtino KMS teritorijose gauti rezultatai. ***Pirmą kartą išaiškinta, kad eglių vidutinę defoliaciją Aukštaitijos KMS statistiškai reikšmingai sąlygojo praėjusių metų sieros oksidų koncentracija ore***

Mažiausią įtaką aplinkos užterštumas turėjo paprastųjų ir plaukuotuoju beržų lajų defoliacijai (*Betula spp.*). 2000-2005 m. apibendrinančioje ataskaitoje buvo teigiama, kad daugelyje atveju koreliaciniai ryšiai yra statistiškai nereikšmingi. Tęsiant tyrimus paaiškėjo, kad ir ***tarp rūgščiųjų komponentų koncentracijų ore, jų iškritų ir beržų lajų defoliacijos kaitos pradėjo ryškėti priežastinė priklausomybė.*** Sulfatų koncentracijos ore bei jų iškritos atrodo, kad pradeda turėti reikšmingos įtakos beržų lajų defoliacijos kaitai.

Analizuojant galimą dirvožemio vandens vandens parametrų įtaką Aukštaitijos KMS medžių būklei, nustatyta, kad ***didėjančios amonio jonų koncentracijos dirvožemio vandenyje, dėl didėjančių šio teršalo srautų, galėjo sąlygoti paskutiniųjų metų tirtų medžių lajų defoliacijos didėjimą. Taip pat patvirtintas teiginys, kad rūgštėjimo procesų intensyvumas neigiamai sąlygoja medžių lajų būklę.***

Gruntinio vandens parametrų ir tirtų medžių lajų defoliacijos kaitos koreliacinė analizė parodė, kad kaip ir dirvožemio vandenyje, ***didėjanti amonio jonų koncentracija gruntiniame vandenyje bei gruntinio vandens rūgštėjimas neigiamai sąlygoja medžių lajų būklę.***

Paviršinio vandens parametrai, kurie atspindi procesus vykstančius geoekosistemoje, rodė tą patį jau atskleistą ryšį su tirtų medžių defoliacijos laipsnio kaita. ***Tiesioginis ryšys nustatytas tirtų cheminių elementų koncentracijų, jų srautų ir išnešimo iš geoekosistemo su medžių lajų defoliacijos kaita. Tai patvirtina teigini, kad didesnės koncentracijos, srautai bei išnešimai blogina medžių lajų būklę.*** Atvirkštinis reikšmingas ryšys nustatytas tik tarp paviršinio vandens rūgštumo ir defoliacijos laipsnio, t.y. didesnis rūgštumas – didesnė defoliacija.

Per praėjusį paskutinįjį laikotarpį nuo 2005 iki 2010 m. Žemaitijos KMS išriškėjo eglių lajų defoliacijos ir rūgščiųjų iškritų bei jų koncentracijų ore tarpusavio priklausomybė. Taip pat padidėjo ryšys tarp tirtų aplinkos taršos komponentų ir pušų lajų defoliacijos. Tik beržų lajų defoliacijos kaitą paaiškinti aplinkos taršos komponentėmis dar šioje KM stotyje negalima.

Analizuojant galimą dirvožemio vandens parametrų įtaką Žemaitijos KMS medžių būklei, nustatyta, kad didėjančios sulfatų ir nitratų koncentracijos dirvožemio vandenyje galėjo sąlygoti paskutiniųjų metų tirtų eglių lajų defoliacijos didėjimą. Taip pat patvirtintas teiginys, kad rūgštėjimo procesų intensyvumas neigiamai sąlygoja medžių lajų būklę.

Kaip ir dirvožemio vandenyje ***didėjanti sulfatų koncentracija gruntiniame vandenyje bei gruntinio vandens rūgštėjimas neigiamai sąlygoja medžių lajų būklę.*** Nepaaiškintas lieka teigiamas amonio jonų ir nitratų poveikis visoms tirtoms medžių rūšims.

Paviršinio vandens kokybinių parametrų įtaka iš esmės skyrėsi nuo dirvožemio ir gruntinio vandens kokybinių parametrų įtakos tirtų medžių lajų defoliacijos intensyvumui. Tiesioginis ryšys, kaip ir Aukštaitijos KMS nustatytas tarp tirtų cheminių elementų koncentracijų, jų srautų ir išnešimo iš geoekosistemo su pušų ir beržų lajų defoliacijos kaita. Tai patvirtina teigini, kad didesnės koncentracijos, srautai bei išnešimai blogina medžių lajų būklę. Atvirkštinis ir artimas reikšmingai ryšys nustatytas tik tarp paviršinio vandens rūgštumo ir eglių defoliacijos laipsnio, t.y. didesnis rūgštumas – didesnė defoliacija.

Apibendrinus pateiktus rezultatus KMS teritorijoje nustatyta, kad ***2005-2010 m. aplinkoje vyko pokyčiai, kurie sustiprino rūgščiųjų komponentų neigiamą poveikį***

spygliuočiams. Palaipsniui vis reikšmingesnis tampa pažemio ozono maksimalių koncentracijų ir AOT40 nustatyto miškams poveikis miškams, kuris su klimato kaitos sąlygotais meteorologiniais veiksniais ateityje gali tapti vienu iš reikšmingiausių veiksniumi sąlygojančių miškų būklę Lietuvoje.

Drėgmės režimas ir žema temperatūra pagrindiniai aplinkos natūralūs veiksniai sąlygojantys ne tik sumedėjusios augalijos paplitimą mūsų planetoje, bet ir jų atsparumą kitiems, neigiamą jų poveikį sustiprinantiems veiksniams. Matyt, dėl šios priežasties, greta užterštumo poveikio hipotezės, aiškinančios miško ekosistemų būklės pablogėjimą praėjusio amžiaus pabaigoje, vis dažniau pradėta minėti natūralių veiksmių poveikio hipotezės. Šiems veiksniams priskiriami nepalankūs klimatiniai veiksniai, tokie kaip sausros ir žemos temperatūros ne tik šaltuoju laikotarpiu, bet ir pavasarį, ir rudenį (Auclair et al., 1992, Chappelka, Freer-Smith, 1995), grybinės ligos (Boneau, 1986; Kandler, 1992, 1994) bei vabzdžiai – ypač jau pažeistiems medžiams (Speight, Wainhouse, 1989). Pagal natūralių veiksmių hipotezes miškų būklės pablogėjimas gali būt stebimas ne tik lokaliai, bet ir gali tapti plataus miškų būklės pablogėjimo priežastimi, po sausrų atsiradus vabzdžių ar ligų židiniams (Houston, 1992). Šios hipotezės kritikai dažniausiai teigia, kad būtent šių veiksmių poveikis gali slėpti chroninį oro užterštumo poveikį (Innes, 1993). Tokių būdu statistiškai patikimas užterštumo poveikis gali būti prarastas „triukšme“ sąlygojamame natūralių reiškinių (Burton et al., 1991), kadangi lapijos pokyčiai sąlygojami oro užterštumo gali būti žymiai mažesni lyginant su 20-30 % lapijos sumažėjimu sėkliniais metais (De Vries et al., 1998). Nežiūrint šių visų prieštaravimų, akivaizdu išlieka tai, kad optimalaus drėgmės ir temperatūrinio režimo sąlygomis medžiai suformuoja tankią lapiją, o drėgmės trūkumas bei neigiamos temperatūros, ypač augimo sezono pradžioje ir pabaigoje gali sąlygoti neigiamus medžio lapijos morfologinius pokyčius, taip mažindamos bendrą lajos tankumą bei bendrą medžių atsparumą kitiems lydintiems nepalankiems aplinkos veiksniams.

Medžių būklę iš esmės lemia dvi meteorologinių veiksmių grupės. Pirma – palankios ir nepalankios klimatinės sąlygos; antra – ekstremalūs meteorologiniai veiksniai, tiesiogiai sąlygojantys medžių būklę (snieglaužos, vėjalaužos ir kt.) (Auclair et al., 1992). Pastaruoju laikotarpiu vis didesnę įtaka miškų būklei įgauna klimato kaita.

Klimatiniai veiksniai atskirais atvejais gali būti reikšmingesni medžių lajų būklės pokyčiams ne tik už medyno ar augavietės veiksmių, bet ir už aplinkos užterštumo poveikį. Meteorologiniai stresiniai veiksniai labiausiai siejami su tokiais reiškiniais, kaip žemos ar aukštos temperatūros atitinkamuose laikotarpiuose bei su sausra. Miškų būklės tyrimo

rezultatai rodo, kad miškų būklės pablogėjimas intensyviai vyksta karštomis ir sausringomis vasaromis. Vandens poveikis pasireiškia, šiuo atveju, per jo kiekį ir medžio fiziologinę adaptaciją jo trūkumui. Sausra gali ne tik tiesiogiai paveikti medžio gyvybingumą ir sąlygoti jo žūti, bet ir sumažinti augalo atsparumą nepalankiems aplinkos veiksniams. Kai kurie mokslininkai net teigia, kad sausros poveikis medžių lajų būklei reikšmingesnis negu realus oro užterštumas. (Prinz et al., 1987; Chappelka, Freer-Smith, 1995).

Atlikti tyrimai KMS teritorijose parodė (5.13 pav.), kad tirtų medžių būklę statistiškai reikšmingai sąlygojo meteorologinės sąlygos kelių paskutiniųjų metų. Ypač šis ryšys pasireiškia spygliuočiams medžiams. Pagrindinę įtaką tokiam poveikiui turi spyglių amžius. Pušų lajų būklę sąlygoja meteorologinės sąlygos dviejų metų, o eglė, kurių spyglių amžius siekia iki 10 m., net 5-7 metų (De Vries et al., 2000).

Pušų, kaip labiausiai paplitusių medžių KMS teritorijose, vidutinės defoliacijos kaitai reikšmingiausios įtakos turėjo pavasario (balandžio mėnesio), vasaros (birželio, rugpjūčio) ir vėlyvo rudens bei žiemos (spalio- gruodžio) mėnesių vidutinė temperatūra. Jei pavasarį ir žiemą aukštesnė mėnesio vidutinė temperatūra sąlygojo geresnę medžių lajų būklę, tai vasaros mėnesių aukštesnė temperatūra, blogesnę, nors pastarasis ryšys buvo statistiškai nepatikimas. Eglė lajų vidutinę defoliaciją mėnesio vidutinė temperatūra sąlygojo analogiškai pušų, tik temperatūrų poveikio reikšmingumas žiemą buvo žymiai didesnis. Matyt, žemų temperatūrų stresas medžiams, kuris gali pasireikšti keliais būdais - pigmentų fotooksidacija, šalčio bei žieminio džiovavimo pažeidimais ir veikti augalus pavieniai, kompleksiškai ar nuosekliai vienas po kito (Karenlampi and Skarby, 1996), turi reikšmingiausią poveikį medžių lajų defoliacijai. Tokiu būdu klimato atšilimas, kuris, kaip parodė gauti rezultatai, pasireiškė vidutinės temperatūros intensyviausiu padidėjimu pavasario ir rudens, kiek mažesniu - žiemos bei mažiausiu – vasaros mėnesiais turėtų visumoje teigiamai sąlygoti medžių lajų būklę. Lajos turėtų būt tankesnės, o jų defoliaciją mažesnė.

Medžių vidutinę defoliaciją statistiškai reikšmingai sąlygojo praėjusių metų vasaros (birželio ir rugpjūčio), rudens (spalio, lapkričio) bei einamųjų metų žiemos (sausio, vasario) mėnesių kritulių kiekiai. Visų šių mėnesių kritulių kiekio ryšys su defoliacijos laipsniu atvirkštinis, t.y. didesni kritulių kiekiai lemia mažesnę vidutinę defoliaciją. Tik ankstyvo pavasario (balandžio mėn.) didesni kritulių kiekiai neigiamai veikė medžių būklę, didindami lajų defoliaciją.

Būtent pavasario laikotarpiu medžių ūglių augimo pradžią bei intensyvų augimą sąlygoja didesnė oro temperatūra (Молчанов, 1961; Аугустайтис, 1989, 1992; Kairiūkštis,

1963; Ozolinčius 1998), o gausesni krituliai, sąlygojantys žemesnę temperatūrą, neigiamai veikia lapijos susidarymo procesus.

Miškų būklės tyrimo rezultatai rodo, kad kritulių trūkumas (sausros) ir šaltuoju (XII-II mėn.), ir vasaros laikotarpiu (VI-VIII mėn.) turi neigiamos įtakos medžių lajų būklei. Tačiau būtent vasaros mėnesių sausros, kurių poveikį (nors ir nereikšmingai) sustiprina aukštos temperatūros, turi reikšmingiausios įtakos defoliacijos padidėjimui ne tik einamaisiais, bet ir ateinančiais metais. Šiuos tyrimų rezultatus patvirtina mokslininkai ir Lietuvoje (Stakėnas, Ozolinčius, 1999), ir užsienyje (Schrock, 1995; Callaert, Schiezling, 1996; Hilton, Packham, 1997; Strand, 1997 ir kt.).

Apibendrinus klimatinių veiksnių galimo poveikio miškų būklei rezultatus sukūrėme spygliuočių medžių lajų būklės daugianarės regresijos modelį, kuris paaiškino vis 60% spygliuočių medžių lajų defoliacijos kintamumo per 1994-2010 m. laikotarpį. Modelio pavidalas toks:

Pagal sukurtą modelį auštesnė vasaros ir žiemos temperatūros teigiamai turėtų sąlygoti spygliuočių medžių lajų būklę.

Meteorologinių veiksnių įtakos pušynų defoliacijai per 1991 – 2010 m. laikotarpį Aukštaitijos NP parodė, kad medynų būklę reikšmingai sąlygojo rudens oro temperatūra, vegetacijos ir šaltojo laikotarpio vėjo greitis, rudens sezono dirvos temperatūra ir šiltojo bei šaltojo laikotarpio kritulių kiekis. Statistiškai reikšminga šiltėjanti žiemos ir rudens temperatūra lėmė pušynų būklės gerėjimą, mažėjančią defoliaciją. Tą patį galima pasakyti ir apie šiltėjančią dievožemio temperatūra – rudens sezono temperatūros didėjimas reikšmingai sąlygoja defoliacijos mažėjimą.

Vėjo greitis, naujai Lietuvos sąlygomis išaiškintas veiksnys, reikšmingiausiai sąlygoja didelį defoliacijos laipsnį. Pagal turimas žinias vėjas gali ne tik mechaniškai pažeisti medžius ar jų lajas (vėjavartos, vėjalaūžos), bet ir prie didesnių kaip 5 m/s gričių, didinti transpiraciją bei tuo pačiu didinti spyglių išdžiūvimo pavojų. Tokio poveikio rezultatas padidėjusi lajų defoliacija. Šis poveikis spygliuočiams yra pavojingas dar ir dėl to, kad gali vykti ne tik vegetacijos laikotarpiu, bet ir šaltuoju laikotarpiu. Kaip žinia prie didelių šalčių smarkus vėjas padidina asimiliacinių organų nušalimo pavojų. Todėl mūsų gauti statistiškai reikšmingi duomenys parodo, kad vėjo greitis, kuris turi aiškią mažėjimo tendenciją – apie 0,06 m/s per metus iki 2005, galėjo sąlygoti pušynų būklės gerėjimo tendenciją, o stiprėjimas nuo 2005 iki 2010 m. jų būklės pablogėjimo tendenciją.

Vegetacijos laikotarpio kritulių kiekio priklausomybė atvirkštinė, t.y. didesnis kritulių kiekis šiltuoju laikotarpiu, lėmė tankesnes pušų lajas, t.y. mažesnę jų vidutinę defoliaciją. Tik šaltojo laikotarpio didesni kritulių kiekiai neigiamai sąlygojo medžių būklę, didindami jų defoliaciją. Viena iš galimų priežasčių kodėl didesni kritulių kiekiai šaltuoju laikotarpiu neigiamai sąlygoja pušų būklę yra didėjančios rūgštiesios iškritos, kurios tiesiogiai priklauso nuo kritulių kiekio. Būtent šaltuoju laikotarpiu rūgščiųjų komponenčių koncentracijos ore yra didesnės lyginant su vegetacijos laikotarpiu.

Medžių lajų defoliacijai prognozuoti sukurtas tiesialinijinis daugialypis modelis, eliminavus nereikšmingiausius ir sunkiausiai prognozuojamus veiksnius. Pagal sukurtą modelį didesni kritulių kiekiai vegetacijos laikotarpiu ir šiltesnis augalų ramybės laikotarpis kartu su mažesniu vėjo greičiu ramybės laikotarpiu ir žemesne temperatūra vegetacijos laikotarpiu teigiamai sąlygotų pušynų būklę Aukštaitijos NP. Šie veiksniai daugialypės regresijos moelyje paaiškina virš 60% pušų lajų būklės defoliacijos kaitos.

Didėjanti vidutinė temperatūra, ypač žiemos ir pavasario mėnesiais teigiamai sąlygojo medžių lajų būklę, mažindama lajų vidutinę defoliaciją. Kritulių teigiamą įtaką stebima vegetacijos laikotarpiu ir neigiama rudens mėnesiais.

Vasaros mėnesių sausros, kurių poveikį sustiprina aukštos temperatūros, turi didžiausios įtakos lajų defoliacijos padidėjimui ir einamaisiais, ir ateinančiais metais.

Meteorologinės sąlygos, dėl šaknų sistemos ypatumu, reikšmingiau sąlygojo eglių negu pušų lajų vidutinę defoliaciją. Dėl to eglių būklė bei atsparumas nepalankiems aplinkos veiksniams labiau priklausė nuo kritulių kiekio nei nuo regioninio užterštumo. Pušys, kurios pasižymi gilumine šaknų sistema, buvo mažiau jautrios meteorologinių sąlygų svyravimams, o jų būklę reikšmingiau sąlygojo aplinkos užterštumas.

Pastaruoju laikotarpiu mokslininkai prisilaiko nuomonės, kad miškų būklę sąlygoja visas kompleksas tarpusavyje susijusių ir vienas kitą veikiančių aplinkos veiksnių. Iš jų tarpo išskirti pagrindinius, juos lydinčius ar pastarųjų poveikį sustiprinančius ar susilpninančius veiksnius, ypač regioninio užterštumo teritorijose iki šiol yra sunkiai įgyvendinamas uždavinys. Aplinkos užterštumas laikomas veiksniu sustiprinančiu medžio pažeidimą, tačiau tiesioginio ryšio tarp mažėjančios taršos ir miškų būklės pokyčių vis dar nenustatyta.

Sąlygiškai natūralių miško ekosistemų KM programos vykdymas įgalina Lietuvoje patikimai nustatyti aplinkos natūralių ir antropogeninių veiksnių kompleksinę poveikį medžių lajų būklei, išaiškinat pagrindinius jos pokyčius limituojančius, sustiprinančius bei slopinančius veiksnius. Tokie gauti rezultatai buvo pasiekti eliminavus daugelį išaiškintų trūkumų. Visu

pirma aplinkos užterštumo rodikliai nustatyti ne pagal riboto detalumo ir patikimumo EMEP modelius, o nenutrūkstamo matavimo analizatoriais tyrimo teritorijose. Medžių lajų defoliacija vertinta tos pačios komandos narių, taip išvengiant skirtingų vertintojų skirtingų paklaidų įtakos. Pastarosios savybės įgalino sumažinti duomenų natūralų kintamumą iki minimumo.

Ankstesniųjų tyrimų rezultatai įgalino mus išskirti reikšmingiausias aplinkos teršalus, jų pobūdį bei galimą žalingiausios veiklos laikotarpį regioninio užterštumo teritorijose. Išaiškinome, kad ne tik vegetacijos, bet ypač spygliuočiams, reikšmingas gali būti ramybės laikotarpis. Tokį mūsų teiginį sustiprina ir tas faktas, kad būtent šiuo laikotarpiu rūgštinančių komponentių koncentracijos ore yra didžiausios, taip kaip ir jų iškritos gausiausios. Pastaruoju laikotarpiu, kaip rodo mūsų tyrimų rezultatai, ypač reikšmingi tapo sieros ir amonio jonų koncentracijų įvairiuose substratuose, jų srautų ir tirtų medžių defoliacijos laipsnio kaitos ryšiai. Tai leidžia teigti, kad šios dvi komponentės Lietuvoje tampa vienos iš svarbiausių ne tik sąlygojančių bendrą ekosistemo rūgštumo laipsnį, bet ir medžių lajų būklę. Šie gauti rezultatai ir mūsų teiginiai gerai sutampa su skelbiamais rezultatai Europoje (Lorenz and Mues, 2007).

Paskutiniųjų metų rezultatai rodo, kad ΣNH_4^+ oro koncentracijos, jų iškritos ir koncentracijos krituliuose tampa reikšmingiausių aplinkos užterštumo rodiklių iš esmės sąlygojančių pušynų būklę, paaiškindamos net iki 45% pušų lajų defoliacijos kaitos. Pirmą kartą nuo tyrimų pradžios sieros komponentių galima reikšmė pušynų būklei tapo mažesnė. Paaiškinamumo lygmuo svyruoja nuo 41.3 iki 44.6%. Palaišnis NH_4^+ iškritų ir jų koncentracijų krituliuose augimas stebimas nuo 2002 m. ir gerai sutampantis su pušynų būklės blogėjimu, ypač šiaurė rytinėje Lietuvos dalyje, Aukštaitijos NP, gali būt priskiriamas prie vienos iš naujai kylančios gresmės miško ekosistemoms.

Apibendrinant gautus rezultatus, sukūrėme bendrą daugianarės regresijos modelį, imituojantį šiaurės Lietuvos pušynų būklę, priklausomai nuo aplinkos teršalų. Kaip matyt iš pateiktos lygties, pušynų defoliacijos laipsnis tiesiogiai priklauso nuo vasaros mėnesių priežemio ozono koncentracijos, rudens (rugsėjis-gruodis) sieros dioksido ir amonio jonų koncentracijos ore, nuo šio laikotarpio sieros iškritų kiekio bei yra atvirkščiai proporcingas nitratų iškritoms vegetacijos laikotarpiu. Šie parametrai net iki 50 % paaiškina pušynų būklės kaitą laike šiame Lietuvos regione.

Apibendrinus gausių tyrimų rezultatus nustatyta, kad pušų lajų defoliacijos kaitą kompleksiško monitoringo stočių teritorijose reikšmingai sąlygoje maksilaios ozono koncentracijos, aerozolinės sulfatų koncentracijos ore bei amonio ir nitratų srautai . Šie taršos

komponentai paaiškino iki 79 % pušų lajų defoliacijos kaitos. Sukurto daugianario regresinio modelio pavidalas toks:

Eglių defoliacijos kaitos priežastinių ryšių analizę nustatyta, kad per 1994-2010 m. laikotarpį tirtų eglių būklės kaitai statistiškai reikšmingi buvo šie parametrai: kritulių kiekis ramybės laikotarpiu (rugsėjo-balandžio mėn.), vidutinės oro temperatūros žiemą (gruodžio-vasario mėn.) ir vasarą (birželio-rugpjūčio mėn.), maksimali ozono koncentracija, ir šlapieji srautai sieros, amonio jonų ir nitratų. Eglių būklę ateityje sąlygotų temperatūros augimas šaltuoju ir vegetacijos laikotarpiu, kritulių mažėjimas šaltuoju laikotarpiu, maksimalių ozono koncentracijų mažėjimas bei mažėjimas sieros ir amonio srautų ir tik nežymus nitratų srautų didėjimas teigiamai galėtų sąlygoti eglių būklę.

Apibendrinus kompleksinio monitoringo stočių augančių medžių lajų defoliacijos kaitos priežastinių ryšių analizę nustatyta, kad per 1994-2010 m. laikotarpį tirtų medžių būklės kaitai statistiškai reikšmingi buvo šie parametrai: kritulių kiekis ramybės laikotarpiu (rugsėjo-balandžio mėn.), vidutinės oro temperatūros žiemą (gruodžio-vasario mėn.) ir vasarą (birželio-rugpjūčio mėn.), maksimali ozono koncentracija, ir šlapieji srautai sieros, amonio jonų ir nitratų. Medžių būklę ateityje sąlygotų temperatūros augimas šaltuoju ir vegetacijos laikotarpiu, kritulių mažėjimas šaltuoju laikotarpiu, maksimalių ozono koncentracijų mažėjimas bei mažėjimas sieros ir amonio srautų ir tik nežymus nitratų srautų didėjimas teigiamai galėtų sąlygoti miškų būklę.

Klimato kaitos sąlygoti meteorologinių veiksnių pokyčiai turėtų mažinti teršalų, ypač pastaruojų laikotarpiu didėjančių maksimalių ozono koncentracijų ir amonio jono srautų grėsmes miškų būklei

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 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 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

Klimato kaitos sąlygota 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 išliko praktiškai stabili.

Reikšmingiausi pokyčiai registruojami Aukštaitijos KMS nuo 2003 m., kai vidutinė temperatūra per 7 m. laikotarpį augo po 0,27 °C per metus ($p < 0,05$), Žemaitijos KMS nuo 2005 m., kai vidutinė temperatūra per 5 m. laikotarpį augo po 0,46 °C per metus ($p < 0,05$). Toks ženklus oro temperatūros augimas šiuo paskutiniu metu laikotarpiu sąlygojo reikšmingus procesus miško ekosistemose.

Metinis kritulių kiekis per tiriamąjį laikotarpį turėjo 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.

Aukštaitijos KMS nuo 2003 m. dirvožemio vidutinė temperatūra kyla po 0,208 °C per metus, Žemaitijos KMS tyrimai nevykdomi. Šiuo laikotarpiu neregistruojami ir esminiai skirtumai išalo duomenų sekoje.

Aukštaitijos KMS paskutiniu metu laikotarpiu (2005-2010 m.) upelio vandens temperatūra, proporcingai oro temperatūrai, kylo intensyviau nei per visą tiriamąjį laikotarpį, o Žemaitijos KMS vandens temperatūros kaitai įtakos turėjo 2005 ir 2010 m. kai vidutinė vandens temperatūra nukrito iki savo minimalių reikšmių.

Nuo 2003 m. Aukštaitijos KMS upelio vandenyje didėja deguonies kiekis po 0,15 mg/l per metus. Išaiškintas tiesioginis upelio temperatūros ir deguonies kiekio jame ryšys. Žemaitijos KMS oro koncentracijos upelio vandenyje neregistruojamos.

Vandens atsargos dirvožemyje Aukštaitijoje pasiekė aukščiausią, 2003 metų lygį, o Žemaitijoje didėjo (nuo 1999 m.). 2010 m. dirvožemio srauto tūris Aukštaitijoje buvo vidutinis, o intensyvumas – didžiausias dėl ypatingai stipraus pavasario polaidžio. Žemaitijoje dirvožemio vandens srautas ir sunkimosi intensyvumas buvo vidutiniai.

Gruntinio vandens dinaminės atsargos stebėjimo laikotarpiu Aukštaitijoje yra stabilios, o Žemaitijoje – linkusios didėti. 2010 m. gruntinio vandens debitas buvo mažas.

Gruntinis vanduo visuose gręžiniuose kilo, kompensuodamas sausmečio metu nukritusį gruntinio vandens lygį.

Sąlygos medžiagų išplovimui upeliu Aukštaitijos KMS 2010 m. buvo vidutiniškai palankios. Žemaitijos KMS 2010 m. šiluminės sąlygos medžiagų išnešimui buvo nepalankios, hidrodinaminių sąlygų negalime vertinti dėl sugedusio limnigrafo.

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 2009-2010 m. vėl išaugo, ir viršijo 2004-2007 m. lygį. Tirpių medžiagų koncentracijos buvo mažiausios per stebėjimo laikotarpį. Per stebėjimo laikotarpį Aukštaitijos stotyje daugumos medžiagų koncentracijos turi tendenciją augti (išskyrus sulfatus, K, Cl ir Si), o Žemaitijos – yra stabilios arba mažėja (išskyrus visuminio azoto koncentraciją, kuri didėja)

2004–2010 m. gruntinio vandens elektrinis laidumas, pH ir šarmingumas stabilus. Gruntiniame vandenyje mažėja tirpių medžiagų, ypač Ca, Mg, sulfatų koncentracijos. Pastaruosius 2 metus augalų mitybos makroelementų N ir P migracija į gruntinius vandenis padidėjo, tikėtina, dėl išaugusio bendro garavimo ir šiluminių ekstremumų dirvožemyje.

Upelių vandens rūgštingumas 2010 metais buvo mažas, šarmingumas, specifinis laidumas ir daugumos tirpių medžiagų koncentracijos išliko panašios į praėjusių metų lygį arba sumažėjo. Ypač sumažėjo sulfatų koncentracija. Šiluminiai veiksniai (aukšta temperatūra ir maže svyravimo amplitudė) lėmė ištirpusios organinės anglies ir biogeninių elementų koncentracijų padidėjimą upelio vandenyje.

2010 metais fizinės sąlygos medžiagų išplovimui iš dirvožemio buvo palankesnės Aukštaitijos stotyje, o iš gruntinio vandens zonos – Žemaitijos. Pačios palankiausios sąlygos išplovimui per stebėjimo laikotarpį buvo LT01 2004–2005 m., o Žemaitijoje 2005–2006 m.

Vidutinė metinė ozono koncentracija 2010 metais EMEP stotyje Preiloje buvo $62,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, t.y., didesnė nei 2009 metais. Pagrindinė priežastis yra ozono koncentracijos padidėjimas šaltuoju metų laikotarpiu, t.y., spalio - kovo mėnesiais. Didžiausia ozono koncentracija ($149,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 2010 metais Preilos stotyje buvo išmatuota balandžio 30 dieną, kurios kilmė yra sietina su užteršto oro masių pernaša iš Lenkijos bei galimu intensyvesniu vietiniu fotocheminiu susidarymu dėl palankių jam meteorologinių sąlygų.

Apskaičiuotos AOT40 vertės miškų apsaugai stotyje neviršijo ($13126 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ ir $13313 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ perskaičiuotasis) 2002/3/EB direktyvos III priede pateikto leistino lygio, t.y., $20000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$, ir buvo mažesnės nei 2009 metais.

Per pastaruosius 5 metus nenustatytas didžiausios (pikinės) ozono koncentracijos neviršijo $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tai gali būti sietina su mažai pakitusių ozono pirmtakų emisijomis kaimyninėse šalyse. Didžiausių (pikinių) ozono koncentracijų susidarymas Preilos stoties aplinkoje yra stebėtas kai užterštos oro masės ateina iš kitų Europos regionų. Didelių ($> 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ozono koncentracijų pasikartojimas per 2005-2010 metų laikotarpį stebėtas mažiau nei 1% laiko. Pagrindinė vidutinės ozono metinės koncentracijos kaitos priežastis yra koncentracijų pokyčiai šaltojo laikotarpio mėnesiais.

Kompleksiško monitoringo stotyse, Preiloje išaiškintas ozono kaitos trendas ir toliau nepasitvirtina. Nuo 1996 m. šiose stotyse stebimas reikšmingas šaltojo ir šiltojo laikotarpio ozono vidutinių koncentracijų mažėjimas, kas sąlygoja metinių ozono koncentracijų reikšmingą 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.

Paskutiniuoju laikotarpiu (2005-2010 m.) Aukštaitijos KMS ozono koncentracijų mažėjimo intensyvumas praktiškai buvo 3 kartus didesnis negu daugiametis. Šaltuoju laikotarpiu po $-1,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus, šiltuoju – po $-1,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus ir vidutinių metinių reikšmių – po $-1,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus. Nereikšmingas buvo tik šaltojo laikotarpio mažėjimas, kuris vyko intensyviausiai. Žemaitijos KMS ozono koncentracijų mažėjimo intensyvumas praktiškai šiuo laikotarpiu buvo 2 kartus didesnis negu daugiametis ir praktiškai susilygino su Aukštaitijos KMS. Šaltuoju laikotarpiu po $-1,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus, šiltuoju – po $-1,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus ir vidutinių metinių reikšmių – po $-1,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus. Skirtingai nei Aukštaitijos KMS, per šį laikotarpį mažėjimo intensyvumas buvo nereikšmingas.

Kompleksiško monitoringo stočių AOT 40 reikšmių kaitoje išaiškintos ozono koncentracijų tendencijos pasitvirtino tik paskutiniuoju 2005-2010 m. laikotarpiu. Aukštaitijos KMS šis AOT40 miškams mažėjimo trendas reikšmingas, o javams – ne. Žemaitijos KMS mažėjimo trendas abiejų APT40 indeksų nereikšmingas.

Padidėjus vietinei teršalų emisijai (šaltiniai - gaisrai, transportas ir panašiai) ir esant palankioms meteorologinėms sąlygoms, sietinomis su prognozuojamu klimato šiltėjimu, gali atsirasti dažnesni vietiniai padidintų ozono koncentracijų epizodai. Tai paaiškina, kad daugelį metų reikšmingai mažėjančios maksimalios ozono koncentracijos maždaug nuo 200-2001 metų vėl pradėjo didėti.

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

Sieros dioksido koncentracijos Aukštaitijoje per tiriamąjį laikotarpį mažėjo nuo 2.73 (1994 m.) iki 0.36 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (2010 m.) ir Žemaitijoje – nuo 2.22 (1995 m.) iki 0.39 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (2010 m.). Ypač ryškus koncentracijų mažėjimas matomas iki 2000 m. ir ženkliai lėtesnis per pastarąjį dešimtmetį, o nuo 2007 m. jos mažai kinta. To priežastimi gali būti SO_2 emisijos mažinimo tempai ES-27 ir Lietuvoje.

Aerolinių sulfatų metinių koncentracijų kaita rodo jų mažėjimą nuo 3.32 iki 0.67 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (–66 %) Aukštaitijos KMS ir nuo 2.03 iki 0.56 $\mu\text{gS}\cdot\text{m}^{-3}$ (–55 %) Žemaitijos. Tačiau, 5 pastarųjų metų (2006 – 2010 m.) duomenys rodo tik 1% mažėjimą Aukštaitijos IMS ir didesnę (–35%) sulfatų koncentracijos mažėjimą Žemaitijos IMS.

Vidutinės metų ΣNO_3 koncentracijos Aukštaitijoje kito nuo 0.57 iki 0.50 $\mu\text{gN}\cdot\text{m}^{-3}$ (–23%), Žemaitijoje nuo 0.66 iki 0.51 $\mu\text{gN}\cdot\text{m}^{-3}$ (–23%). 5 pastarųjų metų (2006 – 2010 m.) duomenys rodo tik 16% mažėjimą Aukštaitijos IMS ir didesnę 36% sumNO_3 koncentracijos mažėjimą Žemaitijos IMS, o Preiloje 3% koncentracijų didėjimą.

Vidutinė metinė ΣNH_4 koncentracija ore Aukštaitijoje kito nuo 2.23 iki 1.08 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, Žemaitijoje nuo 2.20 iki 1.03 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, Preiloje – nuo 3.07 iki 1.43 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$. Visose stotyse stebima ΣNH_4 metinių koncentracijų mažėjimo tendencija per pastaruosius penkis metus (2006–2010 m.): –14, –42 ir –27 % atitinkamai LT01, LT03 ir LT15. Priešingai tokiai SO_2 ir ΣNH_4 kaitai, NO_2 koncentracijų kaitoje nėra aiškios tendencijos per visą tiriamąjį laikotarpį.

Teršalų koncentracijoms atmosferos ore KM stotyse ir Preiloje didžiausią poveikį daro SO_2 ir NO_2 emisijos šaltiniai, kurie yra centrinėje, pietinėje ir pietrytinėje Europoje. Akivaizdi metinio kritulių kiekio didėjimo tendencija rytinėje ir vakarinėje Lietuvos dalyse darė įtaką daugumos cheminių priemaišų šlapiems srautams. Nesikeičiant nuo 2005 m. sulfatų koncentracijai krituliuose, didėja jų šlapieji srautai Aukštaitijoje ir Preiloje, atitinkamai 20 ir 48%. Sulfatų srautų mažėjimo tendencija (10%) matoma tik Žemaitijoje.

Aukštaitijos KMS ir Žemaitijos KMS nitratų koncentracijos krituliuose mažėja, o Preiloje – didėja. Nuo 2005 m. nitratų šlapiųjų metinių srautų kaitoje stebima mažėjimo tendencija tik Žemaitijoje, o Aukštaitijoje ir ypač Preiloje – didėjimo.

Amonio koncentracija ir jo šlapiasis srautas per paskutinius metus nuo 2005 m. visumoje rodo didėjimo tendenciją. Ypač ryški ji matoma Aukštaitijos KMS (~ 51 %) ir ši amonio srauto didėjimo tendencija žymiai mažesnė (~ 3 %) Žemaitijos IMS ir Preiloje.

Metinė sulfatų (SO_4^{2-}) koncentracija Preiloje SO_4^{2-} - S_{tot} – apie 3 kartus didesnė nei IM stotyse. Mažėjimo tendencija rytų kryptimi matoma nitratų (NO_3^-) koncentracijų erdvinėje kaitoje. Nežymi erdvinė kaita gauta amonio (NH_4^+) metinei koncentracijai. Ypatingai ryški didėjimo tendencija vakarų kryptimi yra natrio (Na^+) ir chloridų (Cl^-) metinių koncentracijų erdvinėje kaitoje.

Atmosferiniams krituliams krentant per medžių lają, cheminių priemaišų, išskyrus azoto junginius, koncentracijos ir jų kiekiai iškritose į polajį yra didesni nei atviroje vietoje. Sulfatų koncentracijos padidėjimas polajiniuose krituliuose gali būti siejamas su sieros junginių (sulfatų ir sieros dvideginio) nuplovimu nuo lajos. Azoto junginių koncentracijų pokyčiai polajiniuose krituliuose gali būti siejami su jų išplovimu iš lajos, nuplovimu nuo lajos, o taip pat ir dėl azoto junginių absorbcijos laja. Didžiausias koncentracijų ir srautų padidėjimas abiejose IM stotyse rastas kaliui. Tai rodo šio elemento išplovimą iš lajos.

Žemaitijos IMS visų pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos polajiniuose krituliuose yra didesnės nei Aukštaitijos IMS, o atviroje vietoje rinktuose krituliuose koncentracijos yra gan panašios, išskyrus, NO_3^- , Cl^- ir Na^+ . Tai gali būt siejama su skirtingu lajų tankiu: Aukštaitijos stotyje – vyrauja pušynai, Žemaitijos stotyje – vyrauja eglynai.

Pagrindinių cheminių priemaišų srautai į miško paklotę abiejose IM stotyse 2010 m. yra netolygūs kritulių kiekiui, esant 20% didesniam kritulių metiniam kiekiui Žemaitijos IMS nei Aukštaitijos IMS, į polajį Žemaitijoje pateko 2.8 kartus daugiau sieros, 5.4 karto daugiau nitratinio azoto ir 2.9 karto daugiau amonio azoto, 3.6 – 4.5 karto daugiau chloridų, natrio ir kalio, 2.5 – 3.2 karto daugiau kalcio ir magnio. Šie skirtumai tarp stočių gali būti dėl lajos skirtingos struktūros: Aukštaitijoje vyrauja pušynai, o Žemaitijoje – eglynai.

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 2009-2010 m. vėl išaugo, ir viršijo 2004-2007 m. lygį.

Per stebėjimo laikotarpį Aukštaitijos stotyje daugumos medžiagų koncentracijos turi tendenciją augti (išskyrus sulfatus, K, Cl ir Si), o Žemaitijos – yra stabilios arba mažėja (išskyrus visuminio azoto koncentraciją, kuri didėja)

2004–2010 m. gruntinio vandens elektrinis laidumas, pH ir šarmingumas stabilus. Gruntiniame vandenyje mažėja tirpių medžiagų, ypač Ca, Mg, sulfatų koncentracijos. Pastaruosius 2 metus augalų mitybos makroelementų N ir P migracija į gruntinius vandenis padidėjo, tikėtina, dėl išaugusio bendro garavimo ir šiluminių ekstremumų dirvožemyje.

Upelių vandens rūgštingumas 2010 metais buvo mažas, šarmingumas, specifinis laidumas ir daugumos tirpių medžiagų koncentracijos išliko panašios į praėjusių metų lygį arba sumažėjo. Ypač sumažėjo sulfatų koncentracija. Šiluminiai veiksniai (aukšta temperatūra ir mažė svyravimo amplitudė) lėmė ištirpusios organinės anglies ir biogeninių elementų koncentracijų padidėjimą upelio vandenyje.

Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS nuo 2005 iki 2010 m. išaiškintos bendros pagrindinių maistinių komponentų kaitos tendencijos asimiliaciniuose medžių organuose. Azoto koncentracija tiek beržų lapuose, tiek ir eglės bei pušies spygliuose praktiškai buvo stabili, bendrojo fosforo koncentracija reikšmingai mažėjo tik beržų lapuose, po $-0,11$ g/kg per metus.

Aukštaitijos KMS per paskutinįjį 6 m laikotarpį (2005-2010 m.) beržų lapuose K, Ca, Mg ir Mn koncentracijos turėjo tendencija mažėti. Eglių spygliuose mažėjimo tendencija nustatyta tik Mg ir Ca, o nežymiai didėjo K ir Mn koncentracijos. Pušies spygliuose šių metalų koncentracijų kaitoje reikšmingos tendencijos nustatyti nepavyko, nors svyravimai ryškūs.

Žemaitijos KMS, kaip ir Aukštaitijoje ženkliai mažėja kalcio koncentracijos lapijoje, kalio koncentracijų kaitoje nežymus didėjimas stebimas tik pušies spygliuose, kai tuo tarpu eglės spygliuose ir beržų lapuose šio elemento kiekis ženkliai mažėja.

Išaiškintos bendros maistinių elementų koncentracijų nuokritose tendencijos. Bendrojo azoto kiekis nuokritose turėjo tendenciją didėti, o fosforo kiekis – mažėti. Kalcio koncentracija nuokritose reikšmingai mažėja visus metus. Kalio koncentracijos nuokritose praktiškai išlieka stabilios.

Palyginus tirtų elementų koncentracijas atskirai beržų lapuose, pušies spygliuose ir jų rudeninėse nuokritose Aukštaitijos KMS nustatyta, kad bendrojo azoto nukritusiuose lapuose ir spygliuose sumažėja beveik vienodai 2,7-3,0 karto, kalio 3,3-3,8 karto, magnio 1,2-1,3 karto ir tik bendrojo fosforo koncentracijos išsiskyrė: nukritusiuose beržų lapuose P koncentracija sumažėjo 2,4 karto, o pušies spygliuose 4,0 karto. Nežymiai, vos 1,3-1,4 karto nuokritose padidėjo tik kalcio jonų. Žemaitijos KMS ši kaita yra truputį silpnesnė.

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

Aukštaitijos IMS 1 ha baseino plote augančių medynų biomasė nuo 1993 iki 1999 metų dėl medžių iškritimo sumažėjo vidutiniškai nuo 218t iki 206t/ha, t.y. 12 t/ha arba 5%, 1999 m. augančių medžių biomasės padidėjo 5 t/ha arba apie 2% biomasės, o paskutiniaisiais sumažėjo vėl 4 t/ha iki 207 t/ha.

Aukštaitijos KMS teritorijoje augančių medynų biomasė 2003 m. sudarė 211t/ha, kurioje pagrindinių bioelementų kiekiai buvo tokie: azotas 376,6 kg/ha, fosforas 42,1kg/ha, kalis 142,1 kg/ha, kalcis 229,6kg/ha. Priklausomai nuo bioelemento, jų kiekis per 17 metų laikotarpį sumažėjo nuo 5 iki 7% dėl medžių žuvimo. 2010 m negyvoji mortmasė susidarė 99,2 t/ha, kuri priklausomai nuo jos sudulėjimo palaipsniui pereina į dirvožemį, jį praturtindama. Per tiriamąjį laikotarpį nuo 1993 iki 2010 susidarė 55,5 t/ha negyvosios mortmasės, t.y. maždaug po 3,3 t/ha per metus. Tai sudarytų 5,9 kg azoto, 2,2 kg kalio, 3,6 kg kalcio 0,67 kg fosforo, 0,77 kg magnio ir mangano bei 0,69 kg sieros. Išlikusių gyvų medžių biomasės prieaugis per 17 m. sudarė 46 t/ ha, arba 2,7 t/ha per metus (1,3 % išlikusių gyvų medžių biomasės per metus)

Žemaitijos KMS teritorijoje augančių medynų skerspločių suma per tiriamąjį 16 m. laikotarpį vidutiniškai pakito nuo 28,4 m²/ha iki 26,0 m²/ha, t.y. sumažėjo 2,37 m²/ha 8,3 %, o išlikusių gyvų eglių vidutinis skerspločių sumos prieaugis per tiriamąjį laikotarpį sudarė apie 5 m²/ha arba apie 1,6 % skerspločių sumos per metus. Pušų skerspločių sumos prieaugis per tiriamąjį laikotarpį sudarė apie 0,8 m²/ha arba apie 1,0 % skerspločių sumos per metus.

Žemaitijos KMS 1 ha baseino plote augančių medynų biomasė nuo 1993 iki 1999 metų dėl medžių iškritimo sumažėjo vidutiniškai nuo 196t iki 185t/ha, t.y. apie 10 t/ha arba 5% biomasės. Per antrąjį tyrimų laikotarpį, t.y. nuo 1999 iki 2003 m. biomasė nežymiai padidėjo iki 186 t/ha, tačiau paskutiniu metu laikotarpiu, t.y. nuo 2003 iki 2010 m. augančių medžių biomasės vėl mažėjo iki 178t/ha. Toks pastovus biomasės mažėjimas yra žievėgraužio tipografo ir nepalankių klimatinių veiksnių poveikio rezultatas. Gyvų iki 2010 m. medžių biomasės prieaugis yra 48,8 t/ha, arba 3,1 t/ha per metus.

Pagrindinių medynų biomasės bei bioelementų tyrimo rezultatai parodė, kad Žemaitijos KMS teritorijoje augančių medynų biomasė 2003 m. sudarė 186t/ha, kurioje pagrindinių bioelementų kiekiai buvo tokie: azotas 341,6 kg/ha, fosforas 33,7 kg/ha, kalis 127,1 kg/ha, kalcis 242,2 kg/ha. Priklausomai nuo bioelemento, jų kiekis per 6 metų laikotarpį sumažėjo panašiai kaip ir Aukštaitijos KMS. 2010 m. medynų biomasė buvo 178,5 t/ha, kurioje pagrindinių bioelementų kiekiai buvo tokie: N 327,2 kg/ha, P 32,7 kg/ha, K 122,1 kg/ha, Ca 230,0 kg/ha, Mn 51,9 kg/ha, Mg 39,3 kg/ha ir S 11 kg/ha.

2010 m negyvoji mortmasė susidarė 81,2 t/ha, kuri priklausomai nuo jos sudulėjimo palaipsniui pereina į dirvožemį, jį praturtindama. Per tiriamąjį laikotarpį nuo 1993 iki 2010 susidarė 68,0 t/ha negyvosios mortmasės, t.y. maždaug po 4,3 t/ha per metus. Tai sudarytų 7,9

kg azoto, 2,9 kg kalio, 5,5 kg kalcio, 0,79 kg fosforo, 1,2 kg mangano, 0,95 kg magnio bei 0,26 kg sieros per metus.

Dėl klimato kaitos didėjančios šaltojo laikotarpio mėnesių vidutinės temperatūros ir iš dalies kritulių kiekis tiesiogiai sąlygoja didėjančių pušų kamienų skerspločio prieaugio didėjimą pastaruoju laikotarpiu.

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).

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 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.

III. SUNKIŲJŲ METALŲ SRAUTAI, JŲ KAUPIMASIS EKOSISTEMOSE IR IŠPLOVIMAS

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.

Analizuojant 2007 ir 2008 metų benz(a)pireno ir sunkiųjų metalų koncentracijos duomenis Aukštaitijos IMS atmosferos ore buvo stebima ryški sezoninė eigą. Šios eigos praktiškai nebuvo arba buvo tik silpnai stebima analizuojant 2009–2010 m kritulių duomenis. Pagrindinė priežastis – didelė oro masių trajektorijų kaita bei kritulių nereguliarumas.

Benz(a)pireno srautas į žemės paviršių kito nuo 0,09 iki 0,75 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ Aukštaitijos IMS ir nuo 0,428 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ iki 0,857 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ mėn}^{-1}$ Žemaitijos IMS. Abiejose stotyse benz(a)pireno koncentracija krituliuose ir jo srautas į žemės paviršių turėjo išreikštą sezoniškumą. Didesnės benz(a)pireno koncentracijos krituliuose ir jo srautai į žemės paviršių Žemaitijos KMS rodo intensyvesnių benz(a)pireno šaltinių įtaką šios stoties aplinkai.

2010 metais sunkiųjų metalų koncentracijos buvo artimos vidurkiui arba tarp žemiausių per stebėjimo laikotarpį. 2010 m. Aukštaitijos stotyje 2000-2009 vidurkį nežymiai viršijo tik Ni koncentracija. Pb, Cd koncentracija dirvožemio vandenyje buvo viena mažiausių, artima mažiausiai nustatomi reikšmei. 2010 m. Žemaitijos stotyje visų sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio vandenyje laikosi vidutiniame ir žemame lygyje, tik Cr ir Cu koncentracijos 2000-2009 metų vidurkį viršijo

Sunkiųjų metalų koncentracijų gruntiniame vandenyje 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. Žemaitijos gruntiniame vandenyje padidėjo tik Pb ir Zn koncentracijos.

Daugumos sunkiųjų metalų koncentracijos santykinai natūralių miško ekosistemų upelio vandenyje 2010 metais buvo mažesnės ir lygios vidurkiui. Upelio vandenyje Žemaitijos stotyje Fe, Cu ir Ni koncentracijos padidėjo dėl analogiškų pokyčių dirvožemio ir gruntiniame vandenyje, kurie gali būti susiję su teršimu.

Nuokritos vienas iš sunkiųjų metalų judėjimo tarpsnių 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 priešasčių nustatyti nepavyko. Dėl tokio ženklaus nuokritų kiekio sumažėjimo iš esmės sumažėjo ir su nuokritomis patenkančių metalų srautai į miško paklotę.

Apibendrinus tirtų metalų koncentracijas nuokritose 1994-2010 m. laikotarpiu, nustatyta, kad per tiriamąjį laikotarpį ženkliai didėjo tik Zn ir iš dalies K koncentracijos nuokritose (iki 2009 m.). Kitų elementų koncentracijos nuokritose išliko stabilios ar turėjo tendencija mažėti (Cr, Pb, Cu).

Nuo 2003 metų, kaip ir Aukštaitijos KMS, reikšmingai mažėjo tik Cd, Pb Cr koncentracijos. Kalio ir mangano koncentracijoms buvo būdinga augimo tendencija, tik ne tokia reikšminga kaip Aukštaitijos KMS. Vario ir cinko koncentracijos nuokritose išliko stabilios.

Cheminių analizių tyrimai KMS teritorijose bei jų apylinkėse parodė, kad 1990-2010 m. laikotarpiu iš esmės mažėjo Pb, Cu ir Ni koncentracijos ir iš dalies Cd. Tik Cr koncentracijų kaitoje pastebima didėjimo tendencija, ypač Aukštaitijos KMS.

Žemaitijos KMS yra labiau teršiama sunkiaisiais metalais negu Aukštaitijos KMS, ką patvirtina ir oro bei kritulių sunkiųjų metalų tyrimo rezultatai.

IV. MIŠKO EKOSISTEMŲ MONITORINGAS KOMPLEKSNIO MONITORINGO TERITORIJOSE

Tiriamuoju laikotarpiu (1994-2010 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.

Aukštaitijos KMS pušų vidutinės defoliacijos kaitos sekoje išskiriamas laikotarpis, kada pušynų būklė buvo geriausia. Tai 2004-2008 m. laikotarpis, kai pušų vidutinė defoliacija svyravo apie 15-17% riba. Paskutiniu metu laikotarpiu pušų lajų defoliacija vėl pradėjo didėti. Eglių vidutinės defoliacijos kaitoje taip pat galima išvelgti tokius pat defoliacijos kaitos dėsningumus. Geriausios būklės eglės Aukštaitijos KMS buvo būtent tuo pačiu laikotarpiu, nuo 2004 iki 2008 m., kai jų vidutinė defoliacija svyravo apie 20-22%. Paskutiniaisiais metais eglių vidutinė defoliacija siekė šioje stotyje 23%. Tik beržų defoliacijos kaitoje per visą turiamąjį laikotarpį nepavyko išaiškinti reikšmingesnių pokyčių. Vidutinė defoliacija svyruoja apie 18-23%.

Analizuojant tirtų medžių lajų defoliacijos kaitą per visą turiamąjį laikotarpį Žemaitijos KMS išskiriamas atvirkštinis kaitos trendas negu Aukštaitijos KMS. Laikotarpiu, kai medžių lajų būklė Aukštaitijos KMS buvo geriausia, Žemaitijos KMS medžių lajų būklė buvo blogiausia. Pušų lajų vidutinė defoliacija 2002-2006m. laikotarpiu svyravo apie 24-26%, eglių – viršijo 25% riba, o beržų 24%.

Vienas iš pagrindinių medynų būklės rodiklių, šalia vidutinės medžių defoliacijos laikomas žuvusių medžių skaičius. Aukštaitijos KMS pirmajame stacionare medžių išsiretinimo intensyvumas buvo mažiausias ir siekia tik 1,4% per metus, antrajame stacionare - 1,6% per metus ir didžiausias trečiajame stacionare - 2,8% per metus. Po 2010 m., kai dėl vėjų šiose stacionaruose žuvo 22 medžiai, problematiškas pasidarė tyrimų tęsimas šiame stacionare ateityje. Pastaruoju laikotarpiu šiame stacionare yra išlikę tik 78 gyvi medžiai.

Žuvusių medžių skaičiaus dinamika rodo, kad per turiamąjį laikotarpį kasmet vidutiniškai iškrenta apie 2,3% medžių.

Eliminavus dėl nepalankių klimatinių veiksnių žuvusių medžių įtaką vidutinei defoliacijai, nustatyta, kad iki 2004 metų tirtų išlikusių gyvų medžių vidutinė defoliacija mažėjo reikšmingai po 0,5% kiekvienais metais, tačiau nuo 2005 metų iki 2010 m. buvo

stebimas atvirkštinis procesas, medžių lajų vidutinė defoliacija didėjo reikšmingai maždaug po 0,6%.

Žemaitijos stacionare bendras medžių iškritimas per 16 m. laikotarpį siekia 22% ar 1,3% per metus. 2002 metais net apie 5% eglių buvo pažeistos snieglaužos, o paskutiniaisiais metais eglių žuvimo priežastis – žievėgraužis tipografas, tačiau šiame stacionare nuo 2007 m. kasmet žūsta tik po viena eglę. 2005 – 2010 m. laikotarpiu registruojamas reikšmingas viršaujančių eglių lajos būklės gerėjimas. Vidutinė defoliacija mažėja maždaug po 0,6% per metus. Palyginus eglių defoliaciją tyrimų stacionaruose, nustatyta, kad Žemaitijos stacionaro eglių vidutinė defoliacija mažesnė negu Aukštaitijos KMS stacionarų.

Aukštaitijos KMS daugiausiai pažeista išlieka medžių kamienų apatinė dalis (3), 58% visų užregistruotų pažeidimų. Kiek mažiau pažeistas lajos kamienas. Tai stipraus vėjo padarinys. Visame kamiene (4), viršutinėje kamieno dalyje (5) ir šakose (7) užregistruota maždaug po lygiai pažeidimų, t.y. po 5-7%.

Aukštaitijos KMS dažniausiai pasikartojantys buvo: atviros žaizdos (3), 53% visų pažeidimų. Tai įvairaus senumo bei intensyvumo elnių nulopyti eglių kamienai. 20% pažeidimų sudarė viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas (21), kurį sąlygojo snieglaužos ir vėjalaūžos. Eglinio topografo, ūglių ir lapų pažeidimai, o taip pat vėžiniai susirgimai ir įvairūs kamieno nulenkimai dėl smarkaus vėjo sudarė apie 5 – 7 % visų pažeidimų. Likę užregistruoti pažeidimai nesiekė 2%.

Žemaitijos KMS teritorijoje daugiausiai pažeidimų rasta lajos kamieno srityje (6). Pažeidimai šiose srityse 2010 m. viršijo 60% visų užregistruotų pažeidimų. Kiek mažiau buvo pažeistos kamieno apatinė sritis (3) bei šakos (7) – 11 ir 10% visų pažeidimų. Kiek rečiau pažeidimai buvo registruojami visame kamiene (4), 7% visų pažeidimų.

Žemaitijos KMS dažniausiai pasikartojantis pažeidimas buvo viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas (21). Šis pažeidimas jau eilę metų sudarė apie 63% visų pažeidimų (3.4 pav.). Tokį didelį šio pažeidimo registracijų skaičių sąlygojo vėl pasikartojančios vėjalaūžos 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 2010 m. sumažėjo nuo 28% (2008) iki 7% visų pažeidimų.

Apibendrinus 2005-2010 metų pažeidimų tyrimo rezultatus Aukštaitijos KMS nustatyta, kad paskutiniu metu laikotarpiu sumažėjo pažeidimų priekelminėje ir šaknų srityje, t.y.

sumažėjo vėjavartų ir kamieno srityje, tačiau vėl pradėjo didėti pažeidimai lapijoje. Iš pažeidimo rūšių išsiskiria eglinio tipografo pažeidimai, kurių gausa Aukštaitijos KMS didėja.

2005-2010 metų pažeidimų tyrimo rezultatai Žemaitijos KMS parodė, kad daugėja pažeidimų lajos kamieno dalyje, kas yra būdinga eglinio tipografo pažeidimams, o mažėja, kaip ir Aukštaitijos KMS šaknų ir priekelminėje medžio dalyje. Iš pažeidimų rūšių vyrauja jau daugelį metų viršūnės netekimas dėl snieglaužų, o taip pat išsiskiria eglinio tipografo pažeidimų mažėjimas. Šio kenkėjo didžiausi pažeidimai buvo registruojami 2007-2008 m.

Tyrimų pradžioje 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 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 ir jo neigiamas poveikis miško biotai atrodo kad yra reikšmingesnis negu Aukštaitijos KMS teritorijoje. 2009-10 m. tyrimų rezultatai rodo, kad KMS baseinuose turėtų mažėti tarša azoto junginiais.

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.

Per stebimąjį (1993-2010) laikotarpį bendrijų vyraujančios ir dažniausios rūšys išliko tos pačios. Augalinės dangos projekcinio padengimo ir rūšių dažnumo svyravimai didžiąja dalimi yra susiję su natūraliomis sukcesinėmis bendrijų kaitomis. Pagrindinės gamtinių veiksnių nulemtos kaitos bendrijose vyko dėl vėtrų ir jų padarinių (vėjavartų). Jos sukūrė vadinamuosius „šviesos langus“ bendrijose, dėl kurių vyko didžiausi rūšių projekcinio padengimo svyravimai.

Nors per tyrimų laikotarpį išryškėjo ir kai kurių rūšių projekcinio padengimo ir dažnumo reakcija į netiesioginį antropogeninį poveikį, pasireiškiantį per oro taršą ir į dirvožemį su

krituliais patenkančius įvairius cheminius elementus ir jų junginius, per stebimąjį laikotarpį (1993-2010) tirtųjų parametrų svyravimai neviršijo gamtiniams procesams būdingų fliuktuacijų.

5. APLINKOS NATŪRALIŲ IR ANTROPOGENINIŲ VEIKSNIŲ POVEIKIS MIŠKŲ BŪKLEI

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.

Tolimosios užteršto oro pernašos ir rūgščiųjų junginių iškritos jau nuo seno buvo laikomos pagrindine neigiamų miškų būklės pokyčių priežastimi. Todėl pagrindinis dėmesis buvo skirtas išaiškinti ar tolimosios užteršto oro pernašos ir rūgščiųjų junginių iškritos regioninio užterštumo teritorijose gali reikšmingai sąlygoti ne tik medžių lajų vidutinės defoliacijos kaitą laike, skirtingose Lietuvos regionuose (erdvėje), bet ir kitų ekosistemos komponentų - dirvožemio mikrotopodų, upelio makrobentose bei sausumos smulkiųjų žinduolių rūšinę įvairovę bei gausumą.

Taršos komponentų koncentracijų ir tirtų medynų vidutinės defoliacijos koreliacinė analizė parodė, kad medžių defoliacija sąlygoja net kelių metų aplinkos užterštumo lygis. Skirtingų medžių rūšių vidutinės defoliacijos priklausomybės nuo užterštumo laipsnio analizė parodė, kad reikšmingiausiai aplinkos užterštumo komponentai sąlygojo pušų lajų vidutinę defoliaciją. Stipriais ir statistiškai reikšmingais ryšiais pasižymėjo sieros oksidų koncentracijos ore bei vandenilio, sulfatų ir amonio jonų srautai su pušų lajų defoliacija. Šių porinių priklausomybių koreliacijos koeficientai viršijo 0,8 ir buvo statistiškai reikšmingi ($p < 0,05$). Per paskutinįjį 2005-2010 m. laikotarpį oro teršalų ir rūgščiųjų iškritų poveikis padidėjo.

Užterštumo lygis kitų medžių vidutinę defoliaciją sąlygojo silpniau, tačiau lyginant su praėjusio laikotarpio rezultatai, reikšmingumo lygmuo taip pat padidėjo, ypač sąveikoje su eglė ir net berž-ų defoliacija. Paprastosios eglės labiausiai nukentėjo nuo žievėgraužių topografų, kurių invazijos intensyvumas, pagal daugelio mokslininkų tyrimų rezultatus, priklauso nuo vėjo, šalčio, sniego, sausros pažeistų medžių skaičiaus. Tačiau pastaruoju laikotarpiu daugelis mokslininkų pradėjo teigti, kad ir oro užterštumas, rūgštūs lietūs bei ozonas, kurie kaip šių pažeidimų predisponuojantys veiksniai, padidino medynų jautrumą šių

kenkėjų invazijai (Grodzki et al., 2002). Šiuos teiginius patvirtino KMS teritorijose gauti rezultatai. Pirmą kartą išaiškinta, kad eglių vidutinę defoliaciją Aukštaitijos KMS statistiškai reikšmingai sąlygojo praėjusių metų sieros oksidų koncentracija ore

Mažiausią įtaką aplinkos užterštumas turėjo paprastųjų ir plaukuotuoju beržų lajų defoliacijai (*Betula spp.*). 2000-2005 m. apibendrinančioje ataskaitoje buvo teigiama, kad daugelyje atveju koreliaciniai ryšiai yra statistiškai nereikšmingi. Tęsiant tyrimus paaiškėjo, kad ir tarp rugščiųų komponentų koncentracijų ore, jų iškritų ir beržų lajų defoliacijos kaitos pradėjo ryškėti priežastinė priklausomybė. Sulfatų koncentracijos ore bei jų iškritos atrodo, kad pradeda turėti reikšmingos įtakos beržų lajų defoliacijos kaitai.

Analizuojant galimą dirvožemio vandens vandens parametrų įtaką Aukštaitijos KMS medžių būklei, nustatyta, kad didėjančios amonio jonų koncentracijos dirvožemio vandenyje, dėl didėjančių šio teršalo srautų, galėjo sąlygoti paskutiniųjų metų tirtų medžių lajų defoliacijos didėjimą. Taip pat patvirtintas teiginys, kad rūgštėjimo procesų intensyvumas neigiamai sąlygoja medžių lajų būklę.

Gruntinio vandens parametrų ir tirtų medžių lajų defoliacijos kaitos koreliacinė analizė parodė, kad kaip ir dirvožemio vandenyje, didėjanti amonio jonų koncentracija gruntiniame vandenyje bei gruntinio vandens rūgštėjimas neigiamai sąlygoja medžių lajų būklę.

Paviršinio vandens parametrai, kurie atspindi procesus vykstančius geoekosistemoje, rodė tą patį jau atskleistą ryšį su tirtų medžių defoliacijos laipsnio kaita. Tiesioginis ryšys nustatytas tirtų cheminių elementų koncentracijų, jų srautų ir išnešimo iš geoekosistemo su medžių lajų defoliacijos kaita. Tai patvirtina teigini, kad didesnės koncentracijos, srautai bei išnešimai blogina medžių lajų būklę. Atvirkštinis reikšmingas ryšys nustatytas tik tarp paviršinio vandens rūgštumo ir defoliacijos laipsnio, t.y. didesnis rūgštumas – didesnė defoliacija.

Per praėjusį paskutinįjį laikotarpį nuo 2005 iki 2010 m. Žemaitijos KMS išriškėjo eglių lajų defoliacijos ir rugščiųjų iškritų bei jų koncentracijų ore tarpusavio priklausomybė. Taip pat padidėjo ryšys tarp tirtų aplinkos taršos komponentų ir pušų lajų defoliacijos. Tik beržų lajų defoliacijos kaitą paaiškinti aplinkos taršos komponentėmis dar šioje KM stotyje negalima.

Analizuojant galimą dirvožemio vandens vandens parametrų įtaką Žemaitijos KMS medžių būklei, nustatyta, kad didėjančios sulfatų ir nitratų koncentracijos dirvožemio vandenyje galėjo sąlygoti paskutiniųjų metų tirtų eglių lajų defoliacijos didėjimą. Taip pat

patvirtintas teiginys, kad rūgštėjimo procesų intensyvumas neigiamai sąlygoja medžių lajų būklę.

Kaip ir dirvožemio vandenyje didėjanti sulfatų koncentracija gruntiniame vandenyje bei gruntinio vandens rūgštėjimas neigiamai sąlygoja medžių lajų būklę. Nepaaiškintas lieka teigiamas amonio jonų ir nitratų poveikis visoms tirtoms medžių rūšims.

Paviršinio vandens kokybinių parametru įtaka iš esmės skyrėsi nuo dirvožemio ir gruntinio vandens kokybinių parametru įtakos tirtų medžių lajų defoliacijos intensyvumui. Tiesioginis ryšys, kaip ir Aukštaitijos KMS nustatytas tarp tirtų cheminių elementų koncentracijų, jų srautų ir išnešimo iš geoekosistemo su pušų ir beržų lajų defoliacijos kaita. Tai patvirtina teigini, kad didesnės koncentracijos, srautai bei išnešimai blogina medžių lajų būklę. Atvirkštinis ir artimas reikšmingui ryšys nustatytas tik tarp paviršinio vandens rūgštumo ir eglių defoliacijos laipsnio, t.y. didesnis rūgštumas – didesnė defoliacija.

Apibendrinus pateiktus rezultatus KMS teritorijoje nustatyta, kad 2005-2010 m. aplinkoje vyko pokyčiai, kurie sustiprino rūgščiųjų komponenčių neigiamą poveikį spygliuočiams. Palaispniui vis reikšmingesnis tampa pažemio ozono maksimalių koncentracijų ir AOT40 nustatyto miškams poveikis miškams, kuris su klimato kaitos sąlygotais meteorologiniais veiksniais ateityje gali tapti vienu iš reikšmingiausių veiksnium sąlygojančių miškų būklę Lietuvoje.

Klimatiniai veiksniai atskirais atvejais gali būti reikšmingesni medžių lajų būklės pokyčiams ne tik už medyno ar augavietės veiksnium, bet ir už aplinkos užterštumo poveikį. Meteorologiniai stresiniai veiksniai labiausiai siejami su tokiais reiškiniais, kaip žemos ar aukštos temperatūros atitinkamuose laikotarpuose bei su sausra. Miškų būklės tyrimo rezultatai rodo, kad miškų būklės pablogėjimas intensyviai vyksta karštomis ir sausringomis vasaromis. Vandens poveikis pasireiškia, šiuo atveju, per jo kiekį ir medžio fiziologinę adaptaciją jo trūkumui. Sausra gali ne tik tiesiogiai paveikti medžio gyvybingumą ir sąlygoti jo žūti, bet ir sumažinti augalo atsparumą nepalankiems aplinkos veiksniams. Kai kurie mokslininkai net teigia, kad sausros poveikis medžių lajų būklei reikšmingesnis negu realus oro užterštumas. (Prinz et al., 1987; Chappelka, Freer-Smith, 1995).

Atlikti tyrimai KMS teritorijose parodė, kad tirtų medžių būklę statistiškai reikšmingai sąlygojo meteorologinės sąlygos kelių paskutiniųjų metų. Ypač šis ryšys pasireiškia spygliuočiams medžiams. Pagrindinę įtaką tokiam poveikiui turi spyglių amžius. Pušų lajų būklę sąlygoja meteorologinės sąlygos dviejų metų, o eglių, kurių spyglių amžius siekia iki 10 m., net 5-7 metų (De Vries et al., 2000).

Pušų, kaip labiausiai paplitusių medžių KMS teritorijose, vidutinės defoliacijos kaitai reikšmingiausios įtakos turėjo pavasario (balandžio mėnesio), vasaros (birželio, rugpjūčio) ir vėlyvo rudens bei žiemos (spalio- gruodžio) mėnesių vidutinė temperatūra. Jei pavasarį ir žiemą aukštesnė mėnesio vidutinė temperatūra sąlygojo geresnę medžių lajų būklę, tai vasaros mėnesių aukštesnė temperatūra, blogesnę, nors pastarasis ryšys buvo statistiškai nepatikimas. Eglių lajų vidutinę defoliaciją mėnesio vidutinė temperatūra sąlygojo analogiškai pušų, tik temperatūrų poveikio reikšmingumas žiemą buvo žymiai didesnis. Matyt, žemų temperatūrų stresas medžiams, kuris gali pasireikšti keliais būdais - pigmentų fotooksidacija, šalčio bei žieminio džiovavimo pažeidimais ir veikti augalus pavieniai, kompleksiškai ar nuosekliai vienas po kito (Karenlampi and Skarby, 1996), turi reikšmingiausią poveikį medžių lajų defoliacijai. Tokiu būdu klimato atšilimas, kuris, kaip parodė gauti rezultatai, pasireiškė vidutinės temperatūros intensyviausiu padidėjimu pavasario ir rudens, kiek mažesniu - žiemos bei mažiausiu – vasaros mėnesiais turėtų visumoje teigiamai sąlygoti medžių lajų būklę. Lajos turėtų būt tankesnės, o jų defoliaciją mažesnė.

Medžių vidutinę defoliaciją statistiškai reikšmingai sąlygojo praėjusių metų vasaros (birželio ir rugpjūčio), rudens (spalio, lapkričio) bei einamųjų metų žiemos (sausio, vasario) mėnesių kritulių kiekiai. Visų šių mėnesių kritulių kiekio ryšys su defoliacijos laipsniu atvirkštinis, t.y. didesni kritulių kiekiai lemia mažesnę vidutinę defoliaciją. Tik ankstyvo pavasario (balandžio mėn.) didesni kritulių kiekiai neigiamai veikė medžių būklę, didindami lajų defoliaciją.

Būtent pavasario laikotarpiu medžių ūglių augimo pradžią bei intensyvų augimą sąlygoja didesnė oro temperatūra (Молчанов, 1961; Аугустайтис, 1989, 1992; Kairiūkštis, 1963; Ozolinčius 1998), o gausesni krituliai, sąlygojantys žemesnę temperatūrą, neigiamai veikia lapijos susidarymo procesus.

Miškų būklės tyrimo rezultatai rodo, kad kritulių trūkumas (sausros) ir šaltuoju (XII-II mėn.), ir vasaros laikotarpiu (VI-VIII mėn.) turi neigiamos įtakos medžių lajų būklei. Tačiau būtent vasaros mėnesių sausros, kurių poveikį (nors ir nereikšmingai) sustiprina aukštos temperatūros, turi reikšmingiausios įtakos defoliacijos padidėjimui ne tik einamaisiais, bet ir ateinančiais metais. Šiuos tyrimų rezultatus patvirtina mokslininkai ir Lietuvoje (Stakėnas, Ozolinčius, 1999), ir užsienyje (Schrock, 1995; Callaert, Schiezling, 1996; Hilton, Packham, 1997; Strand, 1997 ir kt.).

Apibendrinus klimatinių veiksnių galimo poveikio miškų būklei rezultatus sukūrėme spygliuočių medžių lajų būklės daigianarės regresijos modelį, kuris paaiškino viš 60%

spygliuočių medžių lajų defoliacijos kintamumo per 1994–2010 m. laikotarpį. Pagal sukurtą modelį auštesnė vasaros ir žiemos temperatūros teigiamai turėtų sąlygoti spygliuočių medžių lajų būklę.

Vėjo greitis, naujai Lietuvos sąlygomis išaiškintas veiksnys, reikšmingiausiai sąlygoja didelį defoliacijos laipsnį. Pagal turimas žinias vėjas gali ne tik mechaniškai pažeisti medžius ar jų lajas (vėjavartos, vėjalaūžos), bet ir prie didesnių kaip 5 m/s gričių, didinti transpiraciją bei tuo pačiu didinti spyglių išdžiūvimo pavojų. Tokio poveikio rezultatas padidėjusi lajų defoliacija. Šis poveikis spygliuočiams yra pavojingas dar ir dėl to, kad gali vykti ne tik vegetacijos laikotarpiu, bet ir šaltuoju laikotarpiu. Kaip žinia prie didelių šalčių smarkus vėjas padidina asimiliacinių organų nušalimo pavojų. Todėl mūsų gauti statistiškai reikšmingi duomenys parodo, kad vėjo greitis, kuris turi aiškia mažėjimo tendenciją – apie 0,06 m/s per metus iki 2005, galėjo sąlygoti pušynų būklės gerėjimo tendenciją, o stiprėjimas nuo 2005 iki 2010 m. jų būklės pablogėjimo tendenciją.

Pastaruoju laikotarpiu mokslininkai prisilaiko nuomonės, kad miškų būklę sąlygoja visas kompleksas tarpusavyje susijusių ir vienas kitą veikiančių aplinkos veiksnių. Iš jų tarpo išskirti pagrindinius, juos lydinčius ar pastarųjų poveikį sustiprinančius ar susilpninančius veiksnius, ypač regioninio užterštumo teritorijose iki šiol yra sunkiai įgyvendinamas uždavinys. Aplinkos užterštumas laikomas veiksniumi sustiprinančiu medžio pažeidimą, tačiau tiesioginio ryšio tarp mažėjančios taršos ir miškų būklės pokyčių vis dar nenustatyta.

Sąlygiškai natūralių miško ekosistemų KM programos vykdymas įgalina Lietuvoje patikimai nustatyti aplinkos natūralių ir antropogeninių veiksnių kompleksinę poveikį medžių lajų būklei, išaiškinant pagrindinius jos pokyčius limituojančius, sustiprinančius bei slopinančius veiksnius. Tokie gauti rezultatai buvo pasiekti eliminavus daugelį išaiškintų trūkumų. Visu pirma aplinkos užterštumo rodikliai nustatyti ne pagal riboto detalumo ir patikimumo EMEP modelius, o nenutrūkstamo matavimo analizatoriais tyrimo teritorijose. Medžių lajų defoliacija vertinta tos pačios komandos narių, taip išvengiant skirtingų vertintojų skirtingų paklaidų įtakos. Pastarosios savybės įgalino sumažinti duomenų natūralų kintamumą iki minimumo.

Ankstesniųjų tyrimų rezultatai įgalino mus išskirti reikšmingiausias aplinkos teršalus, jų pobūdį bei galimą žalingiausios veiklos laikotarpį regioninio užterštumo teritorijose. Išaiškinome, kad ne tik vegetacijos, bet ypač spygliuočiams, reikšmingas gali būti ramybės laikotarpis. Tokį mūsų teiginį sustiprina ir tas faktas, kad būtent šiuo laikotarpiu rūgštinančių komponentų koncentracijos ore yra didžiausios, taip kaip ir jų iškritos gausiausios. Pastaruoju laikotarpiu, kaip rodo mūsų tyrimų rezultatai, ypač reikšmingi tapo sieros ir amonio jonų

koncentracijų įvairiuose substratuose, jų srautų ir tirtų medžių defoliacijos laipsnio kaitos ryšiai. Tai leidžia teigti, kad šios dvi komponentės Lietuvoje tampa vienos iš svarbiausių ne tik sąlygojančių bendrą ekosistemo rūgštumo laipsnį, bet ir medžių lajų būklę. Šie gauti rezultatai ir mūsų teiginiai gerai sutampa su skelbiamais rezultatai Europoje (Lorenz and Mues, 2007).

Paskutiniųjų metų rezultatai rodo, kad ΣNH_4^+ oro koncentracijos, jų iškritos ir koncentracijos krituliuose tampa reikšmingiausių aplinkos užterštumo rodiklių iš esmės sąlygojančių pušynų būklę, paaiškindamos net iki 45% pušų lajų defoliacijos kaitos. Pirmą kartą nuo tyrimų pradžios sieros komponentių galima reikšmė pušynų būklei tapo mažesnė. Paaiškinamumo lygmuo svyruoja nuo 41.3 iki 44.6%. Palaiptis NH_4^+ iškritų ir jų koncentracijų krituliuose augimas stebimas nuo 2002 m. ir gerai sutampantis su pušynų būklės blogėjimu, ypač šiaurė rytinėje Lietuvos dalyje, Aukštaitijos NP, gali būt priskiriamas prie vienos iš naujai kylančios gresmės miško ekosistemoms.

Apibendrinus gausių tyrimų rezultatus nustatyta, kad pušų lajų defoliacijos kaitą kompleksiško monitoringo stočių teritorijose reikšmingai sąlygoje maksimalios ozono koncentracijos, aerolinės sulfatų koncentracijos ore bei amonio ir nitratų srautai. Šie taršos komponentai paaiškino iki 79 % pušų lajų defoliacijos kaitos. Sukurto daugianario regresinio modelio pavidalas toks:

Eglių defoliacijos kaitos priežastinių ryšių analizę nustatyta, kad per 1994-2010 m. laikotarpį tirtų eglių būklės kaitai statistiškai reikšmingi buvo šie parametrai: kritulių kiekis ramybės laikotarpiu (rugsėjo-balandžio mėn.), vidutinės oro temperatūros žiemą (gruodžio-vasario mėn.) ir vasarą (birželio-rugpjūčio mėn.), maksimali ozono koncentracija, ir šlapieji srautai sieros, amonio jonų ir nitratų. Eglių būklę ateityje sąlygotų temperatūros augimas šaltuoju ir vegetacijos laikotarpiu, kritulių mažėjimas šaltuoju laikotarpiu, maksimalių ozono koncentracijų mažėjimas bei mažėjimas sieros ir amonio srautų ir tik nežymus nitratų srautų didėjimas teigiamai galėtų sąlygoti eglių būklę.

Apibendrinus kompleksiško monitoringo stočių augančių medžių lajų defoliacijos kaitos priežastinių ryšių analizę nustatyta, kad per 1994-2010 m. laikotarpį tirtų medžių būklės kaitai statistiškai reikšmingi buvo šie parametrai: kritulių kiekis ramybės laikotarpiu (rugsėjo-balandžio mėn.), vidutinės oro temperatūros žiemą (gruodžio-vasario mėn.) ir vasarą (birželio-rugpjūčio mėn.), maksimali ozono koncentracija, ir šlapieji srautai sieros, amonio jonų ir nitratų. Medžių būklę ateityje sąlygotų temperatūros augimas šaltuoju ir vegetacijos laikotarpiu, kritulių mažėjimas šaltuoju laikotarpiu, maksimalių ozono koncentracijų mažėjimas bei

mažėjimas sieros ir amonio srautų ir tik nežymus nitrato srautų didėjimas teigiamai galėtų sąlygoti miškų būklę.

Klimato kaitos sąlygoti meteorologinių veiksnių pokyčiai turėtų mažinti teršalų, ypač pastaruoju laikotarpiu didėjančių maksimalių ozono koncentracijų ir amonio jono srautų grėsmes miškų būklei.