



LIETUVOS ŽEMĖS ŪKIO UNIVERSITETAS  
Miškų monitoringo laboratorija

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

Sutarties Nr. 4F08-32

Kaunas 2008 m.

LIETUVOS ŽEMĖS ŪKIO UNIVERSITETAS

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

Sutarties Nr. 4F08-32

**A T A S K A I T A**

Darbo vadovas: .....

Dr. Algirdas Augustaitis

Kaunas 2008 m.

## Santrauka

2007 m. buvo įvertinta Aukštaitijos ir Žemaitijos KM stočių tyrimo ploteliuose augančių medžių būklė ir nustatyti ją sąlygojantys aplinkos veiksniai. Atliktas medžių lapų defoliacijos modeliavimas.

Aukštaitijos (trijuose) ir Žemaitijos (viename) KM stočių augalijos intensyvaus tyrimo stacionaruose buvo tęsiami dinaminiai dendroekologiniai tyrimai.

Aukštaitijos ir Žemaitijos KM stočių tyrimo ploteliuose atlikti saulės fotosintetiškai aktyvios spinduliuotes matavimai bei toliau tęsiami nuokritų sezoniniai stebėjimai. Pastarųjų metu nustatyti nuokritų kiekiai kas mėnesį bei kas ketvirtį, o taip pat ir jų pavyzdžiai pristatyti į Aplinkos apsaugos agentūros atitinkamą laboratoriją sunkiųjų metalų koncentracijoms nustatyti.

Aukštaitijos ir Žemaitijos KM stotyse surinkti lapijos pavyzdžiai fiziniams-cheminiams matavimams, o taip pat šilsamanės ir atžalinės gužtvės pavyzdžiai sunkiųjų metalų kiekiui tyrti. Šie pavyzdžiai pristatyti į Aplinkos apsaugos agentūros atitinkamą laboratoriją.

Aukštaitijos ir Žemaitijos KM stotyse atlikti epifitinių kerpių ir sausumos žaliadumblių būklės stebėjimai.

Dalyvauta Integruoto monitoringo metinėje tarptautinėje konferencijoje Vokietijoje.

Taip pat apibendrinti tyrimų rezultatai pagal oro, iškritų, polajinių kritulių bei dirvožemio, gruntinio ir paviršinio vandens tyrimo ICP IM paprogrames.



## Turinys

	Psl.
ĮVADAS . . . . .	7
I KLIMATINIŲ VEIKSNIŲ IR SAULĖS FOTOSINTETIŠKAI AKTYVIOS SPINDULIUOTĖS TYRIMAI KMS TERITORIJOSE	8
1.1 Klimatinių veiksnių kaita 1993-2007 m laikotarpiu . . . . .	9
1.1.1. <i>Kritulių kiekio dinamika KM stočių teritorijose</i> . . . . .	9
1.1.2. <i>Vidutinės oro temperatūros kaita KM stočių teritorijose</i> . . . . .	11
<i>IŠVADOS</i> . . . . .	12
1.2 Fotosintetiškai aktyvios saulės spinduliuotės tyrimai KMS teritorijose. . . . .	12
1.2.1. <i>Aukštaitijos KMS teritorijoje</i> . . . . .	14
1.2.2. <i>Žemaitijos KMS teritorijoje</i> . . . . .	16
<i>IŠVADOS</i> . . . . .	16
1.3 Tyrimo rezultatų apibendrinimas . . . . .	17
II ORO TERŠALŲ, ŠLAPIŲJŲ IŠKRITŲ IR JŲ TRANSFORMACIJŲ BEI KAUPIMOSI MIŠKO EKOSISTEMOSE TYRIMAI KMS TERITORIJOSE . . . . .	18
2.1 Dujinių ir aerosolinių priemaišų ore tyrimai pagal EMEP ir ICP IM programas. . . . .	18
<i>IŠVADOS</i> . . . . .	30
2.2 Pagrindinių cheminių priemaišų foninių koncentracijų bei fizinių parametru atmosferos iškritose ir polajiniuose krituliuose tyrimai pagal EMEP ir ICP IM programas. . . . .	31
<i>IŠVADOS</i> . . . . .	43
2.3 Pagrindinių cheminių priemaišų bei fizinių parametru polajiniuose krituliuose tyrimų pagal ICP IM programą rezultatai . . . . .	44
2.3.1 <i>Aukštaitijos KMS stotis</i> . . . . .	44
2.3.2 <i>Žemaitijos KMS stotis</i> . . . . .	48
<i>IŠVADOS</i> . . . . .	54
2.4 Gruntinio, dirvožemio bei paviršinio vandens ir dirvožemio monitoringas pagal ICP IM programą . . . . .	55
2.4.1. <i>Dirvožemio vandens savybių kitimas</i> . . . . .	57
2.4.2. <i>Gruntinio vandens savybių kitimas</i> . . . . .	66
2.4.3. <i>Upelio vanduo ir medžiagų išnešimas iš ekosistemos</i> . . . . .	75
2.4.4. <i>Medžiagų balansas KMS teritorijose</i> . . . . .	83
<i>IŠVADOS</i> . . . . .	85
2.5 Oro teršalų, šlapiųjų iškritų ir jų transformacijų bei kaupimosi miško ekosistemose tyrimo rezultatų apibendrinimas. . . . .	87
III SUNKIŲJŲ METALŲ SRAUTAI, JŲ KAUPIMASIS EKOSISTEMOSE IR IŠPLOVIMAS . . . . .	91
3.1 Sunkiųjų metalų srautai su krituliais . . . . .	92

3.2	Sunkieji metalai dirvožemio vandenyje . . . . .	104
3.3	Sunkieji metalai grntiniame vandenyje. . . . .	107
3.4	Sunkieji metalai paviršiniame (upelio) vandenyje . . . . .	109
3.5	Sunkiųjų metalų srautai su nuokritomis. . . . .	110
	3.5.1. <i>Aukštaitijos KMS nuokritų sezoninė dinamika.</i> . . . . .	110
	3.5.2. <i>Žemaitijos KMS nuokritų sezoninė dinamika</i> . . . . .	116
	3.5.3. <i>Metinių metalų srautų su nuokritomis palyginimas tarp KMS . .</i>	120
	<i>IŠVADOS</i> . . . . .	123
3.6	Sunkiųjų metalų srautų miško ekosistemose tyrimo rezultatų apibendrinimas	123
<b>IV</b>	<b>MIŠKO EKOSISTEMŲ MONITORINGAS IM TERITORIJOSE .</b>	<b>125</b>
4.1.	Miškų būklės dinamika integruoto monitoringo stočių teritorijose . . . . .	125
	4.1.1. <i>Aukštaitijos KMS medynų būklė.</i> . . . . .	125
	4.1.2. <i>Žemaitijos KMS medynų būklė</i> . . . . .	127
	<i>IŠVADOS</i> . . . . .	129
4.2.	Medynų būklė augalijos tyrimų stacionaruose. . . . .	130
	4.2.1. <i>Medynų būklė Aukštaitijos KMS stacionaruose</i> . . . . .	131
	4.2.2. <i>Medynų būklė Žemaitijos KMS stacionaruose.</i> . . . . .	134
	<i>IŠVADOS</i> . . . . .	135
4.3.	Medžių pažeidimai KMS teritorijose . . . . .	136
	4.3.1. <i>Aukštaitijos KMS medžių pažeidimai ir pagrindinės priežastys</i> . .	137
	4.3.2. <i>Žemaitijos KMS medžių pažeidimai ir pagrindinės priežastys . .</i>	139
	<i>IŠVADOS</i> . . . . .	140
4.4.	Žaliųjų oro dumblių gausa . . . . .	141
	<i>IŠVADOS</i> . . . . .	142
4.5.	Bentofaunos tyrimai pagal ICP IM metodika (Ekologijos institutas)	143
	<i>IŠVADOS</i> . . . . .	148
4.7.	Epifitinių kerpių rūšinė įvairovė ir gausumas . . . . .	149
	6.1. <i>Aukštaitijos KMS kerpių tyrimo stotyje</i> . . . . .	151
	6.2. <i>Žemaitijos KMS kerpių tyrimo stotyje</i> . . . . .	151
	<i>IŠVADOS</i> . . . . .	152
4.8.	Miško ekosistemų biotos komponentų tyrimo rezultatų apibendrinimas. . .	153
<b>V</b>	<b>REZULTATŲ APIBENDRINIMAS.</b> . . . . .	<b>156</b>
	N iškritos, balansas ir reikšmė sąlyginai natūraliose miško ekosistemose.	156
	Report on national ICP IM activities in Lithuania . . . . .	180
	Literatūra. . . . .	187

## IVADAS

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

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

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

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

Šioje ataskaitoje pateikti medynų būklės duomenys Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS baseinų teritorijoje, medynų struktūriniai pokyčiai ir jų vystymosi dinamika augalijos tyrimų stacionaruose, nuokritų sezoninė dinamika bei fotosintetiškai aktyvios saulės spinduliuotės tyrimai Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS teritorijose. Duomenų kaupimo programos „ECODATA“ atnaujinimą, dėl programos raktų nebuvimo, numatoma baigti 2008 metais.

## 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 biotine, 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. CO<sub>2</sub>, 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 žūties priežastis. Miškų džiūvimas savo ruožtu pakeistų anglies absorbcijos ir išmetimų teritorinį balansą. Tačiau foninės CO<sub>2</sub> koncentracijos ore Lietuvoje dar iki šiol netiriamos, nors tai yra viena iš aktualiausių pastarojo laikotarpio pasaulinių problemų. Miško ekosistemų, taršos ir meteorologiniai duomenys, papildyti CO<sub>2</sub> koncentracijų ore tyrimų rezultatais, sudarytų galimybę pradėti CO<sub>2</sub> 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 fitomasės 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. CO<sub>2</sub> 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 1994-2007 m laikotarpiu**

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

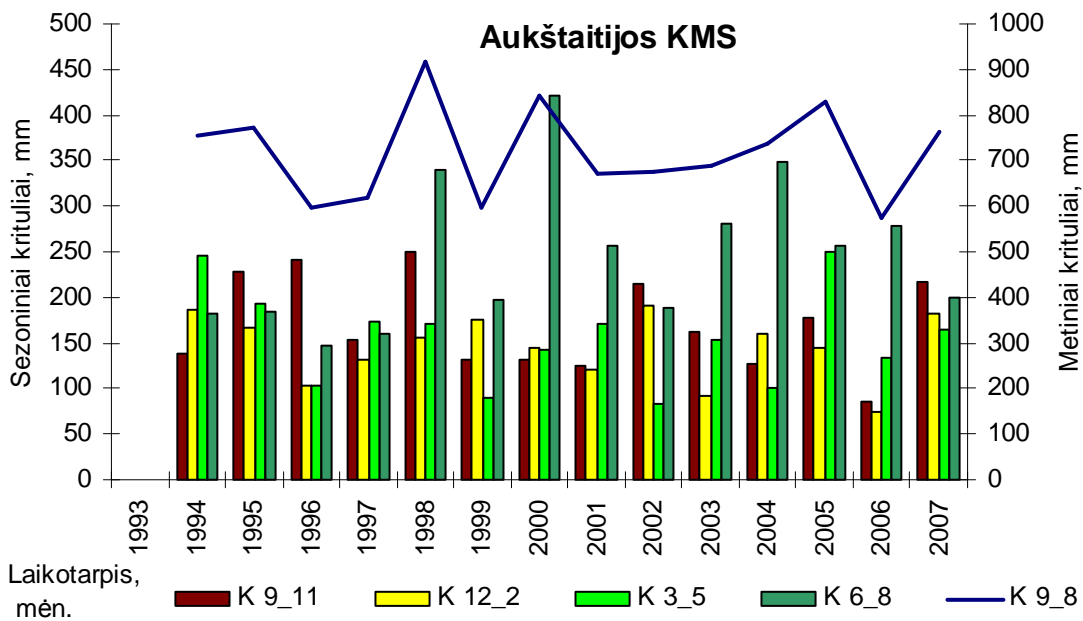
#### **1.1.1. Kritulių kiekio dinamika KM stočių teritorijose**

Kritulių kiekis ir jo dinamika lemia medžiagų migracijos ekosistemoje ypatybes.

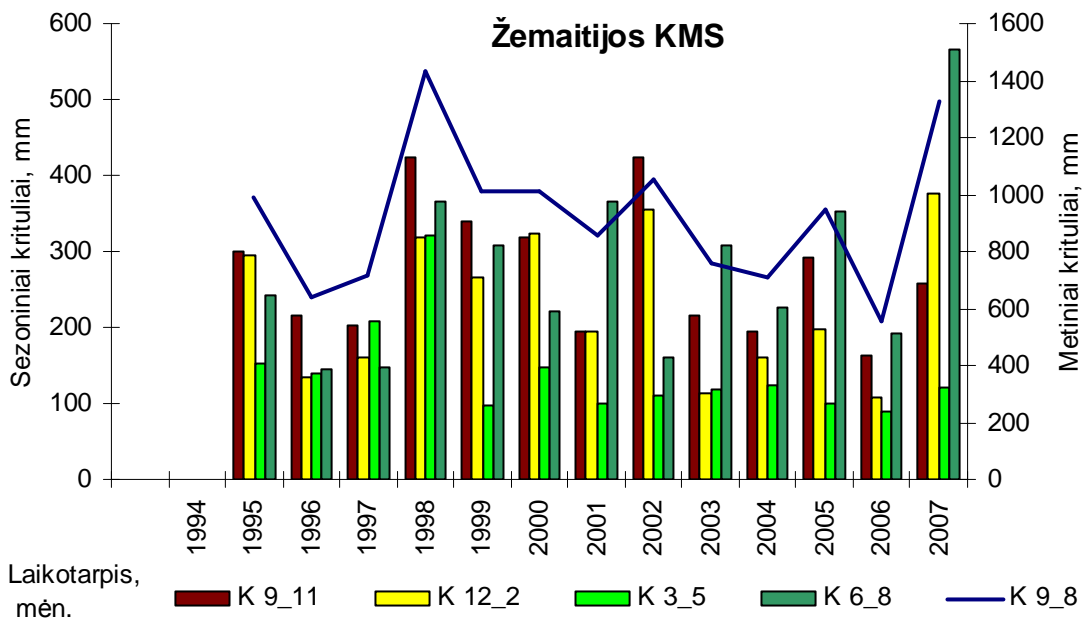
Per 14 metų, 1994–2007 m., monitoringo stotyse išsiskiria trimečiai ir keturmečiai kritulių ciklai.

Pastarųjų 3 metų ciklas Aukštaitijoje mažiausiai kontrastingas, lyginant su ankstesniaisiais, kritulių kiekio nukrypimas nuo daugiamečio vidurkio 2005–2007 m. nevišijo 10 %. 2006 ir 2007 m. kritulių kiekis Aukštaitijos stotyje buvo panašus 9 ir 8 % didesnis už klimato normą.

Žemaitijos stotyje kitaip negu Aukštaitijoje kritulių ciklas pastaraisiais metais buvo kontrastiškiausias, o 2007 metai buvo drėgniausi per stebėjimų laikotarpį, klimato norma buvo viršyta net 55%, o 2006 m. kritulių buvo 10 % mažiau už normą.



**1.1 pav.** Įvairių sezonų ir metinių kritulių kiekio kaita Aukštaitijos KMS 1994-2007 m.



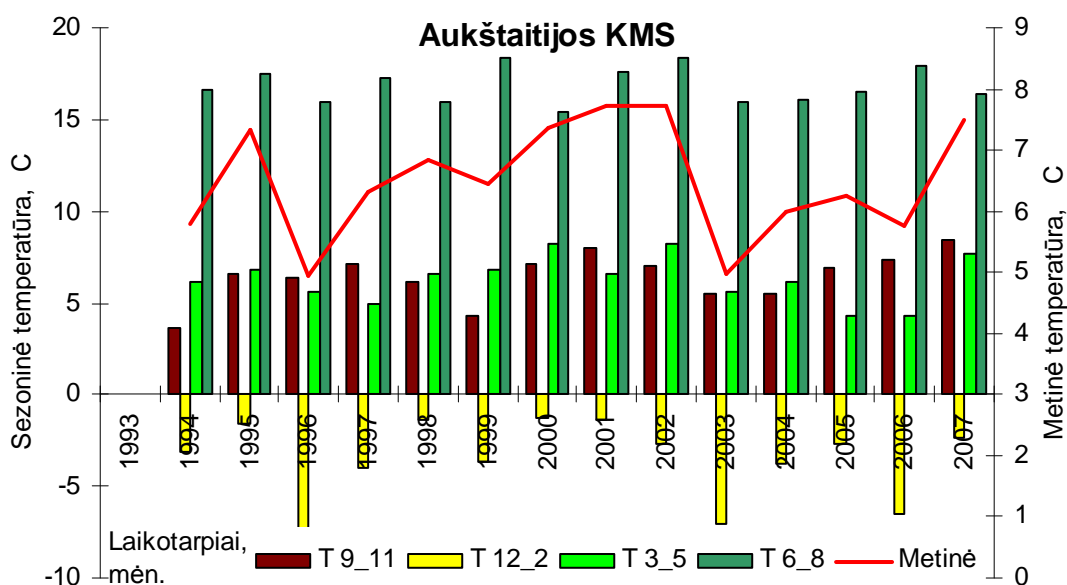
**1.2 pav.** Įvairių sezonų ir metinių kritulių kiekio kaita Žemaitijos KMS 1995-2007 m.

Atskirais sezonais kritulių kiekis KM stotyse kito analogiškai, tik nežymiai skyrėsi kaitos intensyvumas. Per tiriamąjį laikotarpį reikšmingiausiai kritulių kiekis mažėjo pavasarį (kovo – gegužės mėn.) ir rudenį (rugsėjo-lapkričio mėn.). Aukštaitijos KM stotyje šis pokyris sudarė 2-3 mm per metus atitinkamai, o Žemaitijos KMS 5-8 mm per metus. Per tiriamąjį laikotarpį reikšmingiausiai kritulių kiekis didėjo vegetacijos sezono viduryje, t.y. birželio – rugpjūčio mėnesiais ir Aukštaitijos KMS sudarė 3 mm per metus, o Žemaitijos KMS net 13,8 mm per metus.

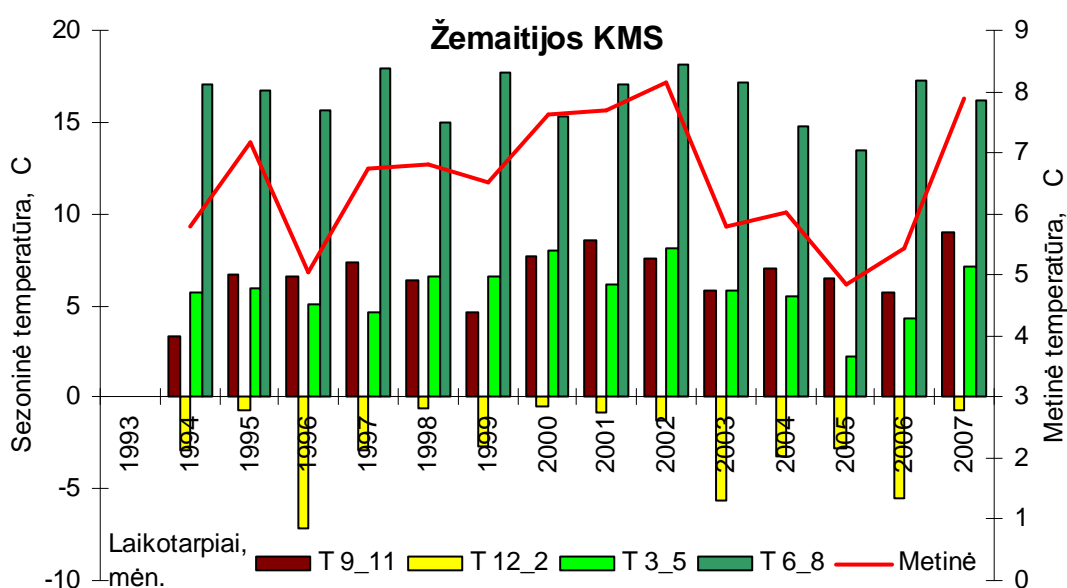
Metinis kritulių kiekis per tiriamąjį laikotarpį išliko stabilus abiejose KM stotyse.

### 1.1.2. Vidutinės oro temperatūros kaita KM stočių teritorijose

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



1.3 pav. Įvairių sezonų ir metinės vidutinės temperatūros kaita Aukštaitijos KMS 1994-2007 m.



1.4 pav. Įvairių sezonų ir metinės vidutinės temperatūros kaita Žemaitijos KMS 1995-2007 m.

Tiriamuoju laikotarpiu vidutinės temperatūros kaita KMS teritorijose nebuvo tokia ženkli. Vidutinė metinė oro temperatūra Aukštaitijos KMS didėjo tik 0,02°C per metus, o Žemaitijos KMS dar mažiau, tik 0,002°C per metus. Ar tai yra tarptautinės bendrijos pastangų mažinant šiltnamio efektą sukeliančių teršalų išmetimą, rezultatas parodys ateities tyrimai.

Atskirais metų sezonais vidutinė temperatūra kito sirtingai, tačiau analogiškai abiejose KM stočių teritorijose. Reikšmingiausiai didėjo rudens mėnesių vidutinė temperatūra, apie 0,15°C per metus abiejose stotyse. Reikšmingiausias temperatūros mažėjimas buvo registruotas Aukštaitijos KMS teritorijoje žiemą ir pavasarį, apie -0,03 - -0,05°C per metus, o Žemaitijos KMS vegetacijos laikotarpio viduryje, apie -0,07°C. Žiemos laikotarpiu temperatūros mažėjimas sudarė apie -0,02°C. Taigi, gauti rezultatai rodo, kad žiemos laikotarpio šiltėsimas nėra pastarojo laikotarpio būdingas reiškinys Lietuvos teritorijoje.

## **IŠVADOS**

Metinis kritulių kiekis per tiriamąjį laikotarpį išliko stabilus abiejose KM stotyse. Tačiau reikšmingiausiai mažėjo pavasarį (kovo – gegužės mėn.) ir rudenį (rugsėjo-lapkričio mėn.), o didėjo vegetacijos sezono viduryje, kas turėtų ateityje teigiamai sąlygoti miškų būklę.

Vidutinė metinė oro temperatūra Aukštaitijos KMS didėjo tik 0,02°C per metus, o Žemaitijos KMS dar mažiau, tik 0,002°C per metus. Reikšmingiausiai didėjo rudens mėnesių vidutinė temperatūra, apie 0,15°C per metus abiejose stotyse, o mažėjo Aukštaitijos KMS teritorijoje žiemą ir pavasarį, apie -0,03 - -0,05°C per metus, Žemaitijos KMS vegetacijos laikotarpio viduryje, apie -0,07°C. Žiemos laikotarpiu temperatūros mažėjimas sudarė apie -0,02°C.

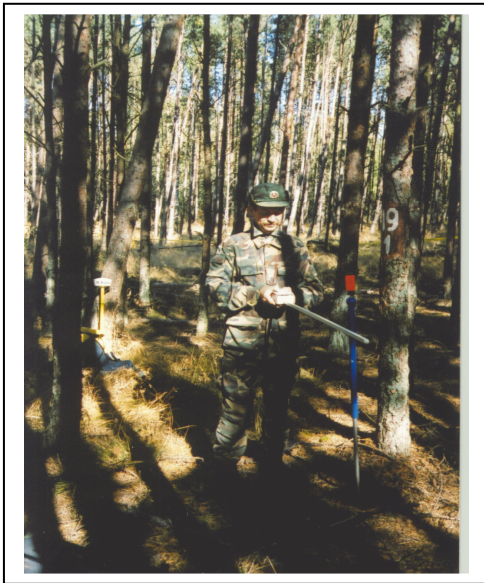
### **1.2. Fotosintetiškai aktyvios saulės spinduliuotės tyrimai KMS teritorijose**

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

Fotosintetiškai aktyvi saulės spinduliuotė – tai saulės spinduliuotės dalis, kurių bangų ilgis kinta nuo 300 iki 750 nm ir atitinkamomis sąlygomis sukelianti augalų fotosintezę. Tačiau dažniausiai tiriant FAS po augalijos dangą kalbama apie saulės spinduliuotės spektrinę dalį nuo 400 iki 700 nm. Tai vienas pagrindinių ekologinių veiksnių nulemiančių produkcinio proceso vyksmą ir bioklimatinių sąlygų formavimąsi miškų ekosistemose. Iš kitos pusės šviesos FAS intensyvumą po

medyno 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 biomą, 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 išdėstytų 1 m ilgio specialioje liniuotėje, kiekvieno matavimo metu duoda vidutinę 80 taškų FAS reikšmę, išreikštą  $\mu\text{mol}$  į kvadratinį metrą per sekundę ( $\mu\text{mol}/\text{sm}^2$ ).

Kiekviename tyrimo plotelyje FAS buvo matuota 7 taškuose, centre bei 7 m atstumu nuo centro kas  $60^\circ$  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):

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

Čia: k – medyno ekstinkcijos koeficientas;  
 Fb – tiesioginių saulės spindulių dalis bendrame FAR sraute;  
 A – lapijos absorbcijos koeficientas;  
 $\tau$  – FAR praleidimo koeficientas.

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

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

Čia:  $\theta$  – saulės zenito kampas ir kuris nustatomas taip:  $\theta = 90 - \alpha$ , kur  $\alpha$  – saulės aukštis (kampas);  
 Koeficientas A, remiantis literatūros duomenimis prilygintas 0,86.

### Darbo rezultatai

### 1.2.1. Aukštaitijos KMS teritorija

1.1 lentelė. FAR pagrindinių komponentų reikšmės Aukštaitijos KMS 2007m.

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	97	141	49	35,0	2,1	2,9	0,486	0,595	0,840
A_02	69	91	49	18,1	2,3	1,9	0,429	0,589	0,983
A_03	40	57	27	11,9	4,0	2,1	0,249	0,593	1,616
A_04	94	118	63	20,8	2,7	1,9	0,377	0,599	1,134
A_05	88	106	62	18,4	3,4	1,7	0,293	0,602	1,426
A_06	117	151	88	26,2	3,7	1,7	0,271	0,661	1,516
A_07	55	92	29	27,9	7,6	3,2	0,132	0,659	2,358
A_08	106	148	51	34,5	1,4	2,9	0,706	0,586	0,405
A_09	36	52	23	11,4	4,1	2,3	0,243	0,582	1,646
A_10	31	47	15	12,3	4,6	3,1	0,219	0,563	1,764
A_11	39	47	30	5,6	8,0	1,6	0,125	0,622	2,415
A_12	44	55	35	8,1	6,8	1,6	0,148	0,674	2,221
A_13	93	118	59	21,2	11,8	2,0	0,085	0,674	3,815
A_14	63	94	45	15,8	9,6	2,1	0,105	0,674	2,626
A_15	54	88	30	18,7	8,1	2,9	0,123	0,663	2,433
A_16	78	128	22	41,7	5,2	5,8	0,191	0,657	1,923
A_17	103	135	61	25,6	3,8	2,2	0,263	0,642	1,553
A_18	45	63	32	13,4	8,0	2,0	0,125	0,640	2,414
A_19	14	25	11	5,1	9,7	2,3	0,103	0,559	2,642
A_21	76	125	29	35,4	3,3	4,3	0,306	0,674	1,378
A_22	169	421	57	149,6	5,9	7,4	0,169	0,668	2,768
A_23	92	117	73	17,0	12,0	1,6	0,083	0,664	3,892
A_24	54	78	36	12,5	8,3	2,2	0,121	0,665	2,456
A_25	91	185	30	63,2	5,5	6,2	0,182	0,674	1,983
A_26	127	203	57	50,3	3,9	3,6	0,254	0,664	1,592
A_27	47	79	34	15,4	7,4	2,3	0,136	0,637	2,324
A_28	138	167	100	23,7	2,3	1,7	0,430	0,627	0,982
A_29	68	93	41	20,8	3,7	2,3	0,271	0,606	1,519
A_30	246	640	87	191,5	4,5	7,4	0,224	0,667	2,337
A_31	54	135	9	46,1	5,6	15,0	0,179	0,660	2,003
A_32	187	371	64	126,8	5,9	5,8	0,170	0,662	2,787
A_33	63	87	33	18,2	7,5	2,6	0,133	0,667	2,342
A_36	57	95	42	18,8	5,9	2,3	0,169	0,633	2,068
A_37	108	154	58	36,9	3,1	2,7	0,328	0,630	1,297
A_38	48	118	16	34,0	5,2	7,4	0,192	0,633	1,919
A_39	10	19	3	6,0	26,1	6,3	0,038	0,626	3,794
A_40	43	107	19	32,4	11,5	5,6	0,087	0,602	2,841
A_41	21	44	10	13,3	21,6	4,4	0,046	0,597	3,572
A_42	28	52	16	11,8	14,5	3,3	0,069	0,592	3,110
A_43	159	303	35	108,7	6,3	8,7	0,159	0,634	2,997
A_44	127	249	60	64,7	7,9	4,2	0,127	0,636	3,356
A_45	44	57	31	9,7	6,9	1,8	0,145	0,640	2,243
A_46	104	454	29	155,7	5,3	15,7	0,190	0,623	1,932
A_47									
A_48	21	30	13	6,6	11,9	2,3	0,084	0,565	2,880
A_49	50	69	33	13,3	6,0	2,1	0,166	0,584	2,087
A_50	16	26	5	8,1	12,2	5,2	0,082	0,559	2,906
<b>Vidut.</b>	76	136	39	36,1	7,1	3,9	0,20	0,63	<b>2,20</b>

**1.2 lentelė. FAR pagrindinių komponentų reikšmės Žemaitijos KMS 2007m.**

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	168,7	236	111	42,9	1,8	2,1	0,56	0,548	0,669
Ž_03	14,4	20	9	3,5	14,2	2,2	0,07	0,531	3,086
Ž_04	46,7	77	15	21,8	23,8	5,1	0,04	0,642	5,118
Ž_05	78,0	95	59	11,5	4,5	1,6	0,22	0,587	1,746
Ž_06	51,9	86	30	17,9	6,7	2,9	0,15	0,585	2,220
Ž_07	128,3	149	116	13,2	2,0	1,3	0,49	0,554	0,821
Ž_08	127,9	269	26	83,9	9,1	10,3	0,11	0,665	3,451
Ž_09	37,6	58	22	13,1	29,8	2,6	0,03	0,658	5,361
Ž_10	94,9	128	24	34,5	1,8	5,3	0,56	0,511	0,678
Ž_11	22,6	29	13	5,3	7,5	2,2	0,13	0,510	2,348
Ž_12	73,3	100	44	20,3	4,8	2,3	0,21	0,592	1,818
Ž_13	48,6	58	41	6,2	7,2	1,4	0,14	0,564	2,296
Ž_14	86,0	110	68	17,2	3,5	1,6	0,29	0,561	1,453
Ž_15	341,7	1017	116	328,1	3,4	8,8	0,29	0,666	1,916
Ž_16	44,9	54	24	10,7	3,6	2,3	0,28	0,508	1,479
Ž_17	27,6	31	23	2,4	5,4	1,3	0,18	0,508	1,970
Ž_18	7,6	11	3	3,2	2,0	3,7	0,50	0,504	0,795
Ž_19	4,0	5	3	0,8	2,5	1,7	0,40	0,504	1,065
Ž_20	84,9	91	77	5,8	4,1	1,2	0,24	0,597	1,648
Ž_21	259,9	403	170	85,8	4,2	2,4	0,24	0,603	2,460
Ž_22									
Ž_23	107,6	163	32	40,5	11,2	5,1	0,09	0,673	3,735
Ž_24	9,6	21	3	6,3	10,4	7,0	0,10	0,507	2,728
Ž_25	34,9	52	25	10,1	2,3	2,1	0,44	0,505	0,966
Ž_26	5,6	9	3	2,5	7,2	3,0	0,14	0,504	2,292
Ž_27									
Ž_28	199,6	346	81	96,6	5,8	4,3	0,17	0,624	2,898
Ž_29	230,4	452	147	104,9	2,2	3,1	0,46	0,674	0,901
Ž_30	379,9	909	131	337,7	3,4	6,9	0,29	0,674	1,903
Ž_31	9,1	15	4	4,4	5,5	3,8	0,18	0,504	1,976
Ž_32									
Ž_34	169,7	403	19	125,2	5,6	21,2	0,18	0,674	2,663
Ž_35	287,3	655	100	191,6	4,2	6,6	0,24	0,634	2,360
Ž_36	95,9	276	27	84,7	12,7	10,2	0,08	0,639	4,123
Ž_37	99,9	234	55	61,4	3,0	4,3	0,33	0,674	1,279
Vidut.	105,6	205	51	56,1	6,7	4,4	0,25	0,584	2,19

2007 m. fotosintetiškai aktyvios saulės spinduliuotės matavimai atlikti 46 Aukštaitijos KMS tyrimo ploteliuose. Likusiuose 4-se ploteliuose, dėl suardytos medyno struktūros vykdyti šiuo laikotarpiu FAS matavimus netikslinga, kadangi didelę įtaką gautiems rezultatams turėtų kylantis pomiškis, kuris dar neįtrauktas į medžių apskaitos sąrašus.

Tyrimų metu nustatytos šios originalios FAS reikšmės: minimali reikšmė, maksimali, 7 reikšmių vidurkis bei standartinis nukrypimas. Antrą grupę parametrų sudarė taip vadinami koeficientai, kurie išreiškė medyno glaudumą (atviros vietos FAS reikšmės santykis su FAS reikšme po medyno dangą), struktūrą (FAS po medyno dangą maksimalios ir minimalios reikšmės santykis),

FAS praleidimo po lajomis koeficientas bei lapijos paviršiaus indeksas (LAI). Gauti rezultatai pateikti 1.1 lentelėje.

### 1.2.2. Žemaitijos KMS teritorija

Fotosintetiškai aktyvios saulės spinduliuotės matavimai atlikti 34 Aukštaitijos KMS tyrimo ploteliuose. Likusiuose 3-se ploteliuose, dėl suardytos medyno struktūros vykdyti šiuo laikotarpiu FAS matavimus netikslinga. FAS praleidimo po lajomis koeficientas bei lapijos paviršiaus indeksas (LAI) pateikti 1.2 lentelėje.

Ankstesnių tyrimų rezultatai parodė, kad tarp lapijos paviršiaus ploto indekso ir medyno produktyvumo bei būklės parametrų ryšys daugelyje atvejų yra patikimas, tačiau nežymiai silpnėjęs už ryšį tarp originalių FAS išmatuotų reikšmių ir tokių medyno parametrų, kaip medžių skaičius ir skerspločių suma. Patikimi ryšiai nustatyti tarp gyvų medžių skaičiaus, lapijos masės bei medyno biomasės ir FAS parametrų. Lapijos paviršiaus ploto indeksui didėjant bei FAS po medyno danga mažėjant, medžių bei lapijos biomasė kartu su medyno lajų glaudumu bei medžių skerspločių suma didėja.

2007 m. Aukštaitijos KMS baseine, skirtingai nei ankstesniais metais, sumažėjo medžių glaudumas, padidėjo FAS po medžių lajomis bei sumažėjo LAI, kas rodo apie bendros lapijos masės mažėjimą. Žemaitijos KMS baseine tirti rodikliai praktiškai išliko stabilūs.

**1.3 lentelė. FAR pagrindinių komponentų reikšmių palyginimas.**

Metai	KMS	Vid	Max	Min	Std dev.	Glaudumas	Struktūra	FAR_kof	LAI
2003	LT-01	65	159	15	55	35,9	19,9	0,06	3,72
2004	LT-01	56	105	24	30	6,3	5,5	0,24	1,88
2005	LT-01	90	220	27	71	15,8	12,4	0,16	3,43
2006	LT-01	105	253	29	84	18,2	13,8	0,11	4,22
2007	LT-01	76	136	39	36	7,1	3,9	0,20	2,20
2002	LT-03	0,983	346	58	108	11,3	9,3	0,17	2,49
2004	LT-03	1,616	125	44	29	4,4	4,8	0,29	1,58
2005	LT-03	1,134	291	45	91,0	8,3	11,3	0,25	2,89
2006	LT-03	1,426	150	54	34,5	5,5	3,4	0,27	2,62
2007	LT-03	1,516	205	51	56,1	6,7	4,4	0,25	2,19

## IŠVADA

2007 m. Aukštaitijos KMS baseine, skirtingai nei ankstesniais metais, sumažėjo medžių glaudumas, padidėjo FAS po medžių lajomis bei sumažėjo LAI, kas rodo apie bendros lapijos masės mažėjimą. Žemaitijos KMS baseine tirti rodikliai praktiškai išliko stabilūs.



### 1.3. Tyrimo rezultatų apibendrinimas

Metinis kritulių kiekis per tiriamąjį laikotarpį išliko stabilus abiejose KM stotyse. Tačiau reikšmingiausiai mažėjo pavasarį (kovo – gegužės mėn.) ir rudenį (rugsėjo-lapkričio mėn.), o didėjo vegetacijos sezono viduryje, kas turėtų ateityje teigiamai sąlygoti miškų būklę.

Vidutinė metinė oro temperatūra Aukštaitijos KMS didėjo tik  $0,02^{\circ}\text{C}$  per metus, o Žemaitijos KMS dar mažiau, tik  $0,002^{\circ}\text{C}$  per metus. Reikšmingiausiai didėjo rudens mėnesių vidutinė temperatūra, apie  $0,15^{\circ}\text{C}$  per metus abiejose stotyse, o mažėjo Aukštaitijos KMS teritorijoje žiemą ir pavasarį, apie  $-0,03$  -  $-0,05^{\circ}\text{C}$  per metus, Žemaitijos KMS vegetacijos laikotarpio viduryje, apie  $-0,07^{\circ}\text{C}$ . Žiemos laikotarpiu temperatūros mažėjimas sudarė apie  $-0,02^{\circ}\text{C}$ .

Per 5-ių metų laikotarpį, nuo 2003 metų, fotosintetiškai aktyvi saulės spinduliuotė po medynų danga ir didėjo, ir mažėjo, indikuodama medynų lapijos indekso didėjimą ir mažėjimą. 2007 m. Aukštaitijos KMS baseine, skirtingai nei ankstesniais metais, sumažėjo medžių glaudumas, padidėjo FAS po medžių lajomis bei sumažėjo LAI, kas rodo apie bendros lapijos masės mažėjimą. Žemaitijos KMS baseine tirti rodikliai praktiškai išliko stabilūs. Detalesnei analizei reiktų pradėti analizuoti ir atviros vietos saulės spinduliuotės kaitą, kas ir yra vykdoma KM stotyse, o gautus rezultatus bandyti sieti su oro vidutine temperatūra ir kritulių kiekiu.

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

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 dėmesis skirtas dujinių ir aerosolinių 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 aerosolinių priemaišų ore tyrimai pagal EMEP ir ICP IM programas

Dujinių ir aerosolinių priemaišų koncentracijas atmosferoje kinta dėl atmosferos dinamiškumo ir nuolat vykstančių atmosferos valymosi nuo teršalų procesų (šlapiojo ir sausojo). Atmosferos užterštumo lygį sieros ir azoto junginiais virš Lietuvos lemia šių teršalų emisijos iš vietinių taršos šaltinių ir daugiausiai iš Vakarų ir Pietų Europos valstybių. Be to, esant dujinių ir aerosolinių teršalų buvimo atmosferoje nevienodai trukmei, kurią daugiausiai lemia fizinės bei cheminės teršalų savybės, jų koncentracijos atmosferoje kinta ir laike, ir erdvėje.

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.

Atmosferos teršalų koncentracijų tyrimai integruoto monitoringo (IM) stotyse (LT01 ir LT03) ir Preiloje buvo tęsiami per 2007 m.

#### Darbo metodika

Remiantis darbo užduotimi, IM stotyse (LT01 ir LT03) rinkti savaitės atmosferos bandiniai, o Preiloje (EMEP tinkle kodas – LT15) – paros bandiniai tokių atmosferos teršalų: sieros dioksidas ( $\text{SO}_2$ , dujos), azoto dioksidas ( $\text{NO}_2$ , dujos), sulfatai ( $\text{SO}_4^{2-}$ , aerosolinės dalelės), suma nitratų ( $\text{HNO}_3$ , dujinė azoto rūgštis ir  $\text{NO}_3^-$ , aerosolinės nitratų dalelės) ir suma amonio ( $\text{NH}_3$ , dujinis amoniakas ir  $\text{NH}_4^+$ , aerosolinės amonio dalelės).

Teršalų koncentravimui iš atmosferos oro naudoti celiulioziniai filtrai “Whatman 40” ir rinktuvai su specialiai gaminamais stiklo filtrais. Filtrų paruošimas ekspozicijai ir surinktų ant jų teršalų cheminė analizė atlikta vadovaujantis EMEP paruoštomis rekomendacijomis. Naudojant dviejų pakopų NILU sistemos filtrų laikiklius, aerozolinis sulfatas ( $\text{aer.SO}_4$ ) renkamas ant pirmoje pakopoje esančio “Whatman 40” filtro, kuris yra atviras atmosferai, o antroje filtro laikiklio pakopoje yra šarmu impregnuotas “Whatman 40” filtras sieros dioksido koncentravimui. Sumos nitratų ( $\text{sum.NO}_3$ ) ir sumos amonio ( $\text{sum.NH}_4$ ) junginių koncentravimui iš atmosferos “Whatman 40” filtrai prieš juos eksponuojant impregnuojami rūgštinti amonio junginiams ir šarmu - nitratams. Atitinkamai kiekvienam teršalui impregnuoti filtrai dedami į vienos pakopos NILU sistemos filtrų laikiklius. Azoto dioksido koncentravimui stiklo filtrai paruošiami juos impregnuojant šarminiu natrio jodido tirpalu. Visi filtrų impregnavimo darbai atliekami cheminėje laboratorijoje specialioje išvalyto atmosferos oro kameroje.

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

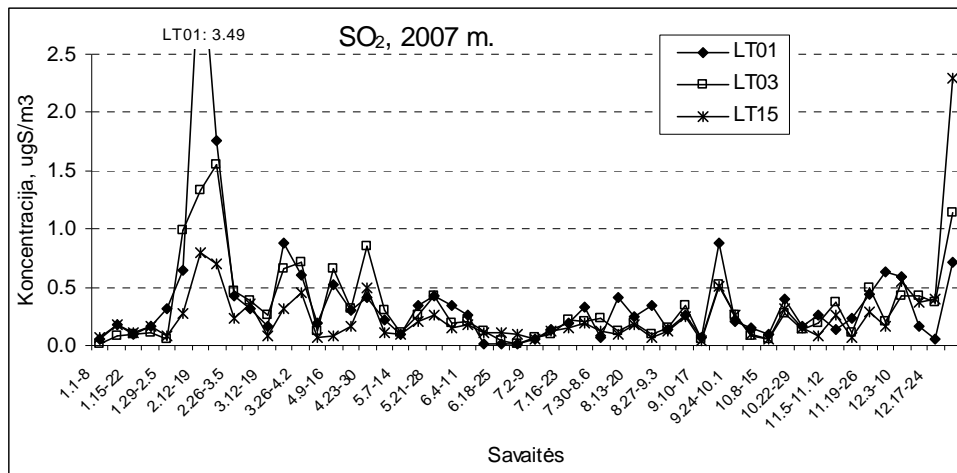
Oro bandiniai iš Preilos buvo analizuojami Fizikos institute, ekstrahuojant 24 valandas 20-30 ml dejonizuotu vandeniu, kurio varža  $>10\text{M}\Omega/\text{cm}$ . Jonų mainų chromatografas “DIONEX 2010F” (kolonėlės AG4A-SC ir AS4A-SC) naudojamas sulfatų ir nitratų jonų koncentracijų tyrimams vandeniniuose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

## Tyrimų rezultatai

Pateikti 2.1 lentelėje tyrimų duomenys rodo visų tirtų teršalų savaitės vidutinių koncentracijų kaitos intervalą: IM stotyse ir Preiloje: SO<sub>2</sub> nuo 0.01 iki 3.49 µgS/m<sup>3</sup> (LT 01), nuo 0.02 iki 1.55 µgS/m<sup>3</sup> (LT 03) ir nuo 0.04 iki 2.59 µgS/m<sup>3</sup> (Preiloje); NO<sub>2</sub> nuo 0.05 iki 3.05 µgN/m<sup>3</sup> (LT 01), nuo 0.07 iki 3.90 µgN/m<sup>3</sup> (LT 03) ir nuo 0.44 iki 4.243 µgN/m<sup>3</sup> (Preiloje); sulfatai nuo 0.02 iki 2.98 µgS/m<sup>3</sup> (LT 01), nuo 0.03 iki 1.57 µgS/m<sup>3</sup> (LT 03) ir nuo 0.15 iki 3.35 µgS/m<sup>3</sup> (Preiloje); sum.NO<sub>3</sub> nuo 0.06 iki 1.39 µgN/m<sup>3</sup> (LT 01), nuo 0.09 iki 2.33 µgN/m<sup>3</sup> (LT 03) ir nuo 0.16 iki 1.95 µgN/m<sup>3</sup> (Preiloje); sum.NH<sub>4</sub> nuo 0.02 iki 3.37 µgN/m<sup>3</sup> (LT 01), nuo 0.04 iki 2.44 µgN/m<sup>3</sup> (LT 03) ir nuo 0.52 iki 6.17 µgN/m<sup>3</sup> (Preiloje).

**2.1 lentelė.** Teršalų koncentracijų ore statistinės vertės IM stotyse ir Preiloje 2007 m.

Komponentė, matavimo vienetas	Vertė	Vieta		
		LT01	LT03	PREILA
SO <sub>2</sub> µgS/m <sup>3</sup>	min.	0.01	0.02	0.04
	max	3.49	1.55	2.29
	vidut. met.	0.38	0.34	0.25
NO <sub>2</sub> µgN/m <sup>3</sup>	min	0.05	0.07	0.44
	max	3.05	3.90	4.24
	vidut. met.	0.61	0.83	1.18
aer.SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> µgS/m <sup>3</sup>	min	0.02	0.03	0.15
	max	2.98	1.57	3.35
	vidut. met.	0.63	0.58	0.51
sum.NO <sub>3</sub> µgN/m <sup>3</sup>	min	0.06	0.09	0.16
	max	1.39	2.33	1.95
	vidut. met.	0.42	0.52	0.59
sum.NH <sub>4</sub> µgN/m <sup>3</sup>	min	0.02	0.04	0.52
	max	3.37	2.44	6.17
	vidut. met.	0.95	0.90	1.66

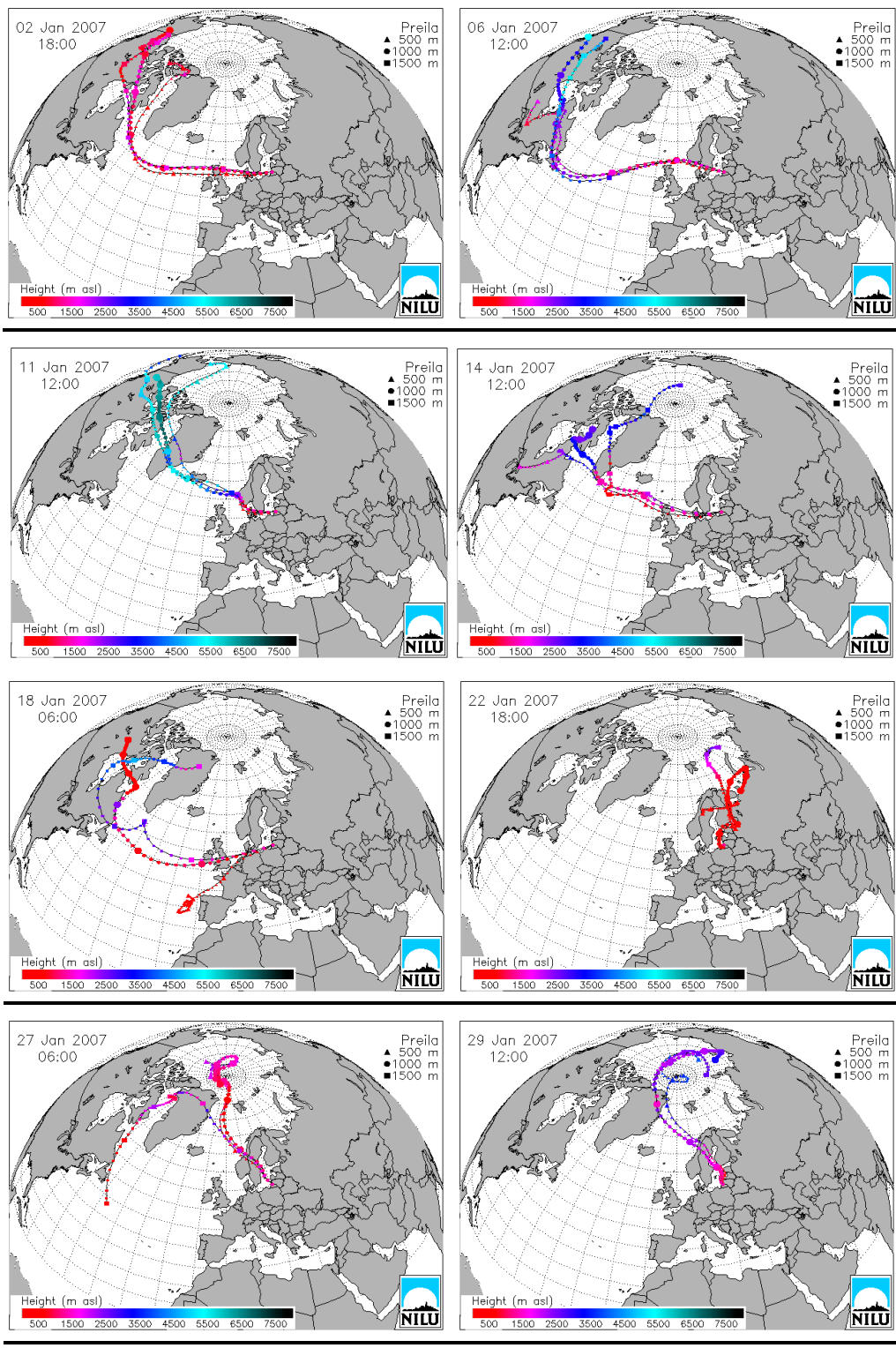


**2.1 pav.** Sieros dioksido koncentracijų kaita IM ir LT15 (Preila) stotyse, 2007 m.

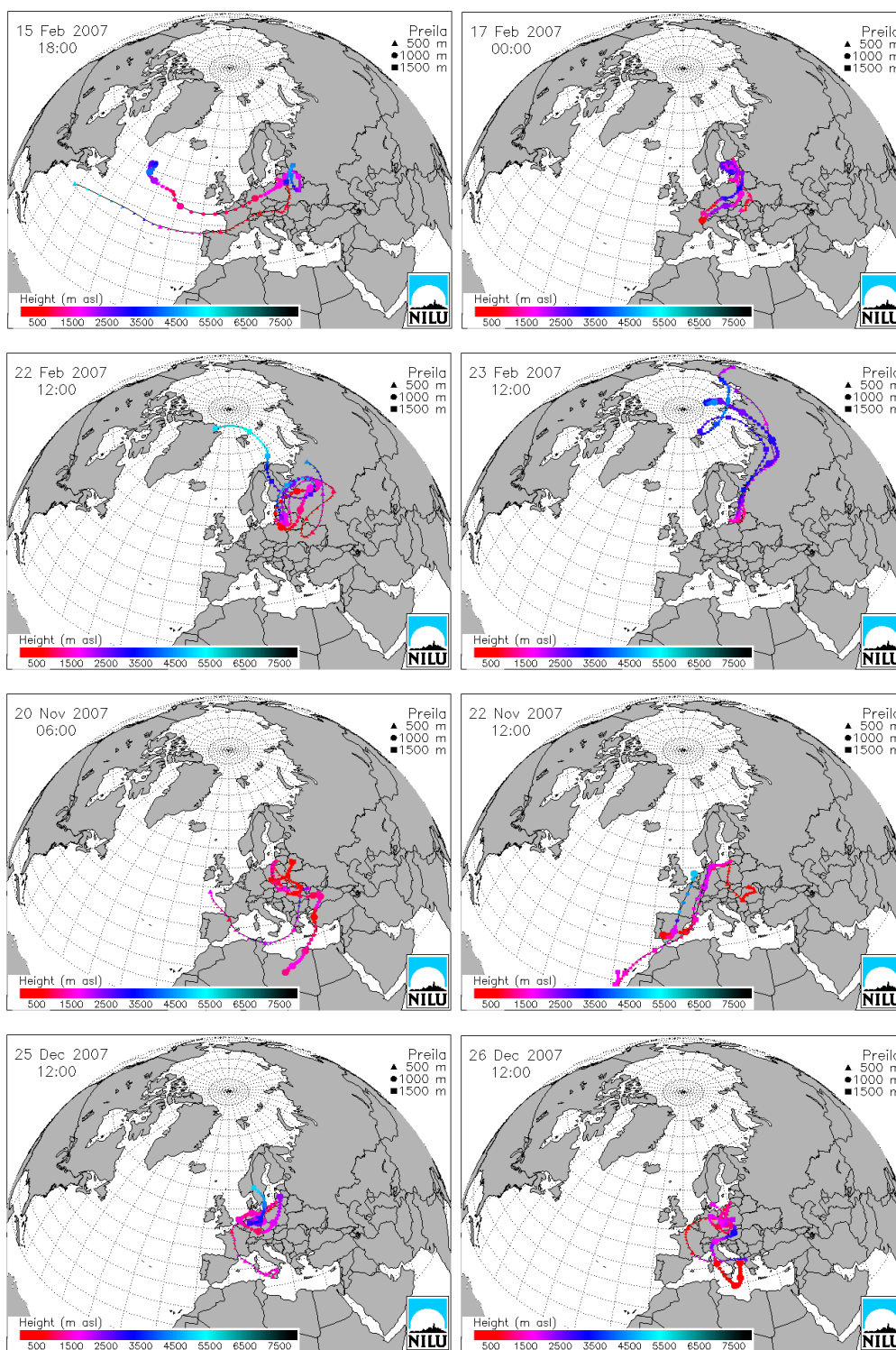
Nebūdingos sausio mėnesiui ypač mažos SO<sub>2</sub> koncentracijos (2.1 pav.) buvo dėl ypatingų klimatinių sąlygų Europoje ir taip pat Lietuvoje, t.y. didelio kritulių kiekio per šį mėnesį (95, 202 ir 56 mm atitinkamai LT01, LT03 ir LT15), aukštesnės nei daugiamečių oro temperatūros ir dažnai nešamų oro masių iš šiaurinių-šiaurės vakarinių Europos regionų (2 pav.), kuriuose nėra didelių emisijos šaltinių (4 pav.).

Kelis kartus didesnės nei vidutinės 2007 m. metinės vertės tyrimų vietose (LT01, LT03 ir LT15) SO<sub>2</sub> koncentracijos buvo matuotos per vasario mėn., o taip pat ir per kai kurias lapkričio ir gruodžio mėn. savaites. Tai nulėmė nedideli kritulių kiekiai (30- 50 mm/mėn.) per šiuos mėnesius, t.y. mažesni nei norma arba daugiamečių jų kiekis, o taip pat nešami teršalai iš Europos rajonų (2.3 ir 2.4 pav.), kuriuose yra dideli teršalų emisijos šaltiniai.

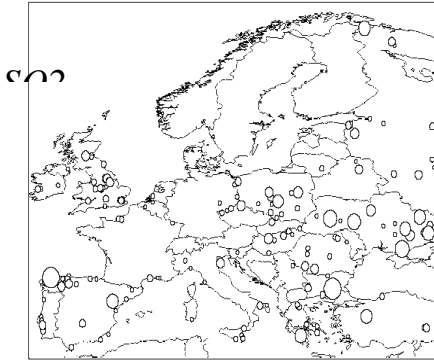
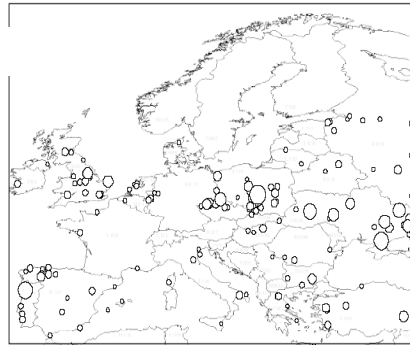
Dideli kritulių kiekiai per birželio ir liepos mėnesius, o taip pat ir mažesnė nei per žiemos mėn. SO<sub>2</sub> emisija lėmė nedideles (< 0.25 μgS/m<sup>3</sup>) SO<sub>2</sub> atmosferoje koncentracijas per vasaros mėnesius visose tyrimo vietose, nors oro masės į Lietuvą buvo nešamos tiek iš pietvakarinių, vakarinių ir šiaurinių regionų (2.5 pav.).



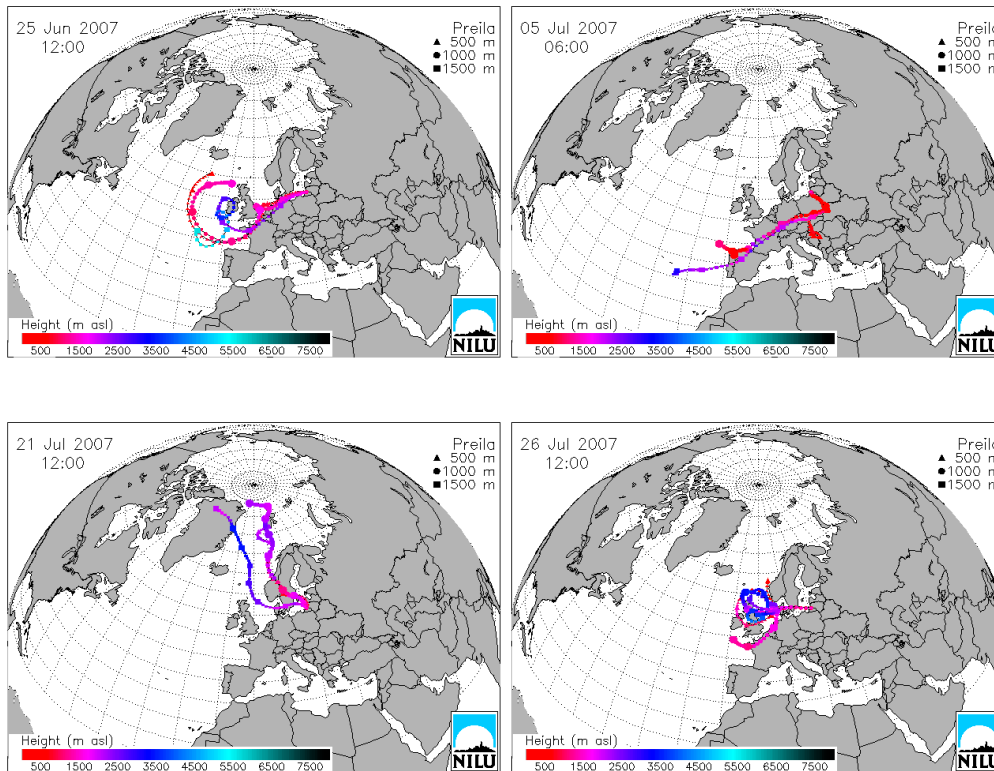
2.2 pav. Oro masių judėjimo į Lietuvą trajektorijų 2007 m. sausio mėn. atvejai



2.3 pav. Oro masių judėjimo į Lietuvą trajektorijų 2007 m. vasario, lapkričio ir gruodžio mėn. atvejai

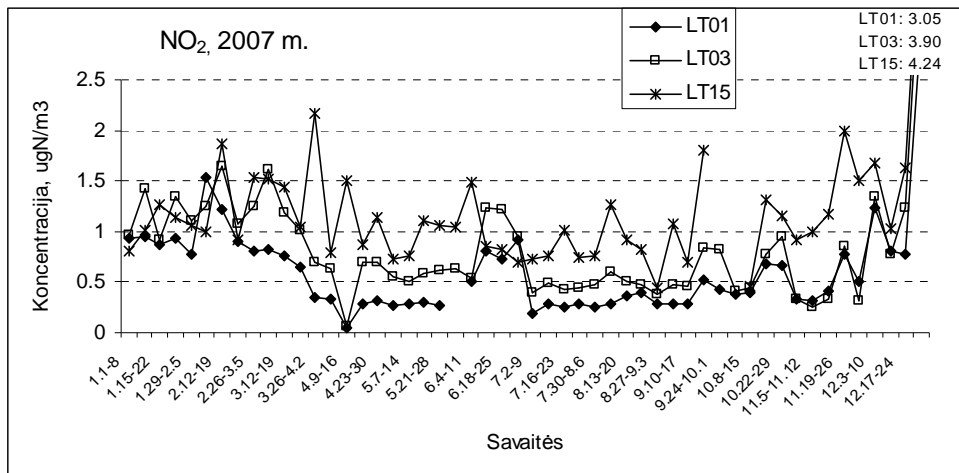
Figure 4. 2001 Largest SO<sub>2</sub> emitters – whole region.Figure 7. 2001 Largest NO<sub>x</sub> emitters – whole region.

**2.4 pav.** 200 didžiausių SO<sub>2</sub> ir NO<sub>x</sub> emisijos šaltinių Europoje geografinė sklaida  
(Mark Barrett. *The worst and the best. Acid News, No3, 2006.*)



**2.5 pav.** Oro masių judėjimo į Lietuvą trajektorijų 2007 m. birželio ir liepos mėn. atvejai.

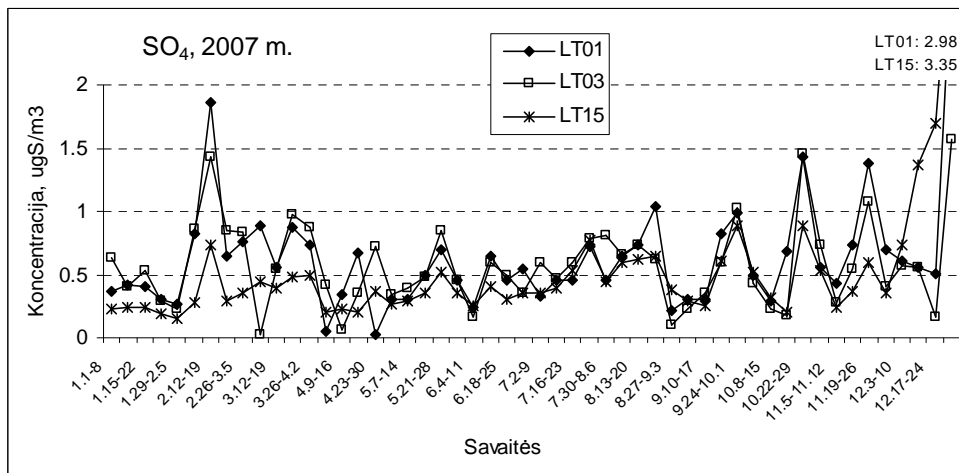




2.6 pav. Azoto dioksido koncentracijų kaita IM ir LT15 (Preila) stotyse, 2007 m.

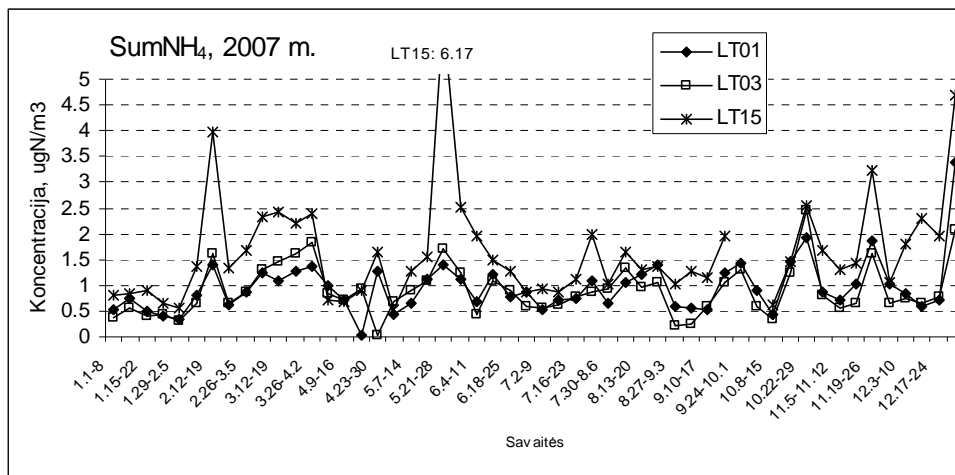
Didelės NO<sub>2</sub> koncentracijos (iki 3.05 iki 4.24  $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ ) stotyse LT01, LT03 ir LT15 (6 pav.) buvo matuotos gruodžio mėn. 24-31 d., kai oro masės į Lietuvą per šią savaitę dažniausiai buvo nešamos iš centrinės Europos dalies (3 pav.), kuriame yra didžiausi NO<sub>x</sub> emisijos šaltiniai (2.4 pav.). Tačiau, balandžio - spalio mėn. NO<sub>2</sub> koncentracijos buvo mažesnės nei 2007 metų vidutinės LT01, LT03 ir LT15.

Tyrimų duomenys rodo, kad SO<sub>2</sub> ir NO<sub>2</sub> koncentracijų pokyčius labiausiai lėmė oro masių, nešamų į Lietuvą, kilmės kaita ir, be abejo, šių teršalų emisijos regionuose, iš kurių jie buvo nešami, o taip pat ir klimatiniai veiksniai.



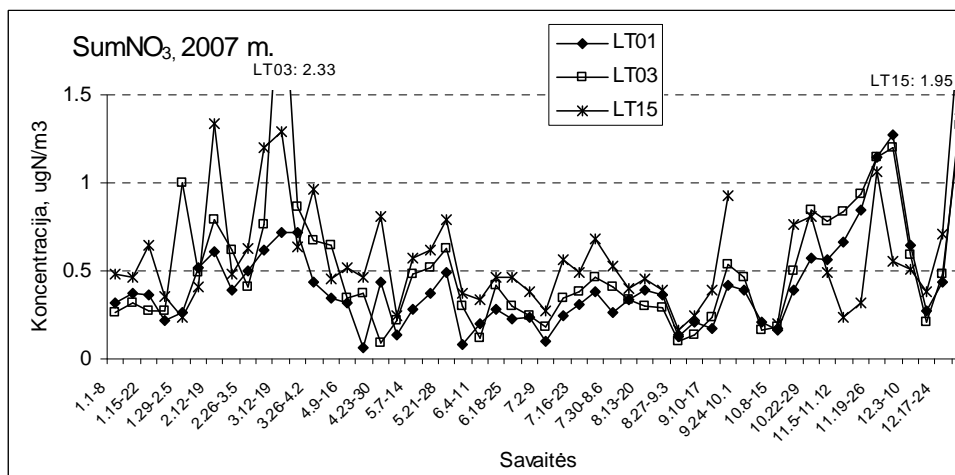
2.7 pav. Aeroz.SO<sub>4</sub> koncentracijų kaita IM ir LT15 (Preila) stotyse, 2007 m.

Aerolinio sulfato koncentracijų (2.7 pav.) kaitoje visose atmosferos teršalų tyrimo vietose matyti, kad didžiausių koncentracijų epizodai, matuoti per žiemos mėnesių savaites ir jų laikas sutampa su SO<sub>2</sub> didelių koncentracijų epizodais.



2.8 pav. SumNH<sub>4</sub> junginių koncentracijų kaita IM ir LT15 (Preila) stotyse, 2007 m.

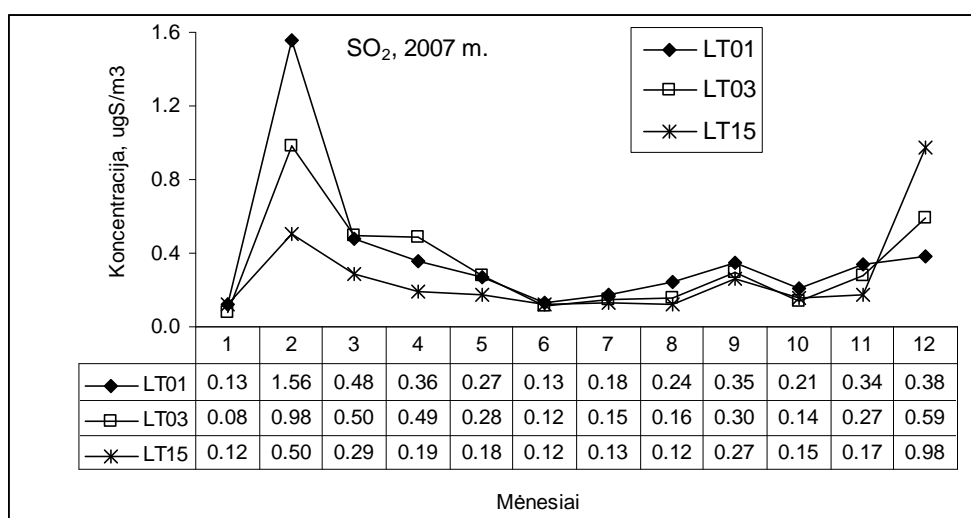
Sumos amonio junginių koncentracijų kaitoje (2.8 pav.) didesnis pasikartojimas mažesnių nei 2007 metų vidutinės koncentracijos matomos vasaros mėnesiais, palyginti su žiemos mėnesiais. Didelių, o taip pat ir mažesnių sumNH<sub>4</sub> koncentracijų epizodai laike sutampa su aer.SO<sub>4</sub> didelių ir mažų koncentracijų epizodais. Tai rodo esantį amonio sulfato junginį aerolinėse dalelėse.



2.9 pav. Sum.NO<sub>3</sub> junginių koncentracijų kaita IM ir LT15 (Preila) stotyse, 2007 m.

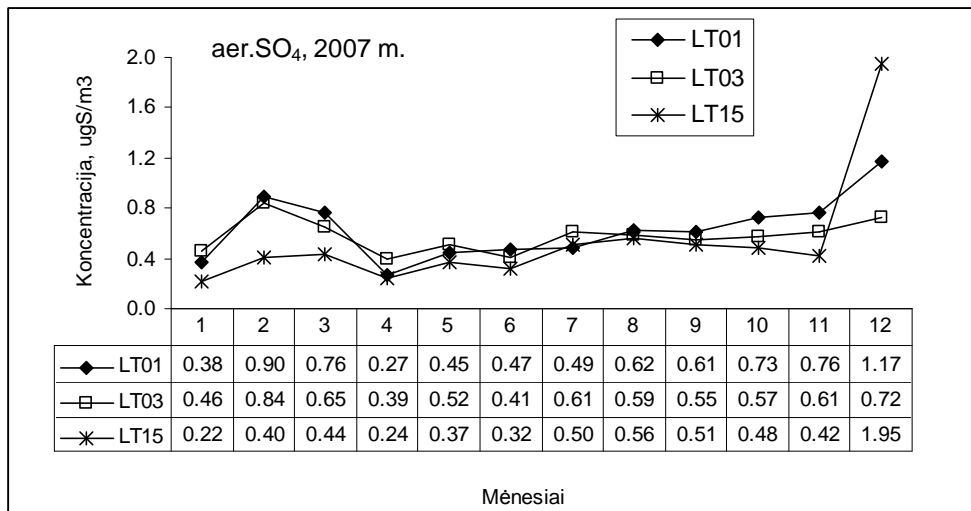
Abiejose IM stotyse ir Preiloje didesnių nei vidutinė metinė 2007 m. sumNO<sub>3</sub> koncentracijų dažnesnis pasikartojimas gautas vasario-kovo ir lapkričio – gruodžio mėn. (2.9 pav.). Tai yra dėl tų pačių priežasčių, kurios buvo ir kitiems matuotiems teršalams. Mažesnės nei 0.5 μgN/m<sup>3</sup> sumNO<sub>3</sub> koncentracijos dažniausiai kartojosi nuo gegužės iki spalio mėn.

Tiriamų teršalų koncentracijų (savaitės) apibendrinti duomenys, kurie pateikiami 10-14 paveiksluose, rodo koncentracijų metinę kaitą per 2007 metus. Analizuojant SO<sub>2</sub> mėnesio vidutinių koncentracijų kaitą (2.10 pav.) stebima jų sezoninė eiga. Žiemos laikotarpio (sausis, vasaris ir gruodis) mėnesių vidutinė koncentracija yra 3.8-4.4 kartus didesnė nei vasaros mėnesių (birželis, liepa ir rugpjūtis), nors šių metų sausio mėn. SO<sub>2</sub> koncentracija yra nebūdinga šiam metų laikui dėl anksčiau nurodytų klimatinių ypatumų. Mažesnes šių teršalų koncentracijas atmosferoje per vasaros mėn., lemia mažesnė SO<sub>2</sub> emisija, spartesnis atmosferos vertikalusis maišymasis, bei didesnis kritulių kiekis. Didžiausios SO<sub>2</sub> koncentracijos gautos vasario mėn., išskyrus LT15. Tačiau, SO<sub>2</sub> koncentracija Preiloje visais mėnesiais yra mažesnė, išskyrus gruodžio mėn. koncentraciją.

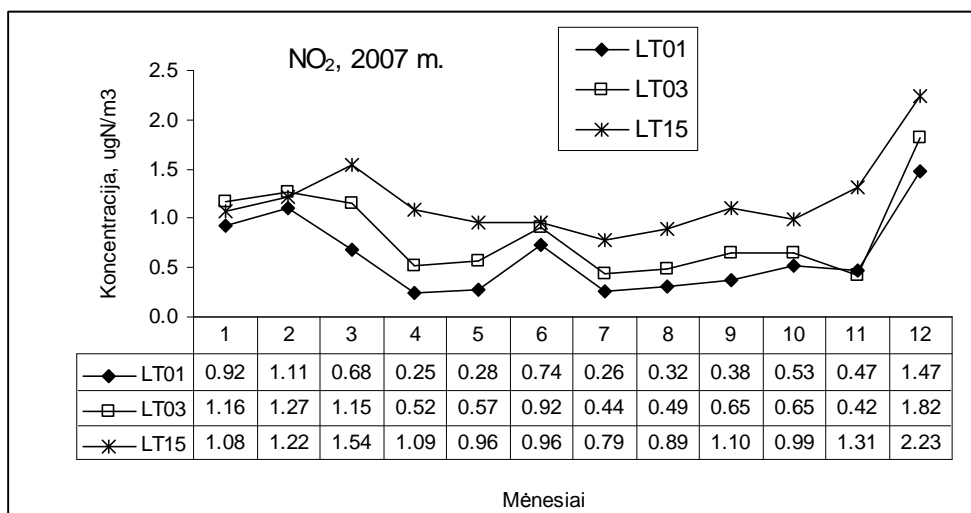


**2.10 pav.** SO<sub>2</sub> koncentracijų metinė kaita IM ir LT15 (Preila) stotyse, 2007 m.

Skirtumas tarp žiemos ir vasaros mėn. sulfatų aerozolio dalelėse (2.11 pav.) koncentracijų yra mažesnis nei SO<sub>2</sub> atveju: žiemos mėn. vidutinė koncentracija yra 1.3 – 1.5 karto didesnė nei vasaros mėn.

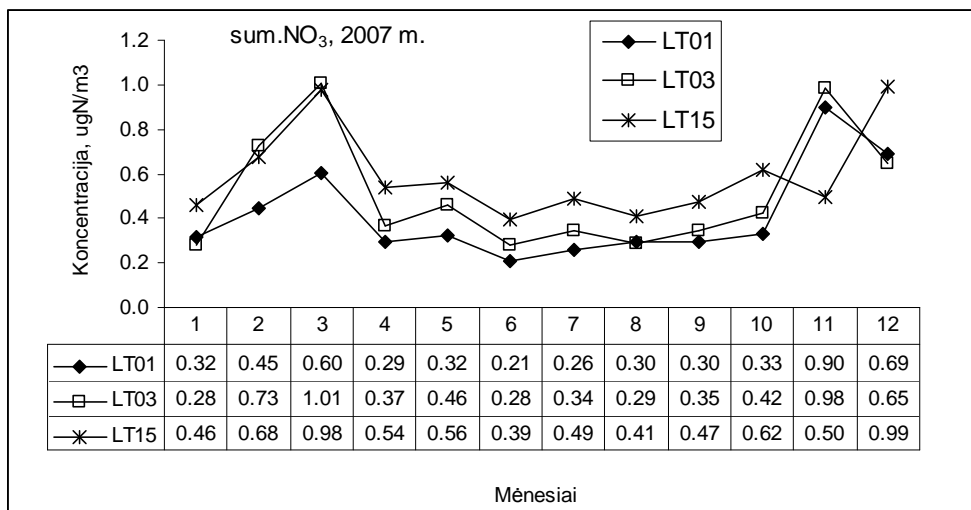


2.11 pav. Aer.SO<sub>4</sub> koncentracijų metinė kaita IM ir LT15 (Preila) stotyse, 2007 m.



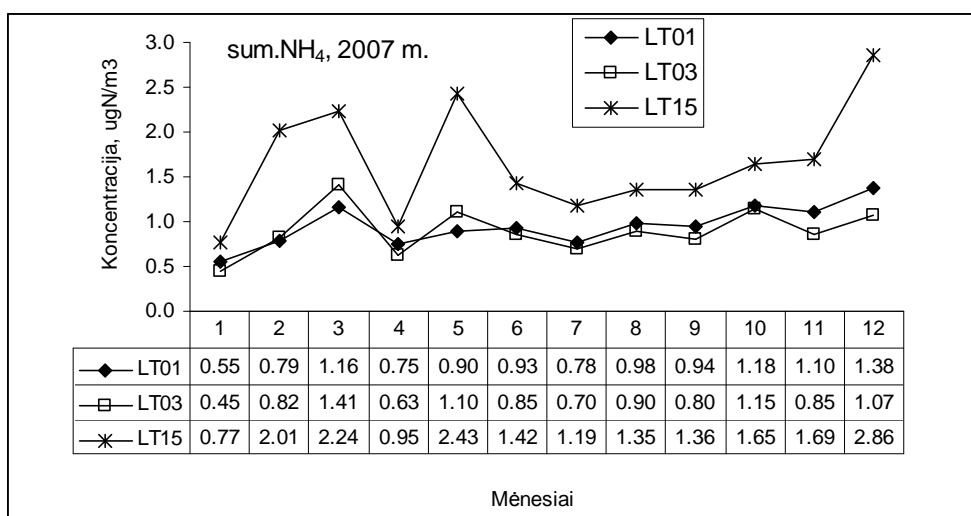
2.12 pav. NO<sub>2</sub> koncentracijų metinė kaita IM ir LT15 (Preila) stotyse, 2007 m.

Analizuojant NO<sub>2</sub> mėnesių koncentracijų kaitą matoma jų didėjimo tendencija per žiemos mėnesius. (2.12 pav.) ir IM stotyse jos 2.3-2.7 karto didesnės nei vidutinė vasaros mėnesių. Preiloje šis koncentracijų skirtumas stebimas mažesnis (1.7 karto) ir didesnės NO<sub>2</sub> koncentracijos Preiloje nei IM stotyse, matyt, reikia sieti su didesniu autotransporto srautu Neringoje nei IM stočių rajonuose, o taip pat ir NO<sub>x</sub> emisija iš laivų, esančių Baltijos jūroje.



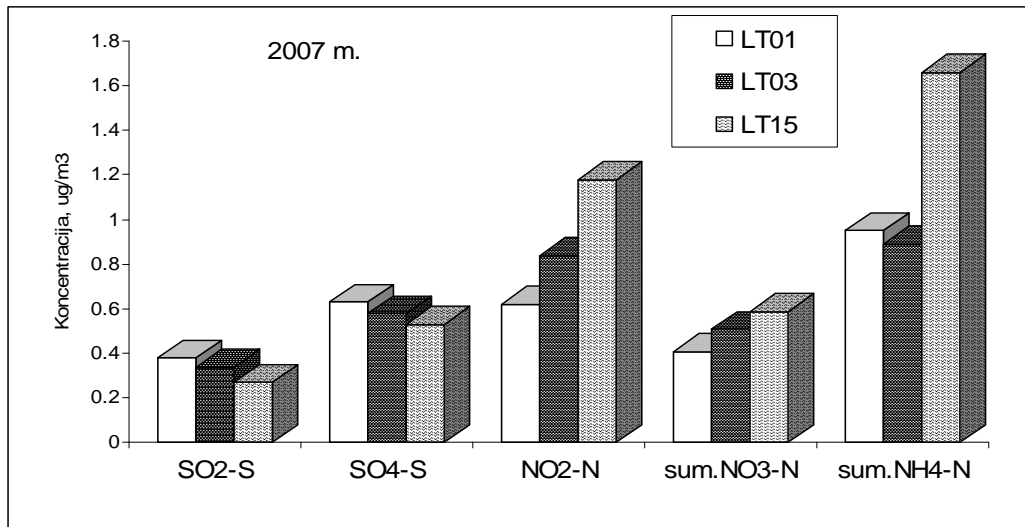
**2.13 pav.** Sum.NO<sub>3</sub> koncentracijų metinė kaita IM ir LT15 (Preila) stotyse, 2007 m.

Sum.NO<sub>3</sub> junginių koncentracijų metinėje kaitoje (2.13 pav.) matomas sezoniškumas: žiemos mėn. vidutinė koncentracija yra beveik 2 kartus didesnė už vasaros mėn. Reikia pažymėti, kad, kaip ir kitų teršalų atveju, sum.NO<sub>3</sub> junginių koncentracijos 2007 m. matuotos nebūdingos sausio mėn.



**2.14 pav.** Sum.NH<sub>4</sub> koncentracijų metinė kaita IM ir LT15 (Preila) stotyse, 2007 m.

Sum.NH<sub>4</sub> mėnesio vidutinių koncentracijų kaitoje (2.14 pav.) nėra ryškios metinės kaitos tendencijos. Nors mėn. vidutinių koncentracijų kaitos tendencija yra gan vienoda visose tyrimų stotyse, tačiau, reikia pažymėti, kad Preiloje, kaip ir kitų azoto junginių, sum.NH<sub>4</sub> koncentracijos matuotos didesnės.



**2.15 pav.** Atmosferos teršalų 2007 m. vidutinės koncentracijos IM ir LT15 stotyse.

Palyginus atmosferos teršalų metines 2007 m. vidutines koncentracijas trijose vietose (2.15 pav.) matyti, kad SO<sub>2</sub> ir aer.SO<sub>4</sub> koncentracijos Preiloje yra beveik du kartus mažesnės nei IM stotyse. Tačiau, azoto dioksido vidutinė metinė koncentracija Preiloje yra beveik du kartus didesnė nei LT01 ir apie 30 % didesnė nei LT03. Aukštaitijoje (LT01) sieros junginių ir sum.NH<sub>4</sub> vidutinės 2007 m koncentracijos nustatytos didesnės nei Žemaitijoje (LT03). Tačiau, NO<sub>2</sub> ir sum.NO<sub>3</sub> metinės koncentracijos Žemaitijoje yra atitinkamai 1.4 ir 1.2 karto didesnės nei Aukštaitijoje.

### Išvados

Vertinant atmosferos oro taršos tyrimų duomenis IM stotyse ir Preiloje 2007 m., daromos tokios išvados:

- Visiems tirtiems atmosferos ore sieros ir azoto junginiams yra būdingas didelis koncentracijų kaitos intervalas.
- Vertinant vidutines kiekvieno mėnesio matuotų atmosferos teršalų koncentracijas matyti, kad sezoniškumas yra ryškiausias SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ir sum.NO<sub>3</sub> ir didesnės jų koncentracijos atmosferos ore matuotos per šaltąjį metų laikotarpį, (vasario – kovo ir lapkričio – gruodžio mėn.).
- Mažesnių nei būdingos sausio mėnesiui sieros (SO<sub>2</sub> ir aer.SO<sub>4</sub>) ir azoto (NO<sub>2</sub>, sum.NO<sub>3</sub> ir sum.NH<sub>4</sub>) junginių koncentracijų priežastimi, matyt, galėtų būti aukštesnė nei daugiamečių šio mėnesio oro temperatūra centrinėje Europoje ir Lietuvoje, o tuo pačiu mažesnė SO<sub>2</sub> emisija bei spartesnis atmosferos vertikalusis maišymasis, didelis kritulių kiekis per šį mėnesį ir dažniausiai pasikartojančios oro masių pernašos į Lietuvą iš šiaurinių-šiaurės vakarinių regionų.
- Teršalų koncentracijoms atmosferos ore IM stotyse ir Preiloje didžiausią poveikį daro SO<sub>2</sub> ir NO<sub>2</sub> emisijos šaltiniai, kurie yra centrinėje ir pietinėje Europoje.

## **2.2. Pagrindinių cheminių priemaišų foninių koncentracijų bei fizinių parametru atmosferos iškritose ir polajiniuose krituliuose tyrimai pagal EMEP ir ICP IM programas**

Destrukcijų mastus sąlygiškai natūraliose ekosistemose lemia patenkantis į jas teršalų kiekis ir pačių ekosistemų buferinė geba. Krituliai, koncentruodami atmosferoje esančias vandenyje tirpias chemines priemaišas, grąžina jas žemės ekosistemoms. Tiriant cheminių priemaišų koncentracijas atmosferos krituliuose, galima įvertinti teršalų atmosferinius srautus į ekosistemas. Šių srautų dydžiai priklauso nuo faktorių, kurie daro įtaką teršalų koncentracijoms ore ir krituliuose, o taip pat ir nuo kritulių kiekio. Atmosferos iškritų cheminė sudėtis atspindi atmosferos užterštumą. Atmosferos kritulių žemas pH vertes daugiausiai lemia oksiduoti sieros ir azoto junginiai.

Pagrindiniai atmosferos kritulių cheminės sudėties tyrimo tikslai Lietuvoje yra tokie: gauti informaciją apie teršalų koncentracijas krituliuose, erdvinius ir laikinius teršalų koncentracijų pokyčius, teršalų atmosferinius srautus į sąlygiškai natūralias ekosistemas ir miško paklotę. Atmosferos kritulių tyrimai Lietuvoje 2007 metais vykdyti dviejose integruoto monitoringo stotyse (IMS): Aukštaitijoje (LT01), Žemaitijoje (LT03) ir atmosferos užterštumų tyrimo stotyje Preiloje (kodas EMEP tinkle - LT15).

Atmosferos krituliuose, o taip pat ir po miško laja rinktuose krituliuose, tirtos tokių pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos: sulfatų ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitratų ( $\text{NO}_3^-$ ), chloridų ( $\text{Cl}^-$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), natrio ( $\text{Na}^+$ ), kalio ( $\text{K}^+$ ), magnio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) ir kalcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Matuotas kritulių elektrolaidumas ir pH. Vandeniilio ( $\text{H}^+$ ) jonų koncentracija skaičiuota iš matuotų pH verčių.

### **Darbo metodika**

Siekiant sumažinti atmosferos teršalų sausųjų iškritų patekimą į atmosferos kritulių rinktuvą, IM stotyje LT03 nuo balandžio mėn. 1 d. iki lapkričio mėn. 1 d. atmosferos krituliai rinkti į rinktuvą su dangčiu, kuris automatiškai atsidaro lietui prasidedant ir užsidaro lietui pasibaigus. Per sausio – kovo mėn. krituliai šioje stotyje rinkti į nuolat atvirus rinktuvus dėl techninių rinktuvo savybių (nešildomas rinktuvo dangtis). Nuo 2007 m. spalio mėn. 22 d., pastačius naują automatinį kritulių rinktuvą, stotyje LT03, kaip ir LT01, per visus metų mėnesius atmosferos krituliai buvo renkami į rinktuvą, kurio dangtis atsidaro prasidėjus lietui ar sniegui ir užsidaro, krituliams pasibaigus. Stotyse LT01 ir Preila per visus metų mėnesius atmosferos kritulių rinkimui naudojami automatiniai rinktuvai, kurių dangčiai atsidaro prasidėjus lietui ar sniegui ir užsidaro, krituliams pasibaigus.

IM stotyse (LT01 ir LT03) rinkti per savaitę iškritę krituliai, o Preiloje (LT15) – per parą. Vykdamat atmosferos iškritų tyrimus dviejose IM stotyse per 2007 m. surinkta po 52 atmosferos kritulių savaitinius bandinius ir Preiloje - 117 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 2007 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 2007 m. IM stotyse LT01 ir LT03, buvo pristatomi į Aplinkos apsaugos agentūros aplinkos tyrimų departamentą, kuris, atlikus cheminę kritulių bandinių analizę, tyrimų rezultatus kas mėnesį persiurdavo Fizikos institutui.

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

Teršalų radimo ribos atmosferos krituliuose yra tokios:  $\text{SO}_4^{2-}$  – 0.02 mgS/l,  $\text{NO}_3^-$  – 0.013 mgN/l,  $\text{Cl}^-$  – 0.01 mg/l,  $\text{NH}_4^+$  – 0.04 mgN/l,  $\text{Na}^+$  – 0.02 mg/l,  $\text{K}^+$  – 0.02 mg/l,  $\text{Ca}^{2+}$  – 0.02 mg/l. Atmosferos kritulių bandiniai rinkti ir pagrindinių cheminių teršalų koncentracijos juose tirtos pagal EMEP bei WMO/GAW rekomendacijas. Analizuojant sintetinį lietų (EMEP ir WMO tinklo standartai) su žinomomis cheminių komponentių koncentracijomis, buvo įvertintas kiekvienos tiriamos krituliuose komponentės koncentracijos matavimo patikimumas ir tikslumas. Analizuojamų komponentių koncentracijų nuokrypis nuo tikrosios jų vertės neviršijo 10%. Kiekvieno bandinio cheminės analizės kokybė įvertinta pagal teigiamų ir neigiamų jonų koncentracijų ( $\mu\text{ekv/l}$ ) balansą.

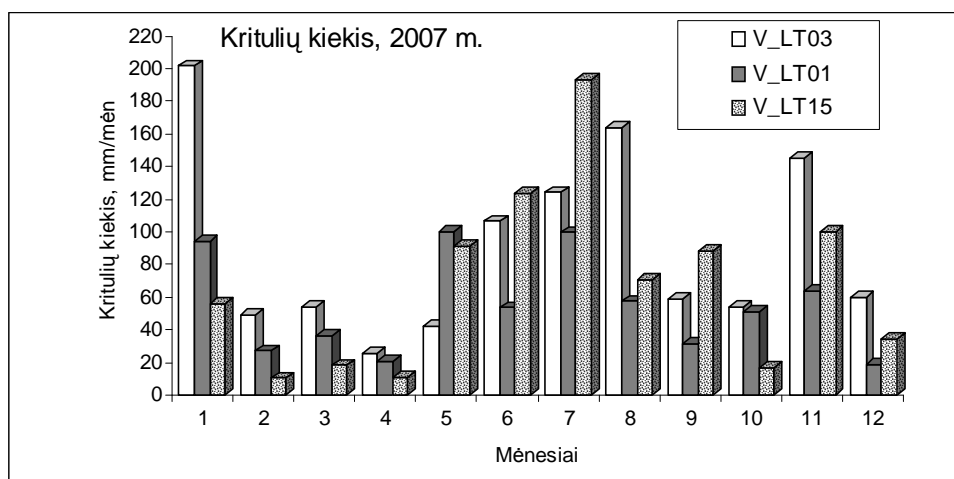
Nagrinėjant  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$  ir  $\text{Ca}^{2+}$  koncentracijas Preiloje ir Žemaitijoje, buvo įvertinama Baltijos jūros įtaka šių teršalų koncentracijoms atmosferos krituliuose. Jūrinės kilmės teršalų kiekiai



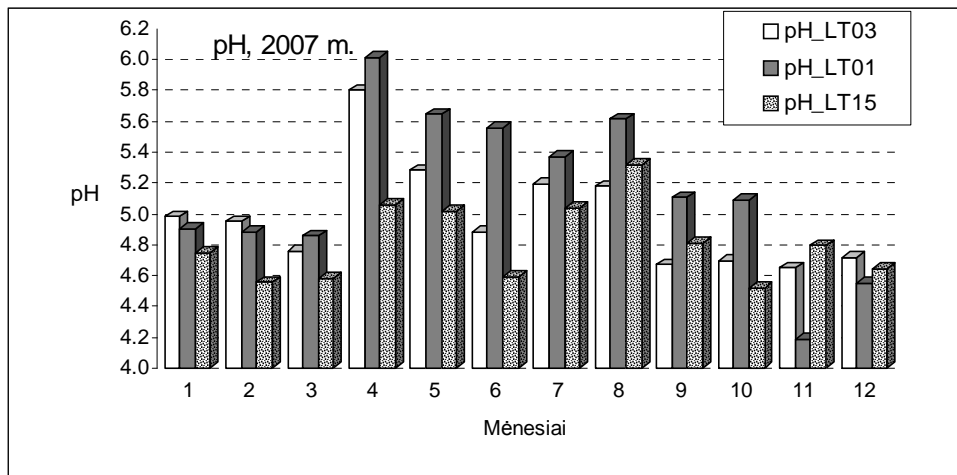
krituliuose įvertinami pagal  $\text{Na}^+$  arba  $\text{Cl}^-$  koncentracijas kritulių bandinyje, kiekvienam teršalui naudojant atitinkamus perskaičiavimui koeficientus. Atėmus jūrinės kilmės  $\text{SO}_4^{2-}$ -Ssea kiekį iš nustatyto jų kiekio kritulių bandinyje, gauname neįūrinės kilmės teršalų koncentracijas, kurias pažymime  $\text{SO}_4^{2-}\text{Sex}$ . Šioje ataskaitoje pateikiamos teršalų mėnesių vidutinės tūrinės koncentracijos, kurios suskaičiuotos pagal kiekvienos savaitės (IM stotyse) ir dienos (Preiloje) teršalo koncentraciją krituliuose ir kritulių kiekį, o taip pat ir vidutinės tūrinės 2007 m. metinės koncentracijos.

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

Didžiausią įtaką priemaišų koncentracijoms krituliuose daro teršalų kiekiai atmosferoje ir kritulių kiekis bei jų pobūdis. Pateikti 2.16 pav. duomenys rodo, didžiausias kritulių kiekis (202 mm) per sausio mėn. iškrito Žemaitijos IM stotyje ir tai sudarė 18.6 % metinio 2007 m. kritulių kiekio. Aukštaitijoje per sausio mėn. iškrito 95 mm, t.y. 14.4 % metinio 2007 m. kritulių kiekio šioje vietoje, ir šis jų kiekis, taip pat kaip ir Žemaitijoje, viršijo vidutinį daugiamečių. Mažiausiai kritulių IM stotyse ir Preiloje iškrito per vasario – balandžio, bei spalio ir gruodžio mėnesius. Vasario, kovo, balandžio ir spalio mėn. kritulių kiekiai buvo 10–54 mm per mėnesį. Kritulių kiekio dinamikoje ypač išsiskyrė vasaros mėnesiai: per juos iškrito 39-51 % metinio 2007 m. kritulių kiekio. Metinis kritulių kiekis 2007 m. buvo LT01-655 mm, LT03 – 1086 mm ir Preiloje – 814 mm.



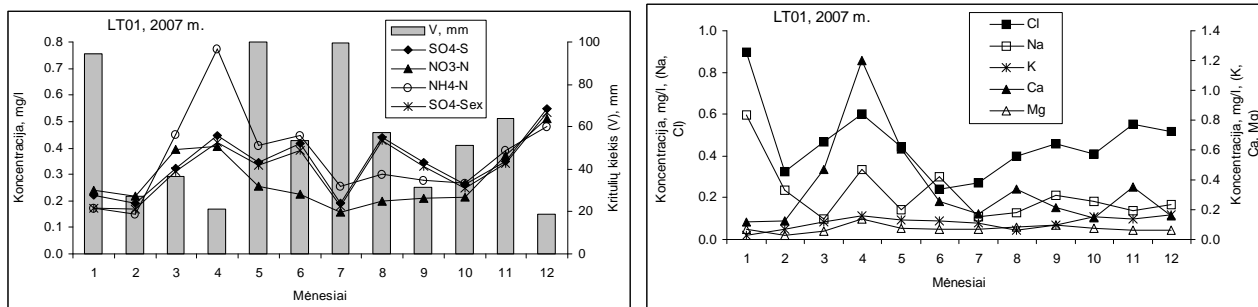
**2.16 pav.** Atmosferos kritulių kiekio kaita 2007 m. IM stotyse ir Preiloje



2.17 pav. Atmosferos kritulių pH kaita 2007m. IM stotyse ir Preiloje (LT15)

Rūgštūs krituliai (2.17 pav.),  $pH < 5.0$ , visose stotyse vyravo per sausio – kovo ir lapkričio – gruodžio mėnesius. Aukštaitijoje nuo balandžio iki lapkričio mėn. kritulių pH kito nuo 5.09 (spalio mėn.) iki 6.02 (balandžio mėn.). Žemaitijoje tik balandžio mėn. krituliai buvo beveik neutralūs:  $pH = 5.80$ , o per likusius mėnesius kito nuo 4.65 iki 5.28. Preiloje vidutinės mėnesių kritulių pH vertės didesnės nei 5.0, gautos per balandžio – gegužės ir liepos – rugpjūčio mėn. 2007 m. metinės pH vertės, įvertinant kiekvieno mėnesio kritulių kiekį ir matuotas krituliuose pH vertes, yra – 4.90 (LT01), 4.85 (LT03) ir 4.82 (LT15).

Pagrindinių cheminių komponentų mėnesio koncentracijos krituliuose Aukštaitijoje (2.18 pav.) kito tokiaime intervale: sulfatai nuo 0.19 iki 0.55 mgS/l, nitratai nuo 0.16 iki 0.51 mgN/l, amonis nuo 0.15 iki 0.77 mgN/l, chloridas nuo 0.12 iki 1.20 mg/l, natris nuo 0.10 iki 0.60 mg/l, kalis nuo 0.03 iki 0.16 mg/l, kalcis nuo 0.12 iki 1.20 mg/l ir magnis nuo 0.02 iki 0.14 mg/l. Didesnės cheminių priemaišų koncentracijos matuotos per balandžio ir gruodžio mėn., esant mažiausiems (21 ir 19 mm/mėn.) kritulių kiekiams per 2007 m.

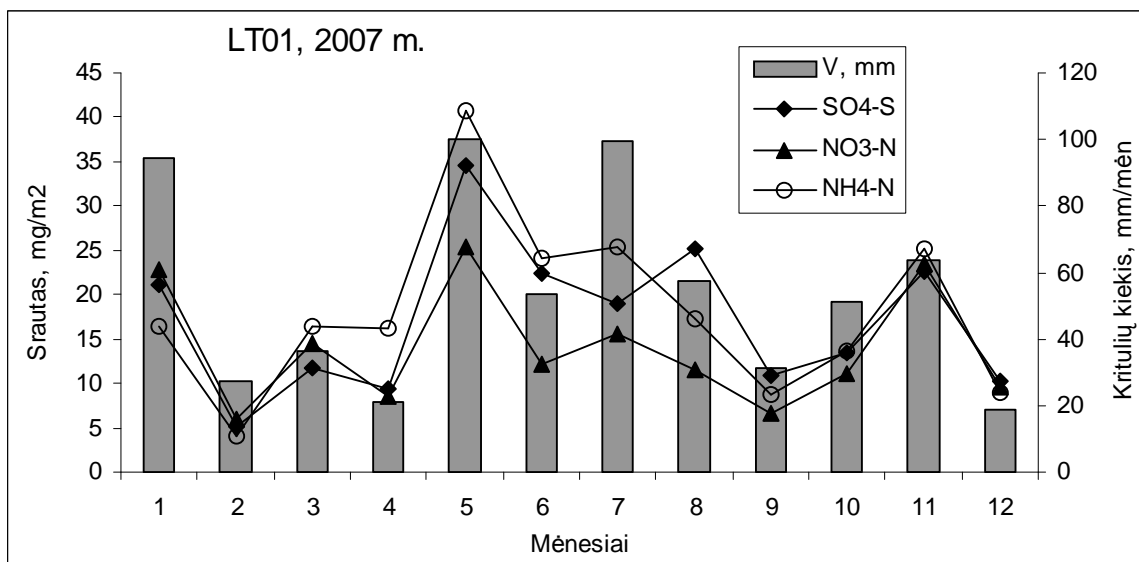


2.18 pav. Pagrindinių cheminių komponentų mėnesio koncentracijų ir kritulių kiekio kaita 2007 m. Aukštaitijos IMS (LT01)

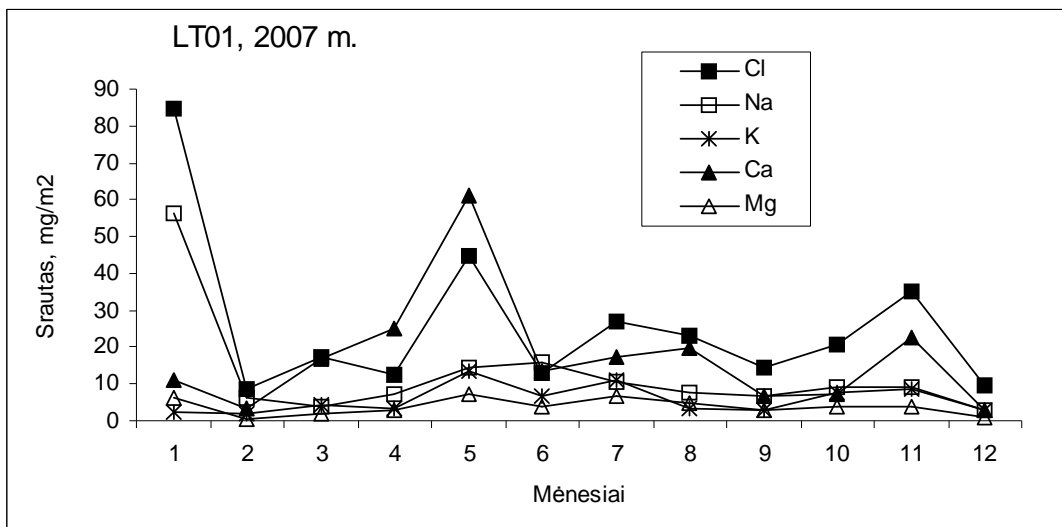
Teršalų koncentracijos daugiausiai priklausė nuo kritulių kiekio. Visų komponentų koncentracijų sumažėjimas ypač gerai matomas liepos mėn., esant kritulių kiekiui 100 mm/mėn. Nebūdingas Aukštaitijoje gan dideles  $\text{Na}^+$  ir  $\text{Cl}^-$  koncentracijas krituliuose sausio mėn., matyt, lėmė stiprūs, per šį mėnesį vyraujantys šiaurės vakarų – šiaurės krypties vėjai. Šių jūros druskos komponentų koncentracijų padidėjimas sausio mėn. krituliuose gautas Žemaitijoje ir, be abejonės, Preiloje.

Cheminių priemaišų šlapieji srautai suskaičiuoti įvertinant matuotas jų koncentracijas krituliuose ir kritulių kiekius. Todėl, šių srautų kaitą lemia ir cheminių priemaišų koncentracijos krituliuose, ir kritulių kiekis. Cheminių priemaišų šlapiųjų srautų metinė kaita Aukštaitijoje (LT01) pateikiama 2.19 ir 2.20 paveiksluose.

Didžiausias kiekis sieros ir azoto su krituliais į ekosistemas Aukštaitijoje pateko per gegužės mėn.:  $34.5 \text{ mgS/m}^2$ ,  $25.4 \text{ mgN/m}^2$  (nitratinio) ir  $40.8 \text{ mgN/m}^2$  (amonio). Per visus 2007 metus Aukštaitijoje į ekosistemas pateko  $205.65 \text{ mgS/m}^2$ ,  $166.82 \text{ mgN/m}^2$  (nitratinio) ir  $217.2 \text{ mgN/m}^2$  (amonio). Labiausiai rūgščios buvo lapkričio mėn. šlapiosios iškritos: esant kritulių  $\text{pH} = 4.19$  ir jų kiekiui 64 mm, į ekosistemas iškrito  $4.14 \text{ mekv/m}^2 \text{ H}^+$  ir tai sudarė 49.7 % 2007 m. metinio kiekio. Mažiausi sieros ir azoto, o taip pat ir likusiųjų cheminių priemaišų šlapieji srautai gauti vasario, balandžio ir gruodžio mėn. Jų indėliai į metinius 2007 m. srautus daugumoje neviršijo 6 %. Mažiausiai rūgščios ( $0.2 \text{ mekv/m}^2 \text{ H}^+$ ) šlapios iškritos buvo balandžio mėn., esant kritulių  $\text{pH} = 6.02$ .

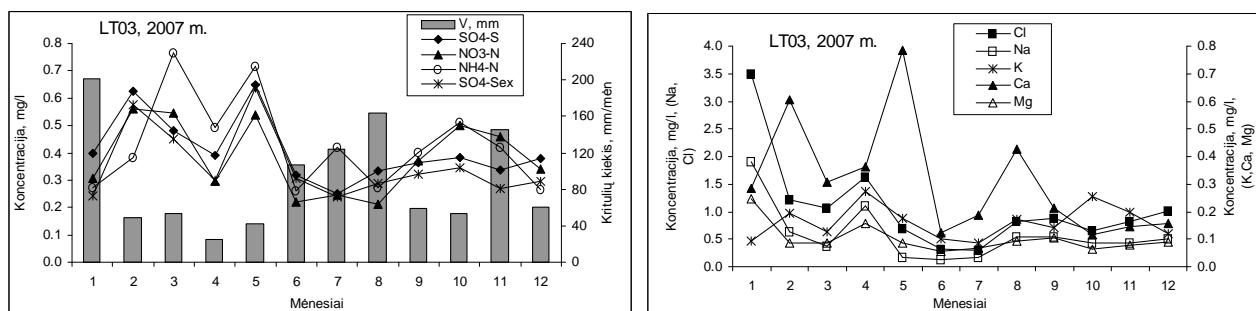


**2.19 pav.**  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  ir  $\text{NH}_4^+$  šlapiųjų srautų ir kritulių kiekio kaita 2007 m. Aukštaitijos IMS (LT01).

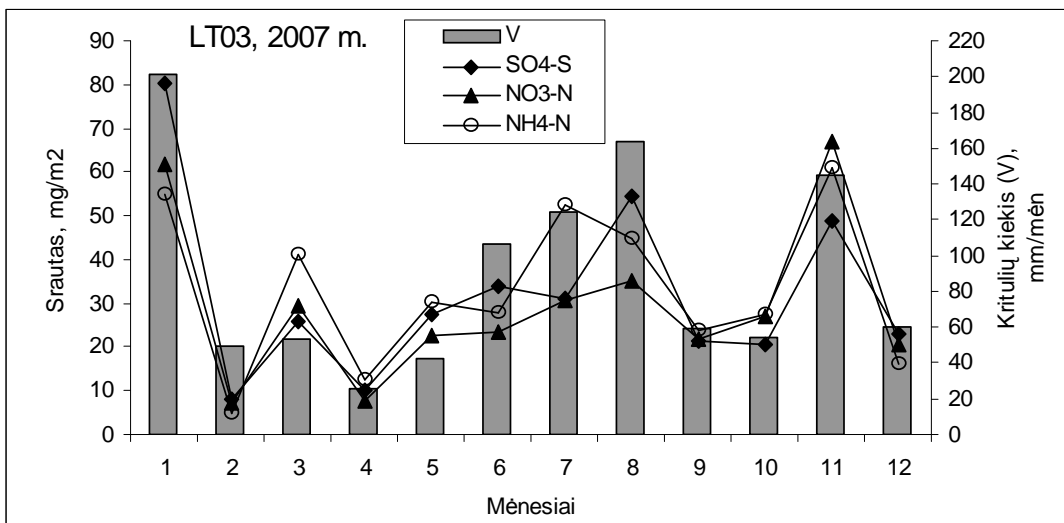


2.20 pav. Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> ir Ca<sup>2+</sup> šlapiojo srauto kaita 2007 m. Aukštaitijos IMS (LT01).

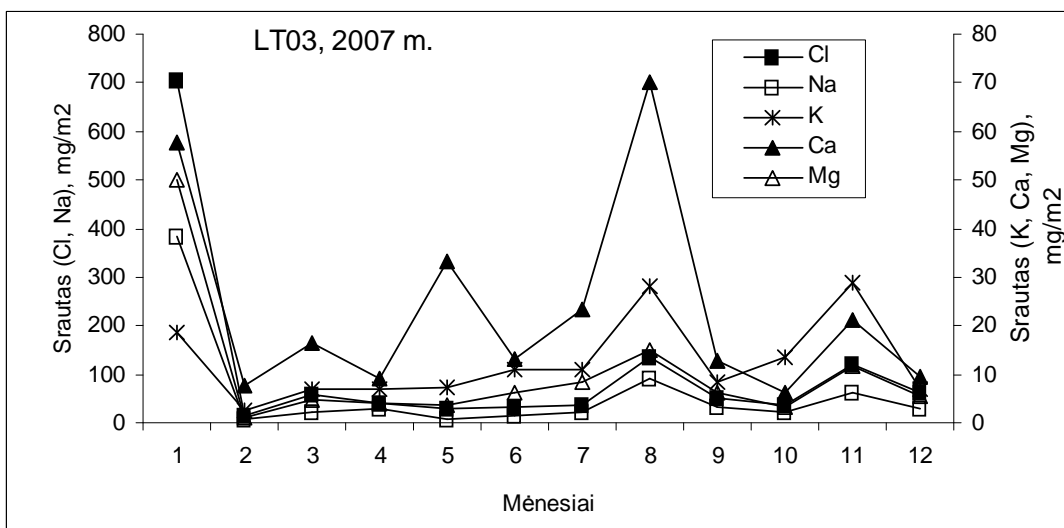
Pagrindinių cheminių komponentų mėnesio vidutinių koncentracijų krituliuose kaitos intervalas Žemaitijoje (2.21 pav.) gautas toks: sulfatams nuo 0.25 iki 0.65 mgS/l, nitratams nuo 0.21 iki 0.56 mgN/l, amoniui nuo 0.26 iki 0.76 mgN/l, chloridui nuo 0.30 iki 3.49 mg/l, natriui nuo 0.13 iki 1.91 mg/l, kaliui nuo 0.09 iki 0.27 mg/l, kalciui nuo 0.12 iki 0,61 mg/l ir magniui nuo 0.06 iki 0.25 mg/l. Didesnes cheminių komponentų koncentracijas vasario-gegužės mėn., o taip pat ir rugsėjo-spalio mėn., lėmė nedideli kritulių kiekiai per šiuos mėnesius. Baltijos jūros įnašas į sulfatų koncentraciją krituliuose Žemaitijoje gautas didžiausias sausio mėn., esant didžiausioms jūros druskos cheminių komponentų koncentracijoms. Tai rodo natrio ir chlorido koncentracijos atmosferos krituliuose.



2.21 pav. Pagrindinių cheminių komponentų mėnesio koncentracijų ir kritulių kiekio kaita 2007 m. Žemaitijos IMS (LT03)



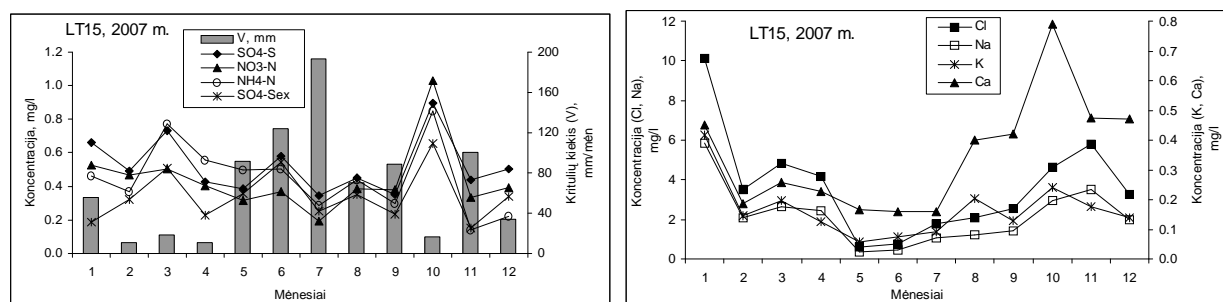
2.22 pav. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ir NH<sub>4</sub><sup>+</sup> šlapiųjų srautų ir kritulių kiekio 2007 m. kaita Žemaitijos IMS (LT03).



2.23 pav. Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> ir Ca<sup>2+</sup> šlapiųjų srautų kaita 2007 m. Žemaitijos IMS (LT03).

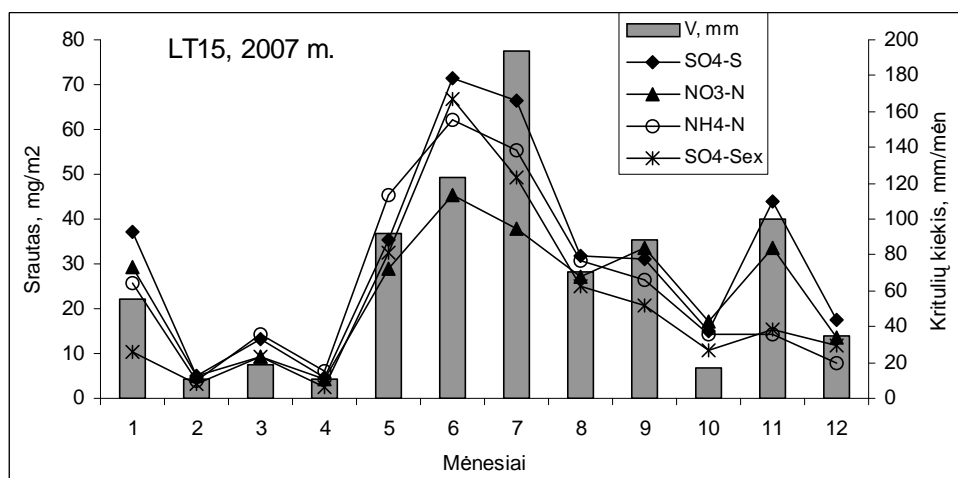
Didžiausi kiekiai sieros ir azoto su krituliais į ekosistemas Žemaitijoje (2.22 pav.) pateko per sausio ir lapkričio mėn.: 80.2 ir 49.0 mgS/m<sup>2</sup>, 61.6 ir 67.0 mgN/m<sup>2</sup> (nitratinio) ir 55.1 ir 61.1 mgN/m<sup>2</sup> (amonio). Per visus 2007 metus Žemaitijoje į ekosistemas pateko 385 mgS/m<sup>2</sup>, 354 mgN/m<sup>2</sup> (nitratinio) ir 397 mgN/m<sup>2</sup> (amonio). Labiausiai rūgščios buvo lapkričio ir birželio mėn. šlapiosios iškritos. Birželio mėn., esant kritulių pH =4.88 ir jų kiekiui 106.5 mm, į ekosistemas iškrito 3.22 mekv/m<sup>2</sup> H<sup>+</sup> ir tai sudarė 21.1 % 2007 m. metinio kiekio. Lapkričio mėn., esant kritulių pH =4.65 ir jų kiekiui 145 mm, į ekosistemas iškrito 3.24 mekv/m<sup>2</sup> H<sup>+</sup> ir tai sudarė 21.2 % 2007 m. metinio kiekio.

Pagrindinių cheminių komponentų kiekvieno mėnesio vidutinės-tūrinės koncentracijos Preiloje, suskaičiuotos vertinant matuotas teršalų koncentracijas ir kritulių kiekį kiekviename paros kritulių bandinyje, pateikiamos 2.24 paveiksle. Vidutinė mėnesio sulfatų koncentracija Preiloje kito nuo mažiausios 0.34 (liepos mėn.) iki didžiausios 0.73 mgS/l (spalio mėn.). Gauta panaši ir nitratų mėnesio koncentracijų kaitos tendencija. Amonio koncentracija buvo mažiausia (0.14 mgN/l) lapkričio mėn., o didžiausia – 0.77 mgN/l kovo ir spalio mėn. Didžiausios jūros druskų koncentracijos gautos sausio ir lapkričio mėn.



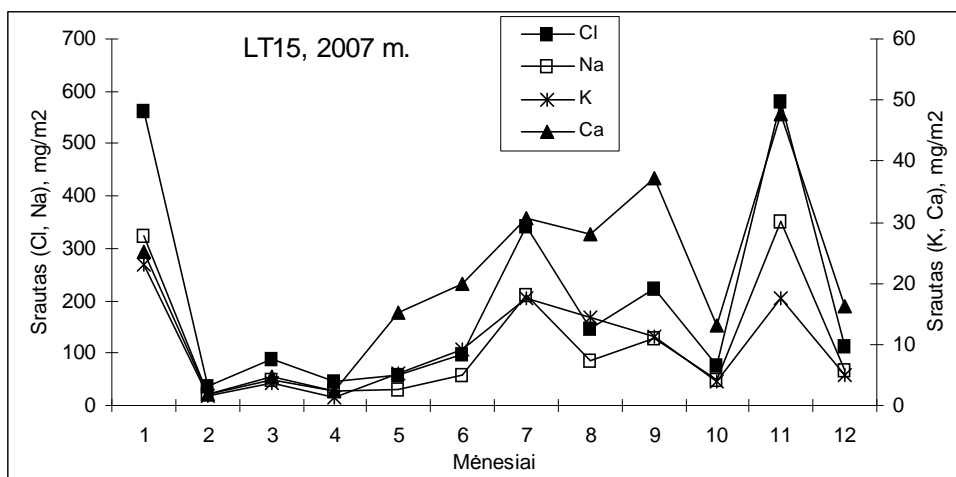
**2.24 pav.** Pagrindinių cheminių komponentų mėnesio koncentracijų ir kritulių kiekio kaita 2007 m. Preiloje (LT15).

Mažesnes  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  ir  $\text{NH}_4^+$  koncentracijas galima sieti su didesniu kritulių kiekiu, ir atvirkščiai, didesnės šių cheminių komponentų koncentracijos matuotos, kai kritulių kiekis neviršijo 20 mm/mėn. Nagrinėjant sulfatų koncentracijas Preiloje matyti, kad didžiausias sulfatų indėlis iš Baltijos jūros buvo sausio ir lapkričio mėn. Šių mėn. jūrinės kilmės sulfatų kiekiai išskritose siekė 50 %. Per kitus 2007 m. metų mėnesius sulfatų įnašas iš jūros kito nuo 1.6 iki 10 %.



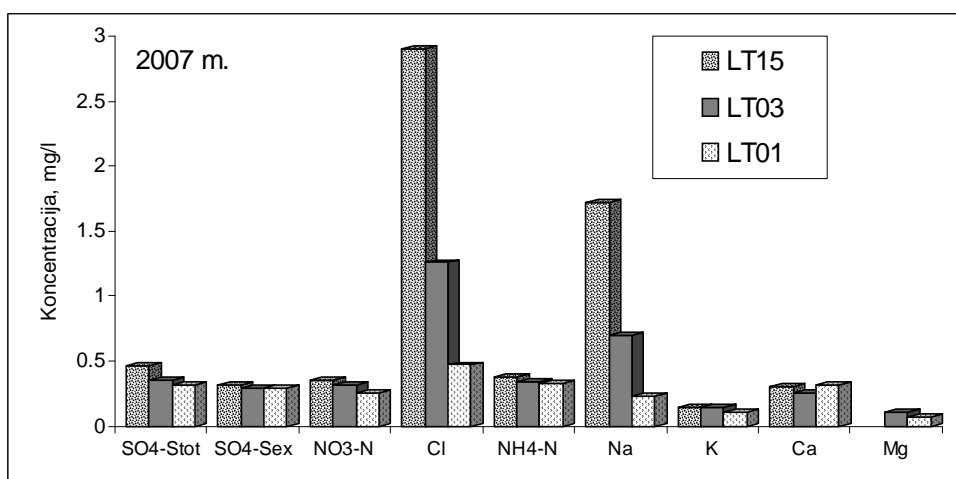
**2.25 pav.**  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  ir  $\text{NH}_4^+$  šlapiųjų srautų ir kritulių kiekio kaita 2007 m. Preiloje.

$\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  ir  $\text{NH}_4^+$  šlapiųjų srautų per mėnesį didėjimą gegužės – liepos bei lapkričio mėn. (2.25 pav.) daugiausiai lėmė kritulių kiekis. Per šiuos 4 mėnesius iškrito 63 % viso metinio kritulių kiekio (814 mm) ir per šį laikotarpį sulfatinės sieros –58 % , nitratinio azoto – 51 % ir amonio azoto - 58 % metinio kiekio.



2.26 pav.  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  ir  $\text{Ca}^{2+}$  šlapiųjų srautų kaita 2007 m. Preiloje (LT15)

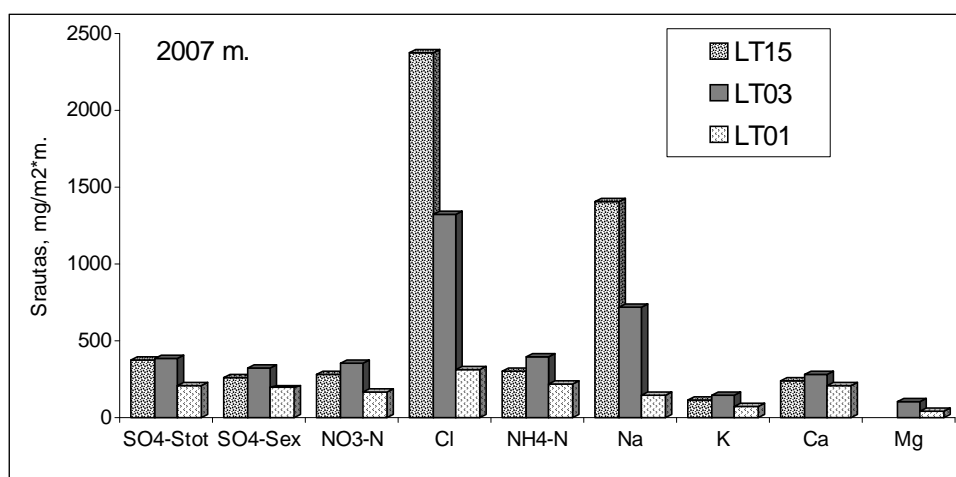
Šių cheminių komponentų (2.26 pav.) sausio mėn. dideli šlapiji srautai buvo dėl  $\text{Na}^+$  ir  $\text{Cl}^-$  padidėjusių koncentracijų krituliuose, o lapkričio mėn. – dėl didelio kritulių kiekio (100 mm/mėn.). Per sausio, lapkričio ir liepos mėnesius  $\text{Na}^+$  ir  $\text{Cl}^-$  kiekiai šlapiuose iškritose siekė 63 % metinio jų kiekio. Rūgščiausios šlapiosios iškritos Preiloje buvo birželio, liepos ir lapkričio mėn. Per šiuos mėnesius  $\text{H}^+$  kiekis iškritose buvo  $6.59 \text{ meq/m}^2$  (54 % metinio jų kiekio). Per visus 2007 m. jų kiekis buvo  $12.32 \text{ meq/m}^2$ .



2.27 pav. Pagrindinių cheminių komponentų vidutinių metinių koncentracijų krituliuose erdvinė kaita

Palyginus pagrindinių cheminių komponentų metines koncentracijas (2.27 pav.) nustatyta, kad  $\text{Na}^+$  ir  $\text{Cl}^-$  metinės koncentracijos 2007 m. didžiausios buvo Preiloje: atitinkamai 1.72 ir 2.91 mg/l. Žemaitijos IM stotyje jos nustatytos du kartus mažesnės: 0.7mg/l ( $\text{Na}^+$ ) ir 1.26 mg/l ( $\text{Cl}^-$ ), o Aukštaitijos IM stotyje - 0.23 mg/l ( $\text{Na}^+$ ) ir 0.47 mg/l ( $\text{Cl}^-$ ). Neįurinės kilmės sulfatų koncentracija ( $\text{SO}_4\text{-S}_{\text{ex}}$ ) ir Aukštaitijoje, ir Žemaitijoje yra vienoda: 0.29 mgS/l, o Preiloje – 0.32 mgS/l. Nitratų ir amonio koncentracijų erdvinėje kaitoje matoma mažėjimo tendencija rytų kryptimi, t.y.  $\text{NO}_3^-$  - 0.35 mgN/l (Preiloje), 0.32 mgN/l (LT03) ir 0.25 mgN/l (LT01) ir  $\text{NH}_4^+$  0.38, 0.34 ir 0.33 mgN/l atitinkamai Preiloje, LT03 ir LT01. Tačiau,  $\text{Ca}^{2+}$  metinė koncentracija Aukštaitijos IMS gauta didesnė nei Preiloje ir Žemaitijos IMS: atitinkamai 0.32, 0.30 ir 0.25 mg/l. Rūgščiausi krituliai 2007 m. buvo Preiloje. Tai rodo metinės pH kritulių vertės: Preiloje – 4.82, LT03 – 4.85 ir LT01 – 4.90.

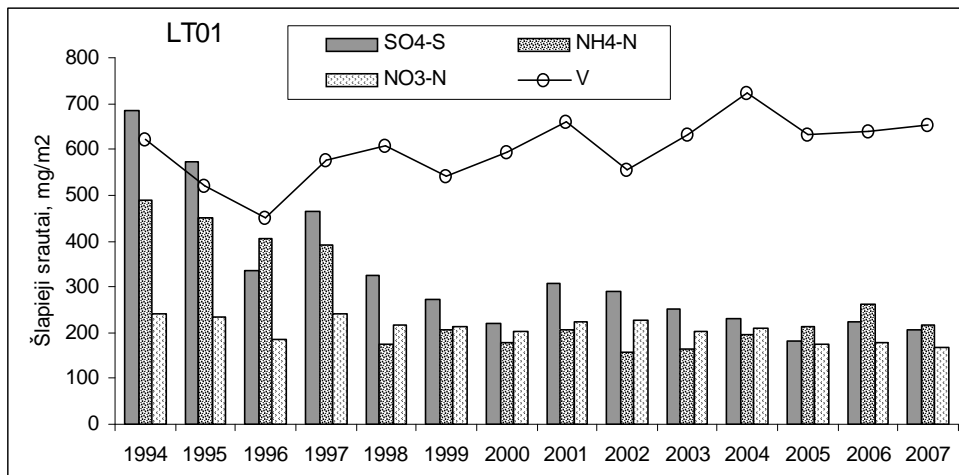
2.28 paveiksle pateikiami pagrindinių teršalų šlapiųjų metinių srautų, kurie skaičiuoti naudojant teršalų koncentracijas krituliuose ir kritulių kiekius, erdvinė kaita. Akivaizdu, kad daugumai tirtų elementų srautai yra didesni Žemaitijos IM stotyje (LT03) dėl didesnio kritulių kiekio 2007 m. šioje tyrimo vietoje, nes skirtumai metinių koncentracijų erdvinėje kaitoje yra nedideli, išskyrus  $\text{Na}^+$  ir  $\text{Cl}^-$  (2.27 pav.).



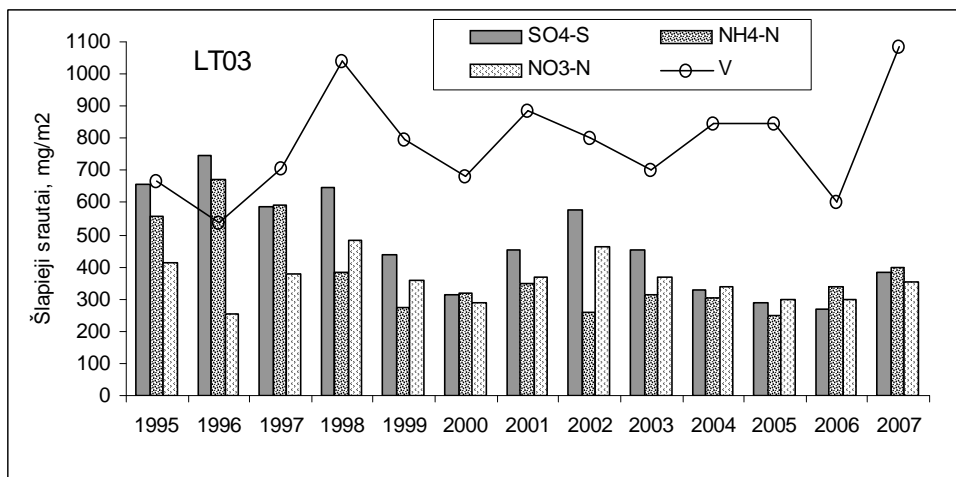
**2.28 pav.** Pagrindinių cheminių komponentų šlapiųjų srautų erdvinė kaita 2007 m.

Sieros ir azoto junginių srautų ir kritulių kiekio kaita nuo 1994 m. iki 2007 m. Aukštaitijoje, Žemaitijoje ir Preiloje pateikiama 14, 15 ir 16 paveiksluose. Vertinant pateiktą duomenų visumą, galima teigti, kad stebima sulfatų ir amonio srautų mažėjimo tendencija, kuri ypatingai ryški buvo nuo 1994 iki 1998 m. Tačiau, sunku išvėlgti vienareikšmę kaitos tendenciją nitratinio azoto sraute per visą tiriamąjį laikotarpį visose stotyse.

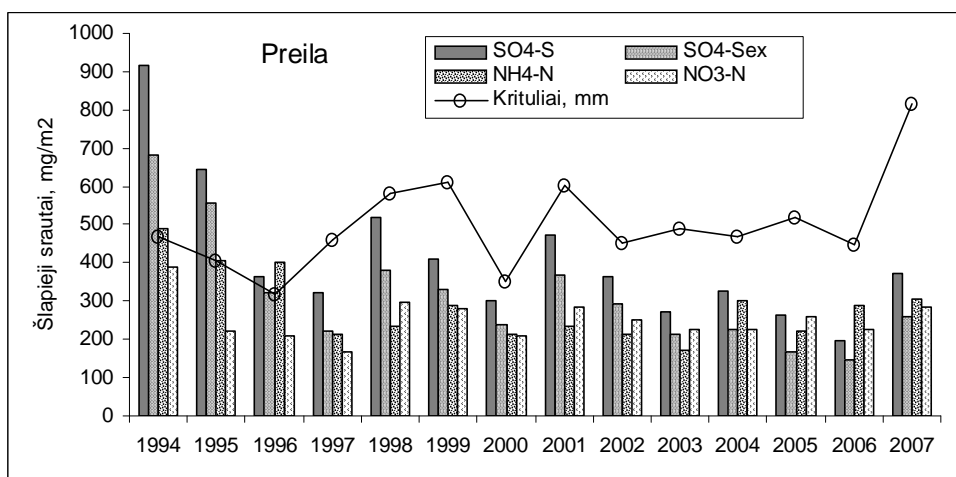




2.29 pav. Sieros ir azoto junginių srautų ir kritulių kiekio (V, mm/m.) kaita LT01



2.30 pav. Sieros ir azoto junginių srautų ir kritulių kiekio (V, mm/m.) kaita LT03



2.31 pav. Sieros ir azoto junginių srautų ir kritulių kiekio (V, mm/m.) kaita LT15

Teršalų šlapiųjų srautų ilgalaikės kaitos tendencijų ir pokyčių vertinimui pasirinkome neparametrinį Mann-Kendalio statistinį metodą [1], kuris naudojamas atmosferos chemijos srityje vertinant ilgalaikius (> 10 metų) teršalų pokyčius ore ir krituliuose. Jis skaičiuoja statistinį kriterijų (Z), kurio absoliutus dydis nurodo koncentracijų kitimo tendenciją pasirinktame reikšmingumo lygmenyje ( $\alpha$ ): 0.1, 0.05, 0.01 ir 0.001. Teigiamas arba neigiamas Z dydžio ženklas rodo koncentracijų didėjimo arba mažėjimo tendenciją, o kriterijus tuo geresnis, kuo mažesnis reikšmingumo lygmuo  $\alpha$ .

Teršalų srautų kaitos polinkio skaičiavimams parinktas Sen's metodas [2]. Šis neparametrinis statistinis metodas skaičiuoja vidutinį polinkį, t.y. teršalo koncentracijos arba srauto pokytį per metus, bei mažiausią (Min) ir didžiausią (Max) polinkius, esant 95 % pasikliautiniam intervalui.

**2.2 lentelė.**  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ir  $\text{H}^+$  šlapiųjų srautų ir kritulių kiekio kaitos 1994-2007 m. statistiniai duomenys.

Cheminė komponentė	Vieta	Kriterij us Z	Reikšmingu mo lygmuo $\alpha$	Sen's kaitos polinkis, mg/m <sup>2</sup> per metus			Pokytis % per 14m.
				Vid.	Min.95	Max.95	
$\text{SO}_4^{2-}$ -S	LT01	-3.832	0.001	-25.83	-39.04	-11.90	-53
	LT03	-2.867	0.01	-34.76	-50.78	-16.40	-69
	LT15	-2.847	0.01	-25.93	-44.31	-8.33	-54
$\text{NO}_3^-$ -N	LT01	-2.847	0.01	-5.17	-6.61	-1.64	-30
	LT03	-0.915	>0.1	-4.88	-17.03	6.55	-15
	LT15	0.328	>0.1	0.31	-11.51	6.70	2
$\text{NH}_4^+$ -N	LT01	-1.423	>0.1	-17.24	-35.88	2.16	-49
	LT03	-1.769	0.1	-17.37	-43.16	3.03	-40
	LT15	-1.204	>0.1	-8.74	-27.81	4.13	-25
$\text{Ca}^{2+}$	LT01	-1.314	>0.1	-9.42	-29.78	6.97	-36
	LT03	-1.403	>0.1	-21.06	-60.11	16.01	-59
	LT15	-1.861	0.1	-18.62	-49.69	2.94	-63
$\text{H}^+$	LT01	-0.328	>0.1	-0.13	-1.32	0.51	-7
	LT03	1.589	>0.1	0.73	-0.20	1.44	69
	LT15	0.438	>0.1	0.20	-1.02	0.71	13
Kritulių kiekis, mm	LT01	2.518	0.05	9.00	2.65	19.76	20
	LT03	1.403	>0.1	18.70	-11.32	38.39	37
	LT15	1.204	>0.1	9.50	-6.66	28.98	28

Gauti rezultatai, pateikti 2.2 lentelėje, rodo  $\text{SO}_4^{2-}$  šlapiųjų srautų aiškia tendenciją mažėti, esant gan aukštam reikšmingumo lygmeniui. Viso laikotarpio (per 14 m.) sulfatų srautų pokyčiai suskaičiuoti -53 % Aukštaitijoje, -69 % Žemaitijoje ir -54 %. Preiloje. Nitratinio azoto srauto Z kriterijus

Preiloje gautas teigiamas ir tai rodo srauto tendenciją didėti, nors esant ir nedideliu kaitos polinkiui (0.31 mgN/m<sup>2</sup> per metus). Vertinant šios komponentės šlapiųjų srautų kaitos tendencijas per laiką nuo 1994 iki 2007 m. Žemaitijos ir Aukštaitijos IM stotyse, gautos Z kriterijaus neigiamos reikšmės, tačiau su žemu reikšmingumo lygmeniu. Iš pateiktų duomenų matyti, kad amonio ir kalcio šlapieji srautai mažėja. Teigiami Z dydžiai kritulių kiekiui visose tyrimų vietose rodo jų didėjimo tendenciją, tačiau su gan žemu reikšmingumo lygmeniu.

## **IŠVADOS**

Vertinant cheminių priemaišų foninių koncentracijų atmosferos iškritose 2007 m tyrimų duomenis, daromos tokios išvados:

- Didelis koncentracijų kaitos intervalas savaitės kritulių bandiniuose yra būdingas daugumai tirtų cheminių priemaišų.

- Gauta pagrindinių teršalų vidutinių metinių koncentracijų atmosferos krituliuose mažėjimo rytų kryptimi tendencija.

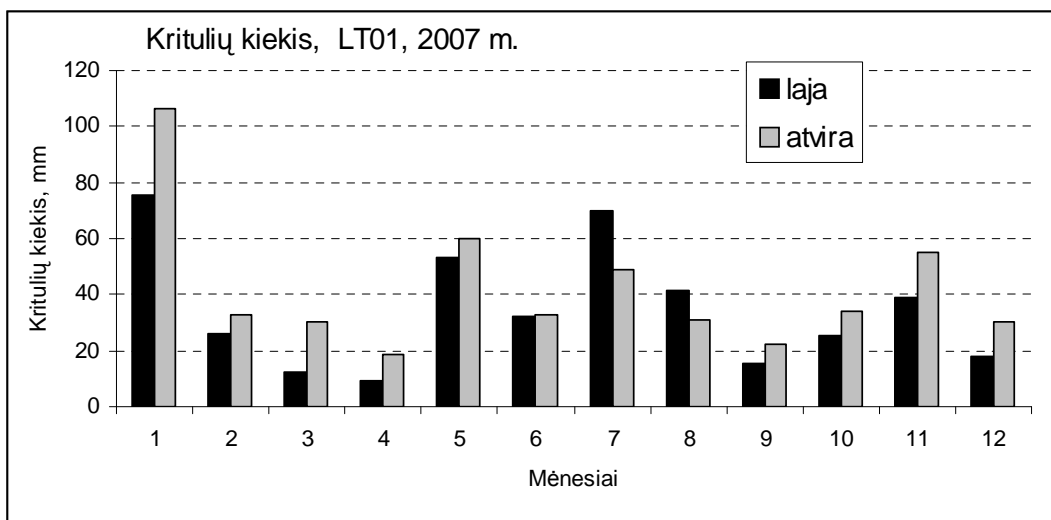
- Krituliai, kurių pH < 5.0, buvo per sausio –kovo ir per rugsėjo –gruodžio mėnesius. Rūgščiausi krituliai buvo Preiloje ir Žemaitijoje.

- Įvertinta pagrindinių cheminių priemaišų šlapiųjų srautų dinamika per pastaruosius 14 metų: sieros šlapiasis srautas į ekosistemas sumažėjo Aukštaitijoje 53 % ir Žemaitijoje 69 %, amoniakinio azoto - sumažėjo 49 % Aukštaitijoje ir 40 % Žemaitijoje, nitratinio azoto sumažėjo - 30 % Aukštaitijoje ir 15 % Žemaitijoje.

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

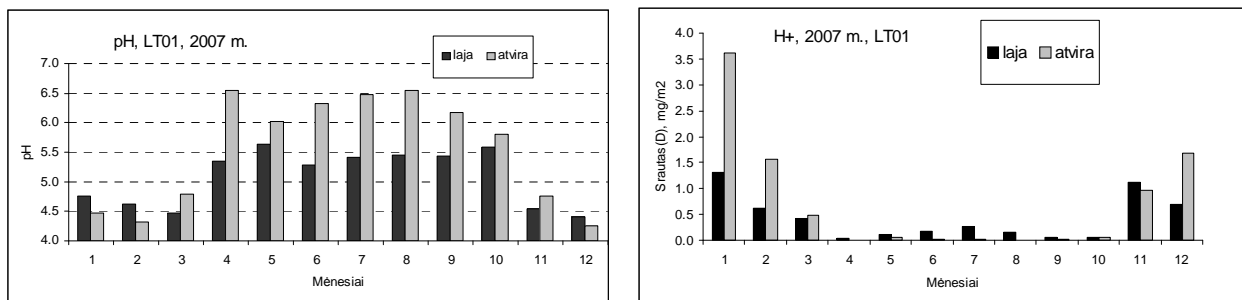
### 2.3.1. Aukštaitijos IM stotis (LT01).

Atmosferos kritulių kiekis yra vienas iš veiksnių, darantis įtaką cheminių priemaišų koncentracijoms krituliuose. 2.32 paveiksle pateikti duomenys rodo, kad kritulių kiekis per mėnesį atviroje vietoje kito nuo 18.6 mm (balandžio mėn.) iki 106.0 mm (sausio mėn.) ir atitinkamai po lają nuo 9.3 mm iki 75.2 mm. Kritulių kiekio santykis (po lają/atvira vieta) kito nuo 0.45 iki 1.4. Šis santykis gautas mažiausias, esant nedideliam kritulių kiekiui, o vidutinė metinė santykio reikšmė 2007 m. yra 0.83., Todėl galima sakyti, kad šioje tyrimo vietoje laja sulaukė apie 17 procentų metinio kritulių kiekio.



2.32 pav. Kritulių kiekio kaita po lają ir atviroje vietoje LT01, 2007 m.

Kritulių pH (2 pav.) rodo, kad ir polajiniai krituliai, ir krituliai atviroje vietoje rūgščiausi buvo per sausio, vasario ir kovo mėnesius, o taip pat per lapkritį ir gruodį. Per šiuos mėnesius kritulių pH vertės buvo mažesnės nei 4.76.



2.33 pav. pH ir H<sup>+</sup> kiekio iškritose kaita po lają ir atviroje vietoje LT01, 2007 m.

Per likusius metų mėnesius vyravo mažiau rūgštūs krituliai: pH krituliuose po laja kito nuo 5.27 iki 5.64, o atviroje vietoje – nuo 5.80 iki 6.55. Metinės pH vertės krituliuose, įvertinus kritulių kiekį, rastos tokios: po laja – 4.92 ir atviroje vietoje – 4.77. Vertinant H<sup>+</sup> srauto kaitą, matyti, kad jis buvo didžiausias sausio mėn. į polajį - 1.31 mg/m<sup>2</sup>, esant kritulių pH=4.76, o atviroje vietoje - 3.60 mg/m<sup>2</sup>, esant pH = 4.47, bei didžiausiam per 2007 m. kritulių kiekiui per mėnesį (1 pav.). Mažiausiai rūgščios iškritos buvo nuo balandžio iki lapkričio mėn. ir jos kito nuo 0.01 iki 0.27 mg/m<sup>2</sup> per mėnesį. Duomenys rodo, kad rūgščių iškritų metinis srautas į paklotę atviroje vietoje buvo 8.48 mg/m<sup>2</sup> ir į polajį - 5.04 mg/m<sup>2</sup>, t.y. 40 % mažesnis nei atviroje vietoje, matyt, dėl mažesnio kritulių metinio kiekio ir aukštesnių pH verčių ypač per žiemos mėnesius

2.3 ir 2.4 lentelėse pateikiamos cheminių priemaišų koncentracijos krituliuose, rinktuose po laja ir atviroje vietoje, 2007 m.

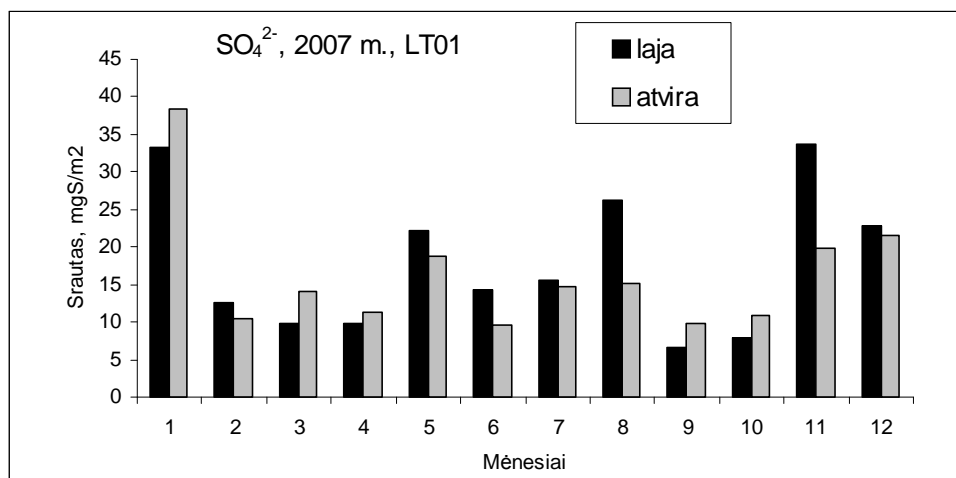
**2.3 lentelė.** pH ir pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos krituliuose po laja 2007 m. LT01.

Mėnuo	pH	Koncentracija (mg/l) krituliuose po laja							
		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
1	4,76	0,44	0,31	2,23	0,08	1,28	0,62	0,46	0,23
2	4,63	0,49	0,45	1,11	0,21	0,66	0,31	0,37	0,11
3	4,46	0,80	0,82	1,12	0,33	0,33	0,78	0,89	0,34
4	5,34	1,01	1,20	2,10	0,95	1,13	1,12	1,50	0,63
5	5,64	0,42	0,21	0,76	0,12	0,30	1,46	0,71	0,21
6	5,27	0,44	0,20	0,55	0,03	0,14	0,61	0,45	0,31
7	5,41	0,22	0,02	0,46	0,15	0,31	1,04	0,39	0,18
8	5,45	0,63	0,16	0,84	0,02	0,40	1,28	0,83	0,32
9	5,43	0,42	0,10	0,99	0,02	0,63	2,03	0,57	0,37
10	5,58	0,31	0,08	0,90	0,10	0,56	1,98	0,49	0,38
11	4,54	0,86	0,33	0,91	0,17	0,54	1,63	0,71	0,41
12	4,41	1,29	0,74	0,81	0,53	0,29	0,80	0,82	0,30
Metinė	4,92	0,51	0,27	1,06	0,15	0,57	1,10	0,59	0,27

Nagrinėjant sulfatų koncentracijų (2.3 ir 2.4 lentelės) ir srautų (3 pav.) metinę kaitą matyti, kad sulfatų koncentracijos krituliuose po laja didžiausios buvo balandžio ir gruodžio mėn., atitinkamai 1.06 ir 1.29 mgS/l. Per likusius pavasario, vasaros ir rudens mėn. jos kito nuo 0.22 mgS/l (liepos mėn.) iki 0.86 mgS/l (lapkričio mėn.). Sulfatų koncentracija krituliuose po laja tik liepos mėn. buvo mažesnė nei krituliuose atviroje vietoje (santykis po laja/atviroje vietoje – 0.74). Per likusius metų mėnesius šis santykis (po laja/atviroje vietoje) nuo 0.95-0.98 (rugsėjo ir spalio mėn.) iki 2.39 (lapkričio mėn.). Tai rodo, kad polajiniai krituliai praturtinami sulfatais dėl sausai nusėdusių sieros junginių (SO<sub>2</sub> ir aerosolinių SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) nuplovimo nuo lajos.

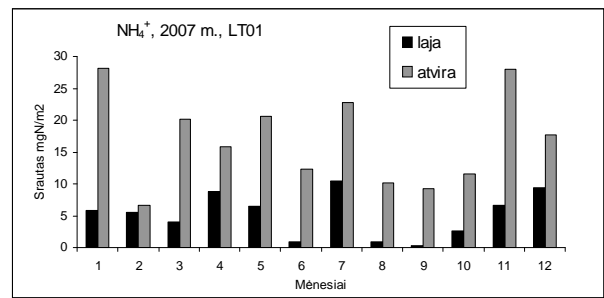
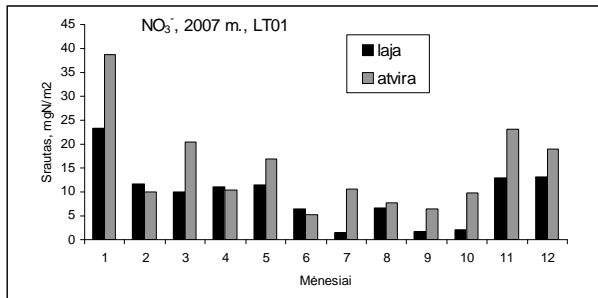
**2.4 lentelė.** pH ir pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos krituliuose atviroje vietoje 2007 m. LT01

Mėnuo	pH	Koncentracija (mg/l) krituliuose atviroje vietoje							
		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> S	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> N	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> N	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
1	4,47	0,36	0,37	1,66	0,27	1,07	0,08	0,13	0,15
2	4,32	0,32	0,31	0,39	0,20	0,33	0,06	0,09	0,04
3	4,80	0,46	0,67	0,51	0,66	0,01	0,11	0,29	0,06
4	6,54	0,60	0,56	0,75	0,85	0,64	0,21	0,81	0,21
5	6,03	0,31	0,28	0,39	0,34	0,02	0,10	0,50	0,09
6	6,32	0,29	0,16	0,18	0,38	0,13	0,08	0,15	0,04
7	6,47	0,30	0,22	0,37	0,47	0,24	0,33	0,24	0,11
8	6,55	0,49	0,25	0,60	0,33	0,30	0,11	0,55	0,16
9	6,18	0,44	0,29	0,64	0,42	0,25	0,10	0,26	0,11
10	5,80	0,32	0,29	0,57	0,34	0,19	0,45	0,17	0,19
11	4,76	0,36	0,42	0,59	0,51	0,27	0,15	0,18	0,07
12	4,25	0,72	0,63	0,61	0,59	0,29	0,23	0,30	0,09
Metinė	4,77	0,39	0,36	0,73	0,40	0,40	0,16	0,27	0,11



**2.34 pav.** SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> srauto kaita į polajį ir atviroje vietoje LT01, 2007 m.

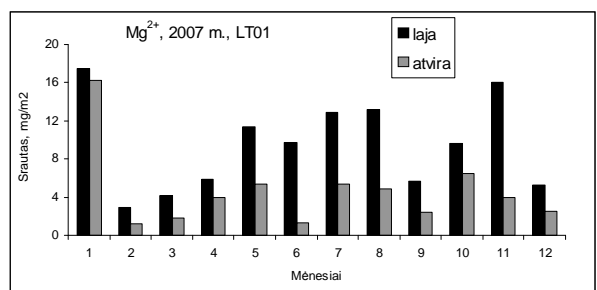
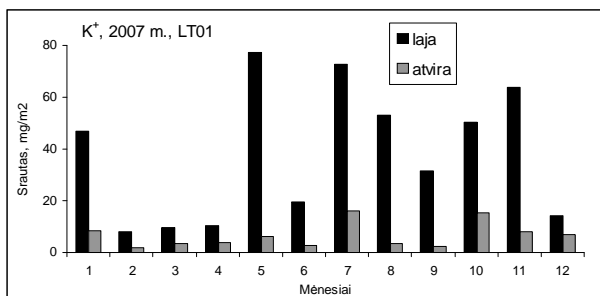
Didžiausias sieros kiekis į miško paklotę po laja pateko per lapkričio (33.7 mgS/m<sup>2</sup>) ir sausio (33.4 mgS/m<sup>2</sup>) mėnesius, o atviroje vietoje per sausio mėn. – 38.3 mgS/m<sup>2</sup>. Vertinant sieros srautų metinę kaitą matyti, kad jų dydžius lėmė ir SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> koncentracija krituliuose, ir kritulių kiekis. Visumoje per metus į miško paklotę po laja pateko 214.8 mgS/m<sup>2</sup>, tai yra 11 % daugiau nei su krituliais į paklotę atviroje vietoje (194.1 mgS/m<sup>2</sup>).



**2.35 pav.** Azoto srautų kaita į polajį ir atviroje vietoje LT01, 2007 m.

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> koncentracijų krituliuose kaitoje (2.3 ir 2.4 lentelės) matyti, kad nuo gegužės iki gruodžio mėn. nitratų koncentracija krituliuose po miško laja buvo 1.1-10 kartų mažesnė nei krituliuose atviroje vietoje, o vasario – balandžio ir gruodžio mėn. – didesnė. Ši nitratų koncentracijų metinė kaita gali būti siejama su nitratų nuplovimu nuo lajos arba išplovimu iš jos (kai koncentracija krituliuose po laja matuojama didesnė nei atviroje vietoje) ir su nitratinio azoto absorbcija laja (kai koncentracija krituliuose po laja matuojama mažesnė nei atviroje vietoje).

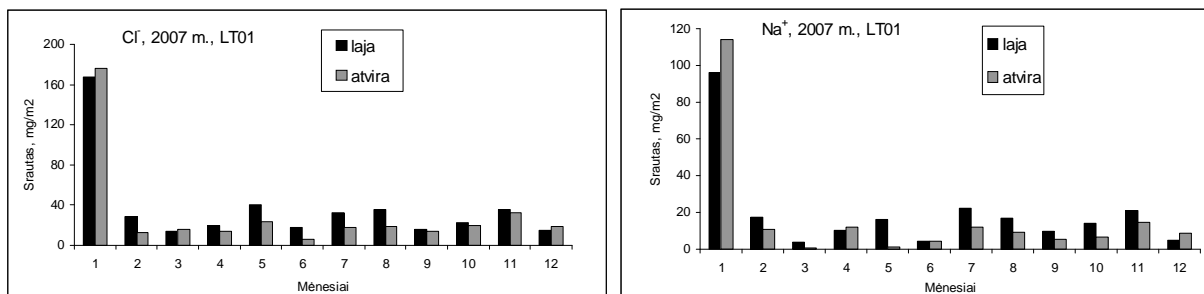
Nitratinio azoto srautas (2.35 pav.) į polajį buvo mažesnis nei atviroje vietoje per visus mėnesius, išskyrus vasario ir balandžio mėn. Apibendrinant 2007 m. visų mėnesių duomenis gauta, kad į polajį nitratinio azoto metinis srautas buvo 37 % mažesnis nei atviroje vietoje. Amonio koncentracijų santykis krituliuose po laja ir atviroje vietoje (2.3 ir 2.4 lentelės) per visus mėnesius, išskyrus vasario ir balandžio mėn., kito nuo 0.1 iki 0.9. Tai rodo, kad laja absorbuoja šioje cheminėje formoje esantį azotą ir per visus mėnesius jo srautai į miško paklotę (4 pav.) po laja buvo mažesni nei atviroje vietoje. Metinis amoniakinio azoto srautas po laja buvo 61.96 mgN/m<sup>2</sup>, o atviroje vietoje – 203.21 mgN/m<sup>2</sup>, t.y. į polajį per 2007 m. pateko 70 % mažiau šioje cheminėje formoje esančio azoto nei atviroje vietoje.



**2.36 pav.** K<sup>+</sup> ir Mg<sup>2+</sup> srautų kaita į polajį ir atviroje vietoje, LT01, 2007 m.

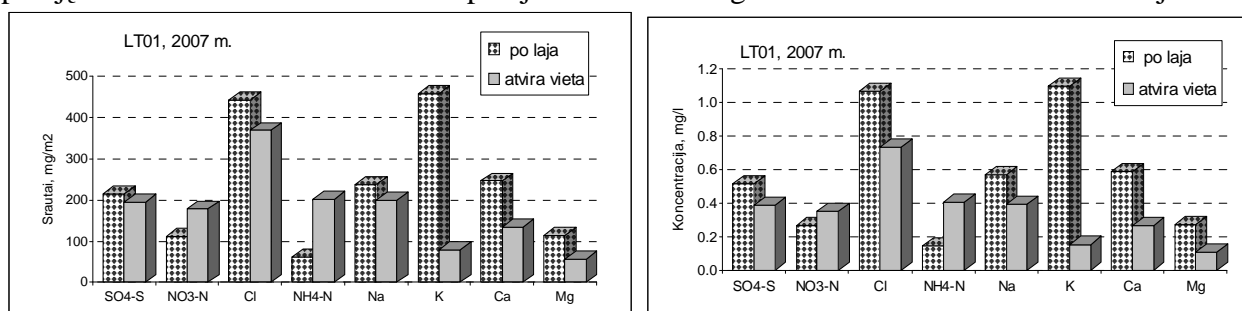
Priešingai nei NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, stebimos ryškiai didesnės K<sup>+</sup> ir Mg<sup>2+</sup> koncentracijos krituliuose po laja nei atviroje vietoje (2.3 ir 2.4 lentelės): K<sup>+</sup> koncentracijų santykis kito nuo 3.1 iki 20.0 ir Mg<sup>2+</sup> - nuo 1.7 iki 7.6. Toks žymus K<sup>+</sup>, o taip pat ir Mg<sup>2+</sup>, koncentracijų padidėjimas polajiniuose

krituliuose gali būti siejamas su šių elementų išplovimu iš lajos. Pateikti 6 pav.  $K^+$  ir  $Mg^{2+}$  srautų duomenys rodo, kad srautai į polajį visais mėnesiais buvo didesni nei atviroje vietoje, o metinių srautų santykiai (laja/atvira vieta) yra tokie:  $K^+$  - 5.8 ir  $Mg^{2+}$  - 2.1.



**2.37 pav.** Cl<sup>-</sup> ir Na<sup>+</sup> srautų kaita į polajį ir atviroje vietoje, LT01, 2007 m.

Tyrimų duomenys rodo (2.37 pav.), kad chloridų ir natrio jonų srautai buvo didesni į polajį. Metiniai Cl<sup>-</sup> ir Na<sup>+</sup> srautai su polajiniais krituliais gauti 1.2 karto didesnis nei atviroje vietoje.



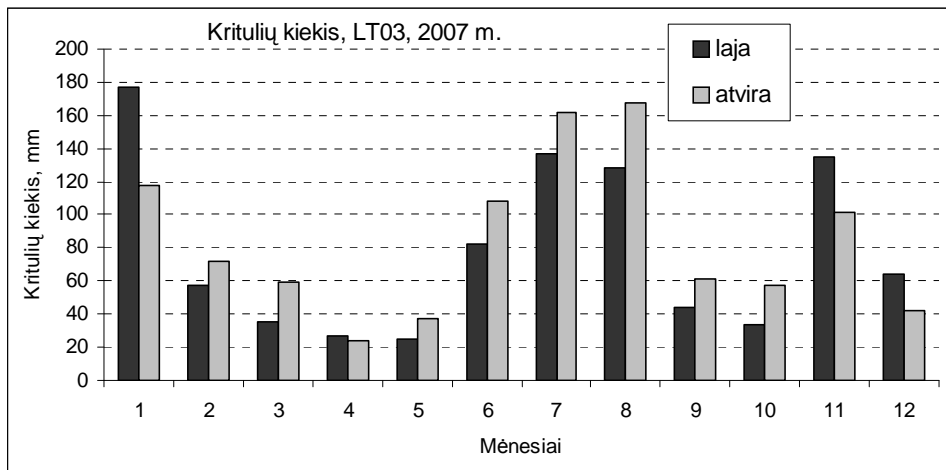
**2.38 pav.** Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos ir srautai, LT01, 2007 m.

Apibendrinti pagrindinių cheminių priemaišų tyrimų krituliuose po miško laja ir miške atviroje vietoje Aukštaitijoje duomenys pateikti 2.38 pav. rodo, kad polajiniai krituliai labiausiai praturtinami  $K^+$ , mažiau  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  ir  $SO_4^{2-}$ . Nitratinio ir amoniakinio azoto koncentracijos yra mažesnės krituliuose po laja ir į polajį patenka 45.5 % mažiau azoto nei atviroje vietoje.

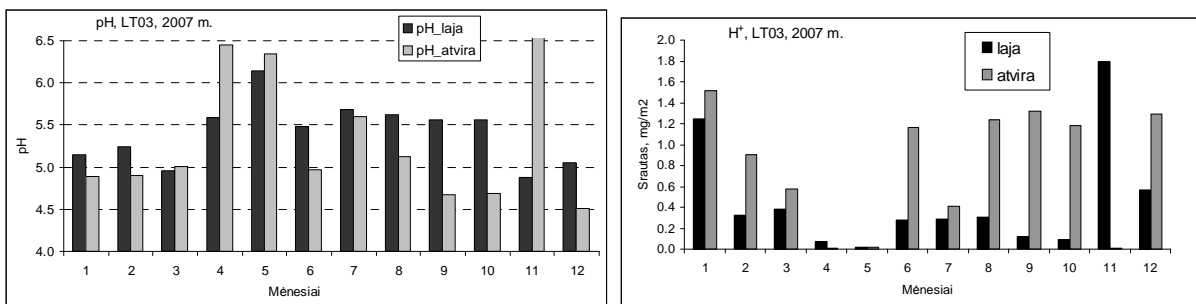
### 2.3.2 Žemaitijos IM stotis (LT03)

Iš pateiktų 9 pav. duomenų matyti, kad kritulių kiekis per mėnesį atviroje vietoje kito nuo 24.4 mm (balandis) iki 167.3 mm (rugpjūtis) ir atitinkamai po laja nuo 26.8 mm (balandis) iki 177.1 mm (sausis). Kritulių kiekio santykis (po laja/atvira vieta) kito nuo 0.6 iki 1.5. Šio santykio vidutinė metinė reikšmė 2007 m. yra 0.94, todėl galima sakyti kad po laja kritulių kiekis buvo apie 6 procentus mažesnis nei atviroje vietoje.





**2.39 pav.** Kritulių kiekio kaita po laja ir atviroje vietoje LT03, 2007 m.



**2.40 pav.** pH ir H<sup>+</sup> kiekio iškritose kaita po laja ir atviroje vietoje LT03, 2007 m.

Kritulių pH rodo (2.40 pav.), kad ir polajiniai krituliai, ir krituliai atviroje vietoje buvo rūgščiausi (pH<5.0) nuo sausio iki balandžio mėn., o taip pat ir gruodį. Mažiau rūgštūs krituliai vyravo per vasaros mėnesius: pH kito nuo 5.13 iki 7.0. Vertinant H<sup>+</sup> srauto (2.40 pav.) kaitą į polajį ir į paklotę atviroje vietoje, matyti, kad į polajį jis buvo didžiausias (1.79 mg/m<sup>2</sup>) lapkričio mėn., esant kritulių pH=4.88 ir kritulių kiekiui 135 mm/mėn., o atviroje vietoje sausio mėn. (1.52 mg/m<sup>2</sup>), esant pH = 4.89 ir kritulių kiekiui 118 mm/mėn. Mažiausiai rūgščios iškritos buvo per balandžio ir gegužės mėnesius. Duomenys rodo, kad rūgščių iškritų į polajį iškrito 43 % mažiau nei atviroje vietoje, matyt, dėl mažesnio kritulių metinio kiekio ir didesnių kritulių pH verčių nei atviroje vietoje.

2.5 ir 2.6 lentelėse pateikiami Žemaitijos KMS duomenys apie cheminių priemaišų koncentracijų krituliuose, rinktuose po laja ir atviroje vietoje, kaitą 2007 m.

**2.5 lentelė.** pH ir pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos krituliuose po laja 2007 m. LT03.

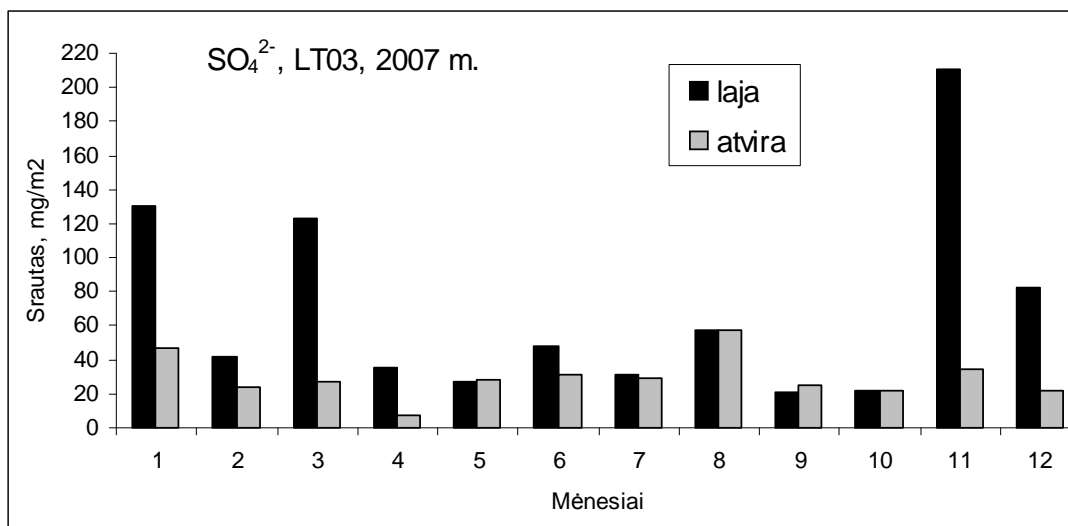
Mėnuo	pH	Koncentracija (mg/l) krituliuose po laja							
		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
1	5,15	0,74	0,22	8,83	0,06	3,84	3,25	0,94	0,44
2	5,24	0,72	0,26	3,36	0,10	1,83	1,61	0,66	0,15
3	4,97	3,46	1,10	4,47	0,06	4,41	4,15	2,88	1,32
4	5,58	1,32	0,68	4,93	0,05	2,62	5,23	2,27	1,02
5	6,15	1,06	0,01	4,41	0,01	1,40	5,75	1,09	0,44
6	5,48	0,58	0,44	1,79	0,35	0,98	4,28	1,65	0,59
7	5,68	0,22	0,10	1,00	0,08	0,56	2,37	0,66	0,24
8	5,63	0,45	0,19	1,27	0,40	0,68	2,23	0,74	0,28
9	5,56	0,48	0,30	1,90	0,46	0,95	2,65	0,67	0,26
10	5,57	0,67	0,10	4,01	0,16	1,52	4,49	0,75	0,30
11	4,88	1,56	0,27	1,94	0,16	0,96	4,00	1,47	0,47
12	5,05	1,29	0,25	1,65	0,09	1,22	2,29	0,97	0,37
Metinė	5,24	0,88	0,27	3,37	0,17	1,68	3,19	1,09	0,42

**2.6 lentelė.** pH ir pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos krituliuose atviroje vietoje 2007 m. LT03

Mėnuo	pH	Koncentracija (mg/l) krituliuose atviroje vietoje							
		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
1	4,89	0,40	0,32	3,28	0,26	1,94	0,07	0,22	0,21
2	4,90	0,33	0,21	0,60	0,20	0,28	0,15	0,17	0,05
3	5,01	0,45	0,55	0,92	0,74	0,20	0,11	0,26	0,08
4	6,45	0,28	0,21	1,15	0,59	0,72	0,17	0,37	0,21
5	6,35	0,75	0,53	0,80	1,76	0,37	0,48	0,38	0,09
6	4,97	0,29	0,29	0,43	0,29	0,21	0,15	0,21	0,07
7	5,60	0,18	0,14	0,37	0,20	0,19	0,09	0,16	0,06
8	5,13	0,34	0,21	0,97	0,21	0,67	0,22	0,20	0,10
9	4,67	0,41	0,33	0,88	0,28	0,49	0,16	0,25	0,12
10	4,69	0,38	0,47	0,66	0,41	0,60	0,23	0,17	0,07
11	7,05	0,34	0,49	0,85	0,46	0,49	0,18	2,10	0,11
12	4,51	0,51	0,51	1,13	0,47	0,49	0,16	0,21	0,11
Metinė	5,02	0,35	0,31	1,03	0,37	0,59	0,16	0,40	0,10

Nagrinėjant sulfatų koncentracijų (2.5 ir 2.6 lentelės) metinę kaitą gauta, kad sulfatų koncentracijos krituliuose po laja kito nuo 0.22 iki 3.46 mgS/l ir didžiausia ji buvo kovo mėn. Sulfatų koncentracija krituliuose atviroje vietoje buvo kelis kartus mažesnės nei krituliuose po laja: koncentracijų santykis (po laja/atviroje vietoje) kito nuo 1.2 iki 7.7, esant metinei šio santykio vertei 2.51. Tai rodo, kad polajiniai krituliai yra praturtinami sulfatais, kurie nuplaunami nuo lajos. Didžiausias sieros kiekis

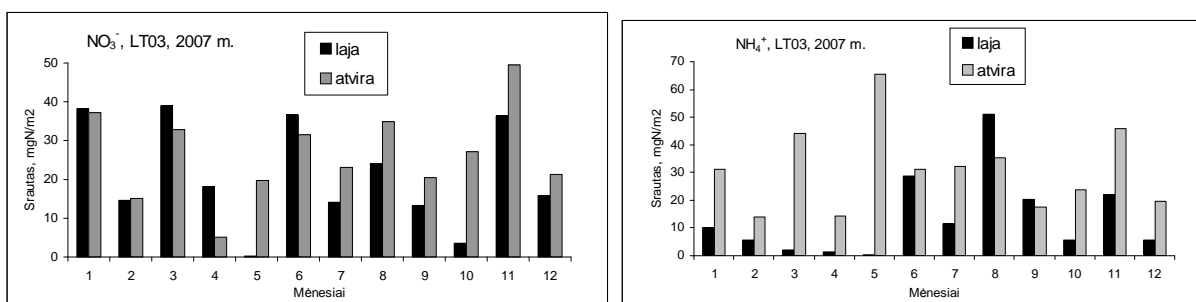
(210.6 mgS/m<sup>2</sup>) į miško paklotę po laja pateko per lapkričio mėnesį, o atviroje vietoje per rugpjūčio mėn. – 56.9 mgS/m<sup>2</sup> (2.41 pav.). Vertinant sieros srautų metinę kaitą matyti, kad jų dydžius lėmė ir SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> koncentracija krituliuose, ir kritulių kiekis. Visumoje per metus į miško paklotę po laja pateko 830.6 mgS/m<sup>2</sup>, tai yra 2.4 kartus daugiau nei su krituliais į paklotę atviroje vietoje (353.1 mgS/m<sup>2</sup>).



2.41 pav. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> srauto kaita į polajį ir atviroje vietoje LT03, 2007 m.

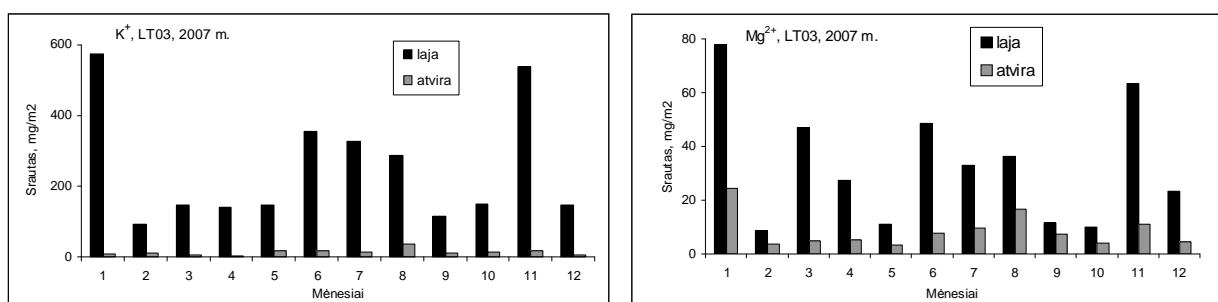
Nitratų koncentracijų krituliuose kaitoje (2.5 ir 2.6 lentelės) matyti, kad nuo kovo iki spalio mėn. NO<sub>3</sub><sup>-</sup> koncentracija krituliuose po miško laja buvo 1.1-5.7 kartų didesnė nei krituliuose atviroje vietoje, o per kitus mėnesius ji buvo mažesnė arba artima NO<sub>3</sub><sup>-</sup> koncentracijai krituliuose atviroje vietoje.

Didžiausias nitratinio azoto srautas (39.1 mgN/m<sup>2</sup>) (2.42 pav.) į polajį buvo kovo mėn., esant kritulių kiekiui 35.6 mm/mėn., o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> koncentracijai –1.10 mgN/l. Didžiausi skirtumai tarp nitratinio azoto srautų per mėnesį į miško paklotę ir atviroje vietoje rasti per balandžio, gegužės ir lapkričio mėnesius. Apibendrinant visų mėnesių duomenis per 2007 m., gauta, kad, nitratinio azoto metinis srautas į miško paklotę (254.5 mgN/m<sup>2</sup>) buvo 20 % mažesnis nei atviroje vietoje (318.2 mgN/m<sup>2</sup>).



2.42 pav. Azoto srautų kaita į polajį ir atviroje vietoje LT03, 2007 m.

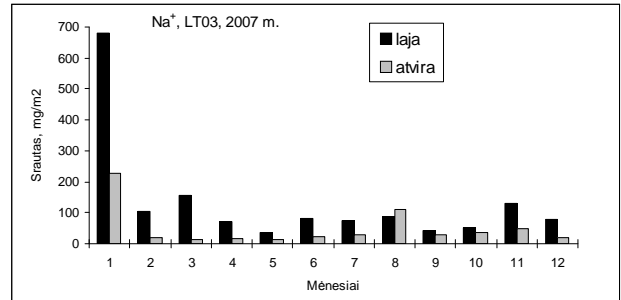
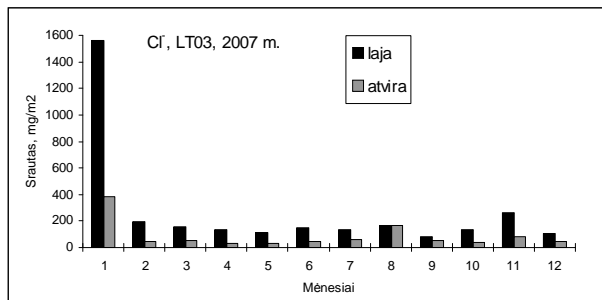
Amonio koncentracijų (2.5 ir 2.6 lentelės) kaita rodo, kad, išskyrus birželio, rugpjūčio ir rugsėjo mėn., koncentracija krituliuose po laja buvo kelis kartus mažesnė nei krituliuose atviroje vietoje. Tai rodo, kad laja absorbavo amoniakinį azotą iš atmosferos kritulių. Vertinant amonio srautų kaitą per mėnesį (2.42 pav.) nustatyta, kad jų santykis (po laja/atvira vieta) kito nuo 0.01 iki 1.4, tačiau, daugumoje atvejų, polajiniai amonio srautai buvo mažesni nei atviroje vietoje ir visumoje metinis srautas po laja ( $164.0 \text{ mgN/m}^2$ ) buvo 44 % mažesnis nei atviroje vietoje ( $374.7 \text{ mgN/m}^2$ ).



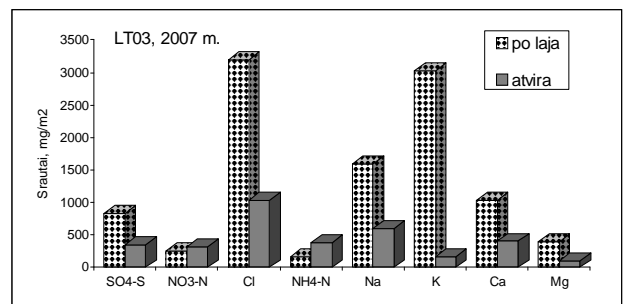
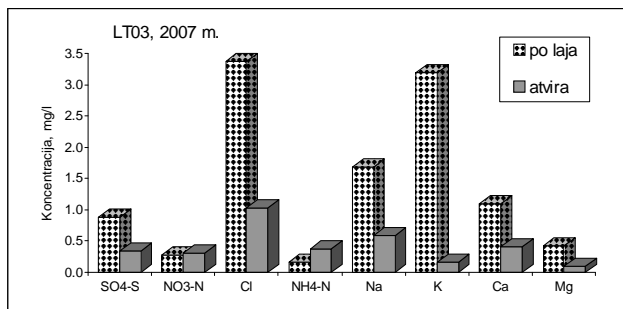
**2.43 pav.** K<sup>+</sup> ir Mg<sup>2+</sup> srautų kaita į polajį ir atviroje vietoje, LT03, 2007 m.

Padidėjusias magnio ir ypač kalio koncentracijas polajiniuose krituliuose (2.5 ir 2.6 lentelės) sąlygoja šių elementų išplovimas iš lajos, nes jų nuplovimas nuo lajos yra nereikšmingas dėl mažo atmosferinio sausojo nuotėkio. K<sup>+</sup> srautai per mėnesį (2.43 pav.) į polajį kito nuo 92 iki  $575 \text{ mg/m}^2$  ir atviroje vietoje nuo 4 iki  $37 \text{ mg/m}^2$ . Per 2007 m. kalio srautas į miško paklotę ( $3021.4 \text{ mg/m}^2$ ), palyginti su atvira vieta ( $163.2 \text{ mg/m}^2$ ), buvo 18.5 kartų didesnis. Iš pateiktų duomenų (13 pav.) matyti, kad skirtumai tarp Mg<sup>2+</sup> mėnesio srautų į polajį ir atviroje vietoje yra mažesni nei kalio: į polajį –  $8\text{--}78 \text{ mg/m}^2$  ir atviroje vietoje  $3.5\text{--}24.3 \text{ mg/m}^2$ . Per 2007 m. Mg<sup>2+</sup> metinis srautas su krituliais į polajį buvo  $397.5 \text{ mg/m}^2$ , o atviroje vietoje –  $102.4 \text{ mg/m}^2$ .

Natrio ir chloridų koncentracijų ir srautų kaitos duomenys (2.5 ir 2.6 lentelės, 14 pav.) rodo, kad ir šie elementai, labiau tikėtina, yra išplaunami iš lajos. Na<sup>+</sup> vidutinė metinė koncentracija krituliuose po laja gauta 2.9 kartus didesnė nei atviroje vietoje, o metinis Na<sup>+</sup> srautas į polajį ( $1593.5 \text{ mg/m}^2$ ) 2.7 kartus viršijo srautą atviroje vietoje ( $592.6 \text{ mg/m}^2$ ). Cl<sup>-</sup> vidutinė metinė koncentracija krituliuose po laja gauta 3.3 kartus didesnė nei atviroje vietoje, o metinis Cl<sup>-</sup> srautas į polajį ( $3194.0 \text{ mg/m}^2$ ) 3.1 kartą viršijo srautą atviroje vietoje ( $1037.0 \text{ mg/m}^2$ ).

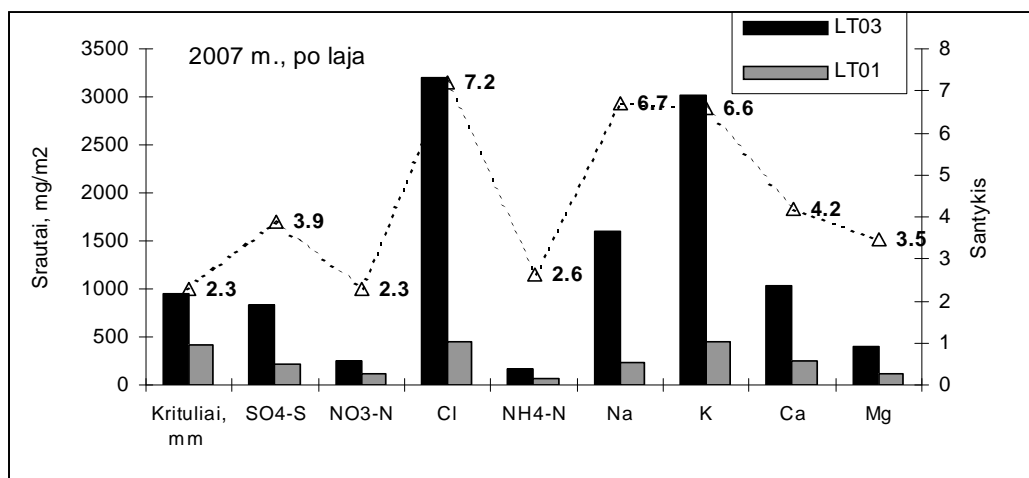


2.44 pav. Cl<sup>-</sup> ir Na<sup>+</sup> srautų kaita į polajį ir atviroje vietoje LT03, 2007 m



2.45 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos ir srautai LT03, 2007 m.

Pateikti 2.45 pav. apibendrinti pagrindinių cheminių priemaišų tyrimų krituliuose po miško laja ir miške atviroje vietoje Žemaitijoje (LT03) duomenys rodo, kad K<sup>+</sup>, mažiau Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> ir SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> koncentracijos yra didesnės krituliuose po laja, o nitratinio ir amoniakinio azoto koncentracijos yra didesnės krituliuose atviroje vietoje. Į polajį pateko per 2007 m. 40 % mažiau azoto nei atviroje vietoje.



2.46 pav. Pagrindinių cheminių priemaišų metiniai srautai su krituliais po laja IM stotyse 2007 m.

Apibendrinti abiejose stotyse gauti rezultatai (2.46 pav.) rodo, kad ne visų teršalų metiniai srautai į miško paklotę (su krituliais po lają) pakito tolygiai kritulių kiekiui. Pateikti duomenys rodo, kad, esant 2.3 karto didesniai polajinių kritulių metiniam kiekiui Žemaitijoje nei Aukštaitijoje, į polajį Žemaitijoje patenka apie 4 kartus daugiau sieros, 7 kartus daugiau chloridų, natrio ir kalio, 4 kartus daugiau kalcio ir 3.5 karto magnio, t.y. tų cheminių priemaišų, kurios nusiplauna arba išsiplauna nuo lajos. Palyginus iškritų rūgštingumą gauta, kad  $H^+$  metinis srautas į polajį buvo didesnis Aukštaitijoje -  $5.22 \text{ mg/m}^2$ , o Žemaitijoje –  $4.43 \text{ mg/m}^2$ . Šie stebimi pokyčių skirtumai tarp stočių LT01 ir LT03 gali būti dėl nevienodo lajos tankio: Aukštaitijoje vyrauja pušynai, Žemaitijoje vyrauja eglynai.

## IŠVADOS

Vertinant 2007 m. pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijų tyrimo duomenis polajiniuose krituliuose IM stotyse, daromos tokios išvados:

- Krentant atmosferiniams krituliams per medžių lają, cheminių priemaišų koncentracijos, išskyrus azoto junginius, polajiniuose krituliuose bei jų srautai į polajį yra didesni nei atviroje vietoje. Didžiausias koncentracijų ir srautų padidėjimas rastas kaliui. Tai rodo šio elemento išplovimą iš lajos, ypač per šiltąjį metų laikotarpį.
- Polajiniuose krituliuose sulfatų koncentracijos padidėjimą siejame su sieros junginių (sulfatų ir sieros dvideginio) nuplovimu nuo lajos.
- Koncentracijų ir srautų pokyčiai yra nevienodi azoto junginiams ( $NH_4^+$  ir  $NO_3^-$ ) lyginant juos polajiniuose krituliuose su krituliais atviroje vietoje. Šie pokyčiai gali būti siejami ir su nuplovimu nuo lajos, ir su išplovimu iš lajos ar absorbcija lajoje.
- Stebimi pokyčių skirtumai tarp stočių LT01 ir LT03, matyt, gali būti dėl nevienodo lajos tankio: Aukštaitijos stotyje – vyrauja pušynai, Žemaitijos stotyje – vyrauja eglynai.

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

Integruoto monitoringo teritorijose Lietuvoje, sąlygiškai natūraliose ekosistemose jau daugiau kaip dešimtmetį stebima ekosistemų būklė. Pagal stebėjimų rezultatus nustatomi ekosistemų pokyčiai dėl atmosferos teršalų ir klimato veiksnių.

Ekosistemos būklės pokyčiai įvertinami pagal pamatinių ekosistemos elementų dirvožemio, dirvožemio vandens, gruntinio vandens cheminės sudėties dinamiką. Įvertinami teršalų srautai bei jų pakitimai gamtiniam vandeniui sunkiantis per dirvožemį (aeracijos zoną) į gruntinius vandenis ir upeliais patenkant į paviršių. Analizuojant šiuos duomenis drauge su kritulių duomenimis, vertinamas su tolimomis pernašomis į Lietuvos teritoriją patenkančių teršalų kaupimasis ir pakitimas dirvožemyje, nustatomas medžiagų išplovimo iš dirvožemių režimas, migracijos keliai ir teršalų patekimas į gruntinį vandenį, bei išnešimas upeliais į paviršinio vandens telkinius.

Šie duomenys naudingi, sudarant balansus ir modelius, pagal kuriuos įvertinamas antropogeninės veiklos poveikis natūralioms ekosistemoms ir prognozuojama jų būklė ateityje. Sąlygiškai natūralių ekosistemų monitoringo duomenis galima naudoti kaip atskaitos tašką, vertinant regioninę ir globalią taršą.

Vykdydamas “Gruntinio, dirvožemio bei paviršinio vandens ir dirvožemių tyrimas pagal ICP IM programą”, Geologijos ir geografijos institutas atliko tokius techninėje užduotyje numatytus darbus:

1. Dirvožemio vandens, gruntinio vandens ir upelių vandens pavyzdžių cheminių analizių 2007 metų duomenų patikimumo tikrinimas. Kartu su Aplinkos apsaugos agentūros Aplinkos tyrimų departamento laboratorijos darbuotojais buvo tikrinami dirvožemio vandens, gruntinio vandens ir upelių vandens pavyzdžių cheminės analizės 2007 metų duomenys. Patikrintas vandenyje ištirpusių jonų balansas. Duomenis koreguoti, įskaičiuoti, apskaičiuoti vidurkiai.

2. Integruoto monitoringo teritorijose pavasario bei rudens sezonais buvo atlikta stebėjimų įrangos patikra Aukštaitijos ir Žemaitijos nacionaliniuose parkuose. Konsultuoti stebėtojai.

3. Skaičiuojamas maistinių medžiagų (N ir P) vandenyje ištirpusių medžiagų balansas.

4. 2007 m. duomenys palyginimami su 2006 m. bei 1993–2006 m. laikotarpio duomenimis. Nustatomos ir įvertinamos vandens ir dirvožemio cheminės sudėties pokyčių priežastys.

5. Pokyčių priežasčių įvertinimas.

## Objektas ir metodika

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-ųjų metų pavasarį.

Dirvožemio vandens mėginiai cheminei analizei imami kas mėnesį šiltuoju metų laikotarpiu. Tuo pačiu apskaičiuojamas ir dirvožemio vandens nuotėkis iš 1 km<sup>2</sup> 20 cm ir 40 cm gyliuose. Jei žiemą dirvožemis būna neišalęs 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 SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>N, NH<sub>4</sub>N, Ca, Na, K, Mg, Cl, P<sub>visuminis</sub>, Mn, Fe, Si, pH. Nuo 2000 metų matuojamas fosfatų fosforo (PO<sub>4</sub>P), ir visuminio azoto (N<sub>visuminis</sub>) kiekis, nuo 2002 m. pradėta matuoti visuminį aliuminio kiekį, o nuo 2003 m. – visuminį organinės anglies kiekį. Nuo 2000 metų vidurio visose



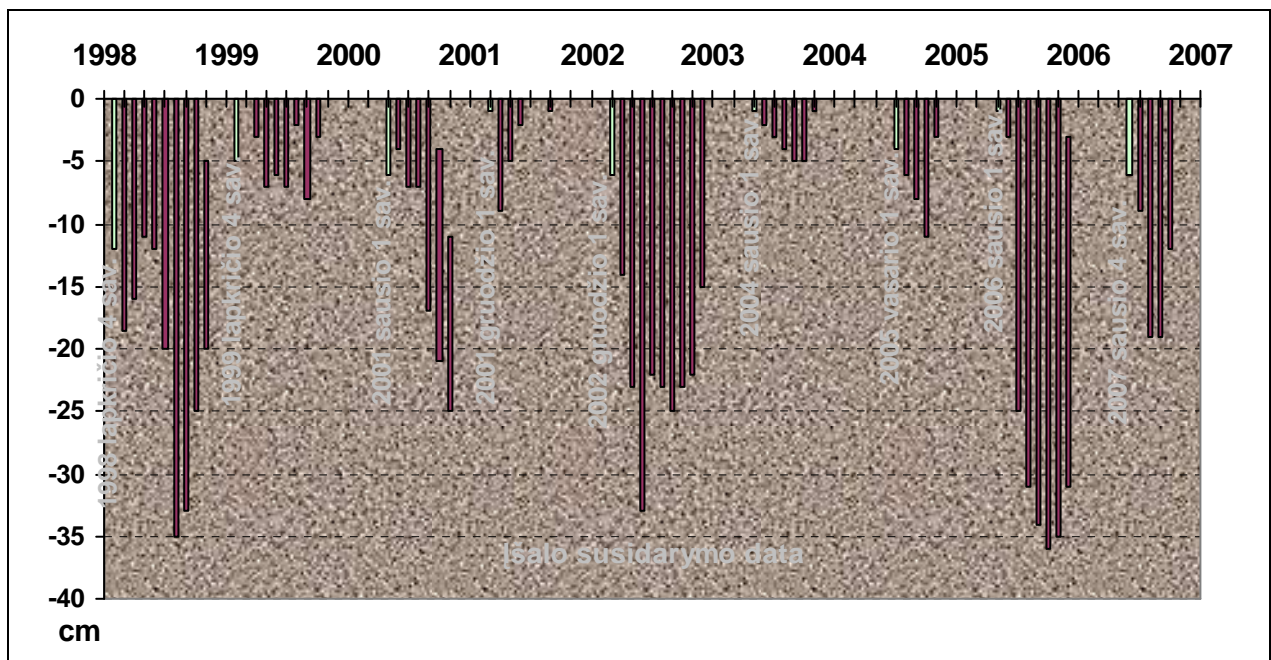
paprogramėse, 3 kartus per metus, balandžio, liepos ir spalio mėnesiais pradėta matuoti sunkiųjų metalų (Cu, Cr, Cd, Pb, Zn) kiekius gamtiniame vandenyje.

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.

#### 2.4.1. Dirvožemio vandens savybių kitimas

Dirvožemio išalo, vandens srautų ir atsargų dinamika – tai savybių kompleksas, kuris rodo dirvožemio režimo kaitą, dirvožemio klimato ypatybes – tai vertinga informacija nustatant dirvožemio savybių pokyčių priežastis, cheminių elementų migracijos ypatybes.

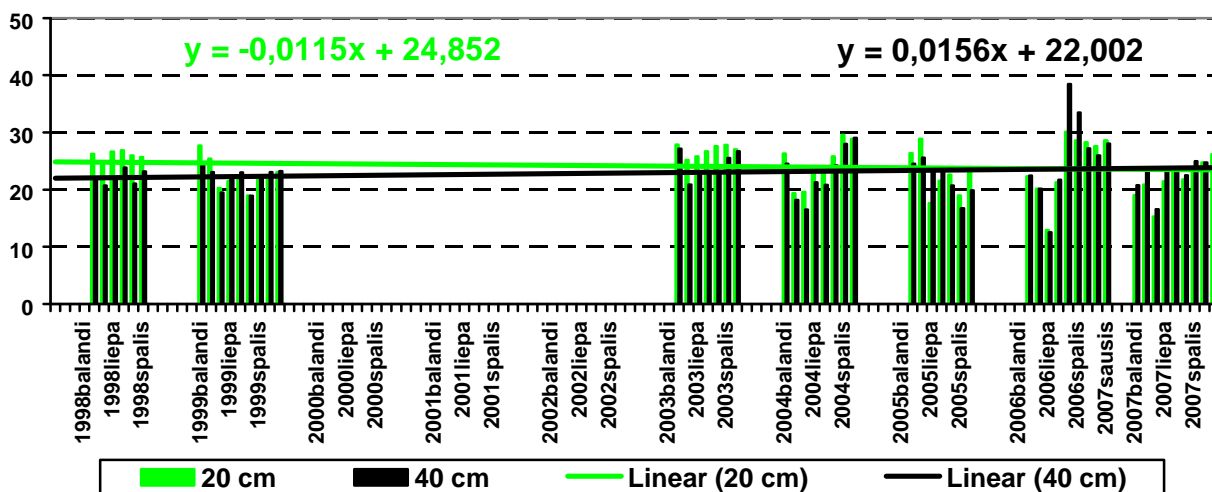
Nuo 1998 m. kas 3–4 metus kartojasi ypač šaltos žiemos, kai dirvožemis išala giliau, negu 25 cm. Šaltomis 1998–1999 m. ir 2002–2003 m. žiemomis išalas laikėsi 4,5 mėn., o 2005–2006 m. žiemą trumpiau – 3,5 mėn., bet pasiekė rekordinę 36 cm gylį. Išalo trukmė pastaruosius metus mažesnė ir šiltomis žiemomis rekordiškai trumpa – tik du ar du su puse mėnesio (2006–2007 m. ir 2004–2005 m.), o anksčiau, 1999–2004 m. dirvožemis likdavo išalęs tris ar tris su puse mėnesio, nes pavasarį atitirpdavo laipsniškai (2 pav.).



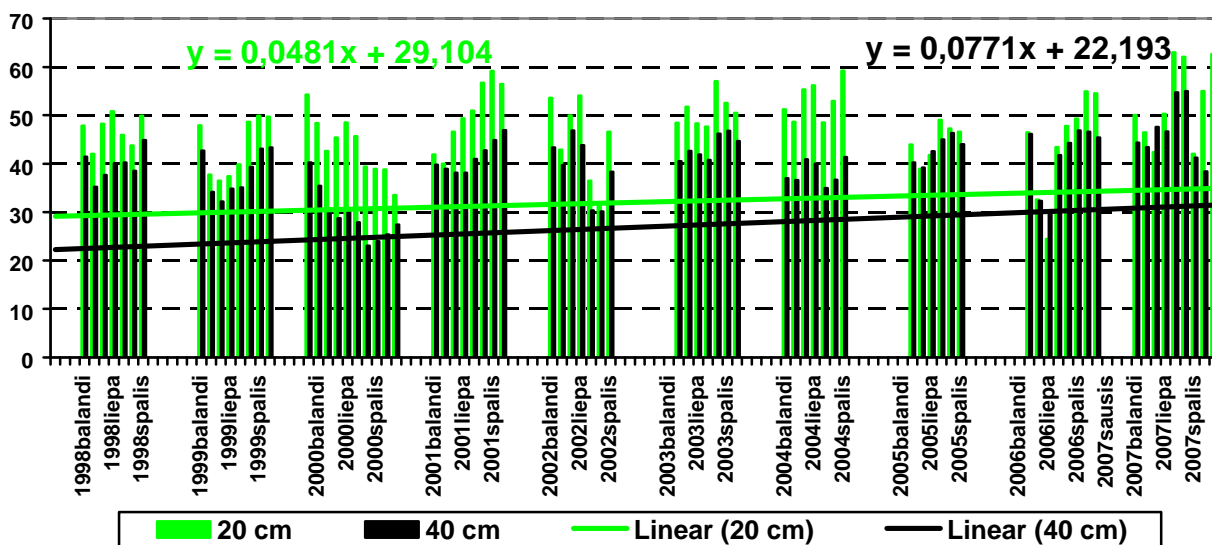
**2 pav.** Dirvožemio išalo gylio kaita Aukštaitijos KMS. šalia pirmojo grėžinio. 1998-2007 m. žiemomis. Matavimo dažnis – 2 savaitės, matuojama šaltąjį metų pusmetį, lapkričio-balandžio mėnesiais. „X“ ašyje tarpas tarp brūkšnelių – vienas.

2007 metais dirvožemio vandens atsargos vegetacijos laikotarpiu Aukštaitijoje buvo artimos pastarųjų metų vidurkiui. 2007 ir 2004 m. mažiausios vandens atsargos dirvožemyje susikaupė birželį, o didžiausios – vegetacijos laikotarpio pabaigoje, 2007 m. tai buvo gruodžio mėnesio pradžia, o 2004 m. – lapkričio (3 pav., LT01). 2007 ir 2004 metai yra panašūs pagal kritulių kiekį – tai drėgniausi arba vidutiniškai drėgni trimečio ciklo metai.

LT 01 Vandens atsargos dirvožemyje vegetaciniu laikotarpiu, mm



LT 03 Vandens atsargos dirvožemyje vegetaciniu laikotarpiu, mm

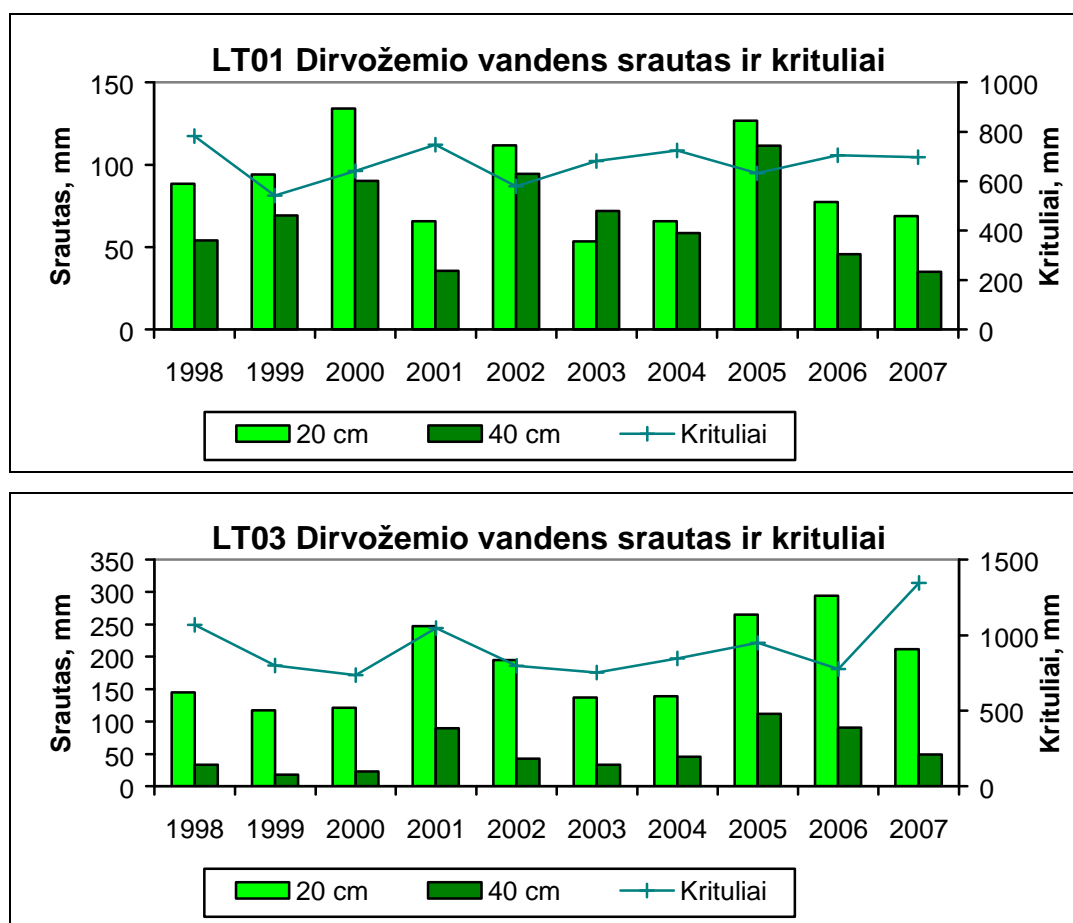


**3 pav.** Vandens atsargų dinamika 1998–2007 m. Iki 2003 metų LT01 KMS vandens atsargos LT 01 dirvožemyje nustatytos gravimetrijos metodu, vėliau – barometrijos. LT 03 KMS naudotas tik gravimetrijos metodas.

Žemaitijos KMS 2007 m. dirvožemyje susikaupė didžiausias per stebėjimo laikotarpį vandens kiekis. Didžiausios vandens atsargos dirvožemyje susikaupė liepos mėnesį, o spalį ir lapkritį vandens atsargos dirvožemyje sumažėjo. Pagal dirvožemio vandens atsargų kaitą 2007 m. panašiausi į 2002 m. (3 pav., LT03). 2007 metais

Žemaitijos KMS 20 cm gylyje dirvožemio vandens atsargos labiausiai keitėsi 2000-2002 ir 2006–2007 m., pasaraisiais metais kontrastai didesni. 40 cm gylyje dirvožemio vandens atsargos kito labiausiai 2000, 2002, 2006 ir 2007 m.: skirtumas tarp didžiausio ir mažiausių vandens atsargų per vegetacijos laikotarpį buvo apie 16–17 mm, dvigubai daugiau, negu 1998 ir 2003 m., kada vandens atsargos dirvožemyje buvo pastoviausios.

Vandens atsargų kitimo tendencijos per stebėjimo laikotarpį Aukštaitijos KMS neryškios, o Žemaitijos KMS ryškėja vandens atsargų dirvožemyje daugėjimas ir kontrastiškumo per vegetacijos laikotarpį didėjimas. Vandens srautų metinių vidurkių kaita 1998–2007 m. Aukštaitijos KMS neturi ryškių tendencijų. 2007 metais dirvožemio vandens srautas buvo panašus, kaip 2006 metais, taip pat, kaip ir kritulių kiekis, bet tiesioginio ryšio tarp kritulių kiekio ir dirvožemio vandens srauto nėra, nuo 2001 m. yra pastebimas atvirkštinis ryšys (4 pav.).



4 pav. Dirvožemio vandens srautų dinamika 1998–2007 m.

1998-2005 Žemaitijos KMS tarp dirvožemio vandens srauto ir kritulių kiekio pastebimas ryšys, o 2006-2007 metais ryšys tampa atvirkštiniu (4 pav.). Galima tokio nukrypimo nuo dėsningo priežastis yra kritulių režimo kaita, pavyzdžiui, dažnesnės liūtys, kada kritulių vanduo nespėja susigerti į dirvožemį, o nuteka paviršiumi. Dalinė šios prielaidos analizė (Aukštaitijos KMS pavyzdys) pateikta upelio vandens skyriuje, o galutiniam šio dėsningo įrodymui reikia detalesnių klimato duomenų Žemaitijos stotyje.

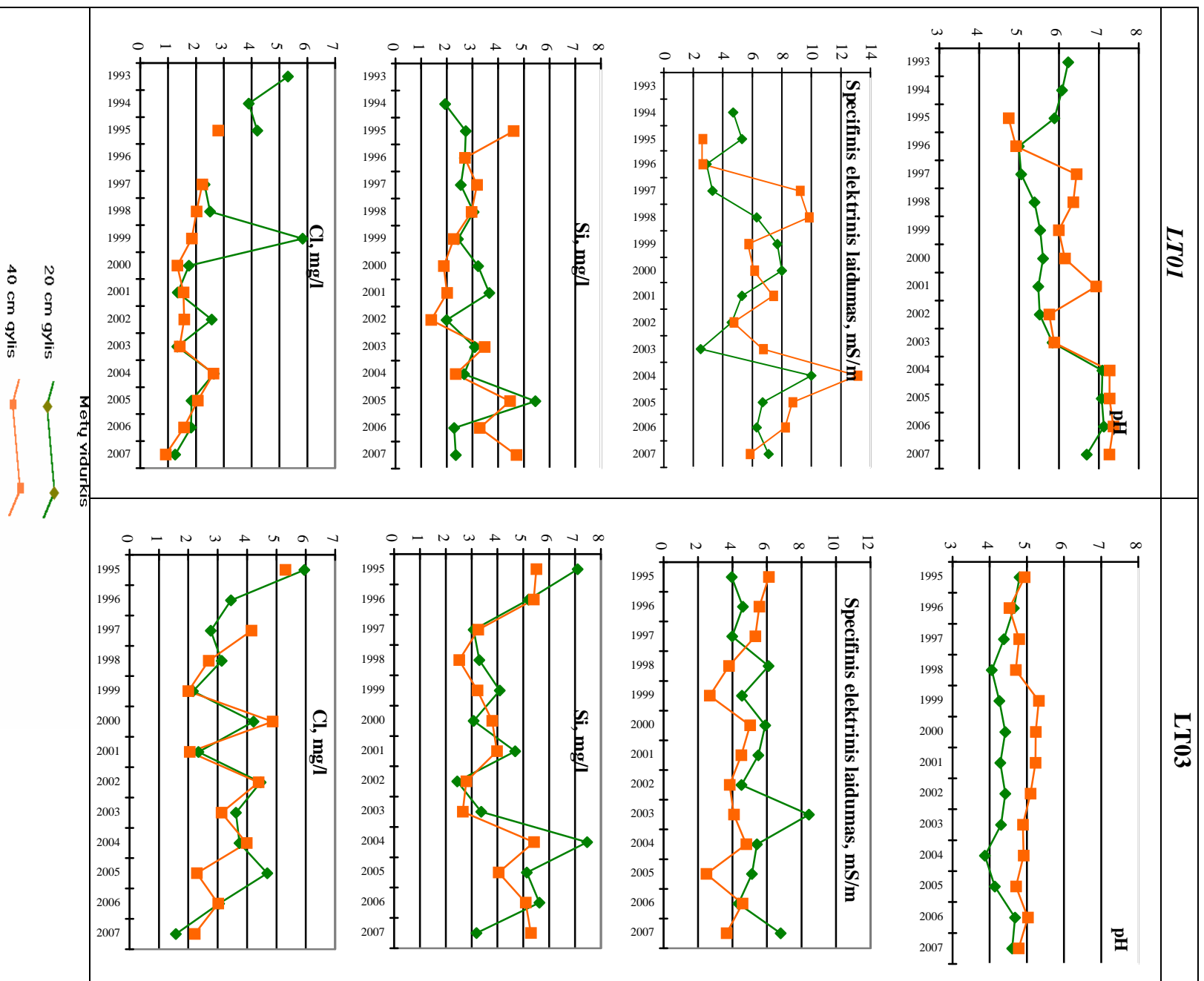
Dirvožemio vandens dinamikos ypatumai atsispindi kai kuriose jo cheminėse savybėse. Aukštaitijos stotyje 2007 m. dirvožemio vandens pH jai ketvirti metai laikosi aukštame lygyje, aukščiausiam per stebėjimų laikotarpį. Žemaitijos stotyje dirvožemio vandens pH 20 cm gylyje 2005–2006 m. didėjo, o 2007 m. stabilizavosi, bet dirvožemio vandens pH du pastaruosius metus išlieka viena iš didesnių per stebėjimų laikotarpį. Tikėtina, kad mažą vandens rūgštingumą lemia mažėjanti sąveika tarp dirvožemio ir jo vandens, tai rodo kontrastiškesnės drėgmės atsargos, didesnis paviršinis nuotekis. Šie pokyčiai ryškesni Žemaitijoje. Režiminių ir pH pokyčių rezultatas yra stabili ir mažėjanti Si koncentracija Žemaitijoje (5 pav. 1).

Tirpalo specifinis elektrinis laidumas bei Cl ir Mg koncentracija, palyginti su 2005 (LT01) ir 2004 m. (LT03) reikšmėmis pasatuosius dvejus-trejus metus mažėja. 2007 m., palyginti su 2006 m. sumažėjo sulfatų, K ir Ca koncentracija (5 pav. 1–2). Tirpių elementų koncentracijų sumažėjimas sietinas su sumažesnio intensyvumo dirvožemio vandens srautu.

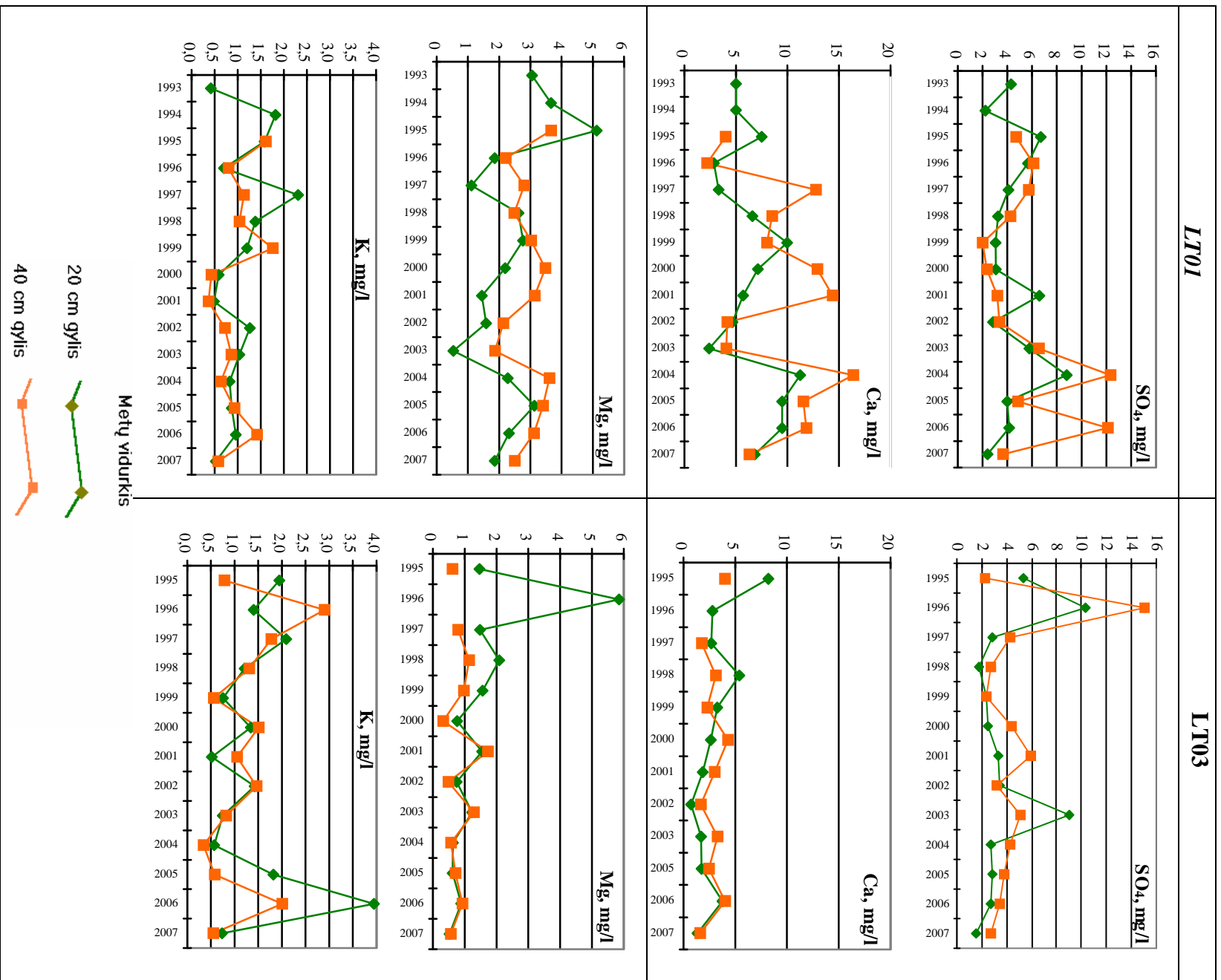
Visumonio azoto koncentracija dirvožemio vandenyje sumažėjo arba buvo stabili. Aukštaitijos stotyje stabili išliko ir mineralinio azoto koncentracija, o Žemaitijoje nitratų azoto kiekis išaugo, 40 cm gylyje pasiekdamas didžiausią reikšmę per stebėjimo laikotarpį (5 pav. 3). Didelė nitratų koncentracija Žemaitijos stotyje, 40 cm gylyje gali būti atmosferos teršimo pasekmė.

2007 m. palyginti su 2004–2005 metais sumažėjo visuminio fosforo, Mn koncentracijos. Tai žemo dirvožemio rūgštingumo pasekmė. 2007 m. Fe ir koncentracija 20 cm gylyje kyla (5 pav. 1–2).

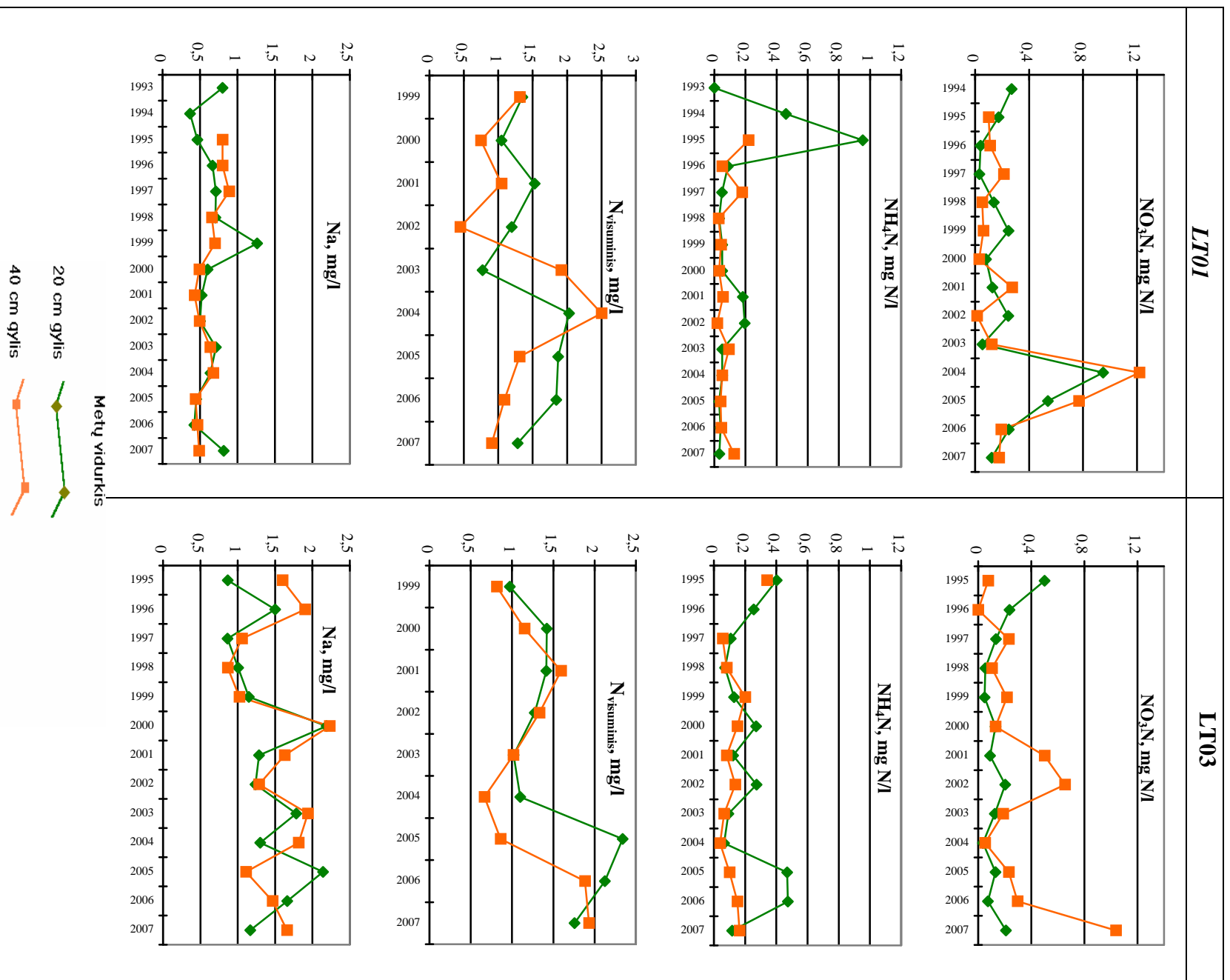
2002 ir 2006 m. dirvožemis buvo sausiausias, todėl mažai geležies redukavosi bei ištirpo dirvožemio vandenyje.



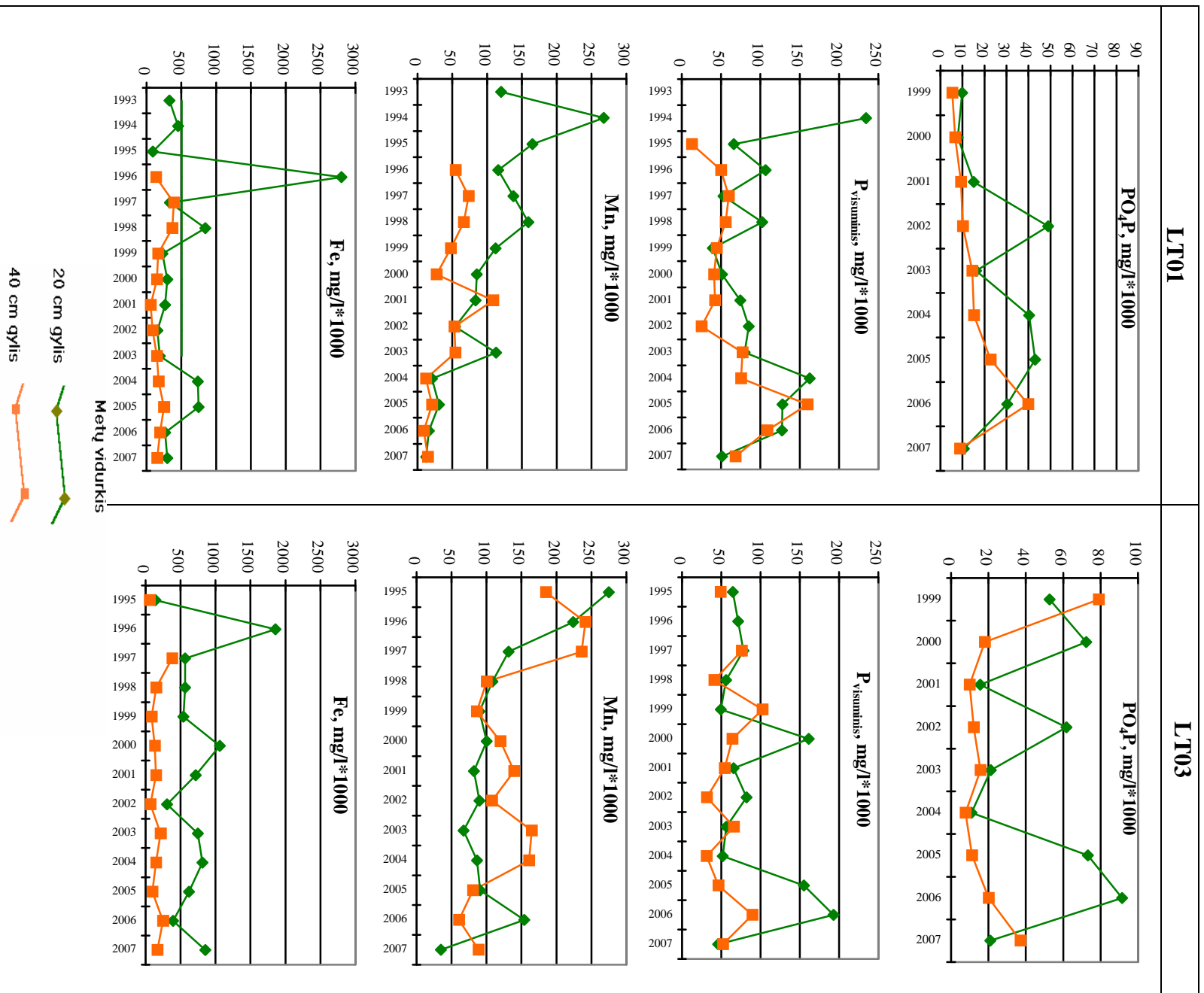
5 pav. Dirvožemio vandens savybių kitimas (1 iš 4, tęsinys kitame puslapyje).



5 pav. Dirvožemio vandens savybių kitimas (2 iš 4, tėsinsys kitame puslapyje).

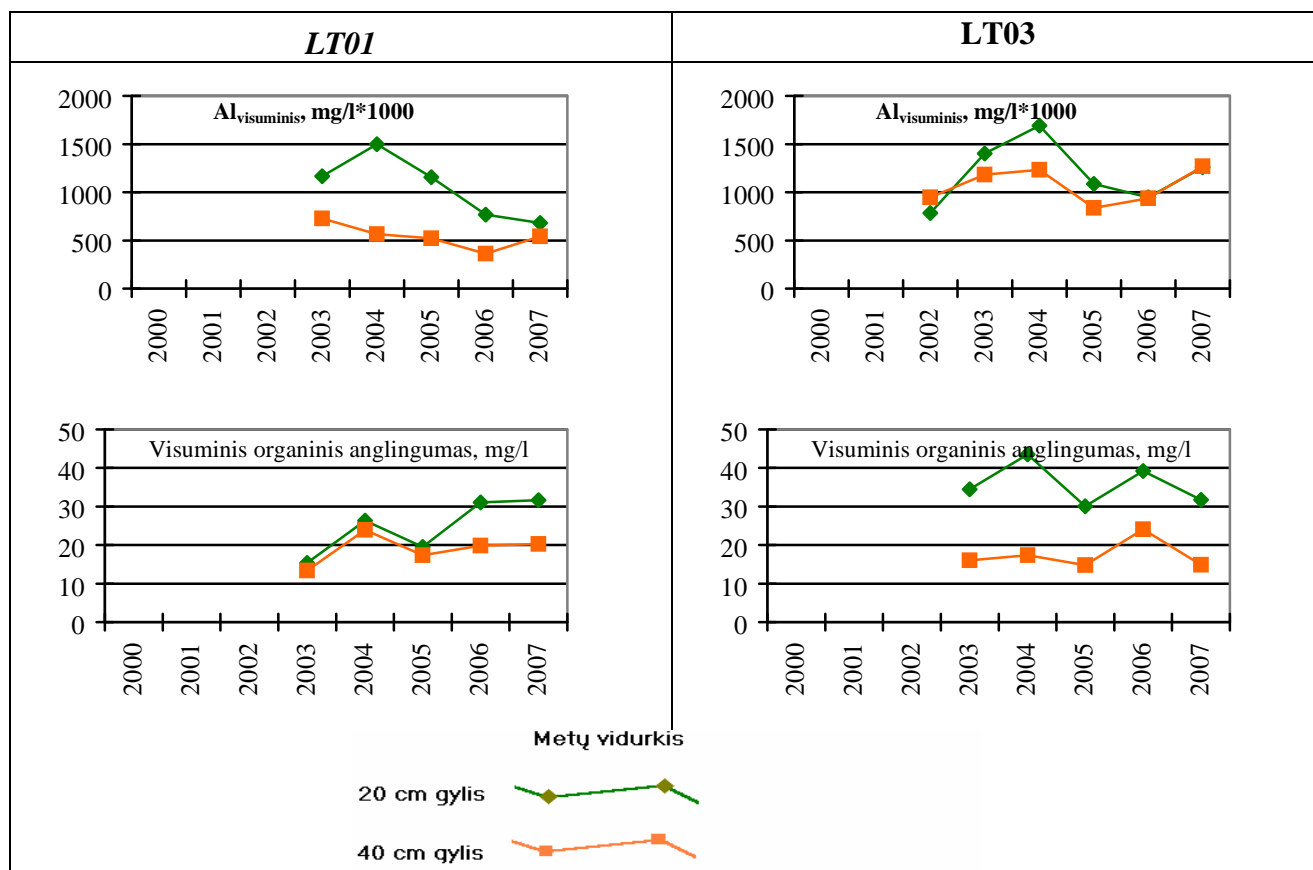


5 pav. Dirvožemio vandens savybių kitimas (3 iš 4, tęsinys kitame puslapyje).



5 pav. Dirvožemio vandens savybių kitimas (4 iš 4, pabaiga).



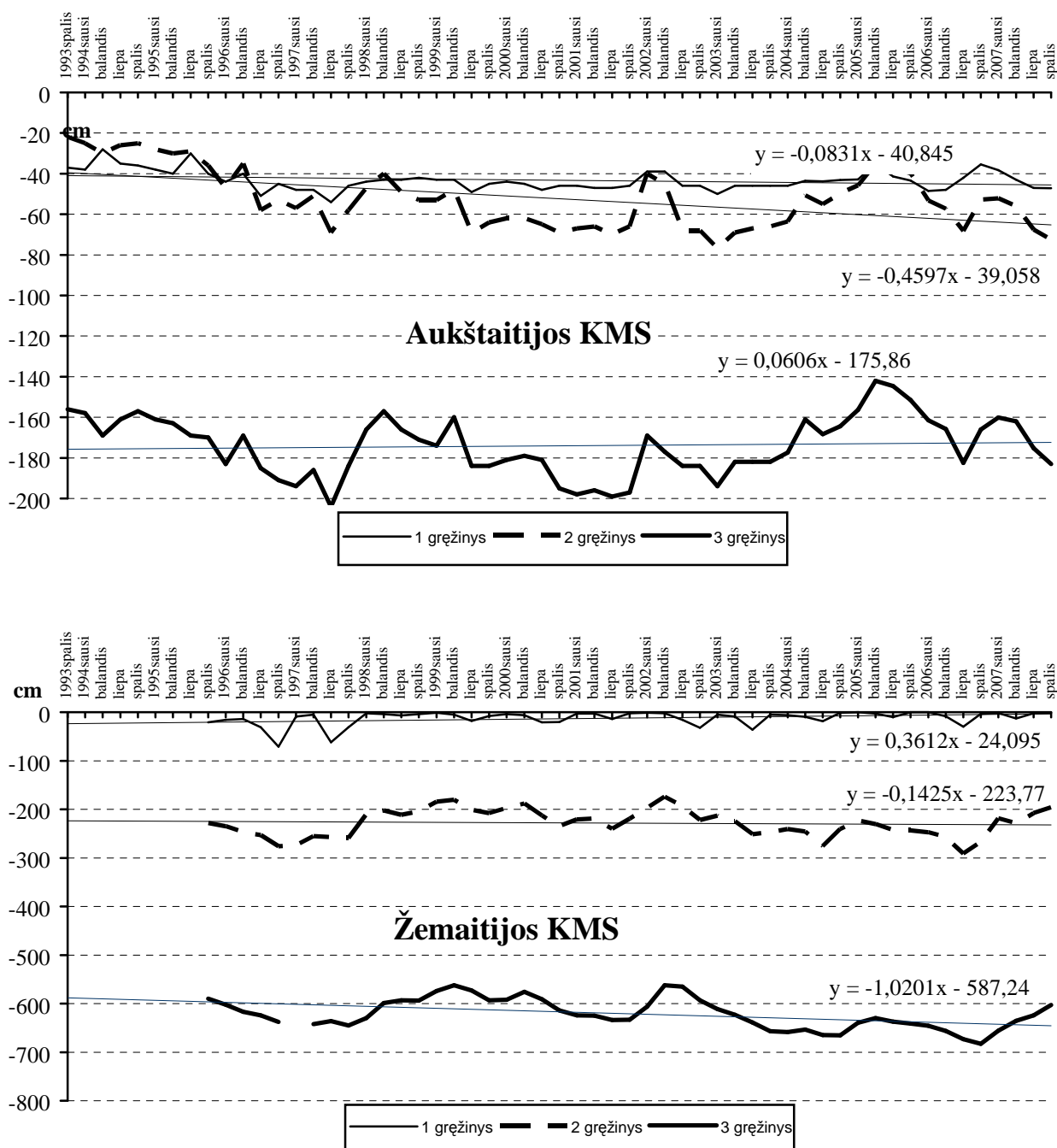


**6 pav.** Dirvožemio vandens visuminis aliuminis ir organinė anglis bei pH 2003-2007 m.

Visuminio aliuminio koncentracija ir visuminis organinis anglingumas yra stebimi nuo 2003 metų, todėl kalbėti apie ilgalaikes tendencijas dar anksti. Aliuminio ir organinės anglies kitimas 2007 m., palyginus su 2006 m. vienodi: Al koncentracija augo arba buvo stabili, o visuminis organinis anglingumas mažėjo arba buvo stabilus. Aliuminio koncentracijos didėjimą skatino 2007 m. stabilizavęsis ir padidėjęs rūgštumas, o anglingumo mažėjimą – mažesnis nei 2006 m. dirvožemio vandens srautas (6 pav.).

## 2..2 Gruntinio vandens savybių kitimas

Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS per 14 metų (nuo monitoringo pradžios iki 2007 m.) stebimi keturi beveik sinchroniški gruntinio vandens lygio svyravimo ciklai, kurių amplitudė, pradžia ir pabaiga priklauso nuo gręžinio gylio: kuo giliau gręžinys, tuo didesnė gruntinio vandens lygio svyravimo amplitudė, o giliausiuose gręžiniuose 2-6 mėnesiais vėluoja ciklo pradžia ir pabaiga.

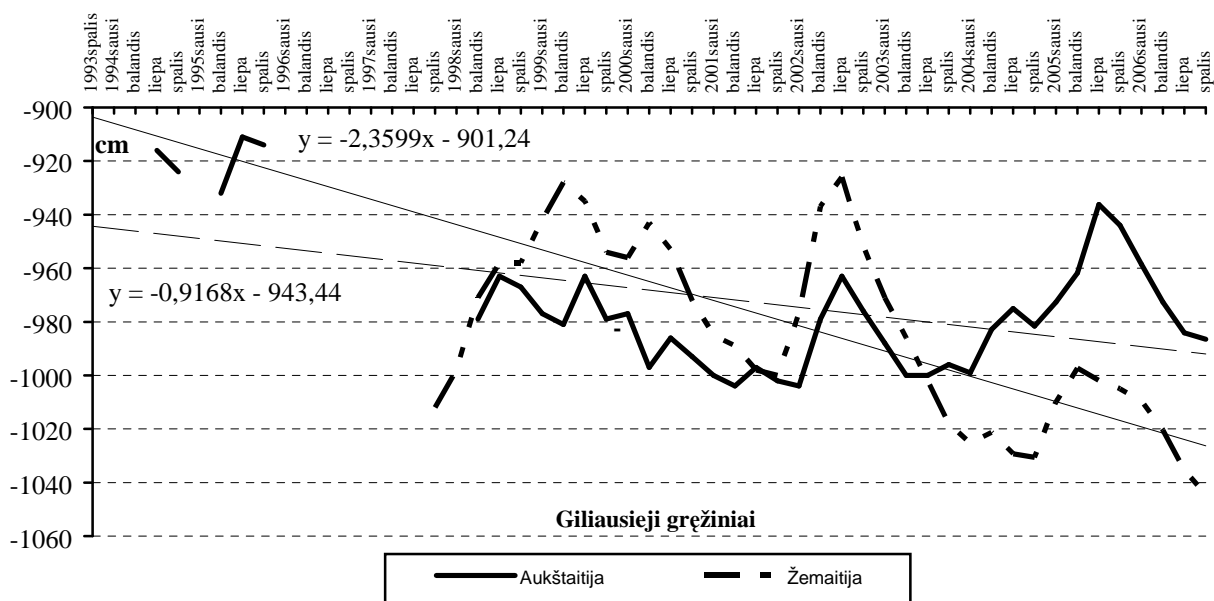


8 pav. Vidutinis gruntinio vandens lygis sekliuosiuose gręžiniuose 1993-2007 metais.

Gruntinio vandens lygio svyravimo ciklų skaičius yra toks pats kaip ir kritulių kiekio (1 pav). Lygiai taip pat, kaip ir kritulių kiekis paskutinytis, ketvirtasis ciklas Aukštaitijoje ir Žemaitijoje ėmė nebesutapti. 2007 metai Aukštaitijoje buvo, palyginti, sausringi, gruntinio vandens lygis didžiąją metų dalį krito, o Žemaitijoje – atvirkščiai, 2007 metai buvo patys drėgniausi per stebėjimo laikotarpį, gruntinio vandens lygis sparčiai kyla jau nuo praėjusiųjų 2006 metų antrosios pusės. Gruntinio vandens lygių svyravimo ciklų skaičius ir trukmė matosi gruntinio vandens svyravimo kreivėse antrajame ir trečiajame gręžinyje (8 pav.). Ciklų pradžia, pabaiga ir trukmė (mėnesiais) parodyta 1 lentelėje, iš kurios matyti, kad stebėjimo laikotarpio pradžioje laikas per kurį gruntinio vandens lygis krenta (senka) Aukštaitijoje buvo apie 40 mėnesių, o Žemaitijoje apie 30 mėnesių. Aukštaitijoje nuo 2002 m., o Žemaitijoje nuo 2005 m. gruntinio vandens lygio kritimo laikas sutrumpėjo atitinkamai iki 12-13 ir 16-18 mėnesių. Gruntinio vandens gylio svyravimo amplitudė nesumažėjo (1 lentelė), todėl gruntinio vandens lygio svyravimo greitis pastaraisiais metais didėja. Gruntinio vandens nusekimo greičio padidėjimas gali būti susijęs su didesniu vandens režimo kontrastingumu pastaraisiais metais, nulemtu klimato pokyčių.

**1 lentelė. Gruntinio vandens lygio svyravimo ciklų trukmė 2 ir 3 gręžiniuose (8 pav.).**

Cik- lo Nr.	Aukštaitijos KMS gruntinio vandens lygis					Žemaitijos KMS gruntinio vandens lygis				
	Senka			Kyla		Senka			Kyla	
	Pradžia nuo	Truk- mė, mėn.	Ampli- tudė, cm	Pradžia nuo	Truk- mė, mėn.	Pradžia Nuo	Truk- mė, mėn.	Ampli- tudė, cm	Pra- džia nuo	Truk- mė, mėn.
1.	1994 04	42	60-65	1997 10	6	-----	-----	71-72	1996 10	4-6
2.	1998 04	41	47-54	2001 09	6	1999 02-04	26- 28	75-83	2001 06-08	7-9
3.	2002 03	12	36-49	2003 03	26	2002 03-04	30- 31	119	2004 9-10	7-8
4.	2005 05	13	54-60	2006 08	2-6?	2005 04-05	16- 18	56-82	2006 08-10	-----
5?	2006 10 2007 02	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

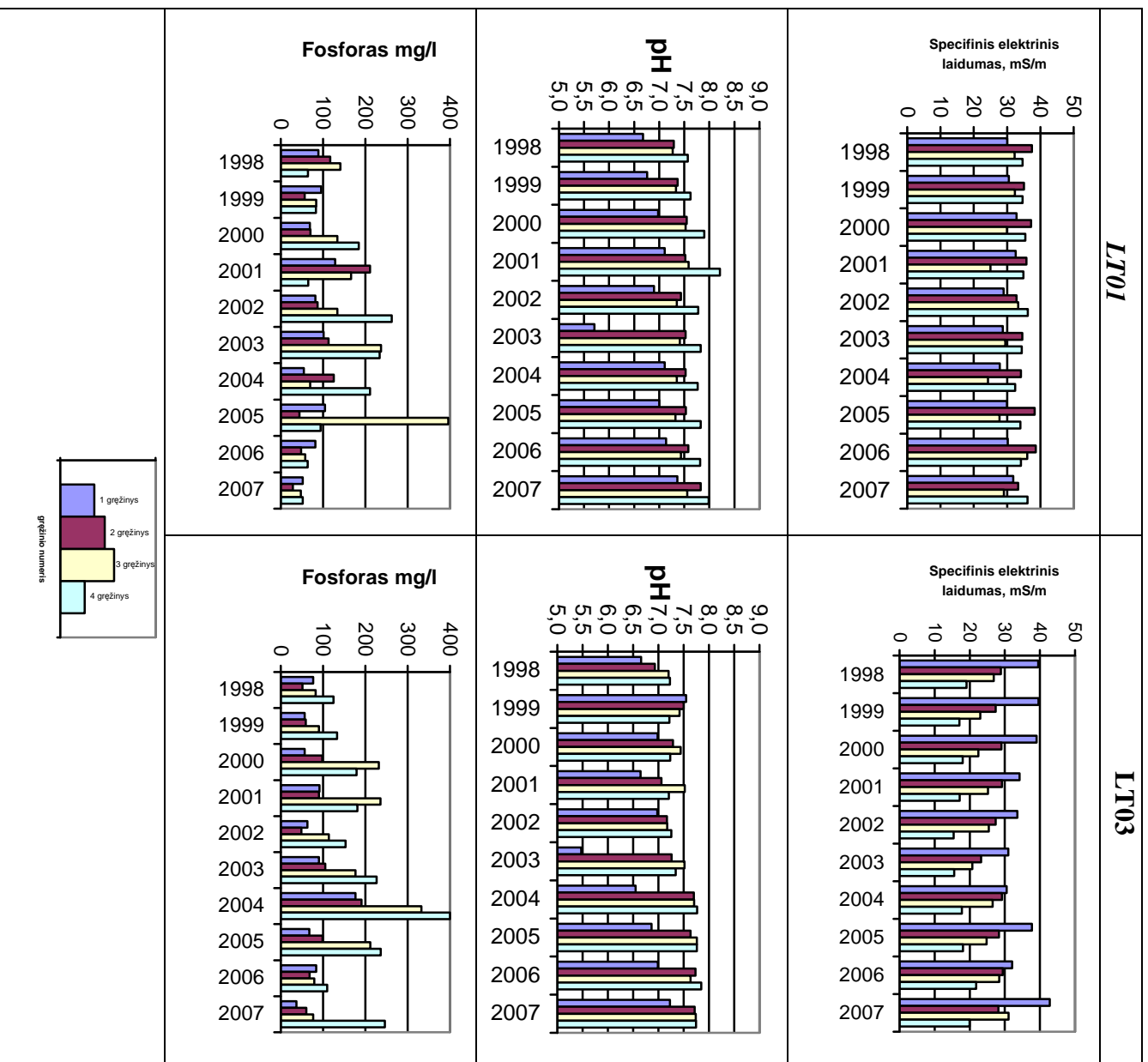


9 pav. Gruntinio vandens lygis giliausiuose gręžiniuose 1993–2007 metais.

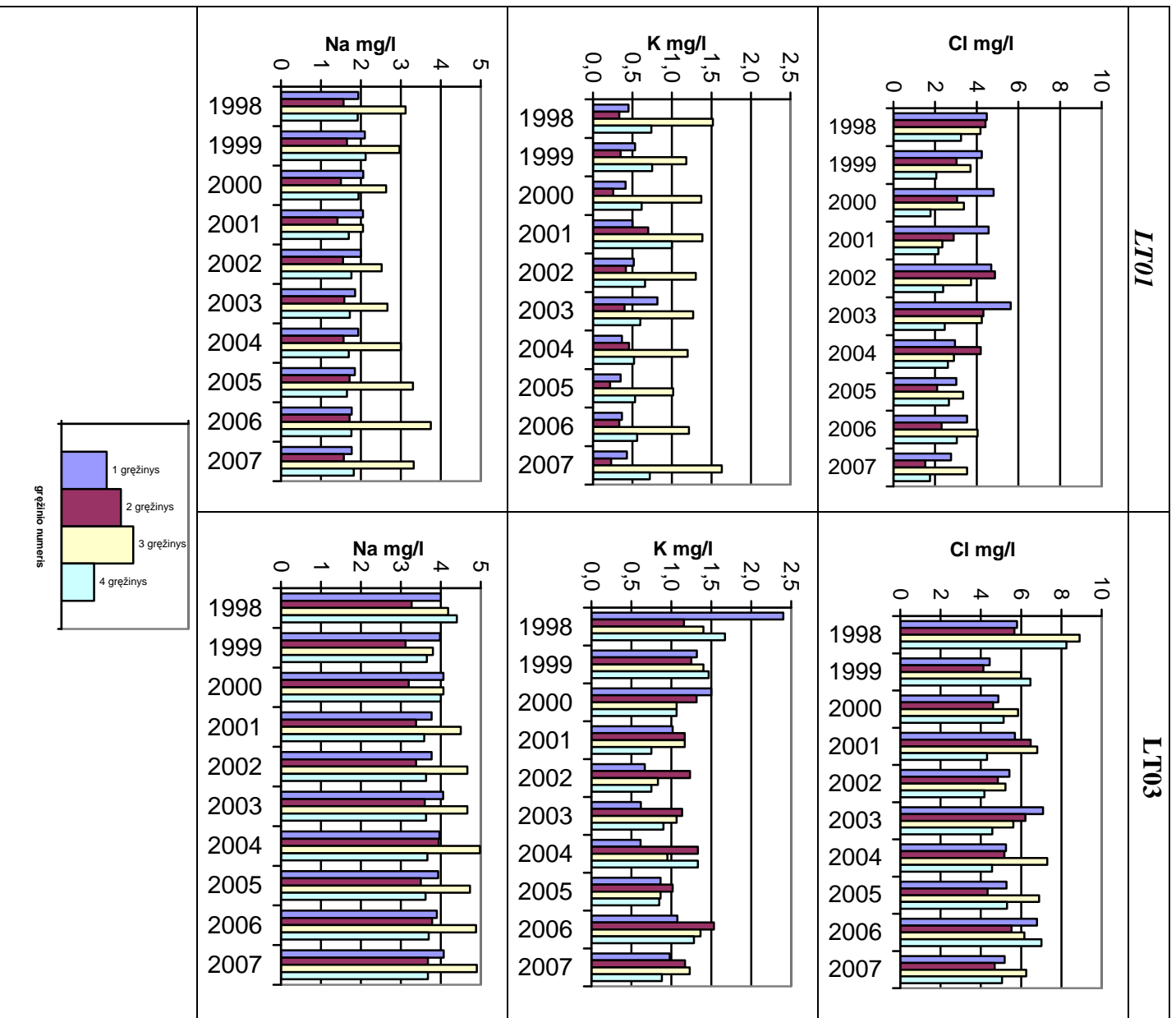
Giliųjų gręžinių vandens lygis 2007 m. Aukštaitijos KMS yra stabilus, o Žemaitijos – kyla. 2003 Aukštaitijoje ir 2004 m. Žemaitijoje buvo išskirtiniai, lūžio metai: gruntinio vandens lygis buvo nukritęs ir ilgokai išliko žemas, ypač ryškiai tas matyti iš giliojo gręžinio vandens lygio kreivės (9 pav.).

Tirpių medžiagų koncentracijų kaita gruntiniame vandenyje analizuota atsižvelgiant į vandens lygio kilimo ir kritimo ciklus. Apie atmosferinui teršimo įtaką vandens sudėčiai šioje ataskaitoje galima daryti tik prielaidas – tyrimų rezultatus turi ir apibendrina kiti monitoringo programos dalyviai.

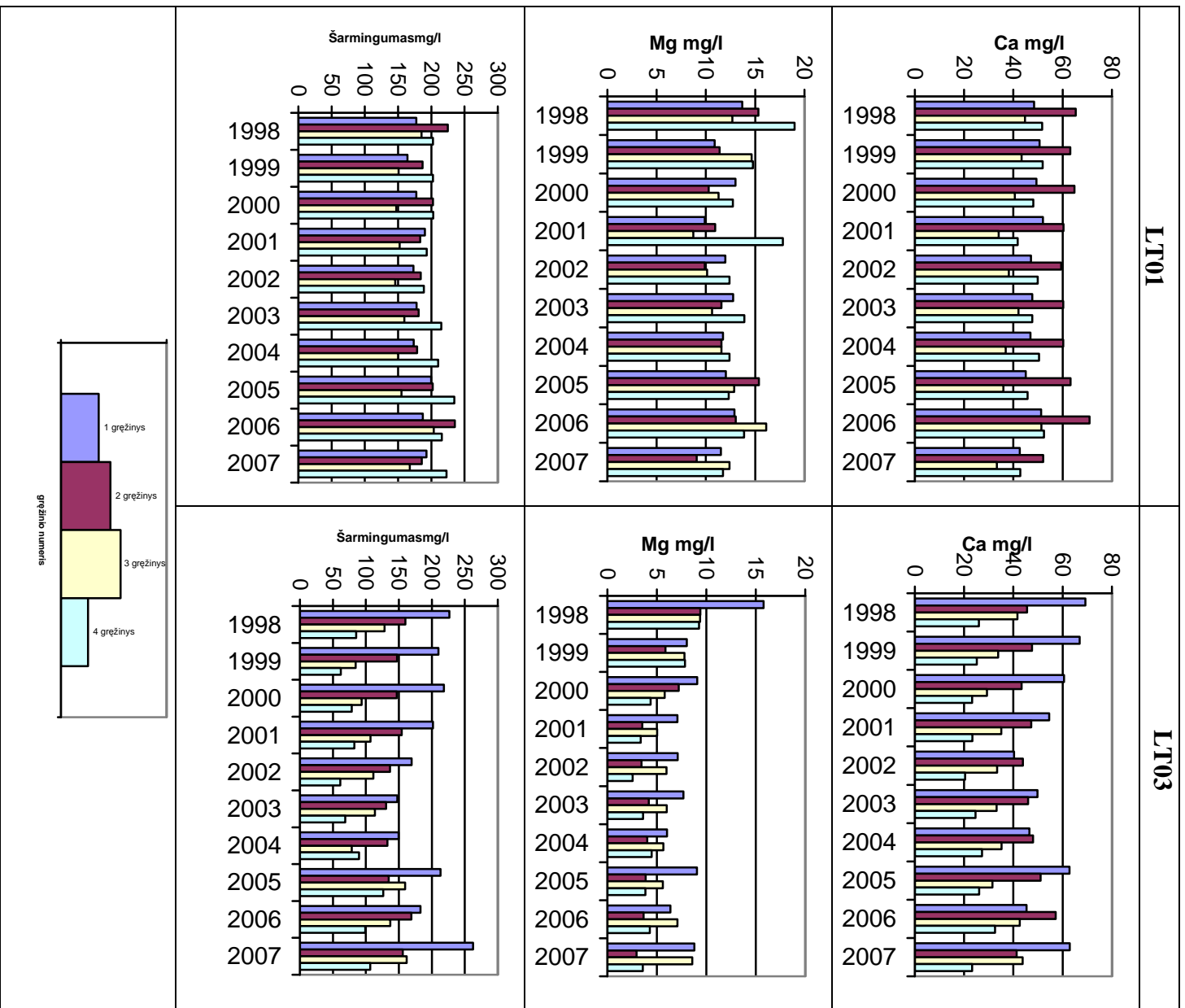
Elektrinis laidumas 2007 metais buvo didesnis, negu 2006 m. tik sekiausiuose abiejų stočių gręžiniuose. Nors ne visur 2007 m. padidėjo, gręžinių gruntinio vandens elektrinis laidumas nuo 2004 m. turi tendenciją augti. Pastaruosius trejetą metų aukštesniame nei 2002–2003 m. lygyje laikosi Ca, Mg koncentracija, gruntinio vandens pH ir šarmingumas (10 pav.).



**10 pav.** Gruntinio vandens cheminė sudėtis (1 iš 8).



**10 pav.** Gruntinio vandens cheminė sudėtis (2 iš 8).



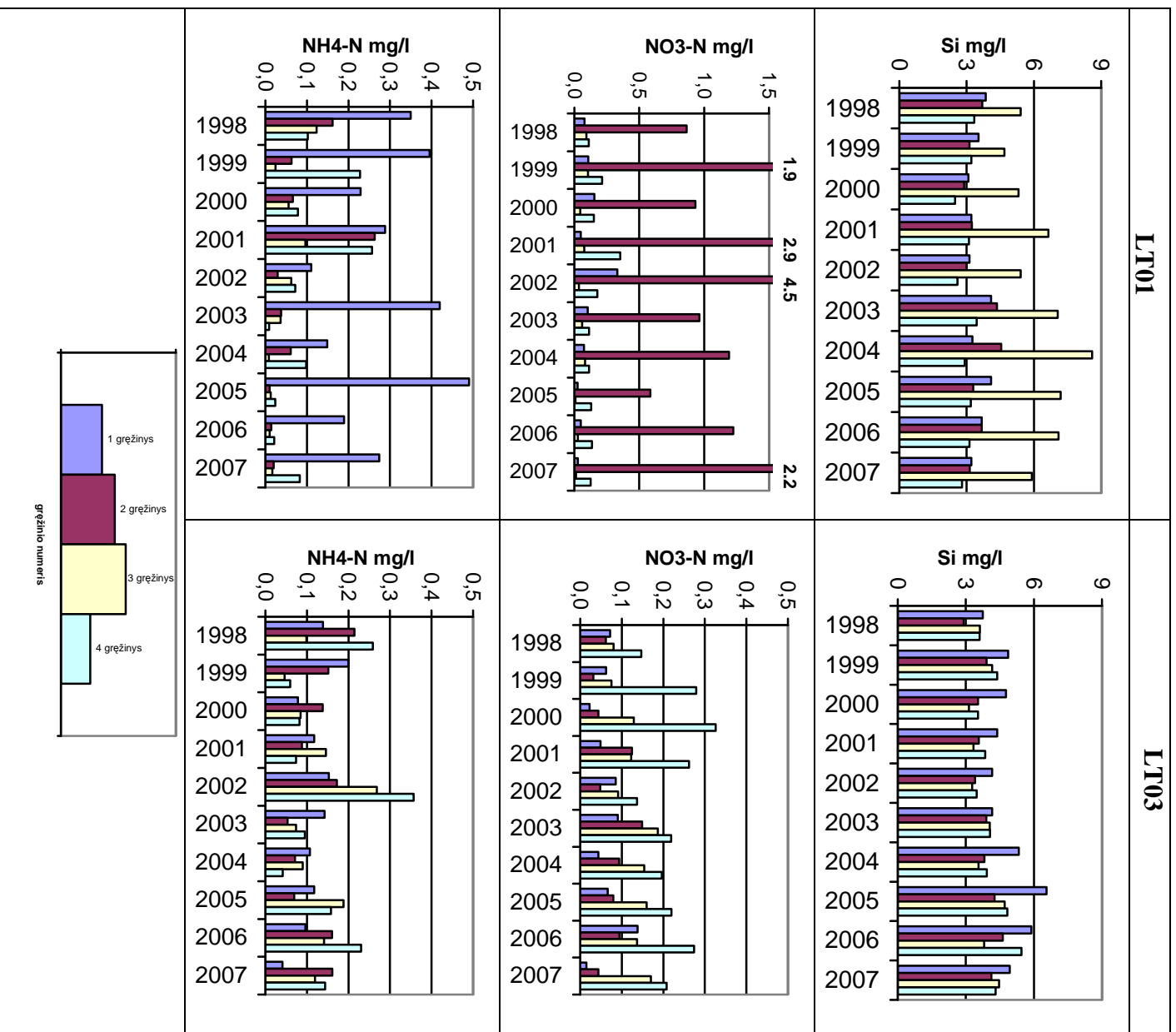
10 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (3 iš 8).

Žemas gruntinio vandens lygis lėmė gilesniųjų uolienu plovimą ir dideles tirpių medžiagų koncentracijas (10 pav. 1-3). Pastaruosius 2–3metus minėtosios gruntinio vandens lygio „duobės“ poveikis slopsta, tai ypač ryškiai matosi pagal Si koncentracijos mažėjimą (10 pav., 4). Uolienu plovimas, dūlėjimas galėjo lemti fosforo, geležies bei aliuminio koncentracijų padidėjimą visuose Žemaitijos KMS grėžiniuose. Aukštaitijoje Fe koncentracijos taip pat nuo 2003 m. padidėjusios, bet Al ir fosforo koncentracijos turi tendenciją mažėti (10 pav. 1, 5, 6). Skirtingą Al ir fosforo koncentracijų dinamiką Aukštaitijos ir Žemaitijos stotyse galėjo lemti uolienu sudėtis: Žemaitijoje uolienos yra ežerinės kilmės, t.y. turi daugiau P ir Al (molio mineralų), negu ledyno tirpsmo vandenų suklostytos Aukštaitijos KMS uolienos. Aukštaitijoje aukšta fosforo, fosfatų ir aliuminio koncentracija laikėsi trumpai tik 2002 ir 2003 m., o pastaraisiais metais turi ryškią tendenciją mažėti (10 pav. 1, 5, 6).

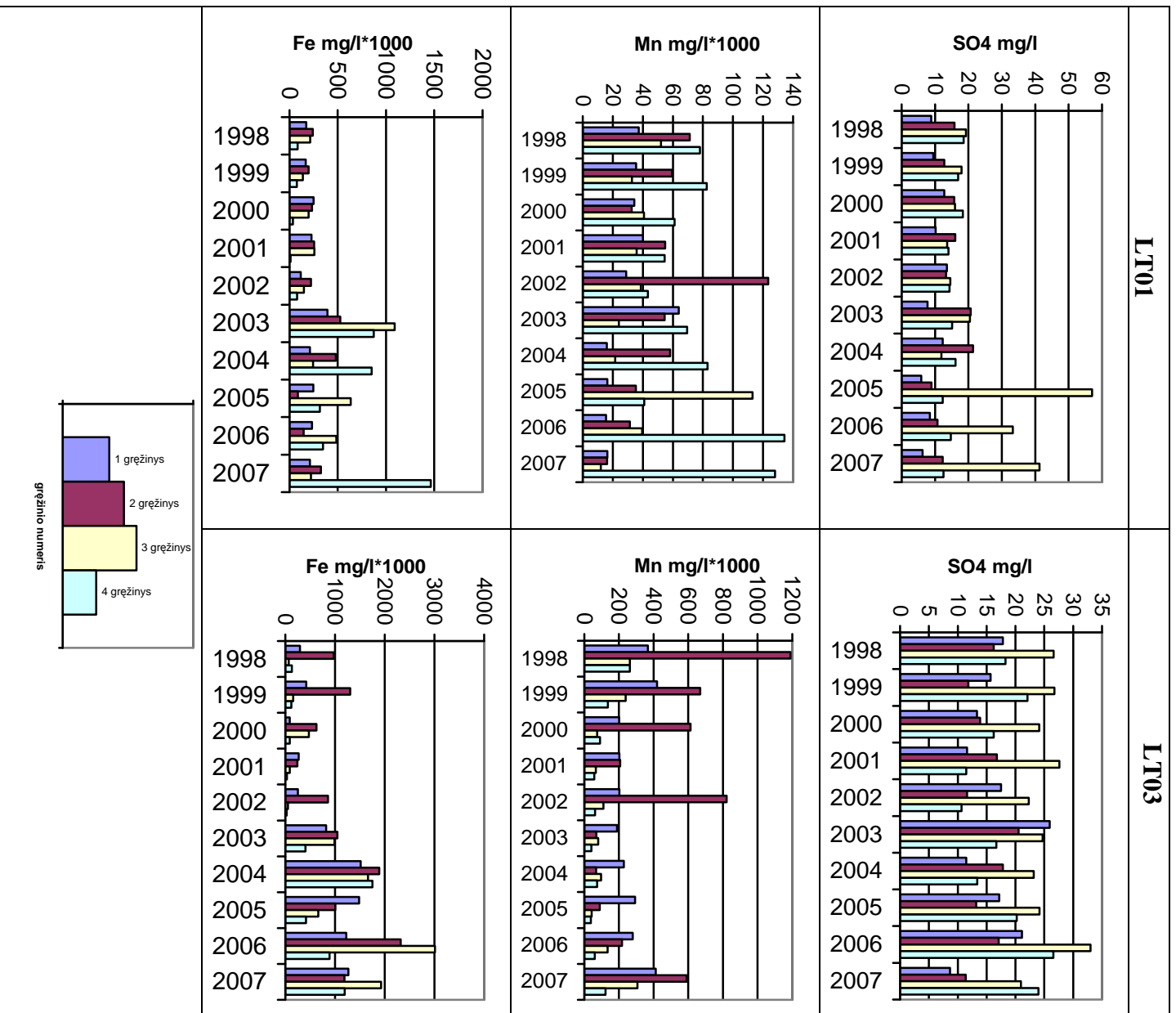
Sulfatų koncentracija Aukštaitijos KMS gruntiniame vandenyje yra stabili trejus metus, padidėjusi tik trečiajame grėžinyje, o Žemaitijos mažėja, kaip ir nitratų bei amonio azoto koncentracija. Pagal turimus duomenis atmosferinio teršimo sulfatais ir nitratais pastaraisiais metais neturėtų būti. Nuo 2005 m. išaugusią sulfatų koncentraciją Aukštaitijos KMS trečiajame grėžinyje galima būtų paaiškinti tuo, kad gruntinis vanduo trečiajame grėžinyje 2005 m. pakilo iki aukščiausio per stebėjimo lakotarpį lygio ir plovė sulfatais turtingas uolienas. Gruntinės sulfatų kilmės hipotezę patvirtina ir aukštas Si lygis trečiojo grėžinio vandenyje (10 pav. 4, 5).

Nuo 2002–2003 m. išlieka mangano (Aukštaitijoje – tik giliausiame grėžinyje) ir visuminės organinės anglies (Aukštaitijoje – tik sekiausiuose grėžiniuose) koncentracijų didėjimo tendencija (11 pav., 5, 6), kurios tikėtina priežastis padidėjęs dirvožemio vandens srautas paviršiniuose horizontuose, o Žemaitijoje ir išaugęs kritulių kiekis.

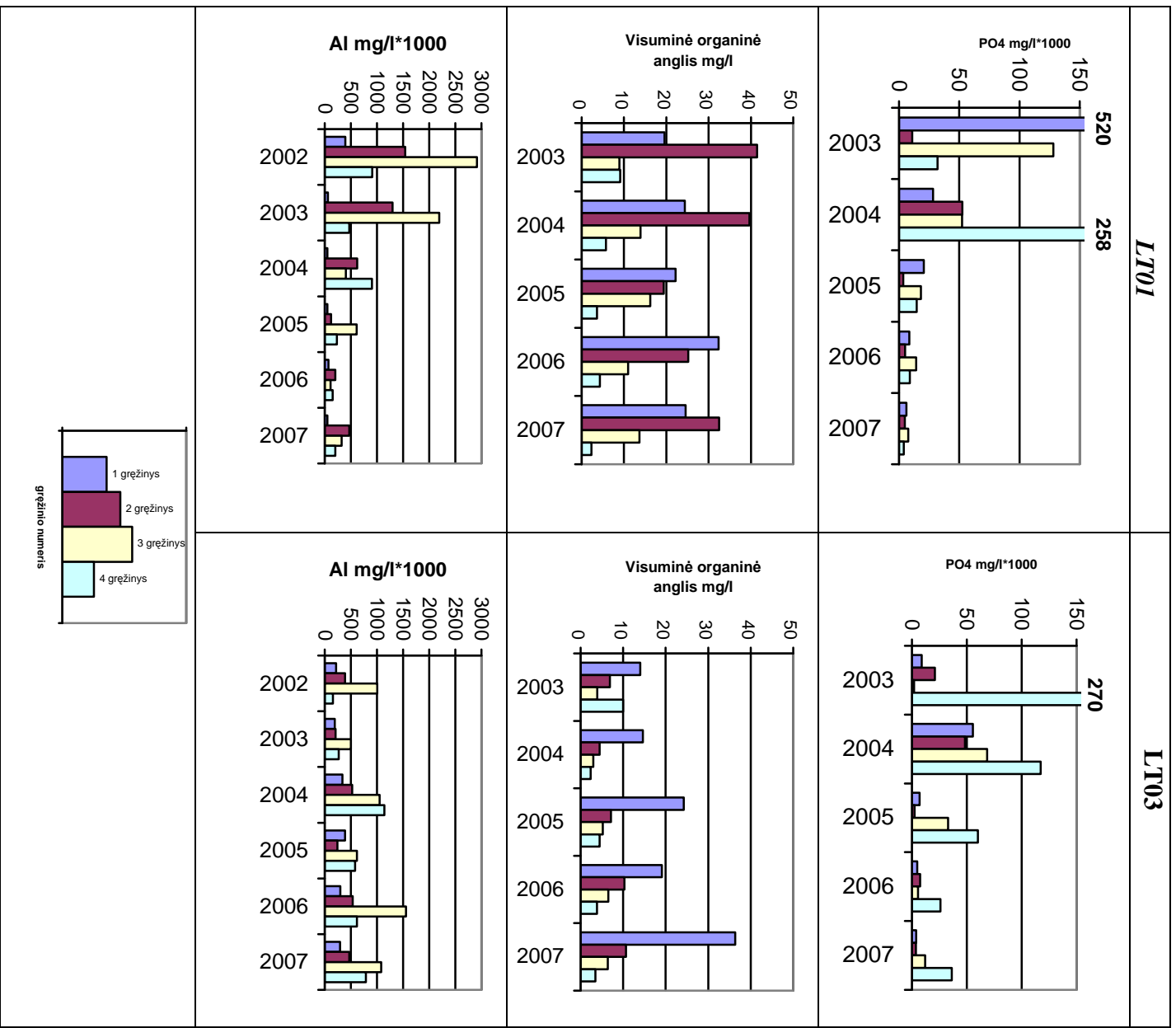




10 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (4 iš 8).



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

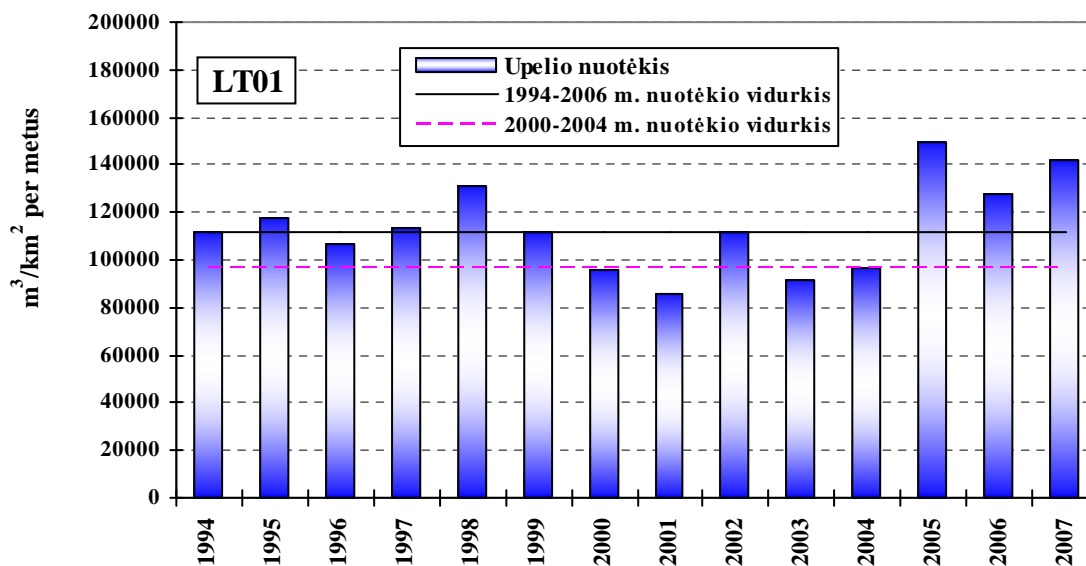


10 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (6 iš 8).

### 2.4.3 Upelio vanduo ir medžiagų išnešimas iš ekosistemos

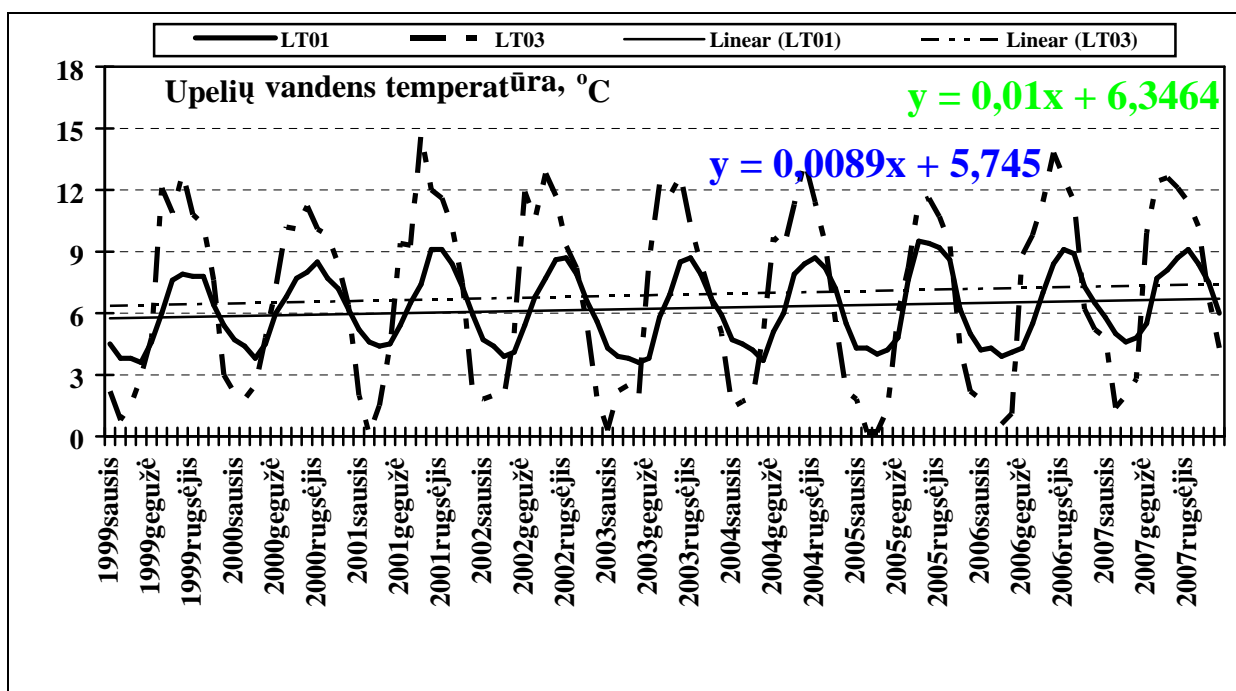
2007 m. sausio 2 dieną Žemaitijos KMS rastas pralaužtas hidrometrinis postas. Vanduo buvo išploves gruntą net žemiau slenksčio apie 1 m gylyje ir stipriai tekėjo pro įrenginio šonus. Hidroįtvaras yra pastatytas taip, kad tik vienu šonu liėtų prie mineralinio grunto, kitur – prie dumblo, todėl postas ir nebuvo stabilus. Be to, nuo 1995 m. per 12 metų ėmė pūti medinė užtvankos dalis. Užtvanka atstatyta, kai stebėtojas sukaupe ažuolo medienos, todėl užtvanka bus patvaresnė. Kitas patobulinimas – gruntas prie patvankos sutvirtintas agroplėvele. Dėl hidrometrinio posto Žemaitijos KMS remonto, duomenų apie upelio nuotekį ir nuotekio koeficientų nėra. Kitos upelio savybės pateikiamos.

Aukštaitijos stotyje 2007 m. nuotėkis, buvo antras pagal dydį per stebėjimo laikotarpį: 11 % didesnis už 2006 m., bet 5 % mažesnis už 2005 m. nuotekį (didžiausią 1994–2007 laikotarpiu). Trejus pastaruosius metus, 2005–2006 metais, upelio nuotekis Aukštaitijos KMS žymiai padidėjo, lyginant su 1994–2004 m. laikotarpiu. 2005–2006 metų nuotekio vidurkis yra net 31 % didesnis už 1994–2004 metų vidurkį (11 pav.).



**11 pav.** Aukštaitijos KMS upelio metinis nuotėkis 1994–2007 m. Žemaitijos KMS hidrometrinis postas sulūžo ir buvo atstatytas tik 2007 m. pabaigoje, todėl duomenų nėra.

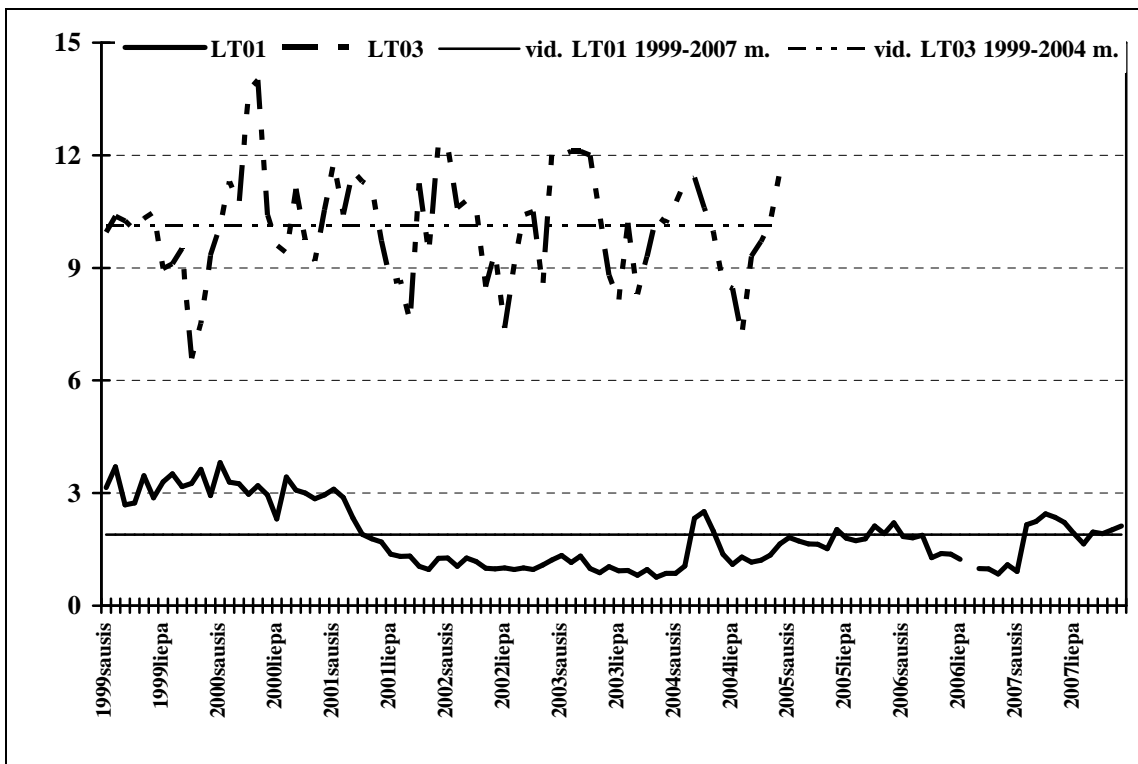
1999–2006 m. periodo upelio vandens vidutinė temperatūra buvo: Aukštaitijos KMS 6,9 °C, o Žemaitijoje 7,1 °C. 2007 metais upelio vandens vidutinė metų temperatūra Aukštaitijos KMS buvo 0,6 °C, o Žemaitijos KMS buvo net 0,8 °C aukštesnė už 1999–2006 m. vidurkį. 1999–2007 m. upelio temperatūros kaitos trendas yra teigiamas. Aukštaitijos stotyje 2007 m. minimali upelio vandens temperatūra buvo didžiausia per visą matavimų periodą. 2007 m. Aukštaitijos stotyje aukštesnė negu 5 °C upelio vandens temperatūra laikėsi 10 mėnesių, ilgiausiai nuo 1999 m. Žemaitijos stotyje aukštesnė negu 10 °C vandens temperatūra laikėsi 5 mėnesius, anksčiau taip ilgai upelio vanduo šiltas išsilaikė tik 1999 m. Pagal 1999–2007 metų trendo lygtį upelių temperatūra kilo Aukštaitijos KMS 0,0089°C per mėnesį arba 0,11°C per metus, o Žemaitijos – KMS 0,010°C per mėnesį arba 0,12°C per metus (12 pav.).



**12 pav.** Upelių vandens temperatūra 1999–2007 m. pirmųjų mėnesio dienų reikšmės.

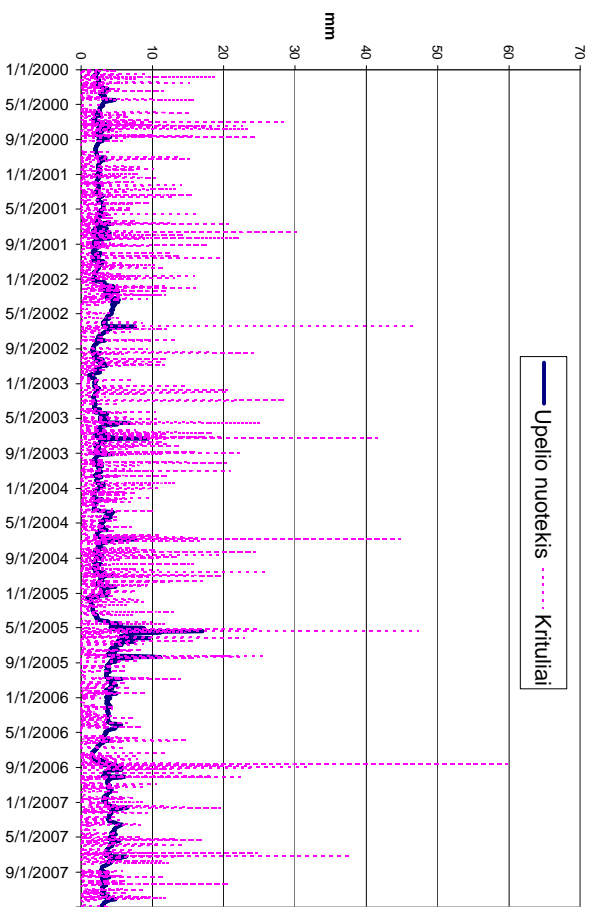
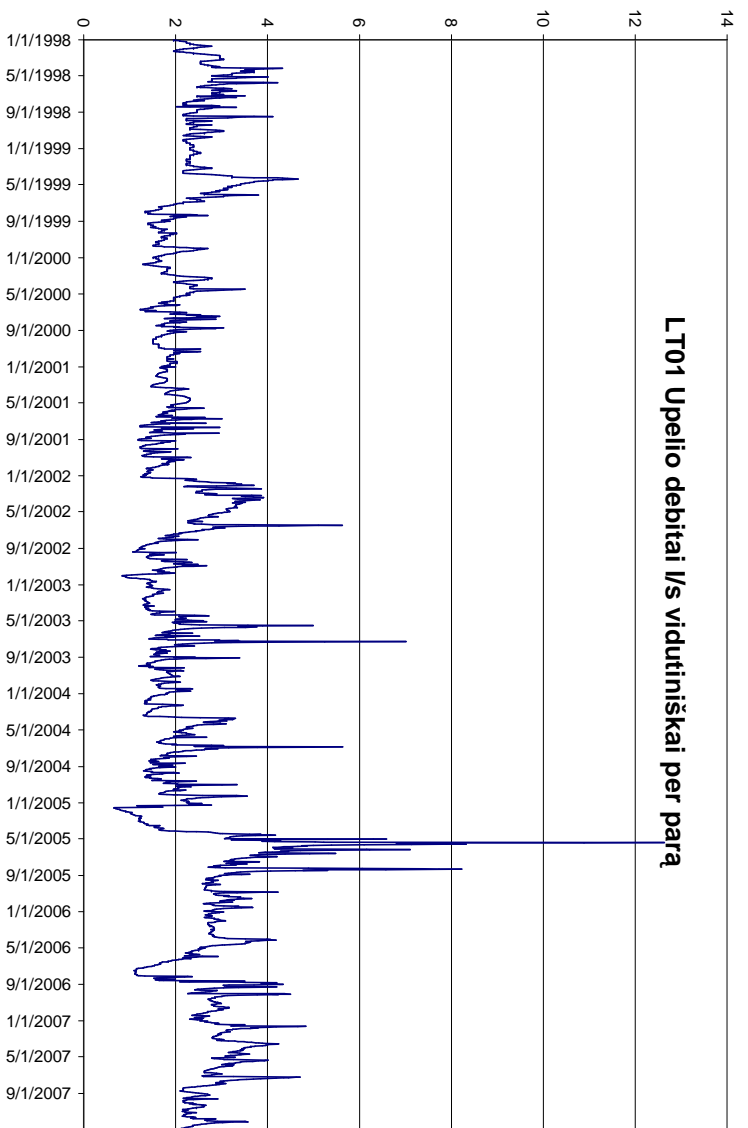
Ištirpusio deguonies kiekis išmatuotas tik Aukštaitijoje, nes Žemaitijos stebėtojas jau treči metai matuoklio neturi.

Ištirpusio deguonies kiekis 2007 m. Aukštaitijos stoties upelio vandenyje, palyginti su 2001–2004 m. laikotarpiu, padidėjo ir visus metus laikėsi aukštesniame lygyje, bet iki 1999–2000 m. lygio nepakilo, todėl išlieka ištirpusio deguonies mažėjimo tendencija (13 pav.).



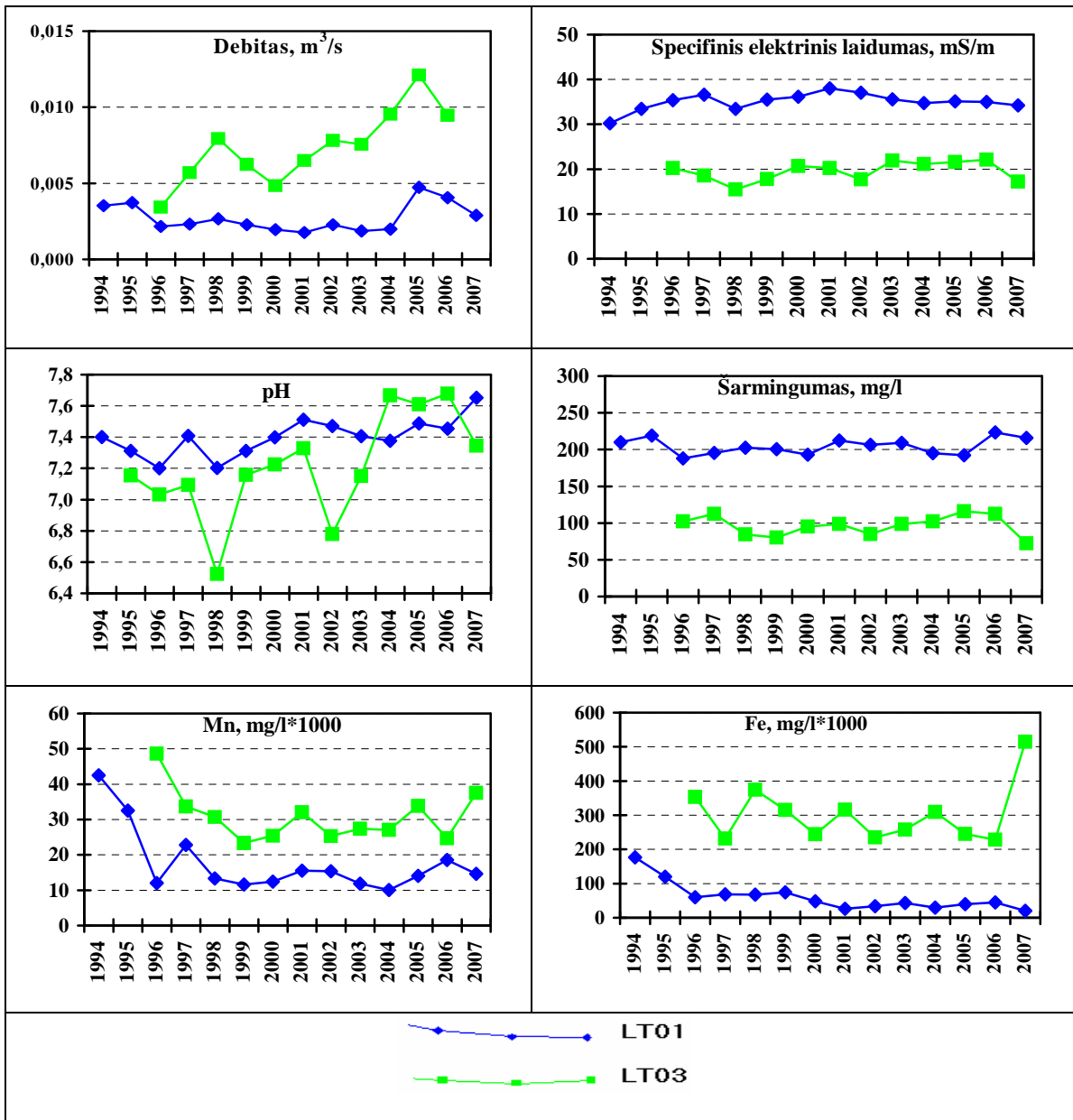
**13 pav.** Upelio vandenyje ištirpęs deguonis (dėl techninių kliūčių LT03 2005–2007 m. nebuvo matuojamas).

2001–2006 metais ištirpusio deguonies kiekis padidėjo dėl trijų veiksnių komplekso. Pirma, nuo 2000 m. sumažėjo upelio metinis nuotekis, o nuo 2005 m., po 5 m. pertraukos vėl viršija stebėjimų laikotarpio (1994–2007m.) vidurkį (11, 13, 14 pav.). Antra, pagal paros nuotekio ir kritulių santykį galima numatyti, kad paviršinis vandens nuotekis vasaros periodu labai išauga dėl liūčių, kai per dieną iškrinta >20 mm kritulių arba kai lyja keletą dienų iš eilės. Tokių įvykių buvo ypač gausu 2001, 2003, 2004 ir 2006 m. šiltuoju laikotarpiu, vasaros poplūdžių metu upelio debitas viršydavo net pavasario potvynio bangą (14 pav.). Vanduo, patekęs į upelį nuo dirvožemio paviršiaus yra drumstesnis, todėl slopina upelio floros aktyvumą, deguonies sintezę. Trečias veiksnys mažinęs deguonies kiekį upelio vandenyje buvo temperatūros kilimas. Aukštaitijos KMS nuo 1999 m. mažesnė, negu 5 °C upelio vandens temperatūra vidutiniškai laikosi 4–5 mėnesius, o 2001 m. tesilaikė 3 mėnesius, tai sutampa su laikotarpiu, kai deguonies upelio vandenyje sumažėjo, pradžia (12, 13 pav.). 2007 m. upelio vanduo buvo rekordiškai šiltas, mažesnė, negu 5 °C upelio vandens temperatūra buvo tik 2 mėnesius, tačiau, palyginti su 2001–2005 m. upelio poplūdžių vasarą buvo nedaug, o išaugęs nuotekis nebesudarė sąlygų sumažėti ištirpusio deguonies koncentracijai.



**14 pav.** Aukštaitijos KMS upelio vandens paros nuotekio kaita 1994-2007 metais ir palyginimas su kritulių intensyvumu, 2000–2007 m..

Geležies ir mangano koncentracijos 2007 m. Aukštaitijos upelio vandenyje, palyginus su 2006 metais buvo sumažėjo, o Žemaitijos KMS stipriai išaugo. Geležies koncentracija – iki maksimalių reikšmių per stebėjimų laikotarpį, nuo 1996 m., o mangano nuo 1997 m. (15 pav., 1).

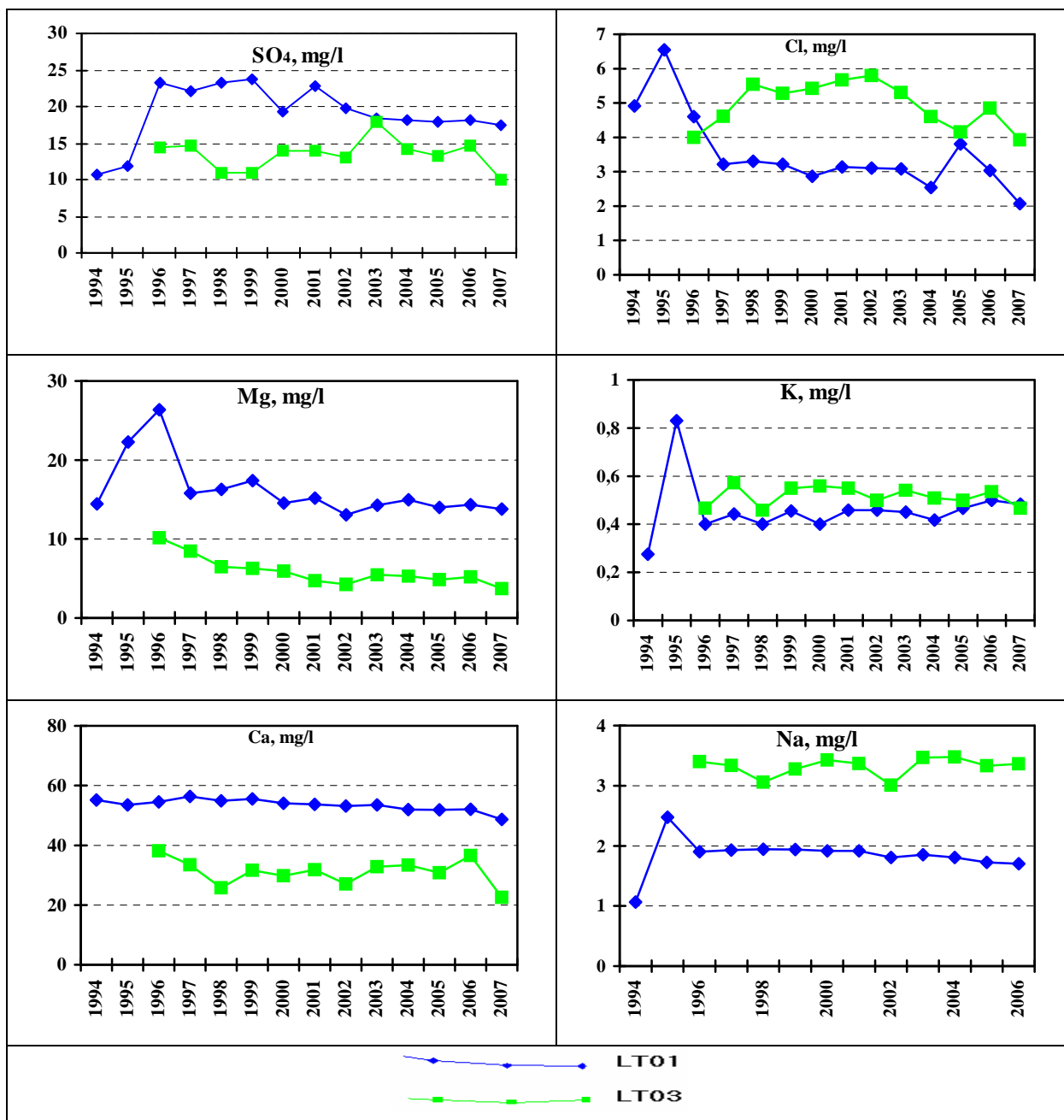


15 pav. Vidutiniai upelio vandens parametrai 1994-2007 metais (1 iš 4).

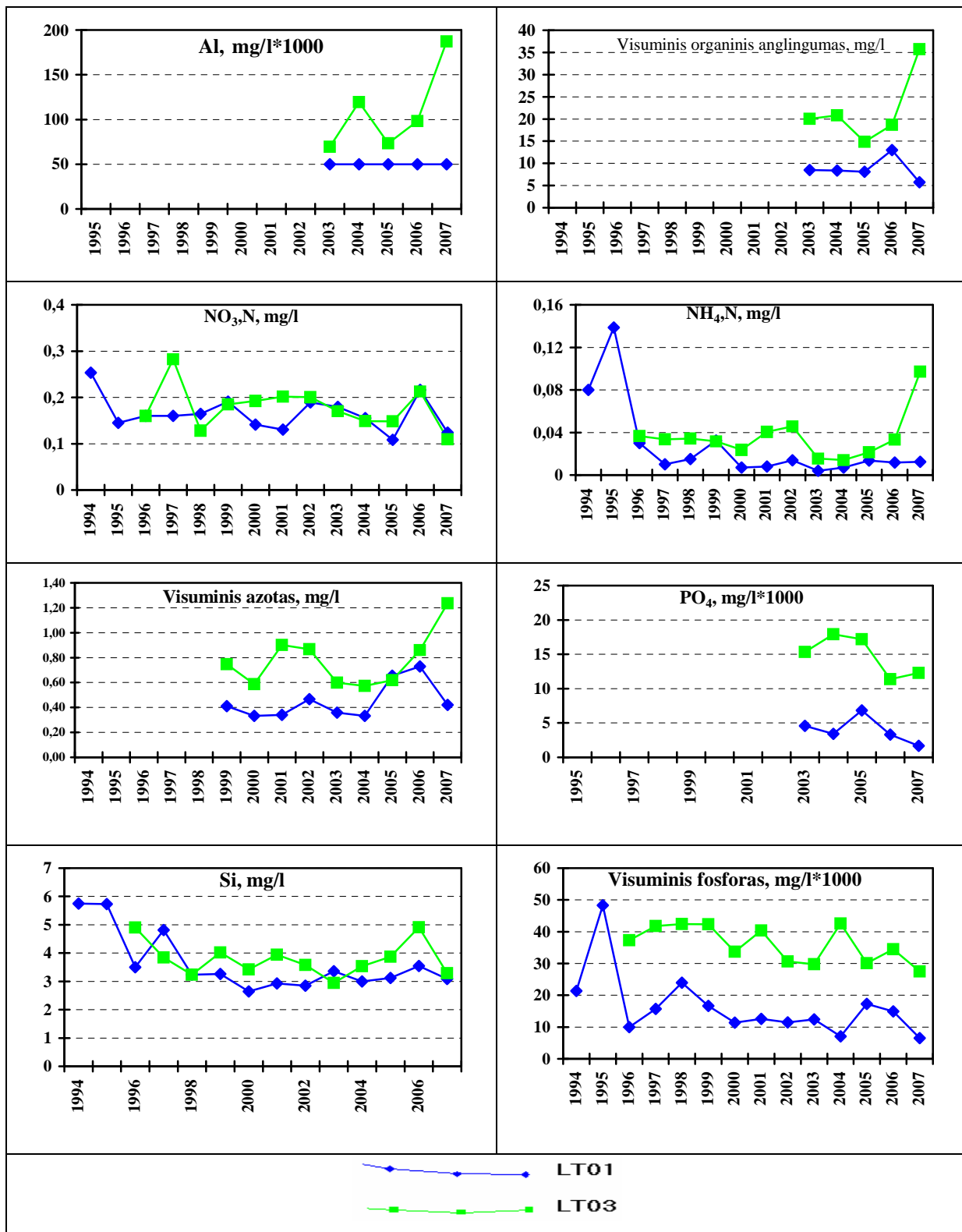


Kitų tirpių medžiagų (K, Na, Ca, Mg) koncentracijos šarmingumas ir specifinis elektrinis laidumas 2007 m. mažėjo abiejose stotyse. Upelio vandens rūgštumas Aukštaitijoje mažėjo. Nors Žemaitijoje upelio vandens rūgštumas didėjo, bet abiejose stotyje per stebėjimo laikotarpį išlieka pH augimo tendencija (15 pav., 1-3). Upelio vandenyje tirpių jonų mažėja dėl didesnio kritulių kiekio nei vidutiniškai per stebėjimo laikotarpį.

Nitratų azoto ir sulfatų sieros koncentracija upelio vandenyje 2007 m. buvo abiejose KMS mažesnė, negu 2006 m. (15 pav., 2 ir 3).



15 pav. Vidutiniai upelio vandens parametrai 1994-2007 metais (2 iš 4).



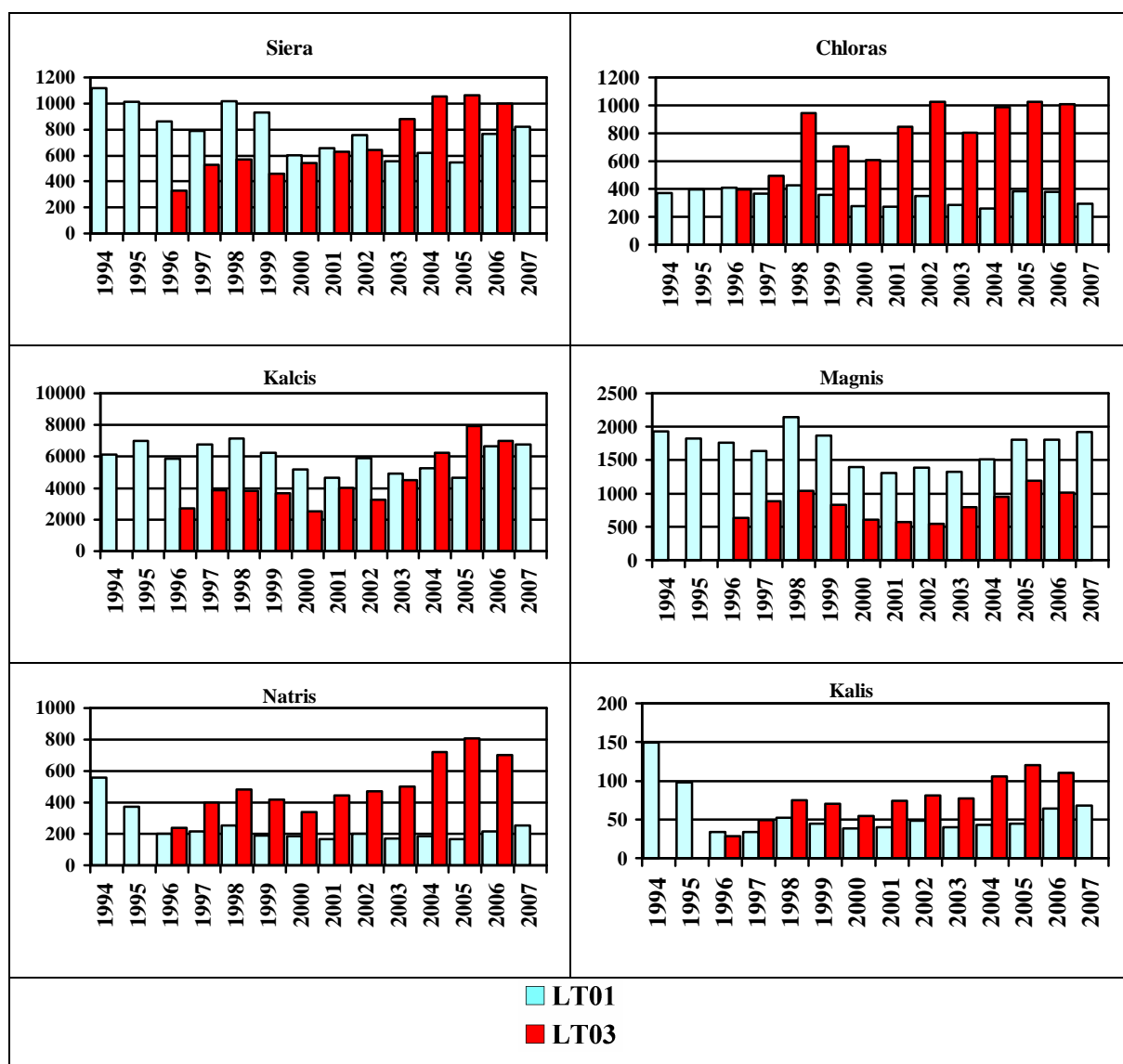
15 pav. Vidutiniai upelio vandens parametrai 1994-2007 metais (3 iš 4).

2007 m. sumažėjo visuminės organinės anglies, visuminio azoto ir fosforo koncentracija Aukštaitijos KMS upelio vandenyje, o Žemaitijos KMS šių medžiagų kiekis išaugo iki didžiausių reikšmių per stebėjimo laikotarpį (15 pav., 3). Organinės kilmės medžiagų mažėjimą Aukštaitijos upelio vandenyje galima sieti su vasarinių poplūdžių

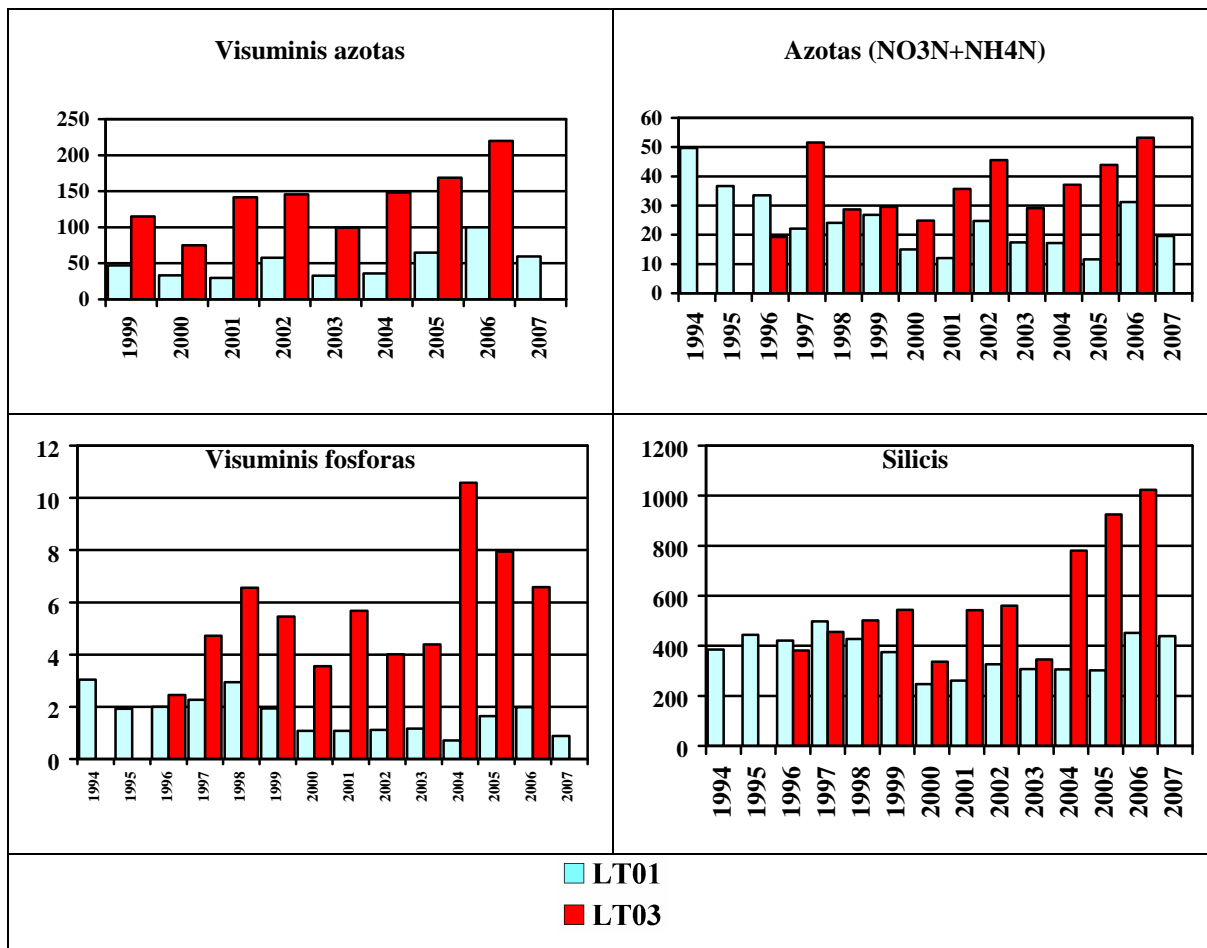
sumažėjimu, o Žemaitijoje duomenų apie 2007 m. upelio debitus neturime, bet žinoma, kad metinis kritulių kiekis buvo rekordiškai didelis (1 pav.), ypač gausiai lijo vasaros pabaigoje, todėl tikėtina, kad organinės kilmės medžiagų padaugėjo dėl rekordinių vasaros poplūdžių.

#### 2.4. Medžiagų balansas KMS teritorijose

Cheminių elementų išnešimas upelio vandeniu gerai atspindi viso baseino medžiagų balanso išlaidų dalį,  $g/m^2$ , per metus (16 pav.). Šiomet nėra 2007 m. duomenų iš Žemaitijos KMS dėl hidrometrinio posto avarijos ir remonto.



16 pav. Sieros, Cl, Na, K, Ca ir Mg išnešimas iš upelių baseinų ( $g/m^2$ , per metus).



**17 pav.** Kai kurių cheminių elementų išnešimas iš upelių baseinų (g/m<sup>2</sup>, per metus).

Upelio nuotėkis Aukštaitijos stotyje 2007 m. buvo didesnis, negu 2006 m., todėl padidėjo tirpiausias medžiagas sudarančių elementų: sulfatų sieros, magnio, kalcio, natrio, kalio išnešimo koeficientas, nors jų koncentracijos upelio vandenyje sumažėjo. Chloro išnešimo koeficiento sumažėjimą galima paaiškinti tuo, kad padidėjo sulfatų išnešimas, tirpių organinės kilmės medžiagų koncentracija (žr. Skyrių „Upelio vanduo ir medžiagų išnešimas iš ekosistemos“), todėl neigiamo krūvio jonų trūkumo nebuvo (16 pav.).

Aukštaitijos KMS 2007 m., sumažėjo visuminių azoto bei fosforo bei mineralinio azoto išnešimas (17 pav.). Atsiželgiant į tai, kad, palyginti su periodu iki 2003 m., 2007 m. padidėjo ištirpusios deguonies kiekis ir sumažėjo ištirpusios organinės anglies koncentracija upelio vandenyje, galima teigti, kad visuminių azoto bei fosforo bei mineralinio azoto išnešimo mažėjimą lemia organinių medžiagų skaidymosi sumažėjimas.

2007 m. silicio išnešimas šiek tiek sumažėjo, bet nuo 1999 m. šio išnešimo tendencija lieka teigiama (17 pav.), tikėtina dėl greitesnio dirvožemio ir uolienuų dūlėjimo pastaraisiais metais.

## IŠVADOS

1. Vandens atsargų dirvožemyje kitimo tendencijos per stebėjimo laikotarpį Aukštaitijos KMS neryškios, o Žemaitijos KMS ryškėja vandens atsargų dirvožemyje daugėjimas ir kontrastiškumo per vegetacijos laikotarpį didėjimas.

2. Stebėjimo laikotarpiu tarp dirvožemio vandens srauto ir kritulių kiekio pastebimas atvirkštinis ryšys. Galima tokio nukrypimo nuo dėsningumo priežastis yra kritulių režimo kaita, 2002–2006 metais dažnesnės liūtys, kada kritulių vanduo nespėja susigerti į dirvožemį, o nuteka paviršiumi, todėl mažėja sąveika tarp dirvožemio ir vandens. Šiuos procesus lydi mažas dirvožemio vandens rūgštumas, kontrastiškos Si koncentracijos bei tirpių elementų, taip pat visuminio fosforo, Mn koncentracijų sumažėjimas.

3. 2007 m. vasaros liūčių Aukštaitijos KMS buvo mažiau, negu Žemaitijoje, todėl kai kurių medžiagų koncentracijų 2006 ir 2007 m. tendencijos yra priešingos: Žemaitijos KMS dirvožemyje išaugo nitrātų ir fosfatų koncentracija, o Aukštaitijos KMS – sumažėjo.

4. Gruntinio vandens gylio svyravimo amplitudė per stebėjimo laikotarpį nesumažėjo, o lygio svyravimo greitis pastaraisiais metais didėja. Gruntinio vandens nusekimo greičio padidėjimas gali būti susijęs su didesniu klimato kontrastingumu pastaraisiais metais.

5. 2007 m. giliųjų gręžinių vandens lygis Aukštaitijos KMS yra stabilus, o Žemaitijos – kyla. Žemas gruntinio vandens lygis lėmė gilesniųjų uolienu plovimą ir dideles tirpių medžiagų koncentracijas, gruntinio vandens elektrinio laidumo didėjimo tendenciją.

6. Pastaruosius 2–3 metus gruntinio vandens lygio kritimo poveikis slopsta, tai ypač ryškiai matosi pagal Si koncentracijos mažėjimą. Uolienu plovimas, dūlėjimas galėjo lemti fosforo, geležies bei aliuminio koncentracijų padidėjimą visuose Žemaitijos KMS gręžiniuose. Aukštaitijoje Fe koncentracijos taip pat nuo 2003 m. padidėjusios, bet Al ir fosforo koncentracijos turi tendenciją mažėti. Skirtingą Al ir fosforo koncentracijų dinamiką Aukštaitijos ir Žemaitijos stotyse galėjo lemti uolienu sudėtis: Žemaitijoje uolienos yra ežerinės kilmės, t.y. turi daugiau P ir Al (molio mineralų), negu ledyno tirpsmo vandenų suklostytos Aukštaitijos KMS uolienos. Aukštaitijoje aukšta fosforo, fosfatų ir aliuminio koncentracija laikėsi trumpai tik 2002 ir 2003 m., o pastaraisiais metais turi ryškią tendenciją mažėti.

7. Upelio vandenyje 2007 m. padidėjo tirpiausias medžiagas sudarančių elementų koncentracija: sulfatų sieros, magnio, kalcio, natrio, kalio išnešimo koeficientas, nors jų koncentracijos upelio vandenyje sumažėjo. Si išnešimo tendencija lieka teigiama, tikėtina dėl greitesnio dirvožemio ir uolienu dūlėjimo pastaraisiais metais. Atsiželgiant į tai, kad, palyginti

su periodu iki 2003 m., 2007 m. padidėjo ištirpusios deguonies kiekis ir sumažėjo ištirpusios organinės anglies koncentracija upelio vandenyje, galima teigti, kad visuminių azoto bei fosforo bei mineralinio azoto išnešimo mažėjimą lemia organinių medžiagų skaidymosi sumažėjimas.

8. Palyginus visuminio azoto ir visuminio fosforo srautus ir atsargų dirvožemyje sumažėjimą, manyti, kad didžiausias atsargų sumažėjimas galėjo įvykti 2005 m. Tačiau turint tik 1993 ir 2005 m. duomenis apie medžiagų atsargas būtų nekorektiška skaičiuoti balansus.

9. Abiejose stotyse neigiamas mineralinio azoto balansas gruntiniame vandenyje geosistemiškai susijęs su kitais ekosistemos komponentais. 2007 m. visuminio fosforo išnešimas iš gruntinio vandens vyrauja abiejose monitoringo stotyse. Aukštaitijoje giliausiame gręžinyje visuminio fosforo balansas artimiausias nuliui.

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

Nustatyta, kad visiems tirtiems atmosferos ore sieros ir azoto junginiams yra būdingas didelis koncentracijų kaitos intervalas. Sezoniškumas yra ryškiausias  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  ir  $\text{sum.NO}_3$  ir didesnės jų koncentracijos atmosferos ore matuotos per šaltąjį metų laikotarpį, (vasario – kovo ir lapkričio – gruodžio mėn.). Mažesnių nei būdingos sausio mėnesiui sieros ( $\text{SO}_2$  ir  $\text{aer.SO}_4$ ) ir azoto ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{sum.NO}_3$  ir  $\text{sum.NH}_4$ ) junginių koncentracijų priežastimi, matyt, galėtų būti aukštesnė nei daugiametė šio mėnesio oro temperatūra centrinėje Europoje ir Lietuvoje, o tuo pačiu mažesnė  $\text{SO}_2$  emisija bei spartesnis atmosferos vertikalusis maišymasis, didelis kritulių kiekis per šį mėnesį ir dažniausiai pasikartojančios oro masių pernašos į Lietuvą iš šiaurinių-šiaurės vakarinių regionų. Pagrindiniai tirtų teršalų šaltiniai yra centrinėje ir pietinėje Europoje.

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

Šlapiųjų srautų analizė parodė, kad per pastaruosius 14 metų: sieros šlapiasis srautas į ekosistemas sumažėjo Aukštaitijoje 53 % ir Žemaitijoje 69 %, amoniakinio azoto - sumažėjo 49 % Aukštaitijoje ir 40 % Žemaitijoje, nitratinio azoto sumažėjo - 30 % Aukštaitijoje ir 15 % Žemaitijoje.

Krentant atmosferiniams krituliams per medžių lają, cheminių priemaišų koncentracijos, išskyrus azoto junginius, polajiniuose krituliuose bei jų srautai į polajį yra didesni nei atviroje vietoje. Didžiausias koncentracijų ir srautų padidėjimas rastas kaliui. Tai rodo šio elemento išplovimą iš lajos, ypač per šiltąjį metų laikotarpį. Sulfatų koncentracijos padidėjimą siejame su sieros junginių (sulfatų ir sieros dvideginio) nuplovimu nuo lajos. Azoto junginių ( $\text{NH}_4^+$  ir  $\text{NO}_3^-$ ) srautų padidėjimas bei sumažėjimas siejami su šių komponentų nuplovimu nuo lajos ar jų išplovimu iš lajos ir šių junginių absorbcija lajoje, atitinkamai. Išaiškinti palajinių srautų skirtumai tarp stočių gal būti sąlygoti skirtinga tirtų medynų struktūra.

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

Vandens atsargų dirvožemyje kitimo tendencijos per stebėjimo laikotarpį Aukštaitijos KMS neryškios, o Žemaitijos KMS ryškėja vandens atsargų ir kontrastiškumo per vegetacijos laikotarpį didėjimas.

Visuminio azoto koncentracija dirvožemio vandenyje sumažėjo arba buvo stabili. Aukštaitijos stotyje stabili išliko ir mineralinio azoto koncentracija, o Žemaitijoje nitratų azoto kiekis išaugo, 40 cm gylyje pasiekdamas didžiausią reikšmę per stebėjimo laikotarpį.

Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS per 14 metų stebimi keturi beveik sinchroniški gruntinio vandens lygio svyravimo ciklai, kurių amplitudė, pradžia ir pabaiga priklauso nuo gręžinio gylio: kuo giliau gręžinys, tuo didesnė gruntinio vandens lygio svyravimo amplitudė, o giliausiuose gręžiniuose 2-6 mėnesiais vėluoja ciklo pradžia ir pabaiga. Šie ciklai gerai koreliuoja su kritulių kiekio ciklais.

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

Aukštaitijos KM stotyje 2007 m. nuotėkis, buvo antras pagal dydį per stebėjimo laikotarpį: 11 % didesnis už 2006 m., bet 5 % mažesnis už 2005 m. nuotekį (didžiausią 1994–2007 laikotarpiu). Tačiau paskutiniuosius trejus metus upelio nuotekis Aukštaitijos KMS net 31 % viršija 1994–2004 metų nuotekio vidurkį.

Paskutiniaisiais metais upelio vandens rūgštumas Aukštaitijoje mažėjo. Nors Žemaitijoje upelio vandens rūgštumas didėjo, bet abiejose stotyje per stebėjimo laikotarpį išlieka pH augimo tendencija.

Sulfatų ir nitratų koncentracijos upelio vandenyje abiejose stotyje mažėjo, kai to tarpu amonio jonų koncentracija labai išaugo Žemaitijos KMS, o Aukštaitijos KMS ir toliau turėjo tendenciją mažėti.

2007 m. sumažėjo visuminės organinės anglies, visuminio azoto ir fosforo koncentracija Aukštaitijos KMS upelio vandenyje, o Žemaitijos KMS šių medžiagų kiekis išaugo iki didžiausių reikšmių per stebėjimo laikotarpį. Organinės kilmės medžiagų mažėjimą Aukštaitijos upelio vandenyje galima sieti su vasarinių poplūdžių sumažėjimu, o Žemaitijoje duomenų apie 2007 m. upelio debitus neturime, bet žinoma, kad metinis kritulių kiekis buvo rekordiškai didelis, ypač gausiai lijo vasaros pabaigoje, todėl tikėtina, kad organinės kilmės medžiagų padaugėjo dėl rekordinių vasaros poplūdžių.

Aukštaitijos KMS 2007 m., sumažėjo visuminių azoto bei fosforo bei mineralinio azoto išnešimas. Atsiželgiant į tai, kad, palyginti su periodu iki 2003 m., 2007 m. padidėjo ištirpusios deguonies kiekis ir sumažėjo ištirpusios organinės anglies koncentracija upelio



vandenyje, galima teigti, kad visuminių azoto bei fosforo bei mineralinio azoto išnešimo mažėjimą lemia organinių medžiagų skaidymosi sumažėjimas.

Dažniausiai dirvožemio, gruntinių ir paviršinio vandens užterštumas  $\text{NH}_4^+$  jonais siejamas su jų koncentracijomis ore, krituliuose bei su jų bendru srautu. Šios koncentracijos didėja, didėjant  $\text{NH}_4^+$  koncentracijoms ore, krituliuose bei iškritoms. Dirvožemio, gruntinių ir paviršinio vandens užterštumas  $\text{NO}_3^-$  junginiais mažiau siejamas su jų koncentracijomis ore, krituliuose bei iškritomis. Tačiau jų pokyčiai pakankamai dažnai gerai koreliuoja su  $\text{NH}_4^+$  koncentracijų ore ir krituliuose bei iškritų kaita. Tai dažniausiai aiškinama šių junginių sąlygojamais dirvožemio nitrifikacijos procesais (De Vries et al., 2003b). Kaip išskirtinį ir mažai būdingą atvejį reiktų paminėti išaiškintą reikšmingą tarpusavio ryšį tarp  $\text{NO}_3^-$  koncentracijų krituliuose ir dirvožemio vandenyje Dzūkijos KMS. Smėlis, kuris pasižymi geromis filtracinėmis savybėmis, atrodo, kad lemia šį išaiškintą ryšį.

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

IMS	Koncentracija ore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				Iškritos ( $\text{mg}/\text{m}^2$ )				Krituliuose ( $\text{mg}/\text{l}$ )			
	$\text{SO}_2$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{H}^+$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{H}^+$	
LT-01												
SO4_GW	-0,133	-0,155	-0,162	<b>-0,266</b>	-0,091	<b>-0,337</b>	<b>-0,273</b>	-0,206	-0,025	-0,143	-0,260	
NH4_GW	0,545	0,494	0,681	<b>0,629</b>	0,587	<b>0,364</b>	<b>0,598</b>	<b>0,651</b>	<b>0,559</b>	<b>0,447</b>	<b>0,644</b>	
NO3_GW	-0,133	-0,007	-0,131	-0,129	-0,228	0,080	-0,104	-0,141	-0,219	0,012	-0,108	
SO4_SW	-0,142	-0,115	0,111	-0,151	-0,018	-0,035	0,029	-0,137	0,002	-0,195	0,030	
NH4_SW	<b>0,544</b>	<b>0,724</b>	<b>0,907</b>	<b>0,670</b>	<b>0,584</b>	<b>0,445</b>	<b>0,733</b>	<b>0,721</b>	<b>0,569</b>	<b>0,550</b>	<b>0,810</b>	
NO3_SW	-0,184	0,035	-0,094	-0,181	-0,138	-0,099	0,269	-0,261	-0,228	<b>-0,449</b>	0,197	
SO4_RW	<b>-0,541</b>	<b>-0,696</b>	<b>-0,498</b>	<b>-0,610</b>	<b>-0,508</b>	-0,261	<b>-0,924</b>	<b>-0,536</b>	-0,375	-0,085	<b>-0,905</b>	
NH4_RW	<b>0,717</b>	<b>0,729</b>	<b>0,922</b>	<b>0,769</b>	<b>0,723</b>	<b>0,412</b>	<b>0,795</b>	<b>0,826</b>	<b>0,705</b>	<b>0,606</b>	<b>0,863</b>	
NO3_RW	<b>0,612</b>	0,354	0,145	<b>0,561</b>	0,338	<b>0,482</b>	<b>0,534</b>	<b>0,491</b>	0,258	<b>0,404</b>	<b>0,487</b>	
LT-03												
SO4_GW	<b>0,325</b>	0,105	0,152	0,291	<b>0,406</b>	-0,249	-0,167	<b>0,417</b>	<b>0,457</b>	0,009	-0,063	
NH4_GW	<b>0,832</b>	<b>0,433</b>	<b>0,961</b>	<b>0,607</b>	<b>0,645</b>	0,216	0,260	<b>0,738</b>	<b>0,669</b>	<b>0,626</b>	<b>0,410</b>	
NO3_GW	0,307	0,094	0,133	0,210	<b>0,453</b>	-0,229	-0,157	<b>0,398</b>	<b>0,519</b>	0,050	-0,075	
SO4_SW	<b>0,571</b>	0,045	<b>0,500</b>	<b>0,444</b>	<b>0,496</b>	-0,358	0,262	<b>0,704</b>	<b>0,651</b>	0,308	<b>0,500</b>	
NH4_SW	0,268	0,304	<b>0,510</b>	-0,034	0,052	-0,259	0,130	0,127	0,157	0,040	0,183	
NO3_SW	<b>0,785</b>	0,330	<b>0,924</b>	<b>0,550</b>	<b>0,493</b>	0,045	0,256	<b>0,666</b>	<b>0,556</b>	<b>0,691</b>	<b>0,469</b>	
SO4_RW	<b>-0,443</b>	-0,321	<b>-0,611</b>	-0,323	-0,164	-0,375	-0,102	-0,170	-0,073	-0,358	-0,128	
NH4_RW	0,611	0,335	<b>0,816</b>	0,413	0,369	0,272	0,335	0,390	0,320	<b>0,627</b>	<b>0,459</b>	
NO3_RW	-0,222	-0,226	<b>-0,448</b>	-0,100	0,057	-0,085	<b>-0,458</b>	-0,065	0,032	-0,016	<b>-0,471</b>	
LT-02												
SO4_GW	-0,100	0,052	-0,016	-0,248	-0,059	-0,056	-0,256	-0,153	0,085	0,216	-0,232	
NH4_GW	-0,293	0,005	-0,208	-0,016	-0,095	0,313	-0,270	-0,057	-0,193	0,048	-0,301	
NO3_GW	0,007	0,015	0,088	-0,189	-0,102	-0,022	-0,160	-0,171	-0,013	0,178	-0,156	
SO4_SW	<b>0,662</b>	-0,373	<b>0,708</b>	-0,137	<b>0,586</b>	<b>-0,819</b>	0,120	0,171	0,947	0,463	0,241	
NH4_SW	<b>0,582</b>	-0,041	0,265	<b>0,633</b>	0,256	-0,257	<b>0,941</b>	0,466	0,013	<b>-0,651</b>	<b>0,931</b>	
NO3_SW	-0,410	-0,457	-0,115	<b>-0,580</b>	-0,214	0,094	<b>-0,854</b>	<b>-0,523</b>	0,035	<b>0,818</b>	<b>-0,814</b>	
SO4_RW	-0,481	0,123	-0,107	<b>-0,736</b>	-0,258	0,207	<b>-0,984</b>	<b>-0,632</b>	0,091	<b>0,711</b>	<b>-0,969</b>	
NH4_RW	0,242	-0,332	0,134	0,610	0,328	-0,284	<b>0,752</b>	0,487	0,123	-0,564	<b>0,801</b>	
NO3_RW	-0,381	-0,124	-0,451	-0,275	-0,496	-0,254	-0,013	-0,452	-0,162	-0,052	0,090	

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

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

Papildomai reiktų pažymėti, kad priešingai procesams susijusiems su N junginių kaita ir balacu, upelio vandens užterštumas  $\text{SO}_4^{2-}$  junginiais atvirkščiai proporcingas  $\text{SO}_2$  koncentracijų kaitai ore ir  $\text{SO}_4^{2-}$  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 suksikaupę 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 šilant 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).  $\text{NO}_3^-$  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.

### III. SUNKIŲJŲ METALŲ SRAUTAI, JŲ KAUPIMASIS EKOSISTEMOSE IR IŠPLOVIMAS

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

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

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

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

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

Aplinkos teršalų sudėtinė dalis yra policikliniai aromatiniai angliavandeniliai ir sunkieji metalai. Daugelis jų pasižymi toksinėmis savybėmis, yra pavojingi žmogui ir 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.

Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAA), tarp jų stipriausias kancerogenas benz(a)pirenas (B(a)P), yra išmetami į atmosferą organinio kuro (medienos, akmens anglies, naftos ir jos produktų, dujų, skalūnų ir kt.) degimo procesų metu. Šiuos teršalus gali išmesti įvairūs pramonės objektai, tokie kaip, elektros energijos stotys, savivaldybių šiukšlių deginimo įmonės, naftos perdirbimo įmonės, be to, individualių namų šildymo įranga bei automobiliai. [1,2]. Atmosferoje benz(a)pirenas yra susijęs su smulkiomis aerolinėmis dalelėmis. Apie 90 % B(a)P yra susiję su dalelėmis, kurių aerodinaminis diametras yra mažesnis nei 3µm miesto aplinkoje ir daugiau nei 70% benz(a)pireno yra susiję su aerolio submikronine frakcija (< 0,3 µm) foninėse vietovėse [3,4]. Atitinkamai benz(a)pireno gyvavimo laikas atmosferoje gali svyruoti nuo 19 iki 77 dienų, ko pasekoje jis gali būti transportuojamas dideliais atstumais, išplisdamas didelėse teritorijose [4].

Iki šiol sisteminiai policiklinių aromatinių angliavandenilių tyrimai nebuvo plačiai vykdomi. Tik keliose Europos monitoringo stotyse buvo matuojamas benz(a)pirenas, o vėliau buvo atliekami ir kitų PAA tyrimai. Taigi, benz(a)pireno koncentracijų lygių analizė gali būti padaryta tik iš duomenų, gautų įvairiose šalyse, įvairiais tyrimų periodais. Buvo nustatyta, kad 1990-1991 metais benz(a)pireno koncentracija vakarinėje Švedijos dalyje kito nuo 0,02 iki 1,7 ng/m<sup>3</sup> ir nuo 1,8 iki 42,3 ng/m<sup>3</sup> Silezijos regione, Lenkijoje 1989 metais [5,6]. Sisteminiai benz(a)pireno tyrimai Preilos foninių tyrimų stotyje parodė, kad benz(a)pireno vidutinė mėnesinė koncentracija kito nuo 0,02 iki 1,72 ng/m<sup>3</sup> šilto sezono metu (gegužė-rugsėjis) ir nuo 0,18 iki 3,30 ng/m<sup>3</sup> šalto sezono metu (spalis-balandis) 1980-2002 metų laikotarpyje. Be to, nustatyta, kad benz(a)pireno paros koncentracija iki 0,5 ng/m<sup>3</sup> dažniausiai pasikartodavo metų šalto periodo metu ir iki 0,2 ng/m<sup>3</sup> šilto sezono metu [7]. Pagrindinė dalis ekstremaliai didelių koncentracijų buvo nustatyta Preilos foninėje stotyje ateinant oro masėms iš Juodojo trikampio ir Pietinės Lenkijos dalies (Silezijos regiono) [7,8]. Lyginant benz(a)pireno koncentracijas Preilos foninių tyrimų stotyje su jo koncentracijomis, nustatytomis nuo 1994 metų, kitose šalyse, pasirodė, kad jų reikšmės yra beveik eile didesnės nei

Skandinavijos šalyse ir panašiam lygyje kaip Čekijos respublikoje. Tačiau benz(a)pireno koncentracijos kitimo tendencijos yra labai panašios į nustatytas Švedijos foninėse stotyse su ryškaus mažėjimo tendencija nuo 1999 metų [7].

Metalai į atmosferą patenka emisijos iš pramonės įmonių bei transporto priemonių, vulkaninės veiklos, dirvų erozijos, miškų gaisrų ir garavimo pasėkoje. Patekę į atmosferą metalai aerolio dalelių sudėtyje su oro srautais sklinda įvairiais atstumais ir sauso ar šlapio nusėdimo būdu patenka į žemės bei vandens paviršių, kur vyksta tolimesnė jų sklaida. Toliau jie migruoja dirvožemyje, patenka į gruntinius vandenis, su upėmis nunešami į jūras ir vandenynus, nusėda vandens telkinių dugne. Ypatingas susidomėjimas sunkiaisiais metalais atsirado todėl, kad metalai gamtoje turi savybę kauptis, migruodami iš vienos gamtinės sistemos į kitą. Susikaupę metalai neigiamai veikia gyvų organizmų gyvybines sistemas. Sunkiųjų metalų poveikis dažniausiai yra kumuliatyvinio pobūdžio dėl jų savybės kauptis gyvuosiuose organizmuose. Daugelis metalų pasižymi toksinėmis savybėmis, o kai kurie pasižymi ir kancerogeninėmis savybėmis, todėl yra pavojingi žmogui ir gyvajai gamtai. Tai sąlygoja jų sklaidimo aplinkoje ir nusėdimo procesų tyrimų svarbą globaliniu mastu.

Anksčiau atlikti stebėjimai ir skaičiavimai parodė, kad antropogeninės kilmės metalų emisija pačioje Lietuvos teritorijoje yra nedidelė. 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 [9,10,11,12]. Nuo 1987 metų Europoje (kiek vėliau, maždaug nuo 1993 metų, ir Lietuvoje) palapsniui pereita prie bešvinio benzino. Tai turėjo lemiamos įtakos oro užterštumo sumažėjimui švino junginiais. Todėl, nors autotransporto srautai ir sparčiai didėjo, bet per pastaruosius penkiolika metų švino emisija į aplinką ryškiai sumažėjo. Paminėtų priemonių Vakarų Europoje įgyvendinimas turėjo didelės įtakos švino koncentracijos sumažėjimui Lietuvos oro baseine. Tai tik dar kartą patvirtino faktą, kad didžioji teršalų dalis atkeliauja į Lietuvą su oro masėmis iš Vakarų ir Pietų Europos..

Sunkiųjų metalų monitoringas krituliuose yra svarbesnis žemės ekosistemai už sunkiųjų metalų monitoringą ore. Krituliai dėl savo nereguliarumo nors ir ne visiškai, bet iš dalies atspindi ir atmosferos užterštumą sunkiaisiais metalais. Tačiau tiriant sunkiųjų metalų koncentraciją krituliuose, galima žymiai tiksliau nei iš jų koncentracijos ore įvertinti sunkiųjų metalų srautą į žemės paviršių. Taip yra todėl, kad iš bendro antropogeninės kilmės sunkiųjų metalų kiekio, nusėdusio ant žemės paviršiaus, 70 ÷ 90 % jų nusėda su krituliais [13].

## Darbo metodika

Kritulių bandiniai Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stotyse buvo renkami 2007 metų laikotarpyje. Aukštaitijos IM stotis yra išsidėsčiusi rytų Lietuvoje tarp  $26^{\circ}03'20''$  ir  $26^{\circ}04'50''$  rytų ilgumos bei  $55^{\circ}26'00''$  ir  $55^{\circ}26'53''$  šiaurės platumos. Žemaitijos IM stotis yra šiaurės vakarų Lietuvoje tarp  $21^{\circ}51'56''$  ir  $21^{\circ}53'10''$  rytų ilgumos bei  $56^{\circ}00'19''$  ir  $56^{\circ}01'05''$  šiaurės platumos. 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 buvo surinkti 72 kritulių bandiniai ir juose 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 ( $52.15 \text{ cm}^2$  ploto) piltuvėliai. Prieš naudojimą tiek piltuvėliai, tiek ir buteliai buvo pamerkti į 5%  $\text{HNO}_3$  vandeninį tirpalą ir laikomi tris paras, po to pamerkami į 1%  $\text{HNO}_3$  vandeninį tirpalą ir laikomi savaitę, po ko praplaunami dejonizuotu vandeniu. Po ekspozicijos rinktuvai laikikliuose buvo keičiami. Nuėmus rinktuvus, į juos buvo įpilama ypatingai švarios  $\text{HNO}_3$  tiek, kad rūgšties koncentracija bandinyje būtų lygi 0,2%. Rinktuvai laikomi parą, o po to bandiniai supilami į kiekvienam laikikliui priskirtą butelį. Rinktuvai buvo sveriami su krituliais ir išpylus kritulių vandenį – iš masių skirtumo buvo įvertinamas kritulių tūris. Vėliau buteliai buvo dedami į šaldytuvą ir laikomi ne aukštesnėje kaip  $5^{\circ}\text{C}$  temperatūroje. Panaudoti rinktuvai buvo ruošiami eilinei pamainai: dviems paroms pamerkami į 5%  $\text{HNO}_3$  vandeninį tirpalą, po to trims paroms į 1%  $\text{HNO}_3$  vandeninį tirpalą, ir praplaunami dejonizuotu vandeniu.

Atmosferos aerolio dalelių bandiniai buvo renkami siurbiant orą pro Whatman filtras, 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 pagal metodiką, aprašytą darbe [9].

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

išvengti tiriamų junginių degradacijos. Buvo nustatoma mėnesinė benz(a)pireno koncentracija, sumuojant keletą mėnesio filtrų.

Benz(a)pireno analizė iš aerosolinių filtrų buvo atliekama trimis etapais: 1) organinių junginių ekstrakcija vibraciniu aparatu (8Hz) laike 1 valandos, 2) chromatografinio frakcionavimo ant  $Al_2O_3$  heksano dietilo eterio mišiniu 10:1, 3) benz(a)pireno koncentracijos nustatymo chromatografijos eliuatuose spektrofluorescencinės analizės metodu skysto azoto temperatūroje (77°K). Fluorescencijos sužadinimas prie  $\lambda = 298$  nm ir emisijos prie  $\lambda = 403$  nm. Metodo jautrumas 0,1 ng/ml eliuato [7,14].

### **Tyrimų rezultatai**

Sunkiųjų metalų koncentracijos krituliuose vertės gautos 2007 m. Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stotyse yra pateiktos 1 lentelėje. Iš lentelės matyti, kad sunkiųjų metalų koncentracija krituliuose didesnė Žemaitijos nei Aukštaitijos IM stotyje. Tai iš dalies galima paaiškinti tuo, kad žymią dalį teršalų Lietuva su oro masėmis gauna iš pramoninių vakarų ir centrinės Europos rajonų – dalis sunkiųjų metalų iš oro yra išplaunama vakarinėje Lietuvos dalyje, o į rytinę šalies dalį patenka jau 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.

Sunkiųjų metalų įtaką žemės ekosistemai svarbiau yra vertinti pagal iškritusį su krituliais sunkiųjų metalų kiekį. Lentelėje 3.2 yra pateikti kritulių kiekiai ir su krituliais ant žemės paviršiaus iškritę sunkiųjų metalų kiekiai per mėnesį. Kritulių kiekiai buvo įvertinti iš surinkto kritulių tūrio piltuve dalinant jį iš piltuvo ploto. Paskutinėje eilutėje pateikti procentiniai kritulių bei sunkiųjų metalų kiekių skirtumai tarp Aukštaitijos ir Žemaitijos IM stočių, Žemaitijos IM stoties vertės laikant šimtaprocentinėmis.

Iš duomenų 3.2 lentelėje matyti, kad rytinėje Lietuvos dalyje, kuri toliau jūros, kritulių iškrito mažiau negu vakarinėje Lietuvos dalyje. Kritulių kiekio pokyčio absoliutinė procentinė vertė mažesnė už sunkiųjų metalų kiekio procentines pokyčio vertes, o tai 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	Mn	Cd	As	Fe	Hg
	C, µg/l									C, ng/l
Žemaitijos IM stotis										
2007 01	1,26	2,71	0,036	0,014	0,23	1,11	0,0127	0,0859	14,6	
2007 02	2,44	52,1	0,220	0,427	1,06	1,80	0,0465	0,0590	33,5	
2007 03	1,82	15,4	0,140	0,102	0,544	2,02	0,0216	0,162	25,9	
2007 04	1,21	551	0,638	1,31	7,17	10,6	0,171	0,0756	49,5	
2007 05	5,18	54,5	0,306	1,55	4,80	16,8	0,122	0,228	58,6	
2007 06	14,1	32,6	0,154	0,992	2,52	5,55	0,0741	0,293	111	7,76
2007 07	9,73	34,0	0,242	1,85	2,35	3,54	0,273	0,0439	27,5	8,22
2007 08	10,2	24,9	0,212	0,931	2,31	1,19	0,323	0,0967	6,02	6,04
2007 09	19,8	78,1	0,184	0,754	1,91	1,69	0,245	0,0353	20,9	3,52
2007 10	13,2	48,1	0,236	1,33	2,69	2,74	0,601	0,159	27,5	4,61
2007 11	31,9	44,6	0,291	2,17	2,98	1,54	0,540	0,188	22,0	3,54
2007 12	8,67	92,3	0,458	10,2	9,30	3,93	1,31	1,65	44,5	5,19
<b>Vidurkis*</b>	<b>12,1</b>	<b>44,6</b>	<b>0,226</b>	<b>1,78</b>	<b>2,66</b>	<b>3,12</b>	<b>0,326</b>	<b>0,208</b>	<b>31,6</b>	<b>6,18</b>
Aukštaitijos IM stotis										
2007 01	1,22	6,45	0,0267	0,0180	0,494	1,74	0,189	0,083	23,4	
2007 02	2,44	5,77	0,176	0,174	2,39	3,51	0,128	0,129	56,8	
2007 03	2,22	18,6	0,304	1,12	2,88	5,31	0,228	0,0617	44,6	
2007 04	1,91	21,7	0,299	0,506	4,26	10,5	0,0769	0,270	75,9	
2007 05	2,94	33,9	0,358	0,621	4,94	14,6	0,111	0,179	121	
2007 06	1,91	13,8	0,184	0,227	2,51	7,22	0,140	0,206	54,3	8,55
2007 07	1,06	10,9	0,138	0,442	1,32	2,24	0,351	0,0643	68,0	9,92
2007 08	0,974	9,46	0,119	0,369	2,08	2,39	0,204	0,0523	94,5	7,52
2007 09	1,76	10,6	0,116	0,246	1,25	4,63	0,0811	0,127	72,0	5,12
2007 10	0,959	12,3	0,113	0,291	1,32	0,847	0,213	0,564	40,0	2,39
2007 11	2,63	25,9	0,178	0,955	1,76	0,847	0,425	1,60	40,9	4,59
2007 12	3,22	39,6	0,262	1,19	3,63	1,19	0,563	1,84	54,5	8,04
<b>Vidurkis*</b>	<b>1,87</b>	<b>17,3</b>	<b>0,175</b>	<b>0,498</b>	<b>2,18</b>	<b>4,22</b>	<b>0,250</b>	<b>0,461</b>	<b>60,8</b>	<b>6,88</b>

\*vidurkiai skaičiuoti atsižvelgiant į kritulių kiekius.

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



**3.2 lentelė.** Kritulių kiekiai ir sunkiųjų metalų, iškritusių su krituliais, kiekiai į kvadratinį metrą per mėnesį.

Metai, mėnuo	h, mm	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Mn	Cd	As	Fe	Hg
		Iškritęs kiekis, $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{mėn.}$									
Aukštaitijos IM stotis											
2007 01	74,7	91,2	482	2,00	1,34	36,9	130	14,1	6,20	1750	
2007 02	24,7	60,3	143	4,35	4,31	59,0	86,9	3,18	3,20	1406	
2007 03	28,9	64,3	538	8,78	32,4	83,4	153	6,58	1,78	1288	
2007 04	14,6	27,9	317	4,38	7,40	62,4	154	1,13	3,95	1110	
2007 05	67,4	198	2286	24,1	41,8	332	984	7,49	12,1	8129	
2007 06	67,9	130	939	12,5	15,4	170	490	9,48	14,0	3689	0,580
2007 07	94,5	100	1032	13,0	41,7	124	211	33,1	6,08	6427	0,937
2007 08	45,1	43,9	426	5,34	16,6	93,8	108	9,18	2,36	4259	0,339
2007 09	25,8	45,3	272	3,00	6,34	32,2	119	2,09	3,28	1854	0,132
2007 10	49,9	47,8	615	5,62	14,5	66,0	42,2	10,6	28,1	1996	0,119
2007 11	86,7	228	2244	15,5	82,8	153	73,5	36,9	139	3551	0,398
2007 12	34,6	111	1369	9,05	41,2	126	41,3	19,5	63,7	1886	0,278
<b><math>\Sigma =</math></b>	<b>614,7</b>	<b>1149</b>	<b>10663</b>	<b>108</b>	<b>306</b>	<b>1339</b>	<b>2593</b>	<b>153</b>	<b>284</b>	<b>37345</b>	<b>2,78</b>
Žemaitijos IM stotis											
2007 01	208	262	564	7,40	2,92	48,9	232	2,65	17,9	3037	
2007 02	64,8	158	3378	14,2	27,7	68,6	117	3,02	3,82	2170	
2007 03	29,3	53,3	451	4,11	3,00	16,0	59,2	0,635	4,77	761	
2007 04	22,9	27,6	12631	14,6	30,1	164	243	3,91	1,73	1135	
2007 05	54,1	281	2950	16,5	83,9	260	911	6,58	12,3	3173	
2007 06	154	2175	5009	23,6	153	387	853	11,4	45,0	17033	1,19
2007 07	436	4240	14825	105	806	1022	1543	119	19,1	11970	3,58
2007 08	251	2561	6235	53,2	233	580	300	81,1	24,2	1509	1,51
2007 09	90,5	1792	7067	16,6	68,2	173	153	22,2	3,19	1893	0,318
2007 10	87,2	1148	4195	20,6	116	235	239	52,4	13,9	2395	0,402
2007 11	233	7431	10393	67,9	506	693	359	126	43,9	5124	0,825
2007 12	104	899	9566	47,5	1054	963	407	136	171	4610	0,538
<b><math>\Sigma =</math></b>	<b>1734</b>	<b>21027</b>	<b>77264</b>	<b>392</b>	<b>3084</b>	<b>4612</b>	<b>5416</b>	<b>565</b>	<b>360</b>	<b>54812</b>	<b>8,37</b>
<b><math>\Delta, \%</math></b>	<b>64,6</b>	<b>94,5</b>	<b>86,2</b>	<b>72,5</b>	<b>90,1</b>	<b>71,0</b>	<b>52,1</b>	<b>72,8</b>	<b>21,3</b>	<b>31,9</b>	<b>66,8</b>

Lentelėse 3.4 ir 3.5 yra pateiktos tarpusavio koreliacijos koeficientų vertės tarp sunkiųjų metalų koncentracijos krituliuose bei iškritusių su krituliais sunkiųjų metalų kiekiuose. Iš 3.4 lentelės matyti, kad labiau koreliuoja sunkiųjų metalų koncentracija krituliuose Aukštaitijos IMS, negu Žemaitijos IMS. Tai galima paaiškinti tuo, kad didesnė priemaišų dalis yra išplaunama vakarų Lietuvoje, o rytų Lietuvą pasiekia jau švaresnė oro masė, iš kurios sunkieji metalai išplaunami vienodžiau. Išplovimo intensyvumas priklauso nuo aerozolio dalelių dydžio [15]. Metalai šiose dalelėse pasiskirstę nevienodai, todėl ir koreliacinis ryšys tarp elementų koncentracijos pakinta.

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

Elementas	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Mn	Cd	As	Fe	Hg
Kritulių kiekis su iškritusių metalų kiekiu										
Aukštaitijos IMS	<b>0,682</b>	<b>0,598</b>	0,544	0,527	0,441	0,293	<b>0,779</b>	0,366	<b>0,653</b>	<b>0,803</b>
Žemaitijos IMS	<b>0,673</b>	0,468	<b>0,856</b>	0,520	<b>0,679</b>	<b>0,641</b>	<b>0,611</b>	0,056	0,512	<b>0,949</b>
Kritulių kiekis su su metalų koncentracija krituliuose										
Aukštaitijos IMS	-0,186	-0,014	-0,312	-0,086	-0,356	-0,181	0,334	0,101	-0,111	0,289
Žemaitijos IMS	0,313	-0,365	-0,282	-0,011	-0,242	-0,348	0,049	-0,142	-0,246	0,595

Šioje trečioje ir kitose lentelėse tamsiau pažymėtos vertės rodo patikimesnį nei 95% koreliacinį ryšį ( $r > 0,754$ , kai  $n = 7$  ir  $r > 0,576$ , kai  $n = 12$ ).

**3.4 lentelė.** Koreliacijos koeficientų tarp sunkiųjų metalų koncentracijos krituliuose vertės.

Žemaitijos IMS										
	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Mn	Cd	As	Fe	Hg
Pb	1,000	-0,250	-0,073	0,100	-0,033	-0,287	0,328	-0,004	-0,046	-0,625
Zn		1,000	<b>0,832</b>	0,057	0,571	0,439	-0,008	-0,027	0,167	-0,537
Cr			1,000	0,501	<b>0,877</b>	0,506	0,438	0,374	0,178	-0,231
Ni				1,000	0,797	0,055	<b>0,914</b>	<b>0,964</b>	0,118	-0,086
Cu					1,000	0,506	<b>0,688</b>	<b>0,723</b>	0,303	-0,097
Mn						1,000	-0,134	0,037	0,519	0,658
Cd							1,000	<b>0,842</b>	-0,090	-0,342
As								1,000	0,209	-0,060
Fe									1,000	0,490
Hg										1,000
Aukštaitijos IMS										
	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Mn	Cd	As	Fe	Hg
Pb	1,000	<b>0,780</b>	<b>0,713</b>	<b>0,643</b>	<b>0,670</b>	0,339	0,305	0,561	0,166	0,070
Zn		1,000	<b>0,741</b>	<b>0,788</b>	<b>0,728</b>	0,333	0,500	<b>0,684</b>	0,291	0,060
Cr			1,000	<b>0,651</b>	<b>0,939</b>	<b>0,706</b>	0,007	0,160	0,488	0,360
Ni				1,000	0,479	-0,009	<b>0,664</b>	<b>0,647</b>	0,012	0,081
Cu					1,000	<b>0,765</b>	-0,075	0,137	<b>0,617</b>	0,409
Mn						1,000	<b>-0,589</b>	-0,376	<b>0,685</b>	0,361
Cd							1,000	<b>0,814</b>	-0,325	0,215
As								1,000	-0,274	-0,200
Fe									1,000	0,474

Tamsiau pažymėtos vertės rodo patikimesnį nei 95% koreliacinį ryšį.

Oro masei keliaujant toliau skirtingų metalų santykinis išplovimas turėtų vienodėti, nes didžioji dalis stambiausių aerozolio dalelių būna išplauta ir lieka smulkesnės dalelės. Tai patvirtina ir 5 lentelės duomenys – iškritę su krituliais metalų kiekiai truputį labiau koreliuoja Aukštaitijos IMS.

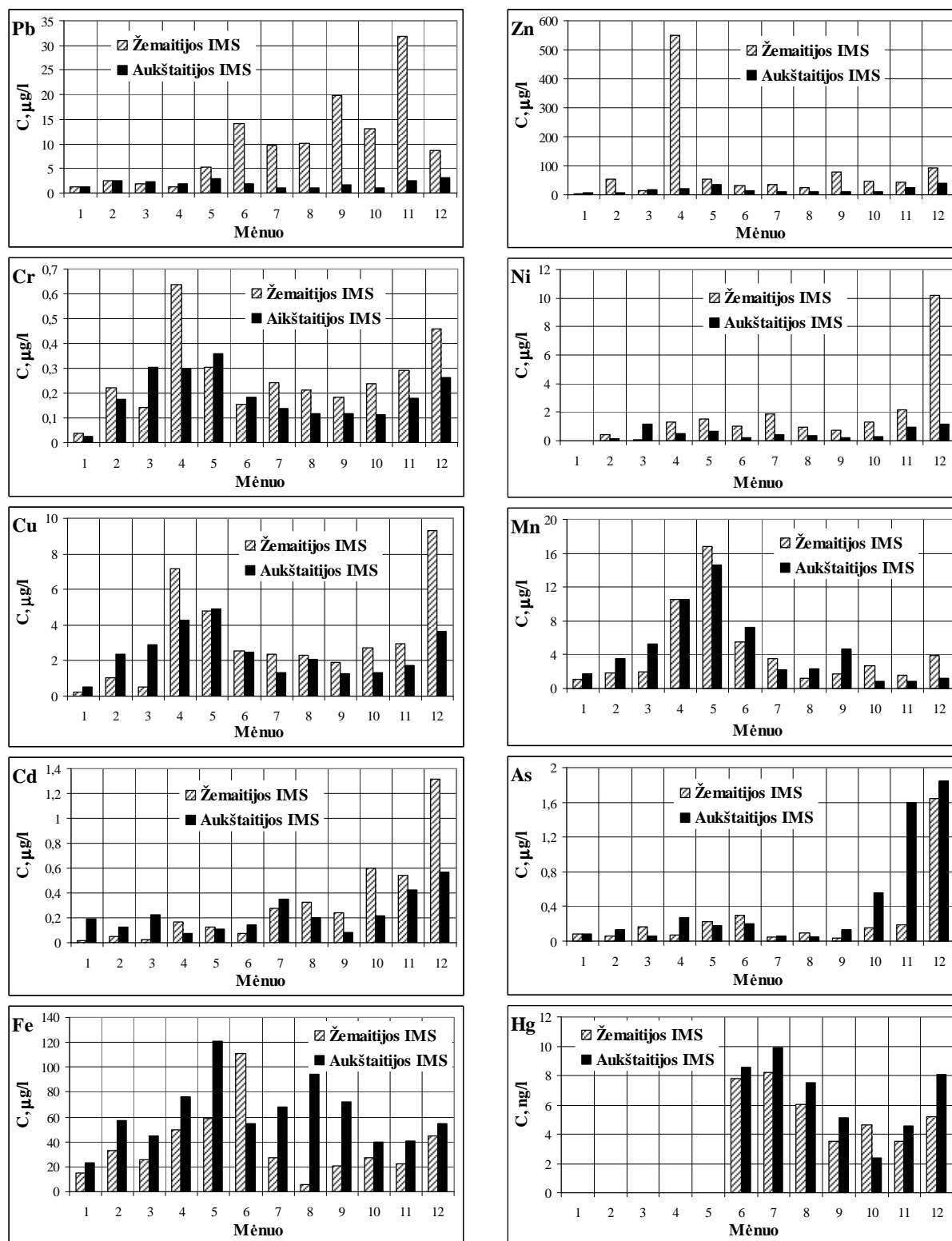
**3.5 lentelė.** Koreliacijos koeficientų tarp iškritusių su krituliais sunkiųjų metalų kiekių vertės.

<b>Žemaitijos IMS</b>										
	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Cd</b>	<b>As</b>	<b>Fe</b>	<b>Hg</b>
<b>Pb</b>	1,000	0,534	<b>0,764</b>	0,468	<b>0,622</b>	0,342	<b>0,696</b>	0,106	0,386	0,327
<b>Zn</b>		1,000	<b>0,746</b>	<b>0,644</b>	<b>0,717</b>	0,460	<b>0,643</b>	0,250	0,292	0,700
<b>Cr</b>			1,000	<b>0,783</b>	<b>0,908</b>	<b>0,659</b>	<b>0,857</b>	0,287	0,444	<b>0,835</b>
<b>Ni</b>				1,000	<b>0,945</b>	0,474	<b>0,907</b>	<b>0,788</b>	0,357	0,368
<b>Cu</b>					1,000	<b>0,607</b>	<b>0,928</b>	<b>0,644</b>	0,464	0,607
<b>Mn</b>						1,000	0,337	0,081	<b>0,738</b>	<b>0,908</b>
<b>Cd</b>							1,000	<b>0,633</b>	0,219	0,321
<b>As</b>								1,000	0,215	-0,229
<b>Fe</b>									1,000	0,508
<b>Hg</b>										1,000
<b>Aukštaitijos IMS</b>										
	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Cd</b>	<b>As</b>	<b>Fe</b>	<b>Hg</b>
<b>Pb</b>	1,000	<b>0,942</b>	<b>0,834</b>	<b>0,796</b>	<b>0,767</b>	0,514	<b>0,607</b>	<b>0,680</b>	<b>0,586</b>	0,323
<b>Zn</b>		1,000	<b>0,893</b>	<b>0,854</b>	<b>0,835</b>	0,533	<b>0,595</b>	<b>0,674</b>	<b>0,653</b>	0,258
<b>Cr</b>			1,000	<b>0,710</b>	<b>0,958</b>	<b>0,773</b>	0,393	0,340	<b>0,818</b>	0,693
<b>Ni</b>				1,000	0,541	0,129	<b>0,785</b>	<b>0,806</b>	0,440	0,301
<b>Cu</b>					1,000	<b>0,873</b>	0,204	0,211	<b>0,823</b>	0,610
<b>Mn</b>						1,000	-0,164	-0,206	<b>0,745</b>	0,546
<b>Cd</b>							1,000	<b>0,701</b>	0,361	0,586
<b>As</b>								1,000	0,014	-0,123
<b>Fe</b>									1,000	<b>0,916</b>
<b>Hg</b>										1,000

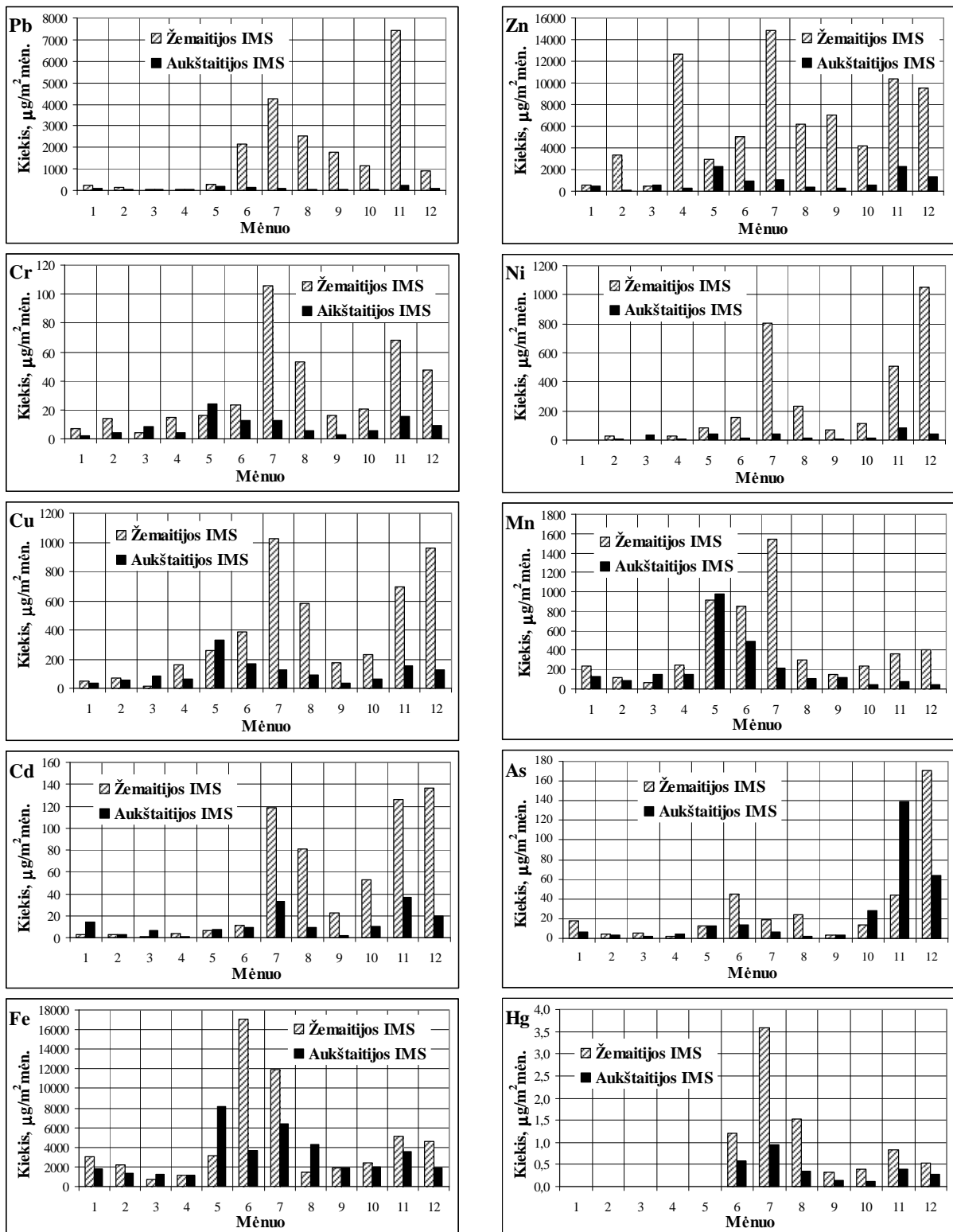
Tamsiau pažymėtos vertės rodo patikimesnį nei 95% koreliacinį ryšį.

Paveiksle 3.1 pateikta sunkiųjų metalų koncentracijos krituliuose metinė eiga., o paveiksle 3.2 pateikta sunkiųjų metalų kiekių  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  per mėnesį, iškritusių su krituliais, metinė eiga. Matyti, kad atskiriems elementams sunkiųjų metalų kiekių  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  per mėnesį vertės išsidėsčiusios gana netolygiai tiek laiko, tiek ir stočių atžvilgiu, kai, tuo tarpu, toks nesutapimas tarp koncentracijos krituliuose yra mažesnis. Tai galima paaiškinti ir labai skirtingais kritulių kiekiais abiejose stotyse. Paveikslėlyje 3.3 yra pateikti vidutiniai mėnesiniai kritulių kiekiai abiejose stotyse. Matyti, kad krituliai pasiskirstę nereguliariai tiek laiko, tiek ir vietovės atžvilgiu, dėl ko ir iškritę sunkiųjų

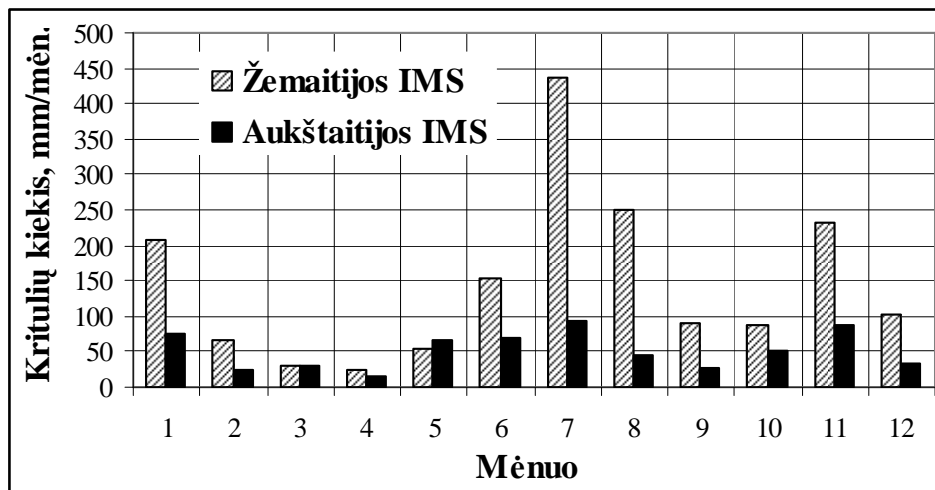
metalų kiekiai pasiskirstę nereguliariai, nors jų vidutinė mėnesinė koncentracija ore kinta ne taip žymiai [16].



**Pav. 3.1.** Vidutinė mėnesinė Pb, Zn, Cr, Ni, Cu, Mn, Cd, As, Fe ir Hg koncentracija krituliuose Žemaitijos ir Aukštaitijos integruoto monitorinio stotyse.



**Pav. 3.2.** Iškritę Pb, Zn, Cr, Ni, Cu, Mn, Cd, As, Fe ir Hg mėnesiniai kiekiai į žemės paviršiaus kvadratinį metrą Žemaitijos ir Aukštaitijos integruoto monitorinio stotyse 2007 m.



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

Koreliacijos koeficientų vertės tarp sunkiųjų metalų koncentracijos ore ir krituliuose Žemaitijos ir Aukštaitijos IMS pateiktos 6 lentelėje. Matyti, kad daugumai sunkiųjų metalų atotykis yra tarp jų koncentracijos Lietuvoje didesnis, nei tarp iškritusių jų kiekių.

**3.6 lentelė.** Koreliacijos koeficientai tarp sunkiųjų metalų koncentracijos ore ir krituliuose Žemaitijos ir Aukštaitijos IMS.

Elementas	Pagal koncentraciją krituliuose	Pagal iškritusią masę
<b>Pb</b>	0,054	0,546
<b>Zn</b>	0,210	0,180
<b>Cr</b>	<b>0,587</b>	0,310
<b>Ni</b>	<b>0,599</b>	<b>0,583</b>
<b>Cu</b>	<b>0,677</b>	0,267
<b>Mn</b>	<b>0,905</b>	0,511
<b>Cd</b>	<b>0,799</b>	<b>0,811</b>
<b>As</b>	<b>0,743</b>	0,480
<b>Fe</b>	0,149	<b>0,807</b>
<b>Hg</b>	0,391	<b>0,923</b>

Atliktų sunkiųjų metalų ir benzp(a)ireno koncentracijos matavimų duomenys Aukštaitijos IMS ore pateikti 3.7 lentelėje. Matyti, kad sunkiųjų metalų koncentracija ore vasaros laikotarpiu yra mažesnė, nei šaltuoju laikotarpiu.

Kaip matome iš pateiktų duomenų benz(a)pireno koncentracija atmosferos ore Rūgšteliškyje šiltu metų periodu (birželis-rugsėjis) kito 0,007-0,022 ng/m<sup>3</sup> intervale, esant vidutinei reikšmei 0,012±0,006 ng/m<sup>3</sup>, o kūrenimo sezono metu (spalis-balandis) kito 0,18-0,25 ng/m<sup>3</sup> intervale, esant vidutinei reikšmei 0,214±0,035 ng/m<sup>3</sup>.

**3.7 lentelė.** Sunkiųjų metalų ir benzpireno vidutinė mėnesinė koncentracija Aukštaitijos IMS ore 2007 metais.

Aukštaitijos IMS								
	Pb	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	As	BP
mėn.	C, ng/m <sup>3</sup>							
6	1,64	3,33	0,104	0,188	0,488	0,076	0,134	0,010
7	1,54	4,53	0,096	0,214	0,510	0,073	0,129	0,007
8	2,53	5,38	0,151	0,187	0,635	0,147	0,210	0,010
9	4,98	11,3	0,206	0,227	1,24	0,305	0,433	0,022
10	6,03	12,4	0,233	0,239	1,02	0,245	0,480	0,177
11	4,24	11,5	0,126	0,134	0,691	0,190	0,284	0,250
12	5,13	13,9	0,167	0,092	1,11	0,186	0,381	0,212

Tyrimų duomenys rodo, kad B(a)P koncentracija šaltu metų periodu Rūgšteliškyje buvo didesnė nei visa dydžių eilė nei šilto sezono metu. Toks koncentracijų skirtumas yra pirmiausiai sąlygotas žymiai didesniu kuro ir energijos sunaudojimu žiemos metu pastatų apšiltinimui. Lygiagrečiai benz(a)pireno tyrimai buvo atlikti ir Preilos foninių tyrimų stotyje. Benz(a)pireno koncentracija atmosferos ore Preiloje kito nuo 0,03-0,05 ng/m<sup>3</sup>, esant vidutinei reikšmei 0,035± 0,013 ng/m<sup>3</sup>, šilto sezono metu ir nuo 0,2 iki 0,41 ng/m<sup>3</sup>, esant vidutinei reikšmei 0,293±0,106 ng/m<sup>3</sup>, šalto sezono metu. Didesnės benz(a)pireno koncentracijos Preiloje gali būti sąlygotos vis didėjančiu autotransporto intensyvumu Kuršių Nerijoje, ypač vasaros metu, o žiemos metu, palyginus, dažnesnėmis terminėmis inversijomis pajūrio zonoje nei Rūgšteliškio monitoringo stotyje [17]. Nežymūs benz(a)pireno koncentracijų svyravimai žiemos ir vasaros metu Rūgšteliškyje byloja apie benz(a)pireno šaltinių, įtakojančių atmosferos taršą, pastovumą šioje tyrimų stotyje. Panašūs benz(a)pireno koncentracijos skirtumai buvo nustatyti tarp Preilos ir Rucavos monitoringo stočių 1994 metais [18].

### Išvados

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.

Nustatyta, kad benz(a)pireno koncentracija atmosferos ore Aukštaitijos monitoringo stotyje turi aiškiai išreikštą sezoninę eigą; šilto sezono metu (birželis-rugsėjis) benz(a)pireno koncentracija kito nuo 0,007 iki 0,022 ng/m<sup>3</sup>, o šalto sezono metu (spalis-balandis) kito nuo 0,18 iki 0,25 ng/m<sup>3</sup>.

Gauti rezultatai neviršija Direktyvoje (19) nurodytų arseno, kadmio, nikelio ir benzo(a)pireno siektinų verčių

### **2.5.1. Sunkieji metalai dirvožemio vandenyje**

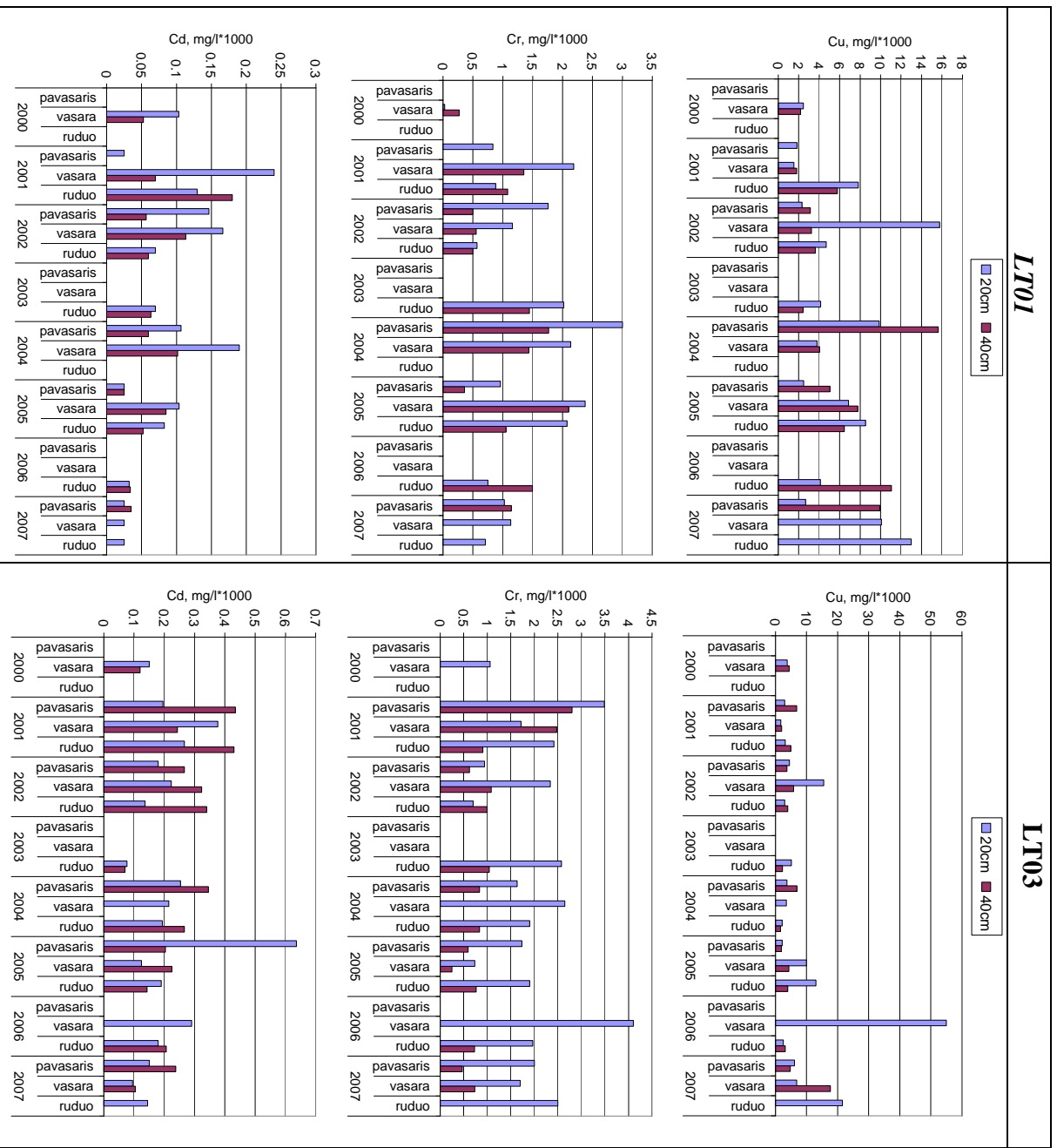
Sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio vandenyje yra stebimos nuo 2000 metų, nevienodu periodiškumu, todėl grafikai pateikiami pagal sezonus.

Pastraisiais metais Cu, koncentracija dirvožemio vandenyje auga. Cr ir Cd koncentracijos Aukštaitijos KMS ir Cd koncentracija Žemaitijos KMS per stebėjimų laikotarpį mažėja. 2007 metais Cu ir Cr Žemaitijos KMS didelių reikšmių nepasiekė (3.4 pav. 1), o nustatyti ar koncentracijos stabilizavosi ar didėja bus galima surinkus daugiau duomenų.

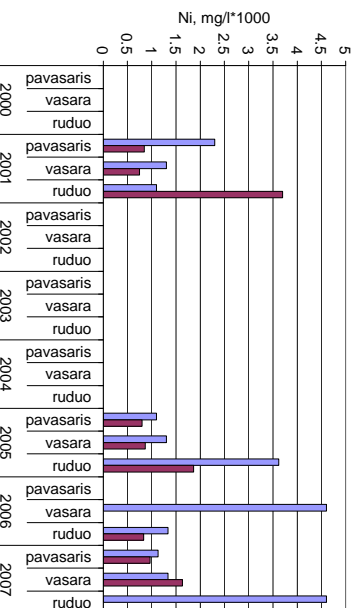
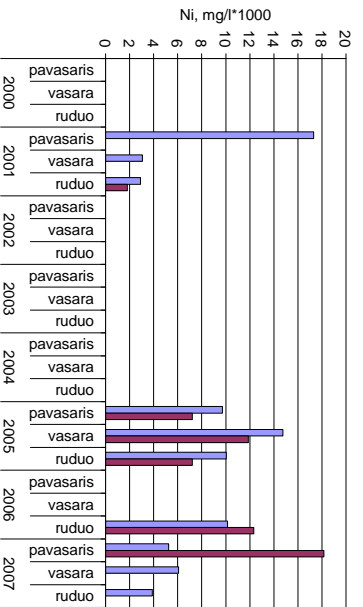
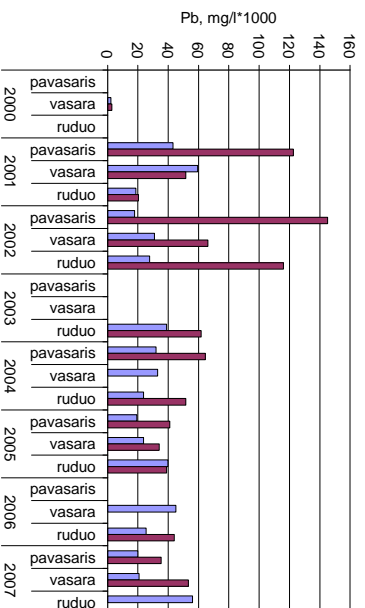
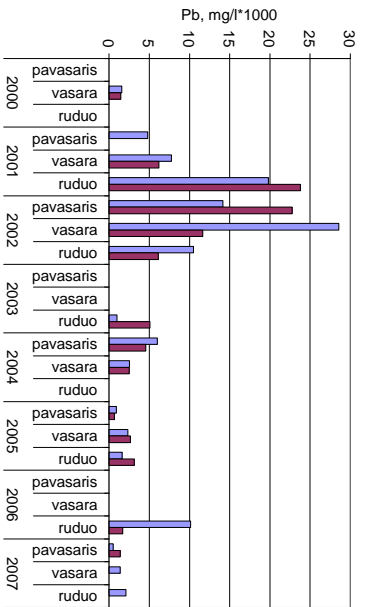
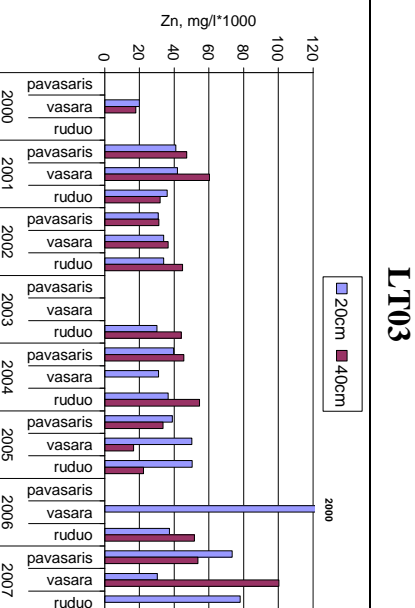
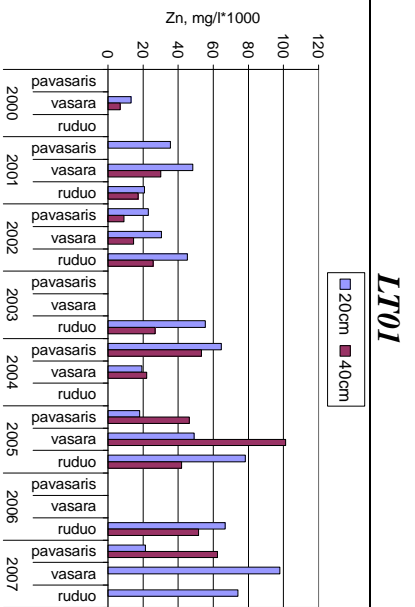
Zn koncentracija dirvožemio vandenyje pastaraisiais metais auga. Žemaitijoje 2006 metų liepos mėn. 20 cm gylyje buvo nustatyta 2000 µg/l Zn, t.y. daugiau kaip 10 kartų didesnė už stebėjimų laikotarpio vidurkį, rudenį cinko koncentracija pastebimai nesiskyrė nuo kitų stebėjimo laikotarpio vidurkio, bet 2007 metų vasarą padidėjo 40 cm gylyje. Zn ėmė išsiplauti į gilesnius dirvožemio horizontus.

Didžiausios Pb koncentracijos būdingos 20 cm gyliui, 2001–2002 metų laikotarpiui. 2007 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 2005–2007 m. Duomenų kiekis nedidelis, neryškią koncentracijų augimo tendenciją galima įžiūrėti Aukštaitijoje 40 cm gylyje (3.4 pav. 2).





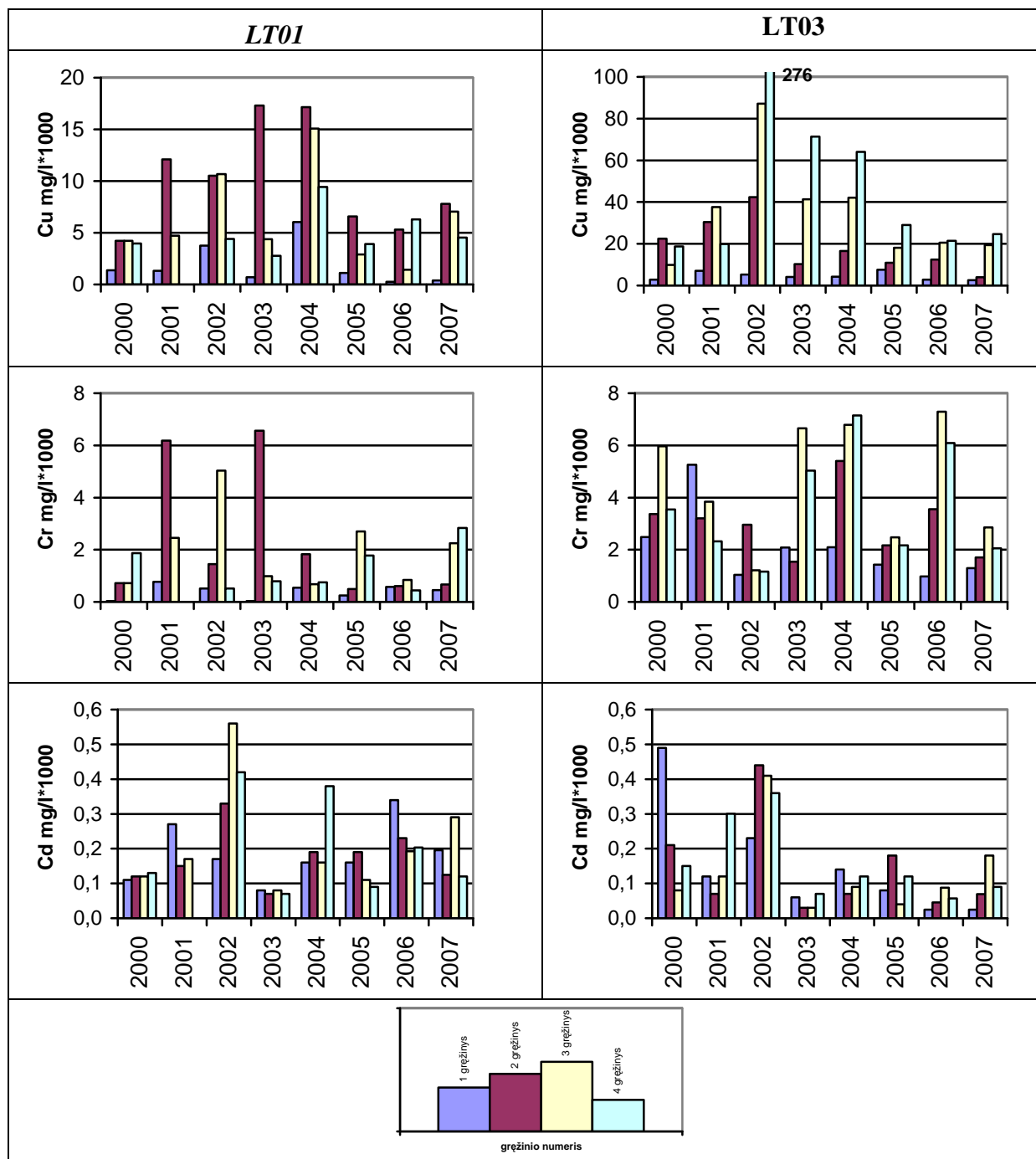
3.4 pav. Sunkieji metalai dirvožemio vandenyje 2000-2007 m (1 iš 2).



3.4 pav. Sunkieji metalai dirvožemio vandenyje 2000-2007 m. (2 iš 2).

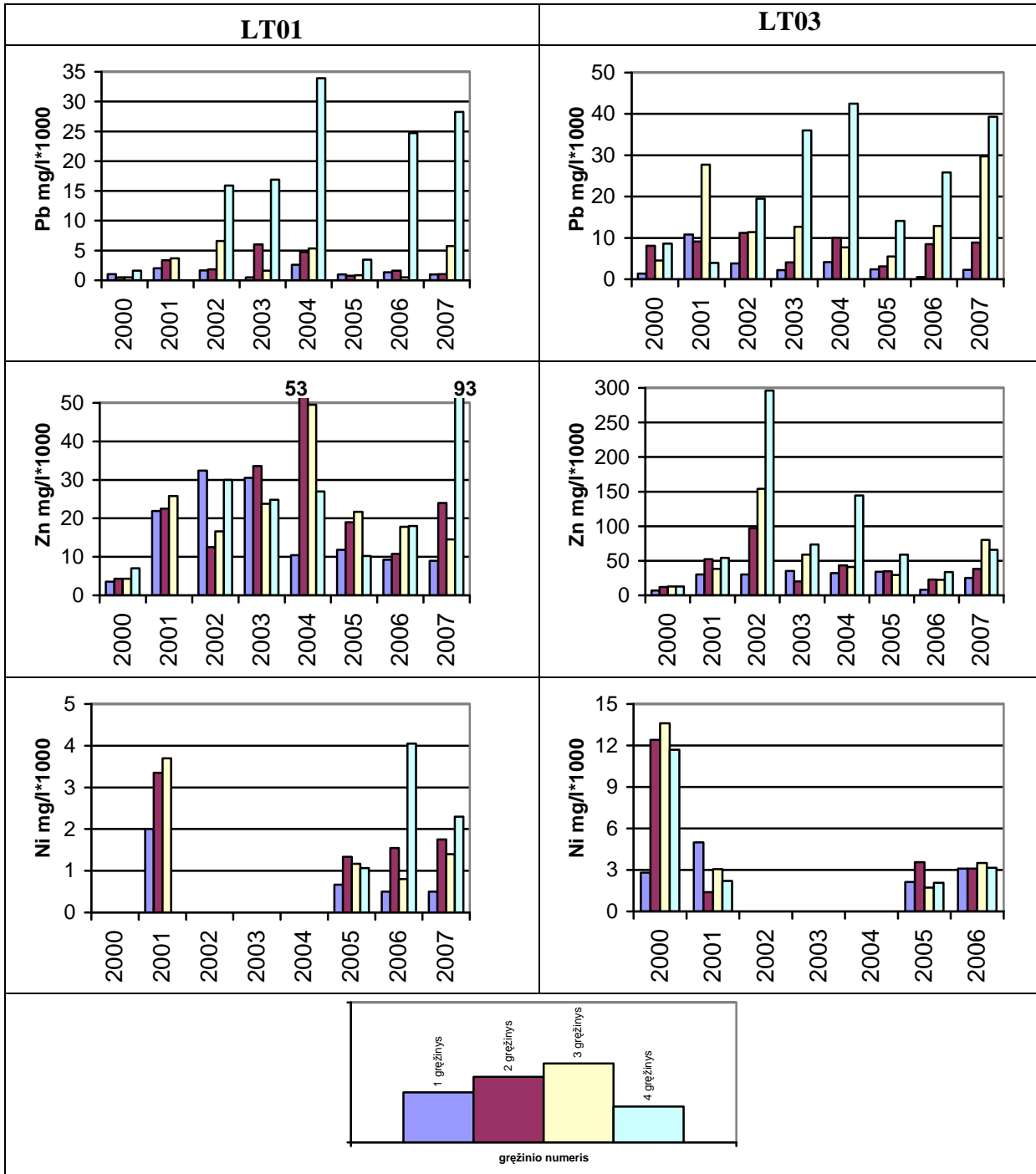
### 2.5.3. Sunkieji metalai gruntiniuose vandenyse

Nuo 2002–2003 m. išlieka mangano (Aukštaitijoje – tik giliausiame gręžinyje) ir visuminės organinės anglies (Aukštaitijoje – tik sekiausiuose gręžiniuose) koncentracijų didėjimo tendencija (3.5 pav., 5, 6), kurios tikėtina priežastis padidėjęs dirvožemio vandens srautas paviršiniuose horizontuose, o Žemaitijoje ir išaugęs kritulių kiekis.



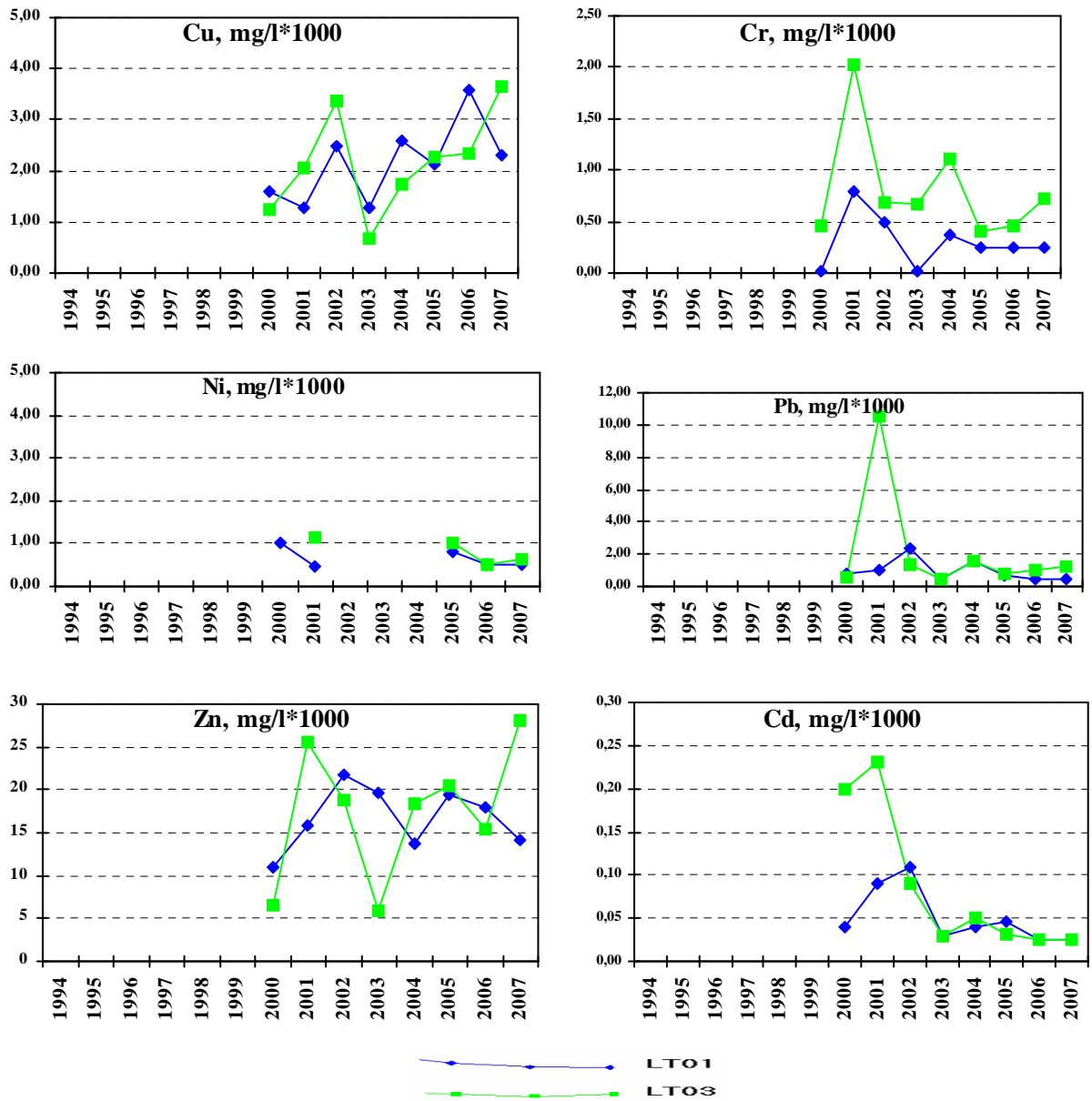
3.5 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (7 iš 8).

2007 m. abiejose stotyse išaugo Pb koncentracija, ypač ryškiai giliausiuose grėžiniuose. Aukštaitijoje giliausiam Zn koncentracija išaugo iki aukščiausios per stebėjimo laikotarpį reikšmės, o Žemaitijoje Zn koncentracija nepasiekė aukšto lygio (3.5 pav., 7-8).



3.5 pav. Gruntinio vandens cheminė sudėtis (8 iš 8).

### 2.5.3. Sunkieji metalai paviršiniame upelio vandenyje



3.6 pav. Vidutiniai upelio vandens parametrai 2000-2007 metais (4 iš 4)

Sunkiųjų metalų Cr, Pb, Ni ir Cd koncentracija Aukštaitijos KMS upelio vandenyje nuo 2003 metų neturi pastebimų kitimo tendencijų, laikosi žemiausiame lygyje per stebėjimo laikotarpį, (nuo 2000 m.), be to 2007 m., palyginti su 2006 m. sumažėjo Cu ir Zn koncentracija.

2007 m. Žemaitijos KMS iki didžiausių nuo 2000 m. reikšmių padidėjo Cu ir Zn koncentracija. Ne taip ryškiai išaugo Cr, Ni ir Pb koncentracijos. Cd koncentracija, laikosi minimaliame lygyje (15 pav., 4).

### 3.5. 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.

#### 3.5.1. Aukštaitijos KMS nuokritų tyrimai

##### *Nuokritų sezoninė dinamika*

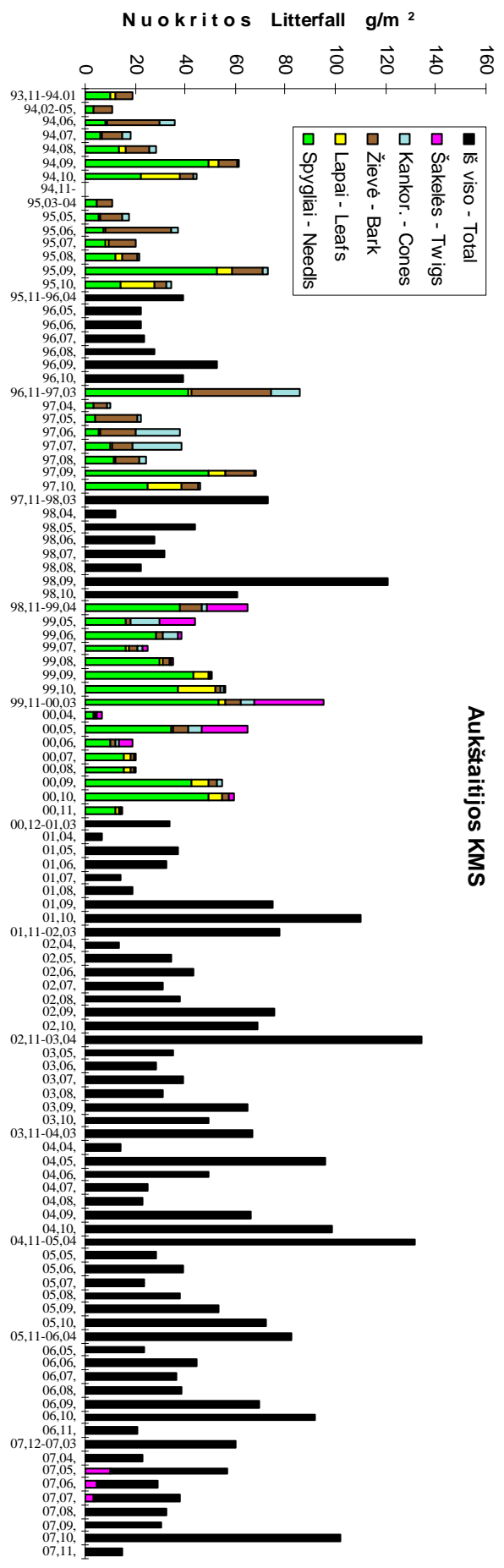
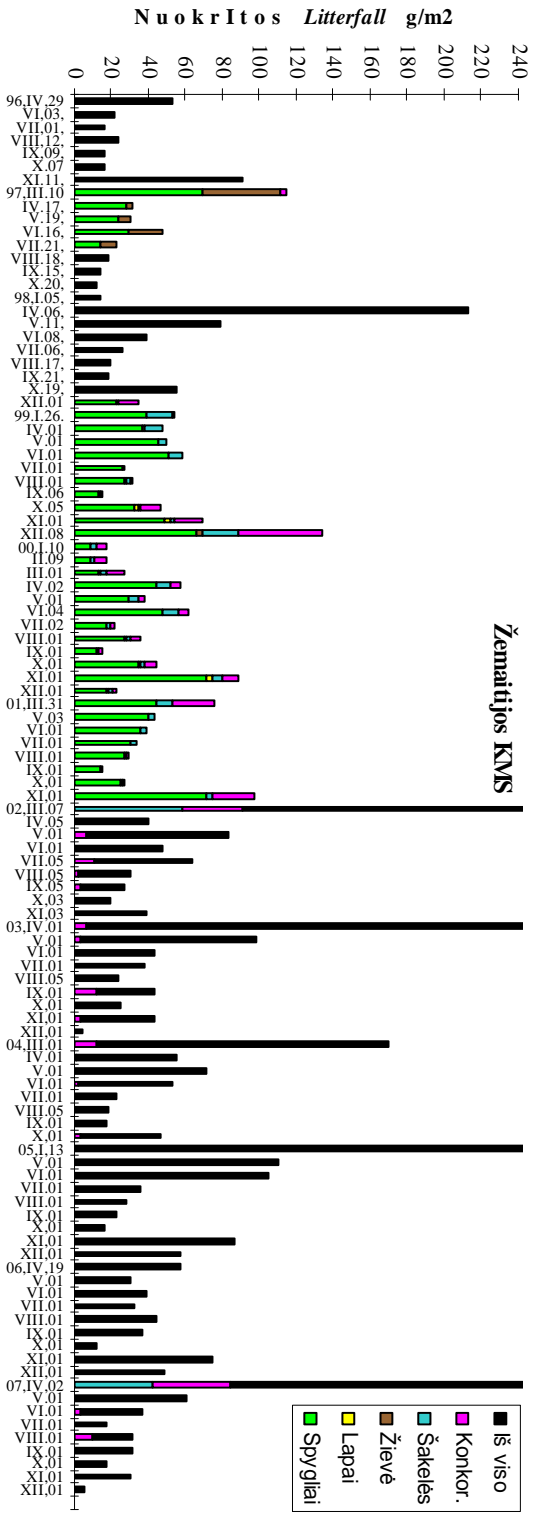
Nuokritų tyrimai Aukštaitijos KMS buvo pradėti 1993 m. lapkričio mėn. Iš pateiktų duomenų matyti, kad nuokritų susidarymo intensyvumas keičiasi metų bėgyje. Žemiausias intensyvumas registruojamas ankstyvo pavasario mėnesiais. Intensyviau nuokritos susidaro birželio mėnesį, o savo maksimumą pasiekia rugsėjo - 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				2,00	368,4
g/m <sup>2</sup>	185,6	30,2	95,7	27,8	339,2
kg/ha	1856	302	957	278	3392
%	54,7	8,9	28,2	8,2	100

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

3.7 pav. Nuokritų sezoninė dinamika kompleksiško monitoringo stotyse



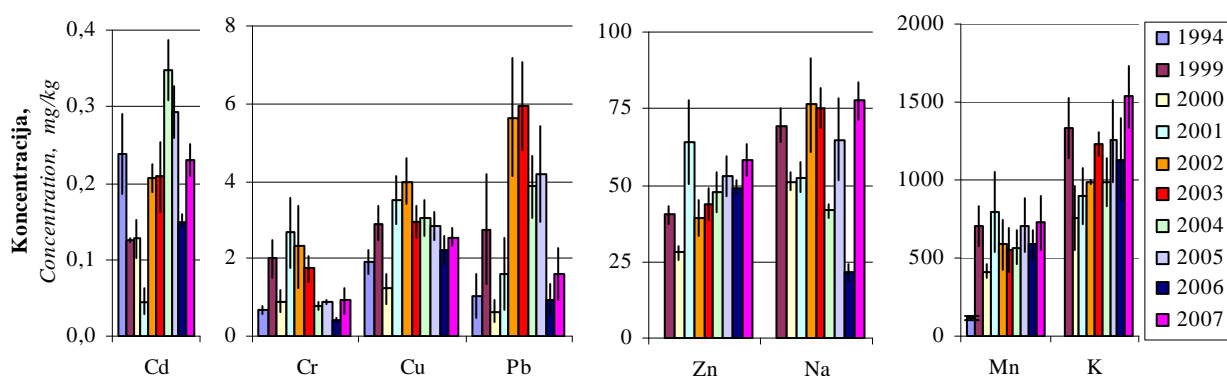
Nustatyta, kad 2006 m. nuokritų kiekis sudarė 4250 kg/ha. Tai didžiausias nuokritų kiekis užregistruotas per visą tiriamąjį laikotarpį. Paskutiniaisiais 2007 m. nuokritų kiekis ženkliai sumažėjo, tačiau viršijo daugiamečių vidurkį, kuris Aukštaitijos KMS nuokritų tyrimo stotyje susidaro apie 3370 kg/ha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

### ***Metalų koncentracijų nuokritose sezoninė dinamika***

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

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

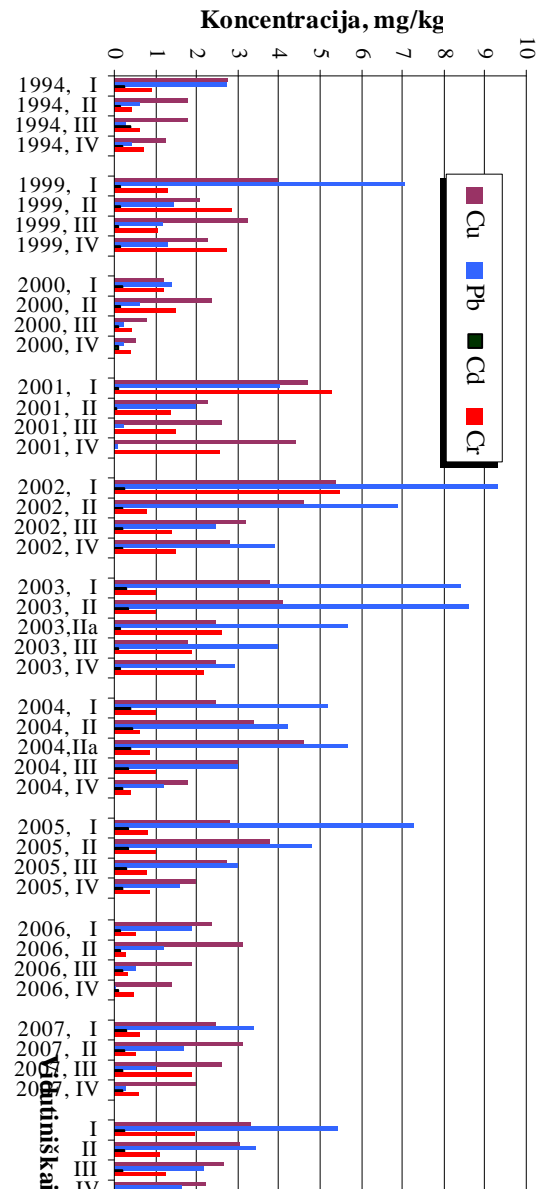
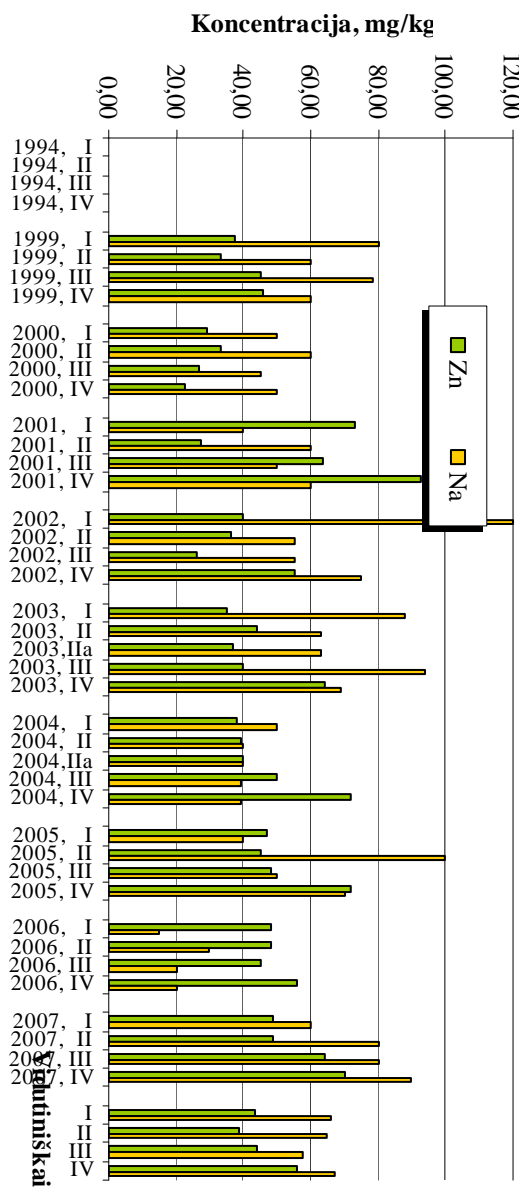
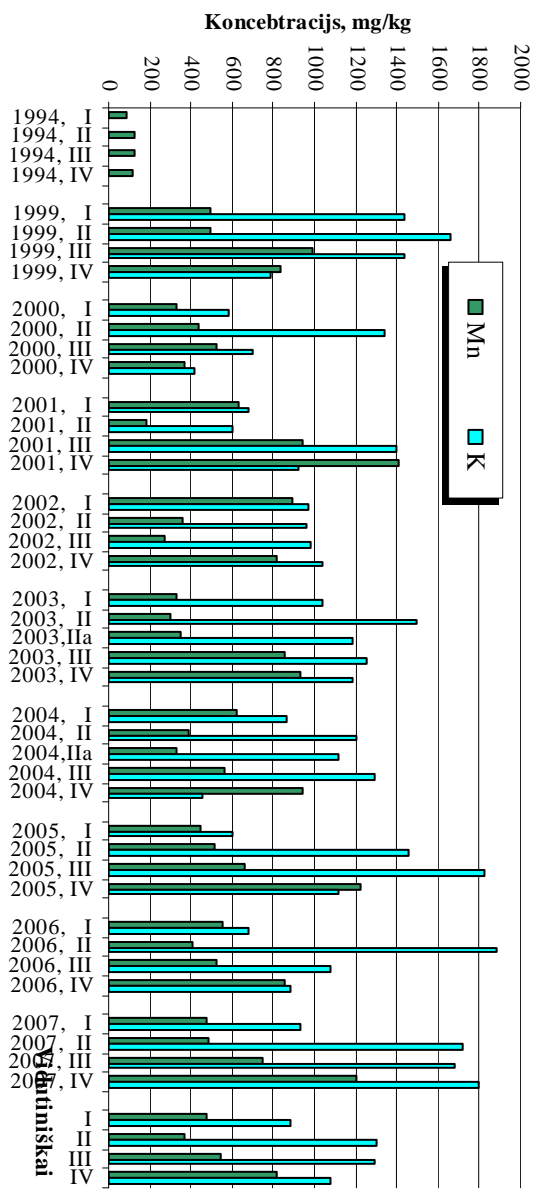
Analizuojant Aukštaitijos KMS nuokritų cheminę sudėtį, nustatyta statistiškai reikšminga ( $p < 0,05$ ) sezoniškumo įtaka tirtų metalų koncentracijoms (3.8 pav.). Tokių tirtų metalų, kaip švino (Pb), vario (Cu), chromo (Cr) koncentracijos nuokritose yra didžiausios žiemos mėnesiais, t.y. gruodį, sausį, vasarį (I). Nuokritos per šį laikotarpį surenkamos anksti pavasarį, kai rinktuvuose pilnai nutirpsta sniegas. Manome, kad dėl šios priežasties, metalų koncentracijoms didesnę įtaką gali turėti krituliai, t.y. palaipsniui tirpstantis sniegas.



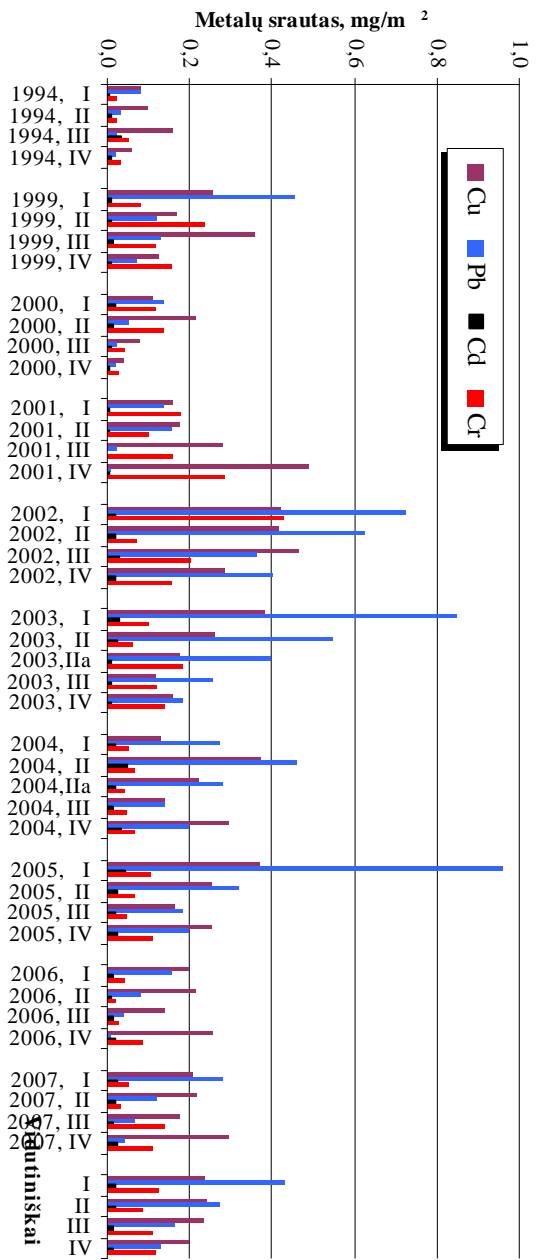
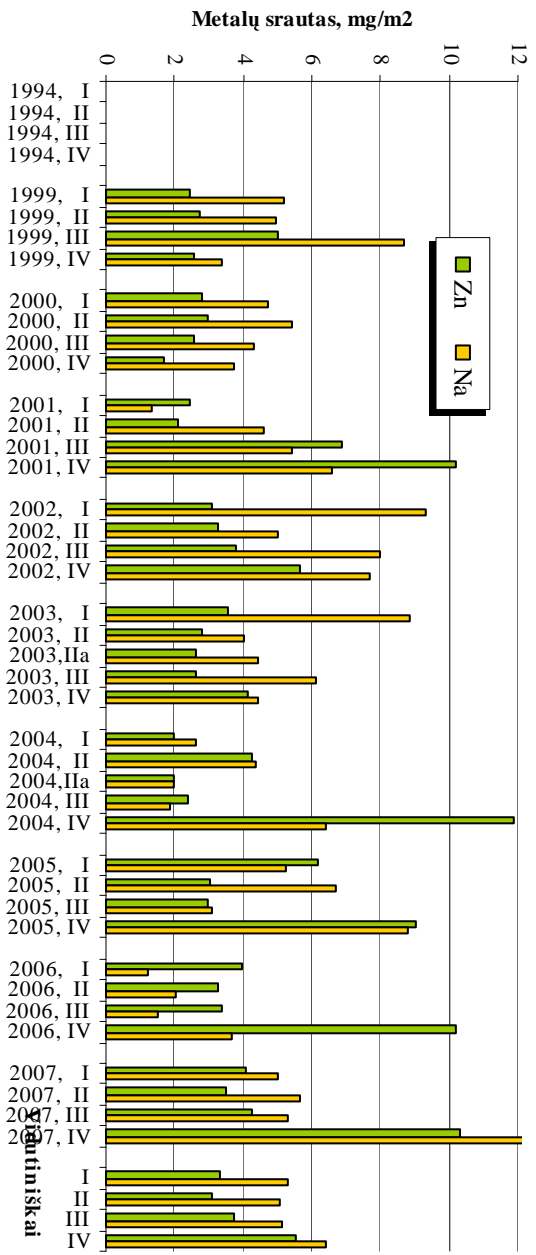
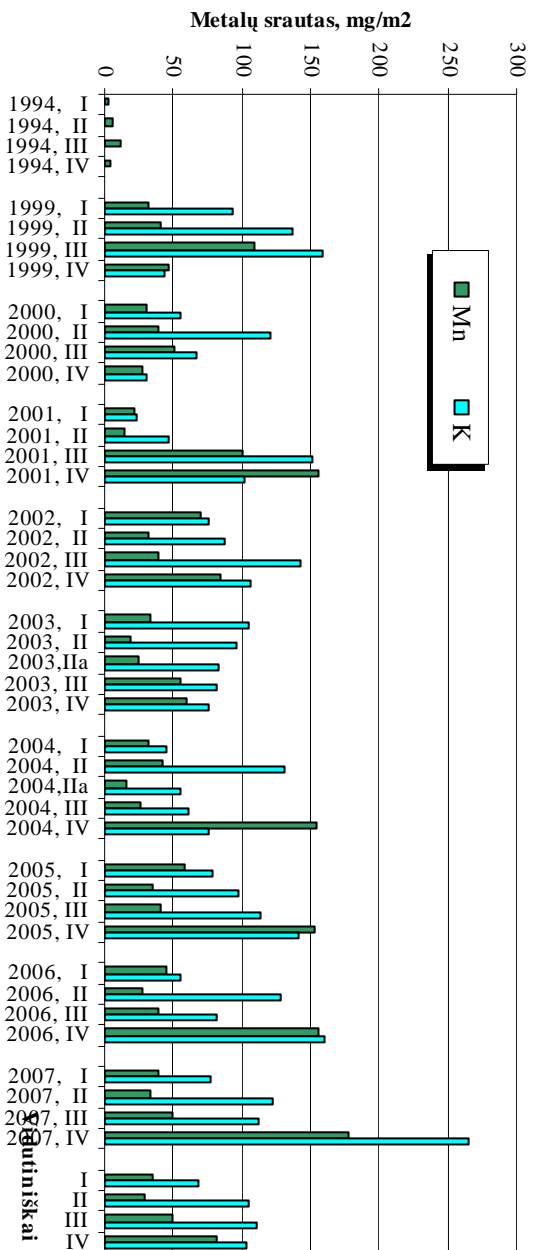
**3.9 pav.** Metalų metinių koncentracijų nuokritose kaita Aukštaitijos KMS 1994-2007 m.



**3.8 pav. Metalų koncentracijų nuokritose sezoninė dinamika 1994-2007 m.**



3.10 pav. Metalų koncentracijų srautus su nuokritomis sezoninė dinamika 1994-2007 m.

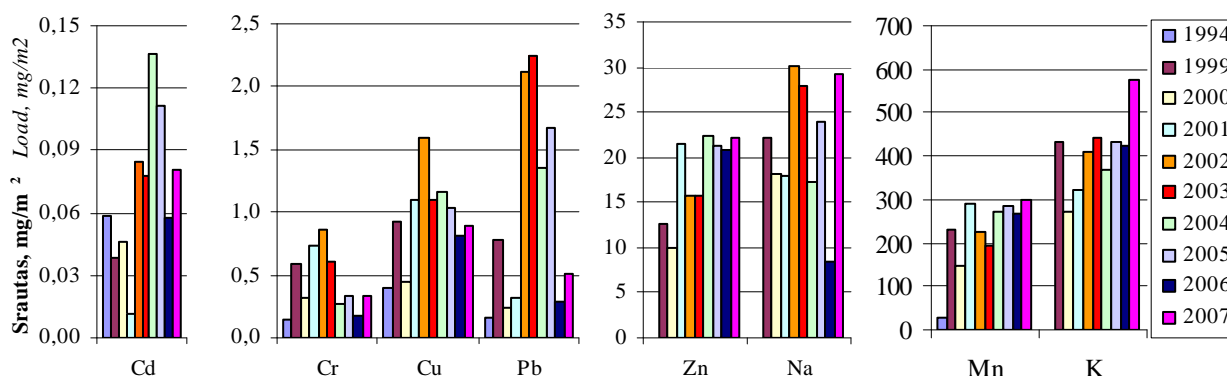


Tokių elementų, kaip cinko (Zn), natrio (Na) ir mangano (Mn) koncentracijų nuokritose sezoniškumas neturi ryškių tendencijų, tačiau mažesnės koncentracijos atrodo, kad yra būdingesnės žiemos mėnesių nuokritoms. Ypač tai galima išvelgti, tiriant paskutiniųjų metų sunkiųjų metalų nuokritose sezoniškumą.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

Apibendrinus tirtų metalų koncentracijas nuokritose 1994-2007 m. laikotarpiu, nustatyta, kad per tiriamąjį laikotarpį ženkliai didėjo tik K koncentracijos nuokritose (3.10 pav.). Kitų elementų koncentracijos nuokritose išliko stabilios ar turėjo tendencija mažėti (Cr, Pb, Cu).

### ***Metallų srauto su nuokritomis į dirvožemio paklotę kaita***

Išanalizavus Aukštaitijos KMS nuokritų cheminę sudėtį, toliau tyrėme tirtų metallų srautos su nuokritomis į dirvožemio paklotę. Gauti rezultatai pateikti 3.11 paveiksluose. Iš pateiktų duomenų matyti aiškus tik tokių tirtų metallų, kaip Pb, Mn, Na ir K srautų su nuokritomis sezoniškumas, kurio pobūdis analogiškas šių metallų koncentracijų nuokritose sezoniškumui. Likusių metallų sezoniškumo kaita nėra statistiškai reikšminga ( $p < 0,05$ ).



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

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

### 3.5.2. Žemaitijos KMS nuokritų tyrimai

#### *Nuokritų sezoninė dinamika*

Žemaitijos KMS nuokritų sezoninė dinamika pradėta registruoti tik 1995m. pabaigoje. Nuokritų sezoninės dinamikos rezultatai pateikti 5.2 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 (1996-2007m.)

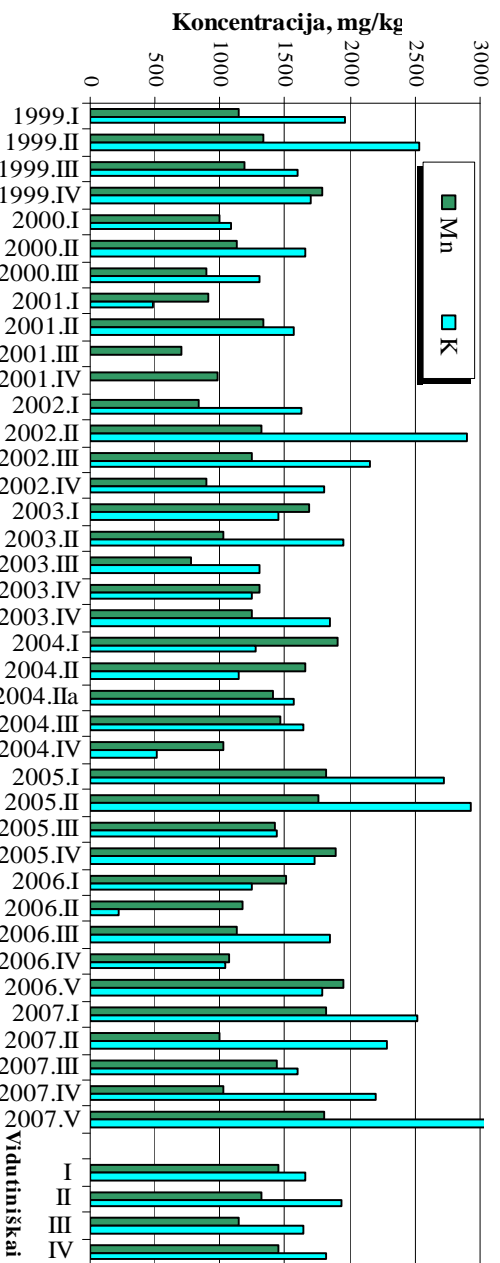
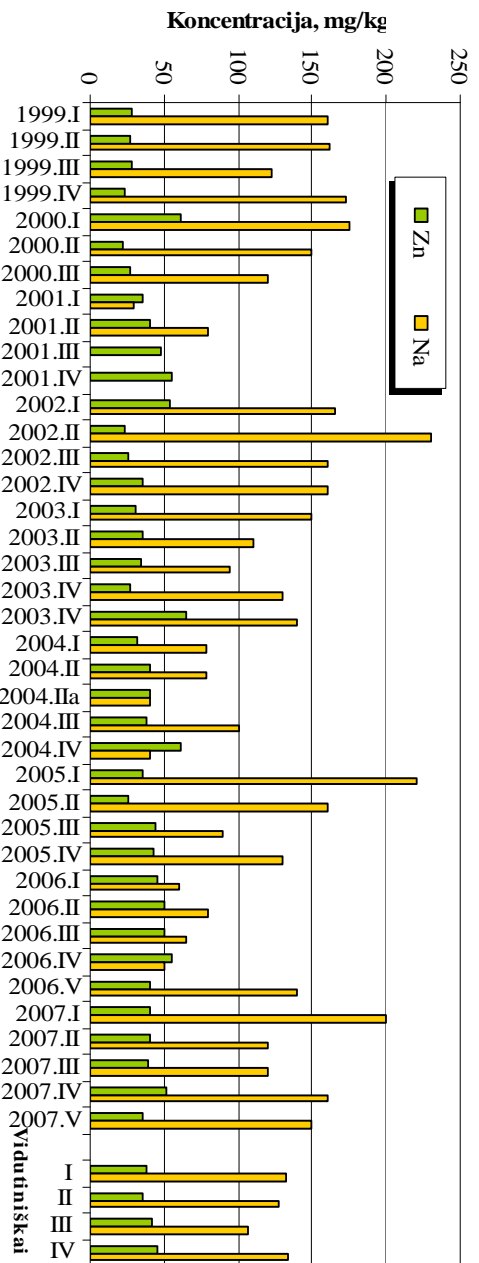
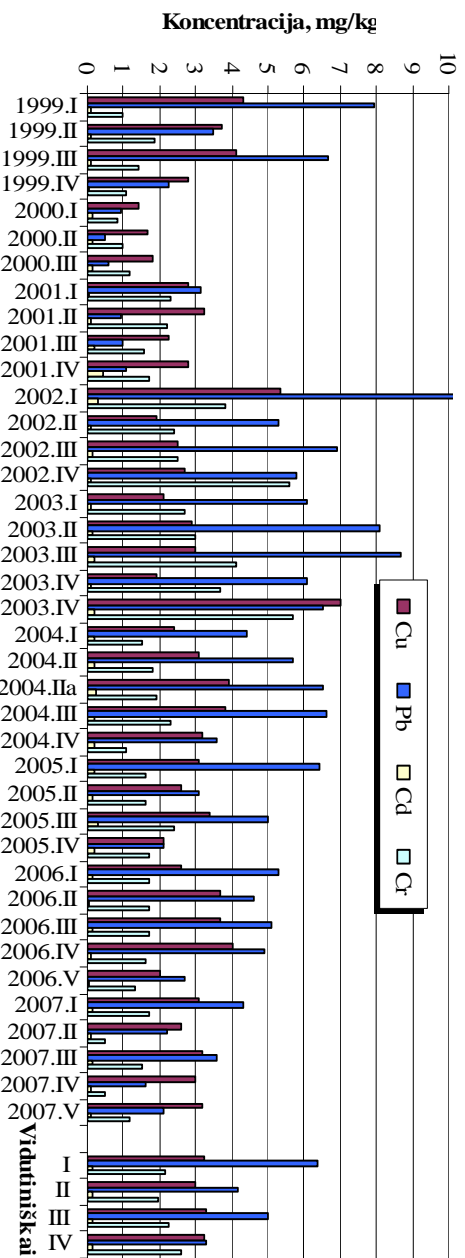
Data	Nuokritų frakcija				Iš viso
	Spygliai	Lapai	Šakelės	Kankorėžiai.	
1996*	-	-	-	-	238,4
1997	194,2	0	93,3	4,3	291,8
1998					496,5
1999	341,7	5,8	48,0	39,6	435,1
2000					411,3
2001			23,3	48,7	360,4
2002				54,7	623,0
2003				25,8	593,0
2004				18,4	436,9
2005					755,06
2006				28,0	375,5
2007			42	54,0	481,8
g/m <sup>2</sup>	355,6	4,1	63,2	35,3	458,2
kg/ha	3556	41	632	353	4582
%	77,6	0,9	13,8	7,7	100

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

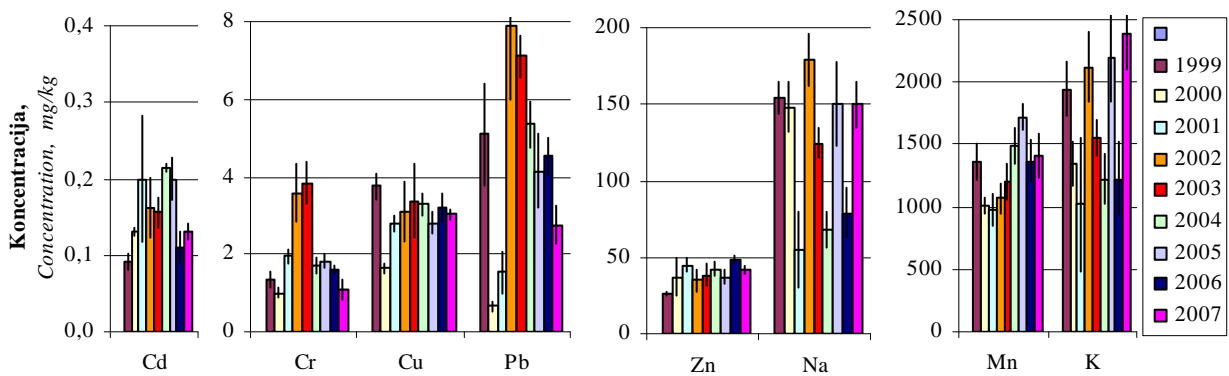
Nustatyta, kad 2006 m. nuokritų kiekis Žemaitijos KMS beveik 2 kartus buvo mažesnis nei praėjusiais metais ir siekė 3755 kg/ha. 2007 m. nuokritų kiekis vėl didėjo ir viršijo daugiamečių vidurkį, kuris Žemaitijos KMS bręstančiame eglyne susidaro apie 4582kg/ha nuokritų, t.y. apie 25% daugiau negu Aukštaitijos perbrendusiame pušyne.

### *Metaly 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.



**3.12 pav.** Metalų koncentracijų nuokritose sezoninė dinamika 1999-2007 m.

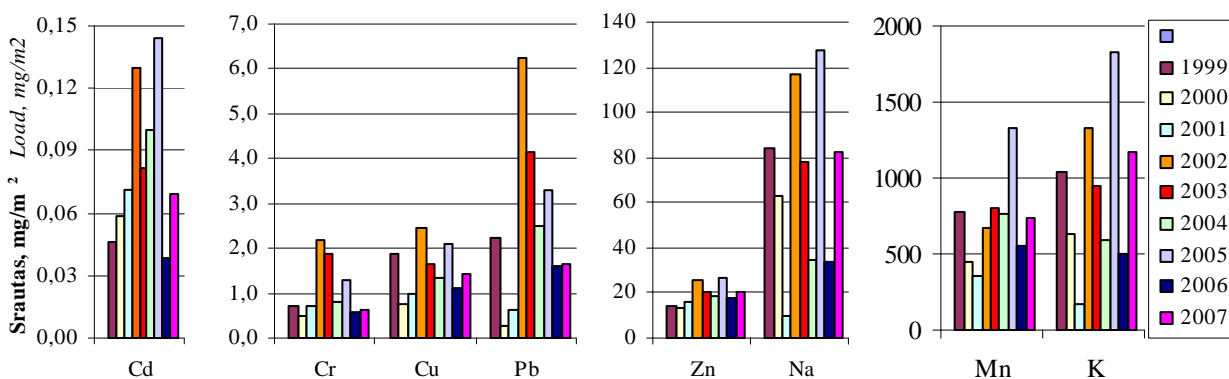


**3.13 pav.** Metalų metinių koncentracijų nuokritose kaita Žemaitijos KMS 1999-2007 m.

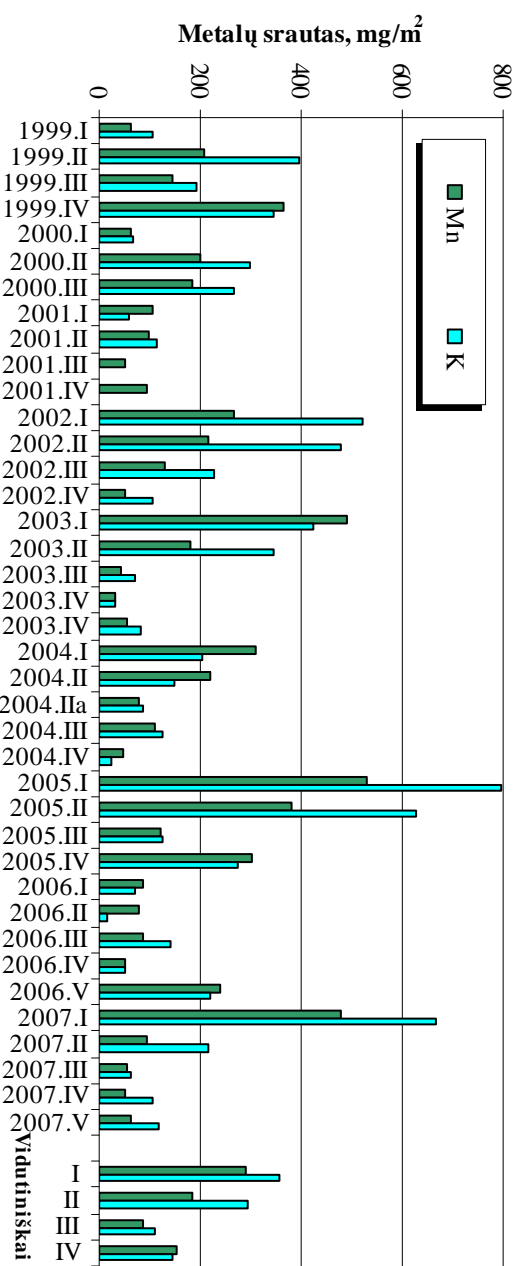
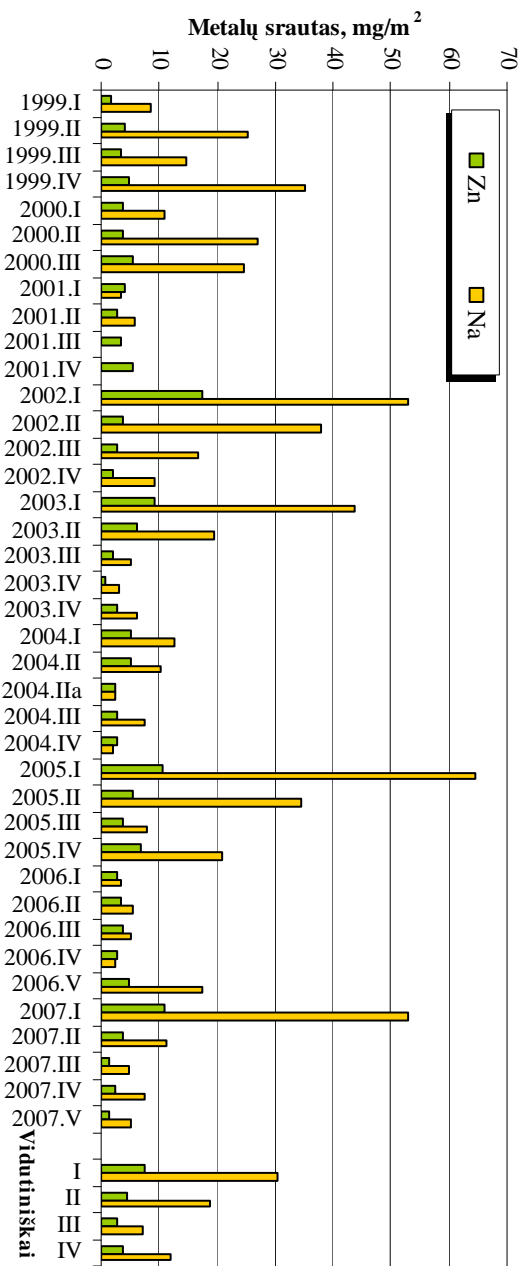
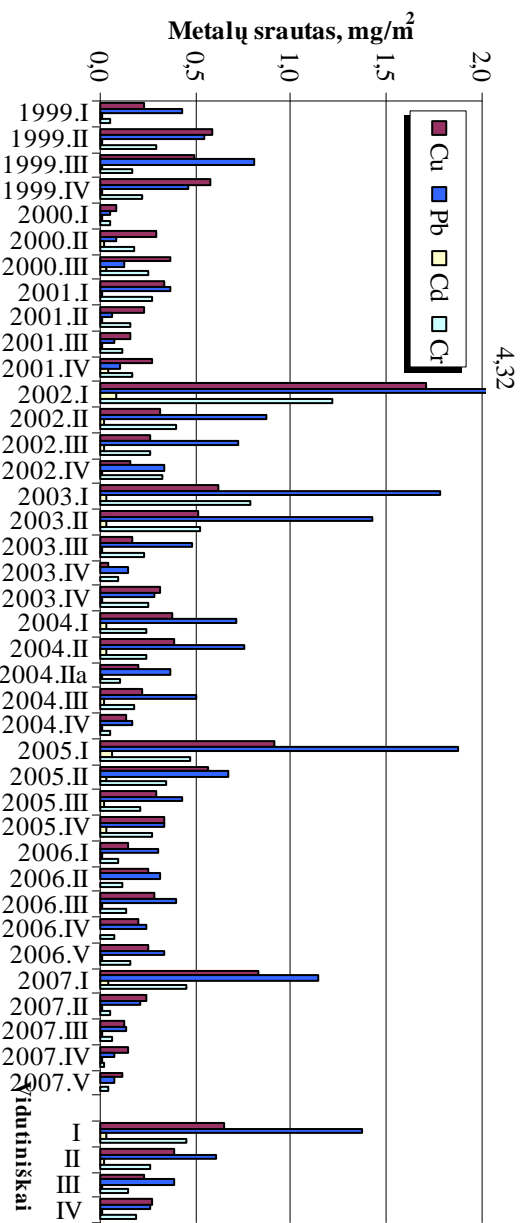
Metinių koncentracijų kitimas 1999-2007 m. laikotarpiu analizė rodo, kad tirtų metalų didžiausios koncentracijos buvo būdingos 2002 m. nuokritoms. Nuo šių metų, kaip ir Aukštaitijos KMS, reikšmingai mažėjo tik Pb Cr koncentracijos. Kalio koncentracijoms buvo būdinga augimo tendencija, tik ne tokia reikšminga kaip Aukštaitijos KMS. Kitų metalų koncentracijos nuokritose išliko stabilios.

#### ***Metalų patekimas į dirvožemį su nuokritomis kaita***

Metalų srautų su nuokritomis sezoninės dinamikos analizė rodo, kad sezoniškumas turėjo reikšmingos įtakos metalų srautams su nuokritomis (3.14 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.



**3.15 pav.** Metalų metinių srautų su nuokritomis kaita Žemaitijos KMS 1999-2007 m.



3.14 pav. Metalų koncentracijų srautų su nuokritomis sezoninė dinamika 1999-2007 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.

**3.10 lentelė.** Metalų srauto su nuokritomis (mg/m<sup>2</sup>) koreliacinis ryšys su jo koncentracija nuokritose (mg/kg) ir nuokritų kiekiu (kg/m<sup>2</sup>)

Parametras	Metalų srautas su nuokritomis							
	CU	PB	CD	CR	ZN	NA	MN	K
<b>Aukštaitija</b>	Koreliacijos koeficientai (r) / patikimumo lygmuo (p)							
Elemento koncentracija nuokritose	<b>0,637</b> p=,000	<b>0,904</b> p=,000	<b>0,743</b> p=,000	<b>0,836</b> p=,000	<b>0,725</b> p=,000	<b>0,725</b> p=,000	<b>0,865</b> p=,000	<b>0,631</b> p=,000
Nuokritų kiekis	<b>0,578</b> p=,000	0,115 p=,470	<b>0,509</b> p=,001	0,190 p=,228	<b>0,811</b> p=,000	<b>0,538</b> p=,000	<b>0,761</b> p=,000	<b>0,587</b> p=,000
<b>Žemaitija</b>								
Elemento koncentracija nuokritose	0,305 p=,059	<b>0,706</b> p=,000	<b>0,547</b> p=,000	<b>0,419</b> p=,008	0,081 p=,626	<b>0,709</b> p=,000	<b>0,632</b> p=,000	<b>0,602</b> p=,000
Nuokritų kiekis	<b>0,846</b> p=,000	<b>0,729</b> p=,000	<b>0,814</b> p=,000	<b>0,805</b> p=,000	<b>0,878</b> p=,000	<b>0,927</b> p=,000	<b>0,903</b> p=,000	<b>0,884</b> p=,000

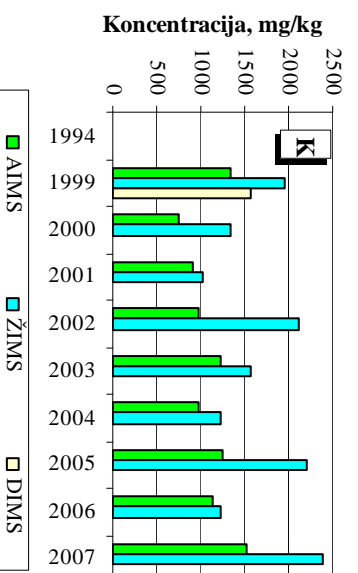
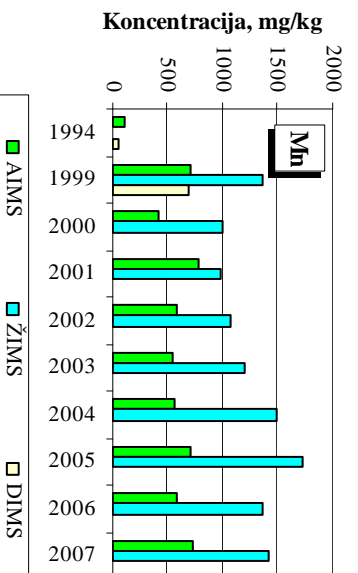
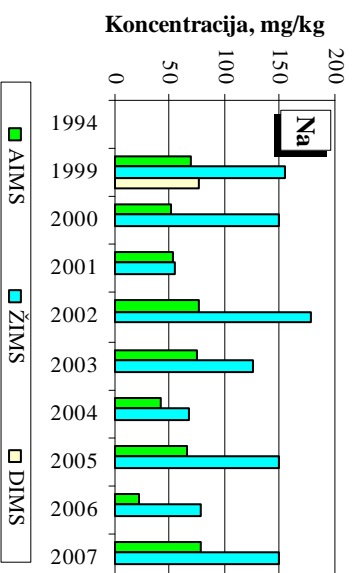
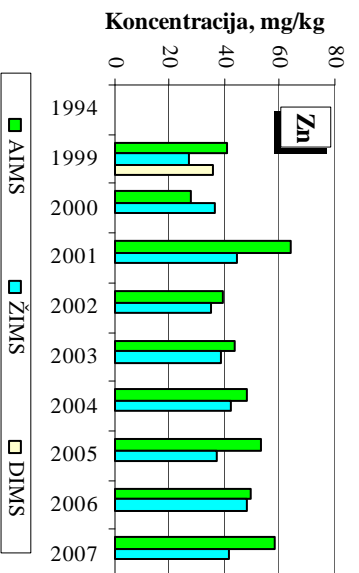
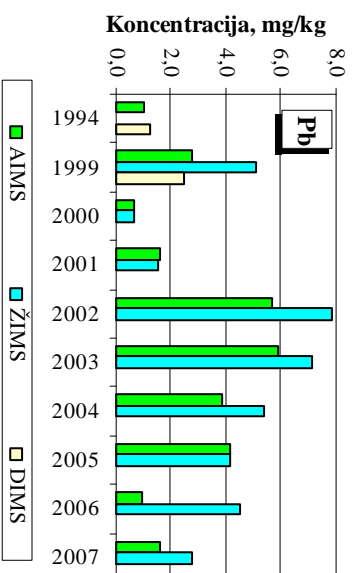
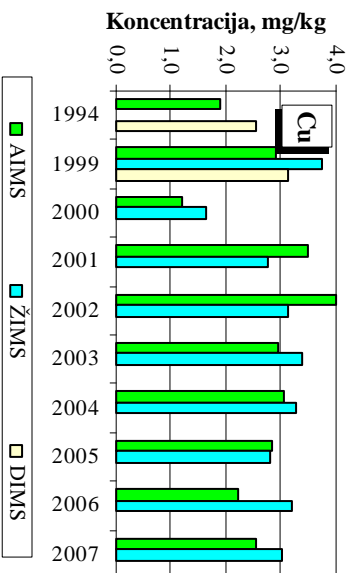
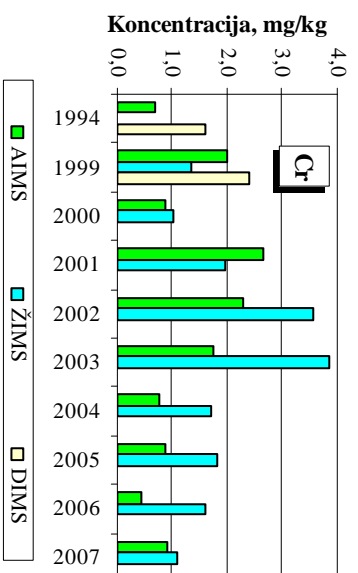
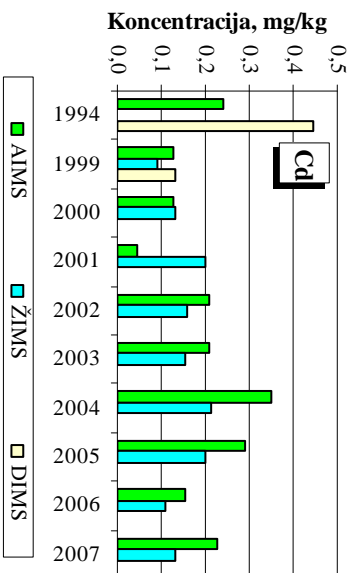
Apibendrinus tirtų metalų srautų su nuokritomis į dirvožemio paklotę tyrimų rezultatus, nustatyta, kad dažniausiai Aukštaitijos KMS būdingiausiame pušyne metalų metinius kiekius statistiškai reikšmingiau sąlygoja jų koncentracija nuokritose (3.10 lentelė), kai tuo tarpu Žemaitijos KMS būdingiausiame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

### 3.5.3. Metinių metalų srautų su nuokritomis palyginimas tarp KM stočių

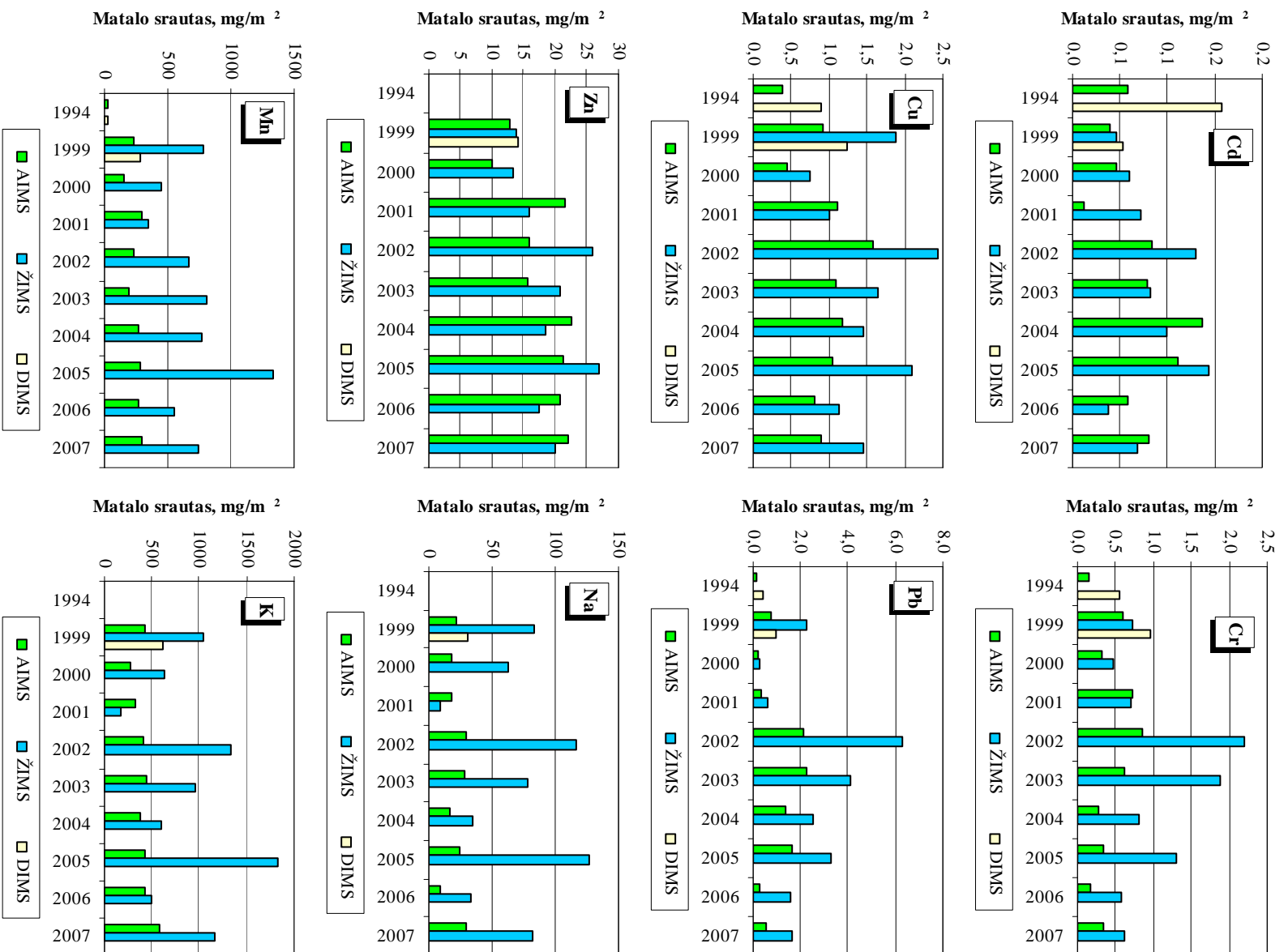
Palyginus tirtų metalų koncentracija tarp atskirų KM stočių nustatyta, kad tik Cd ir Zn koncentracijos Aukštaitijos KMS yra didesnės nei Žemaitijos KMS nuokritose. Tyrimų pradžioje, iki 2002 m. didesnės koncentracijos nuokritose buvo ir Cu, tačiau paskutiniu metu šio elemento koncentracijos Aukštaitijos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

Tirtų metalų srautų su nuokritomis analizė parodė, kad tik Cd ir Zn srautai su nuokritomis Aukštaitijos KMS teritorijoje viršija jo srautą Žemaitijos KMS teritorijoje. Likusių metalų srautai Žemaitijos KMS yra ženkliai didesni negu Aukštaitijos KMS. 2007 m. 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.





3.16 pav. Tirtų metalų koncentracijos nuokritose KM stovyse 1994-2007 m.



3.17 pav. Tirtų metalų srautai su nuokritomis KM stovyse 1994-2007 m.

## IŠVADOS

1. Aukštaitijos KMS perbrendusiame, brukniniame pušyne (AKMS\_01) vidutiniškai susidaro apie 3392 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 4582kg/ha nuokritų. Net 77% visų nuokritų sudaro eglės spygliai. Medžių žievės nuokritose praktiškai nerasta. 14% visų nuokritų sudaro sausos, smulkios eglės šakelės. Kankorėžių kiekis nuokritose priklausomai nuo metų, svyruoja nuo 0 iki 13%.
3. Aukštaitijos KMS būdingiausiame pušyne metalų metinius kiekius statistiškai reikšmingiau sąlygoja jų koncentracija nuokritose, kai tuo tarpu Žemaitijos KMS būdingiausiame eglyne – nuokritų kiekis.
4. Cd ir Zn koncentracijos Aukštaitijos KMS yra didesnės nei Žemaitijos KMS nuokritose. Likusių tirtų metalų koncentracijos Žemaitijos KMS nuokritose 1,5-3 kartus yra didesnės nei Aukštaitijos KMS nuokritose.
5. 2007 m. 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.

### 3.6. 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.

Pastraisiais metais Cu, Ni ir Zn koncentracija dirvožemio vandenyje augo, o Cr, Cd ir Pb koncentracijos turėjo tendenciją mažėti.

Gruntiniame vandenyje Cu, Cd, Zn ir Ni koncentracijos turi tendenciją mažėti, o Pb, skirtingai negu dirvožemio vandenyje didėti. Cr koncentracijos tiriamuoju laikotarpiu išlieka stabilios.

Sunkiųjų metalų Cr, Pb, Ni ir Cd koncentracija Aukštaitijos KMS upelio vandenyje nuo 2003 metų neturi pastebimų kitimo tendencijų, laikosi žemiausiame lygyje per stebėjimo laikotarpį, (nuo 2000 m.), be to 2007 m., palyginti su 2006 m. sumažėjo Cu ir Zn koncentracija.

2007 m. Žemaitijos KMS iki didžiausių nuo 2000 m. reikšmių padidėjo Cu ir Zn koncentracija. Ne taip ryškiai išaugo Cr, Ni ir Pb koncentracijos. Cd koncentracija, laikosi minimaliame lygyje.

Nuokritos vienas iš sunkiųjų metalų judėjimo tarpsnių miško ekosistemose. Aukštaitijos KMS perbrendusiame, brukniniame pušyne (AKMS\_01) vidutiniškai susidaro apie 3392 kg/ha nuokritų, iš kurių apie 55% sudaro spygliai, 28 % pušies žievė ir maždaug po 9% kankorėžiai ir beržų lapai. Žemaitijos bręstančiame eglyne susidaro apie 4582kg/ha nuokritų. Net 77% visų nuokritų sudaro eglės spygliai. Medžių žievės nuokritose praktiškai nerasta. 14% visų nuokritų sudaro sausos, smulkios eglės šakelės. Kankorėžių kiekis nuokritose svyruoja nuo 0 iki 13%.

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. Aukštaitijos KMS būdingiausiame pušyne metalų metinius kiekius statistiškai reikšmingiau sąlygoja jų koncentracija nuokritose, kai tuo tarpu Žemaitijos KMS būdingiausiame eglyne – nuokritų kiekis. Ar šiuos pokyčius sąlygoja atmosferiniai sunkiųjų metalų srautai parodys tolimesni tyrimai.

Pastraisiais metais Cu koncentracija dirvožemio vandenyje auga, o upelio vandenyje, palyginti su 2006 m., tapo mažesnė. Zn koncentracija Žemaitijos KMS dirvožemio vandenyje 20 cm gylyje buvo ekstremali 2006 metų liepos mėn., o 2007 metų vasarą padidėjo 40 cm gylyje. Didžiausios Pb koncentracijos būdingos dirvožemio vandeniui iš 20 cm gylgio, 2001–2002 metų laikotarpiui. 2007 m. švino koncentracija Aukštaitijos stoties dirvožemio vandenyje buvo viena iš mažiausių per stebėjimo laikotarpį, o Žemaitijoje pastebima neryški augimo tendencija. 2007 m. Žemaitijos KMS upelio vandenyje iki didžiausių nuo 2000 m. reikšmių padidėjo Cu ir Zn koncentracija. Kitų sunkiųjų metalų (Cr, Cd, Ni) koncentracijos pastaraisiais metais yra mažiausios per stebėjimo laikotarpį.

## IV. MIŠKO EKOSISTEMŲ SUMEDĖJUSIOS AUGMENIJOS 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. 2007 m. atlikta 12-ta miškų būklės apskaita.

#### 4.1.1. Aukštaitijos KMS medynų būklė

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

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

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

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

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

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 %.

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

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

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.

#### 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%. Eglynų būklė per šį laikotarpį pablogėjo intensyviausiai. Jų vidutinė defoliacija padidėjo nuo 19,7% iki 28,7%.

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

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

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

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

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

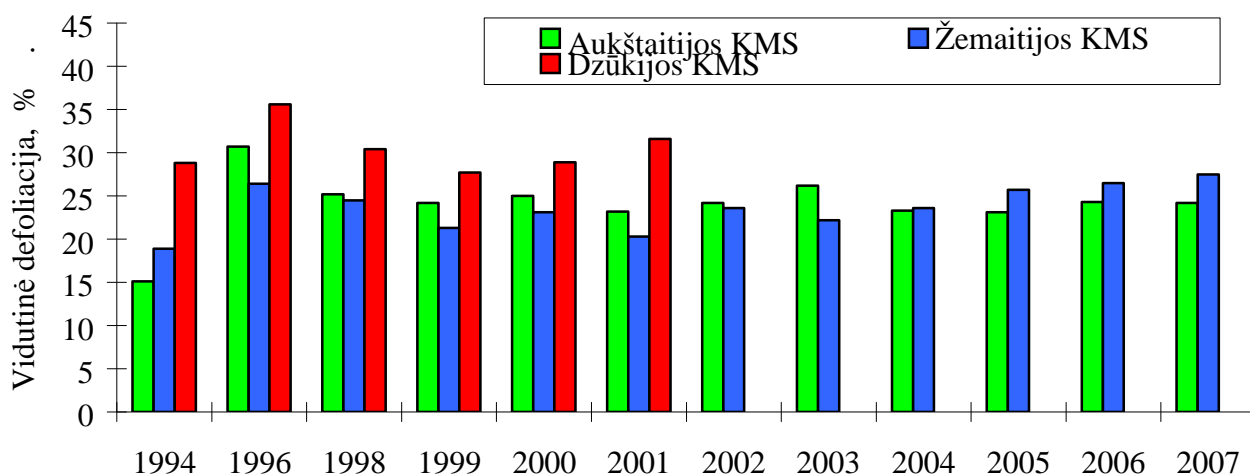
2002 m. medynų būklės pablogėjimą sąlygojo sausas vegetacinis periodas bei gausios snieglaužos vasario mėnesį. Dėl šių veiksnių intensyviausiai pablogėjo spygliuočių medynų būklė. Vidutinė pušynų defoliacija padidėjo virš 6%, nuo 19 iki 25,3%. Vyraujančių medyne pušų vidutinė defoliacija padidėjo 5,6%,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

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

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

2003-2007 metų laikotarpiu beržų ir pušų lajų vidutinė defoliacija nors ir nereikšmingai, tačiau didėjo.

Lyginant miškų būklę tarp atskirų stočių nustatyta, kad 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. Pastarųjų ketverių metų laikotarpiu šis skirtumas palaipsniui didėja, tapdamas reikšmingu ( $p < 0,05$ ).



4.1.1 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 vėjavartos, vėjalaūžos ir snieglaūžos ypač Žemaitijos KMS bei išskirtinai karšta ir sausa vasara.

## **IŠVADOS**

Tiriamuoju laikotarpiu (1994-2007 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 1999 m. medžių lajų defoliacija reikšmingai mažėjo, o pastaruju laikotarpiu Žemaitijos KMS turi tendencija didėti, o Aukštaitijos KMS jau keleta paskutiniųjų metų išlieka praktiškai stabili.

## 4.2. Medynų būklė augalijos tyrimų stacionaruose

1993m. Aukštaitijos kompleksinio monitoringo stotyje (KMS) buvo išskirtas vienas kartografuotas 50m × 50m tyrimo barelis visų augalijos arđų 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 būdingiausius 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 arđų 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 4.2.1 lentelėje.

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

Tyrimo stacionaras	Medynų taksacinės charakteristikos						
	Rūšinė sudėtis	Amžiaus klasė	Bonitetas	Skalsumas	Tūris 1 ha m <sup>3</sup>	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**

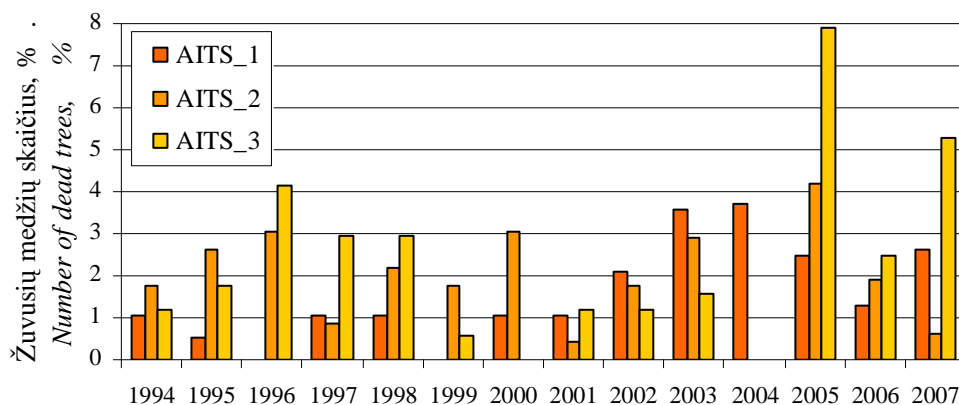
### ***4.2.1. Medynų būklė Aukštaitijos KMS stacionaruose***

Vienas iš pagrindinių medynų būklės rodiklių, šalia vidutinės medžių defoliacijos laikomas žuvusių medžių skaičius. Aukštaitijos KMS pirmajame stacionare intensyviausiai sumažėjo lapuočių medžių, kiek mažiau žuvo eglių ir mažiausiai pušų. Tik viena pušis nudžiūvo šiame stacionare per tiriamąjį laikotarpį. Medžių iškritimas siekė 20,7 % arba 1,6% per metus.

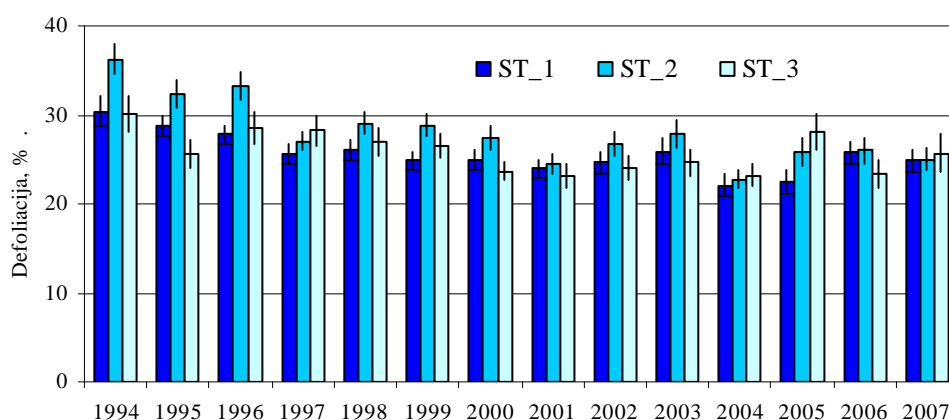
Antrajame stacionare AKMS\_02 bendras medžių iškritimas viršijo 26% arba 2,06% per metus. Mažiausiai žuvo lapuočių, vos du beržai nudžiūvo per 13 m. laikotarpį, kai tuo tarpu pušų iškritimas viršijo 10%. Intensyviausias iškritimas užfiksuotas eglių. Per tiriamąjį laikotarpį šiame stacionare žuvo virš 37% šios rūšies medžių. Tačiau, kaip taisyklė, žūsta atsilikę augime medžiai. Kelių didesnių beržų žūtis priežastis – vėjalaūža.

Trečiojo stacionaro medžių iškritimo intensyvumas didžiausias 29,5% arba 2,27% 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.

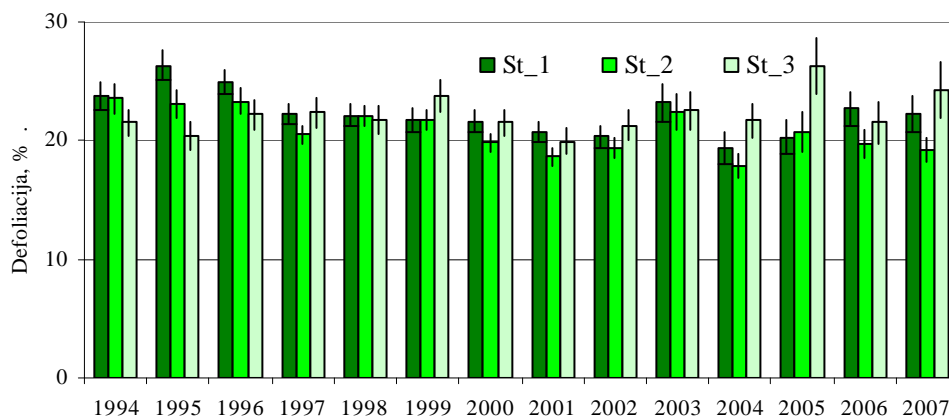
Žuvusių medžių skaičiaus dinamika rodo (2.1 pav.), kad per tiriamąjį laikotarpį kasmet vidutiniškai iškrenta apie 2% medžių.



2.1 pav. Žuvusių medžių skaičius Aukštaitijos KMS tyrimų stacionaruose 1994-2007 m.

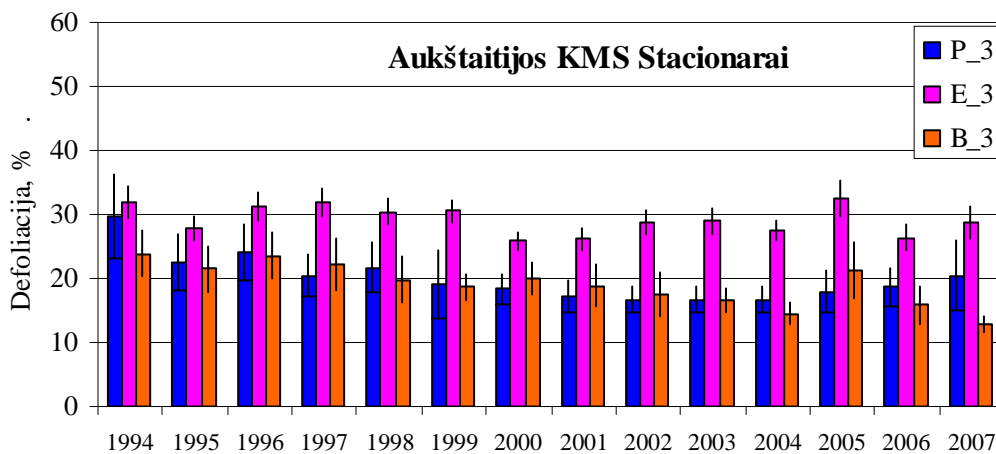
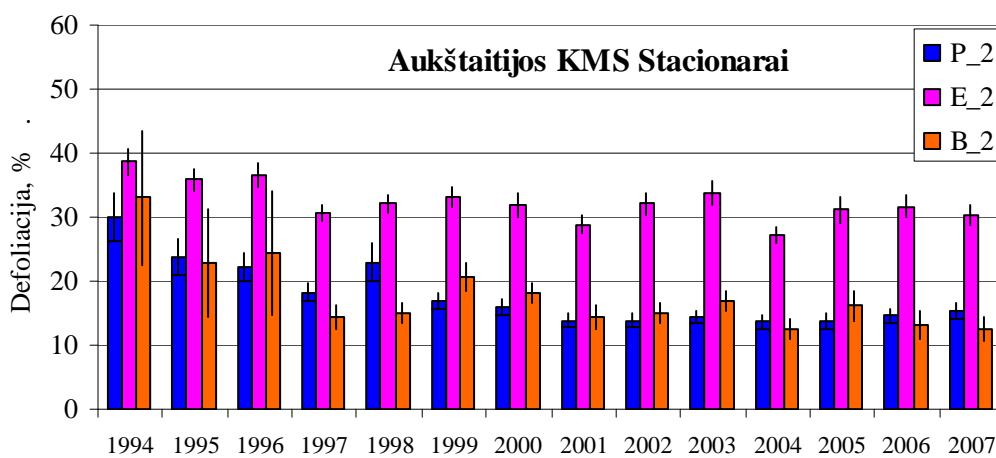
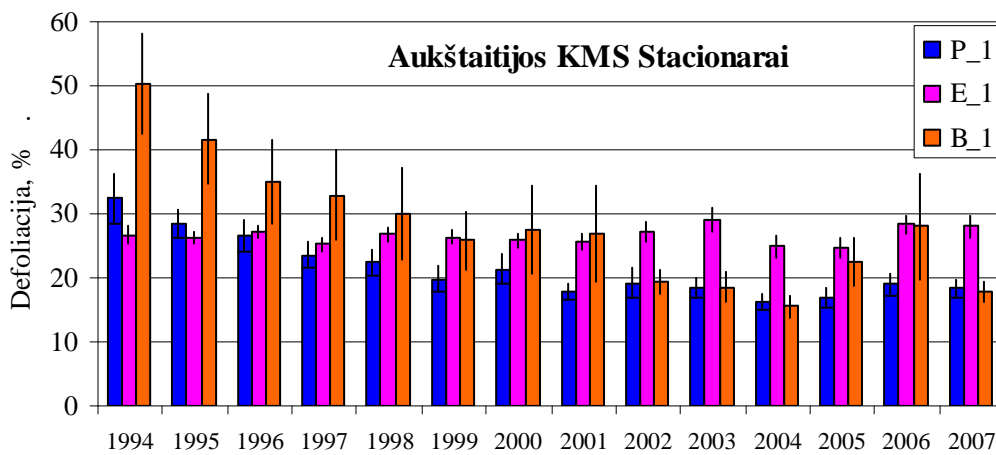


2.2 pav. Visų medžių vidutinės defoliacijos kaita Aukštaitijos KMS stacionaruose 1994-2007 m.

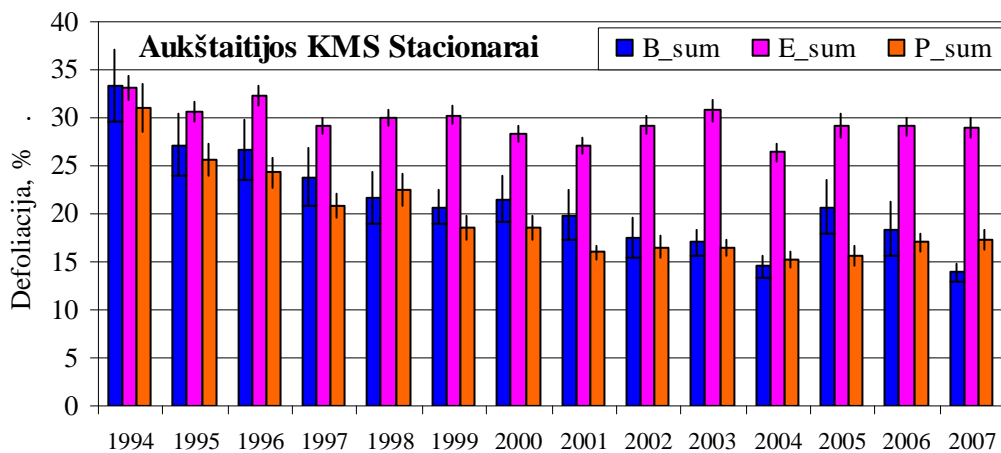


2.3 pav. 1-3 Krafto klasių medžių vidutinės defoliacijos kaita Aukštaitijos KMS stacionaruose

Medžių lajų defoliacijos duomenys rodo, kad visų medžių vidutinė defoliacija iki 2001 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 m. (virš 28 %) sąlygojo dėl žievėgraužio tipografo pažeidimų žuvusios eglės.



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

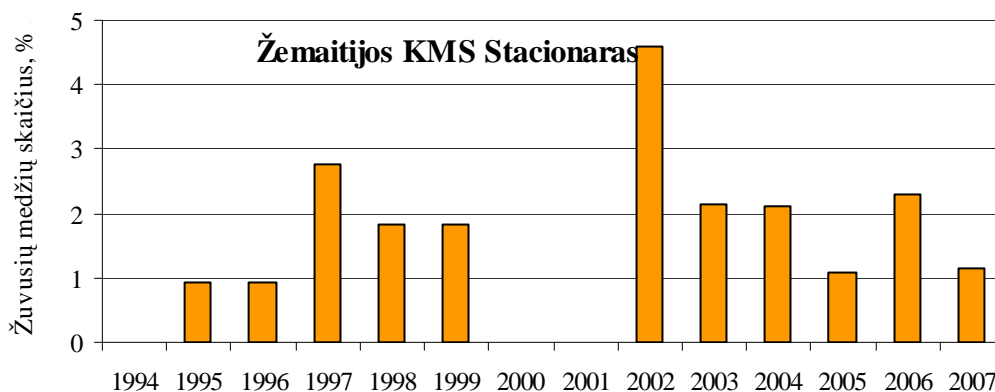


**2.5 pav.** Atskirų rūšių visų medžių vidutinės defoliacijos kaita Aukštaitijos KMS stacionaruose.

Apibendrinus tyrimų rezultatus nustatyta, kad pušys yra geriausios būklės, o eglės – blogiausios būklės. Per tiriamąjį laikotarpį reikšmingai mažėjo stacionaruose augančių beržų ir pušų vidutinė defoliacija.

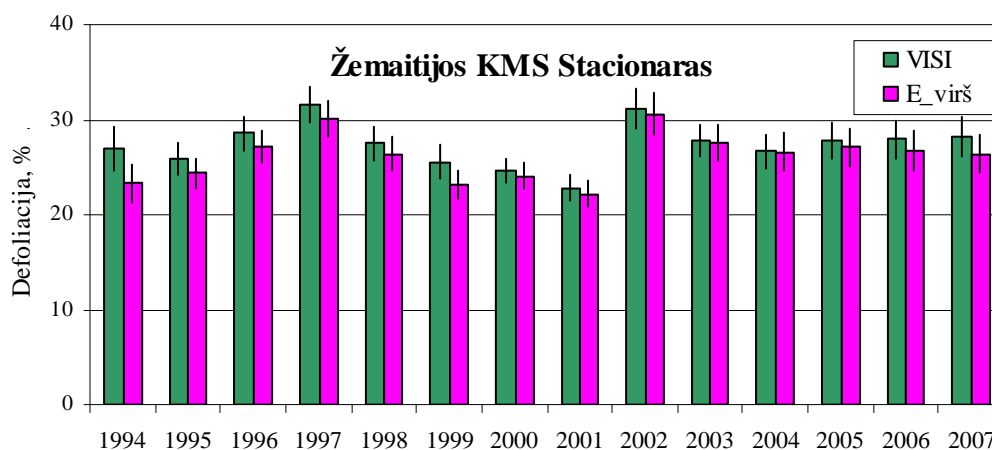
#### 4.2.2 Medyno būklė Žemaitijos KMS stacionare

Žemaitijos stacionare bendras medžių iškritimas per 11 m. laikotarpį siekia 14,8% ar 1,23% 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 vejalužos. 2005 metais net apie 5% eglių buvo pažeistos snieglaušos, o paskutiniaisiais metais eglių žuvimo priežastis – žievėgraužis tipografas.



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

Pagrindiniai medžių būklės kaitos parametrai Žemaitijos KMS stacionare pateikti 2.6 – 2.7 paveiksluose. Metais, kuriais medžių vidutinė defoliacija buvo didžiausia užregistruotas ir didesnis žuvusių medžių skaičius. Įdomu pažymėti, kad defoliacijos kaitos tendencijoms įtakos neturėjo medžių išsivystymo laipsnis. Vyraujančių ir atsilikusių augime medžių vidutinės defoliacijos kitimo pobūdis metų bėgyje buvo analogiškas. Tik didesnių medžių vidutinė defoliacija buvo mažesnė, o žemesnių, atsilikusių augime – didesnė.



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

Didžiausias neigiamas defoliacijos pokytis užregistruotas 2002 metais. Pagrindinis veiksnys esminiais sąlygojantis medžių, pagrinde eglų, būklę buvo vasario mėnesį vykusios snieglaūžos. 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 – 2007 m. laikotarpiu eglų žuvimo intensyvumas dėl žievėgraužio viršijo 2% per metus.

Paskutiniųjų penkerių metų laikotarpiu eglų lajų defoliacijos laipsnis išlieka stabilus.

### Išvados

1. Aukštaitijos KMS stacionaruose pušys yra geriausios būklės, o eglės – blogiausios būklės. Per tiriamąjį laikotarpį reikšmingai mažėjo stacionaruose augančių beržų ir pušų vidutinė defoliacija. Išimti sudaro tik 2005-06 metų pušų defoliacija, kuri reikšmingai padidėjo lyginant su 2004 m. 2007 m. stebimas augalijos stacionare augančių pušų lajos defoliacijos laipsnio sumažėjimas.

2. Žemaitijos KMS stacionare eglų defoliacija per visą tiriamąjį laikotarpį svyruoja nuo 25 iki 27 %. 1997-2001 m. laikotarpiu jų defoliacija reikšmingai mažėjo. Paskutiniu metu laikotarpiu Žemaitijos KMS stacionare augančių medžių vidutinė defoliacija stabili.

3. Palyginus eglų vidutinę defoliaciją augalijos tyrimų stacionaruose, nustatyta, kad Žemaitijos stacionaro eglų 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 4.3.1 lentelėje.

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

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



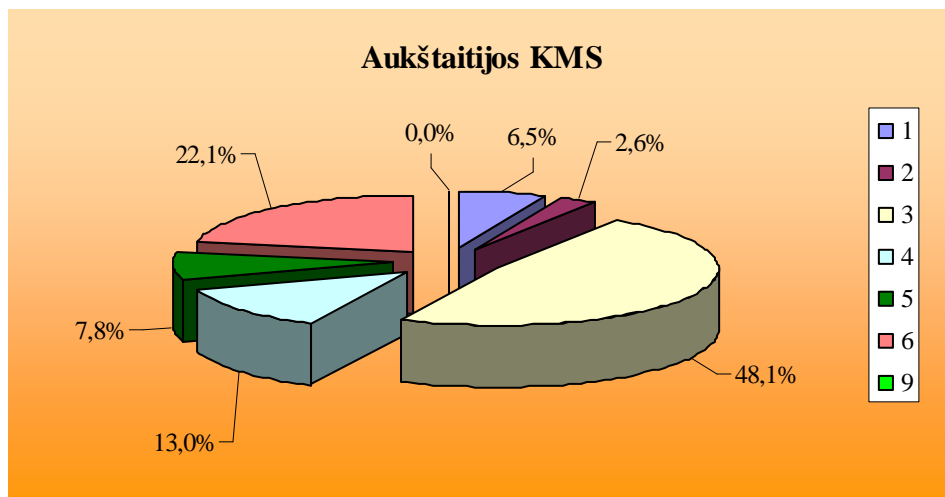
## Darbo rezultatai

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

### 4.3.1 Aukštaitijos KMS medžių pažeidimai bei pagrindinės priežastys

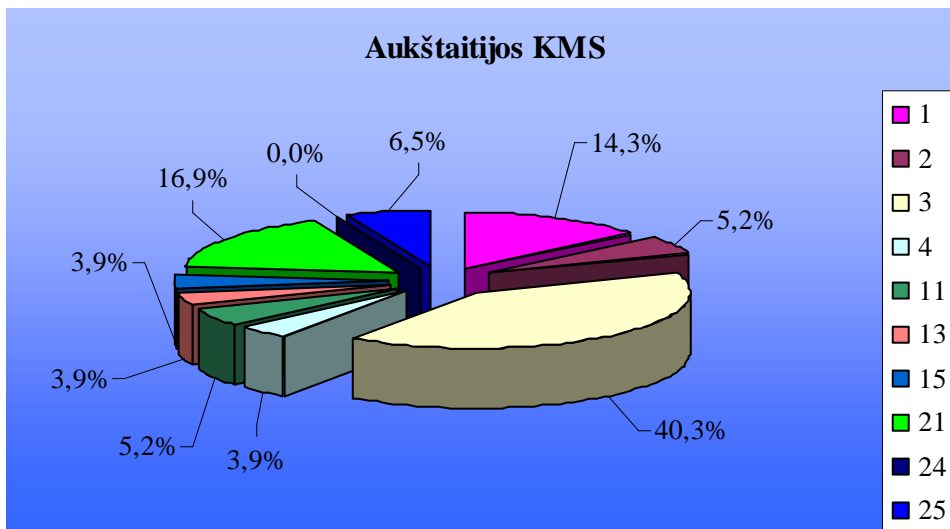
Nustatyta, kad Aukštaitijos KMS teritorijoje iš 543 atrinktų viršaujančių, vyraujančių ir iš dalies stelbiamų miško medžių 77 identifikuoti pažeidimai, kurie iš esmės įtakuoja ar galėjo įtakoti jų būklę. Tai sudaro 14,2% šių medžių. Palyginus su praėjusiais metais pažeistų medžių sumažėjo 2,2%.

Iš 3.1 pav. pateiktos schemos matyti, kad daugiausiai pažeidimų rasta apatinėje kamieno (3) ir lajos kamieno srityse (6). Pažeidimai šiose srityse sudaro 48% ir 24% visų užregistruotų pažeidimų. Kitoms medžio sritims tenka žymiai mažiau pažeidimų. 12% pažeidimų buvo užregistruota visame kamieno (4). Mažiausiai pažeidimų rasta šaknų ir priekelminėje kamieno srityje (1; 2) bei viršutinėje kamieno dalyje (5).



**3.1 pav.** Pažeidimų pasiskirstymas pagal pažeistą medžio sritį

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



### 3.2 pav. Pažeidimų ir ligų pasiskirstymas pagal rūšį

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

11 – nulaužtas kamienas; 15 – nulenktas kamienas

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

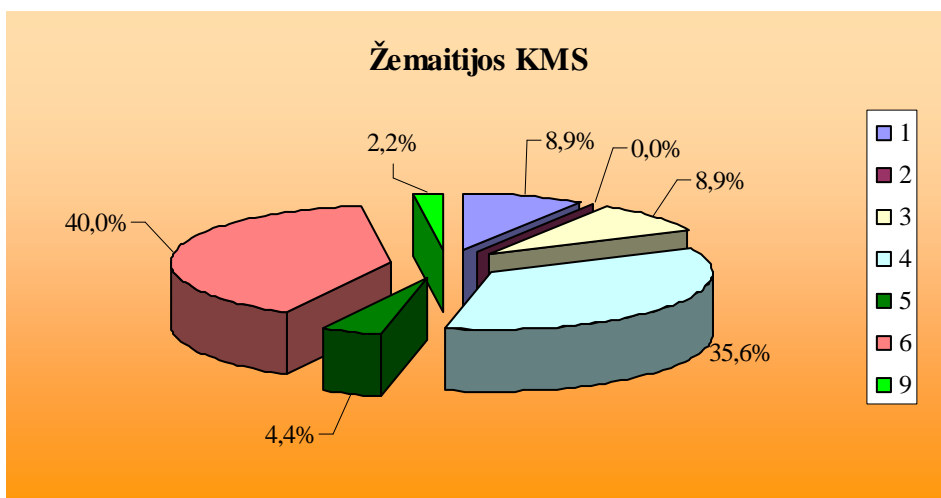
25 – eglinio tipografo pažeidimai.

Iš nustatytų pažeidimų dažniausiai pasikartojantys buvo: atviros žaizdos (3). Šis pažeidimas sudarė 44% visų pažeidimų (3.2 pav.). Tai įvairaus senumo bei intensyvumo elnių nulopyti eglų kamienai. 17% ir 19% visų pažeidimų sudarė vėžys (1) ir viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas (21), kuri sąlygojo snieglaušos ar vėjalaušos. 6% pažeidimų sudarė eglinio topografo pažeidimai. Kiti užregistruoti pažeidimai nesiekė 5%.

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

Apibendrinus gautų tyrimų rezultatus, nustatyta, kad paskutiniuoju laikotarpiu (2002-2007 m.) pažeidimų priežastys ir pažeidimų sritys medyje praktiškai iš esmės nepakito, iškyrus dvigubai padidėjusio eglinio tipografo pažeidimų intensyvumą. Šis pažeidimas lėmė ir išskirtinai aukštą medžių iškritimo intensyvumą stacionaruose.

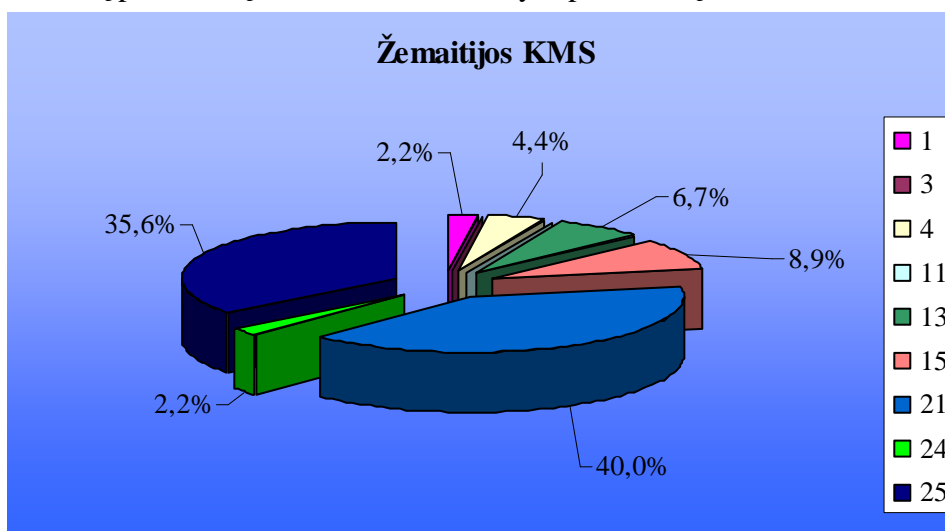
#### 4.3.2 Žemaitijos KMS medžių pažeidimai bei pagrindinės priežastys



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

Nustatyta, kad Žemaitijos KMS teritorijoje 10,2% tirtų viršaujančių, vyraujančių ir iš dalies stelbiamų miško medžių buvo pažeisti.

Iš 3.3 pav. pateiktos schemos matyti, kad daugiausiai pažeidimų rasta lajos kamieno (6) ir visoje kamieno srityse (4). Pažeidimai šiose srityse sudaro 40% ir 36% visų užregistruotų pažeidimų. Kiek mažiau pažeistos buvo šaknų ir priekelminė (1) bei apatinei kamieno (3) sritys – maždaug po 9% visų pažeidimų. Kituose medžio srityse pažeidimų buvo mažiau.



**3.4 pav.** Pažeidimų ir ligų pasiskirstymas pagal rūšį  
Kamieno ir šaknų pažeidimai: 1. – vėžys; 3. - atviros žaizdos; 4. –sakotakių pažeidimas; 11 – nulaužtas kamienas; 15 – 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 sudarė apie 40% visų pažeidimų (3.4 pav.). Tokių didelį šio pažeidimo registracijų skaičių sąlygojo vėjalauža ir snieglauža. Tai turėtų kelti nerimą, nes tokie nusilpę medžiai gali padėti kenkėjams eilinį kartą išplisti. Be šio pažeidimo, tyrimų metu užregistruotos dar 6 priežastys iš kurių aktualiausias turėtų būti eglinio topografo pažeidimai (25). Šio kenkėjo pažeidimai per pastaruosius metus (2002-2007 m.) išaugo nuo 6,2% iki 35% visų pažeidimų. Nulenktas (15) kamienas sudarė maždaug 9% visų pažeidimų. Kadangi beveik visi šie medžiai yra eglės, tai galima daryti prielaidą, kad eglinio tipografo žala ir ateinančiais metais turėtų didėti.

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

Apibendrinus gautų tyrimų rezultatus, nustatyta, kad paskutiniu metu laikotarpiu (2002-2007 m.), kaip ir Aukštaitijos KMS pažeidimų priežastys ir pažeidimų sritys medyje praktiškai iš esmės nepakito, išskyrus beveik 5 kartus padidėjusio eglinio tipografo pažeidimų intensyvumą.

## IŠVADOS

1. Aukštaitijos KMS teritorijoje iš 543 apskaitos medžių 77 identifiukuoti pažeidimai, kurie iš esmės įtakojo ar galėjo įtakoti jų būklę. Tai sudaro 14,2% šių medžių. Palyginus su praėjusiais metais pažeistų medžių sumažėjo 2,2%.
2. Aukštaitijos KMS teritorijoje daugiausiai pažeidimų rasta apatinėje kamieno (3) ir lajos kamieno srityse (6). Iš nustatytų pažeidimų dažniausiai pasikartojantys buvo: atviros žaizdos, vėžys ir viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas, kurį sąlygojo snieglaužos ar vėjalaužos. Eglinio topografo pažeidimų 2007 m. sumažėjo iki 6%.
3. Žemaitijos KMS teritorijoje 10,2% tirtų medžių turėjo indentifiukuotus pažeidimus, kurie sąlygojo, ar galėjo salygoti šių medžių būklę. Daugiausiai pažeidimų rasta lajos kamieno ir visoje kamieno srityse, kiek mažiau pažeistos buvo šaknų ir priekelminė bei apatinei kamieno sritys.
4. Žemaitijos KMS teritorijoje dažniausiai pasikartojantis pažeidimas buvo viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas bei eglinio tipografo pažeidimai. Šio kenkėjo pažeidimai per pastaruosius metus (2002-2007 m.) išaugo nuo 6,2% iki 36% visų pažeidimų.
5. Kompleksiško monitoringo stotyse dažniausiai pažeidžiamos paprastosios eglės. Todėl galima daryti prielaidą, kad eglinio tipografo žala ir ateinančiais metais turėtų didėti.

#### 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. 1998 m. žaliųjų oro dumblių gausumo tyrimai pakartoti antrą kartą. 2007 m. žaliųjų oro dumblių gausumo tyrimai pakartoti septintą kartą.

Darbo tikslas: tirti Plevelo genties dumbliai, gyvenantys paprastųjų eglų lajose, ant spyglių, tiesiogiai ir betarpiškai reaguoja į oro užterštumą azoto junginiais.

Stebimų eglų defoliacija tiriamuoju laikotarpiu buvo 10%. Jų žaliosios šakos prasidėjo 20 - 40 cm aukštyje. 160 cm aukštyje buvo stebimas padengimo intensyvumas.

**4.4.1 lentelė.** Žaliųjų oro dumblių stebėjimo rezultatai KM stotyse

Eil. Nr.	D1,3 mm	H dm	Spyglių amžius 1,6 m aukštyje	Vid. defol. %	Apaug. dumblių intensyvumas, balais	Apaug. dumblių. 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
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

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

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.

1998 m. pakartojus žaliadumblių gausos tyrimus nustatyta, kad didžiausių gausumu žaliadumbliai pasižymi Aukštaitijos KMS teritorijoje, kas liūdytų 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 liūdytų kad oro baseinas šioje stotyje turėtų būti labiau teršiamas azoto junginiais nei Žemaitijos KM stoties.

Paskutiniaisiais 2005-2007 m. žaliųjų oro dumblių padaugėjo ir Aukštaitijos, ir Žemaitijos KMS dumblių tyrimo stotyse. Parametrai indikuojantis 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 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.

## **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. 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 reikšmingesnis negu Aukštaitijos KMS teritorijoje.

#### 4.5. Bentofaunos tyrimai pagal ICP IM programą

Upelių dugno gyvūnų bendrijos įvairovė ir gausumas priklauso nuo upelio geomorfologinių, limnologinių ir hidrocheminių ypatybių, o taip pat nuo klimatinių veiksnių ir vandens užterštumo.

**Tikslas** - Kaupti ir analizuoti duomenis apie sąlygiškai natūralių ekosistemų, pasirinktų pagal ICP IM programos reikalavimus, ir Kėdainių agrostacionaro upelių ekologinę būklę. Standartizuoti upelių tyrimo stočių abiotinę būklę.

##### **Uždaviniai:**

- 1) Ištirti Aukštaitijos IMS Versminio upelio, Žemaitijos IMS Juodupio upelio ir Kėdainių agrostacionaro Graisupio upelio makrozoobentosos taksonominę sudėtį, gausumą ir įvairovę 2007 m. vegetacijos sezono pradžioje ir pabaigoje.
- 2) Pateikti nustatytų bentofaunos būklės pokyčių analizę, apibendrinimą ir prognozę.
- 3) Nustatyti makrozoobentosos rūšinės sudėties ir gausumo pokyčių priežastis bei jas įvertinti.
- 4) Įvertinti monitoringo stočių atitikimą upelių monitoringo stacionarų reikalavimams bei, jei būtina, pašalinti stochastinių veiksnių, kurie nesusiję su globalia kaita, įtakotus upelių biotopų pokyčius tyrimų vietose.

##### **Metodika**

Bentofaunos mėginiai Aukštaitijos ir Žemaitijos integruoto monitoringo stacionarų (IMS) upeliuose surinkti bei upelių rodikliai mėginių ėmimo vietose išmatuoti 2007 m. vegetacijos sezono pradžioje (gegužės mėn. 9 ir 16 d.) ir pabaigoje (spalio mėn. 11-14 d.) pagal standartinę upelių monitoringo metodiką (Manual...1993). Kad patikrinti, kiek pastarųjų metų bentosos gausumo sumažėjimas Aukštaitijos IMS Versminio upelyje yra sąlygotas upelio vagos valymo darbų, vegetacijos sezono pradžioje ir pabaigoje šiame monitoringo stacionare buvo imami du mėginiai, vienas standartinėje monitoringo vietoje, o kitas apie 40 m žemiau, kur pagal vizualinę įvertinimą upelio vagos valymo darbai nebuvo vykdomi. Srovės greičiai, mėginių ėmimo vidutiniai gyliai ir vandens temperatūra monitoringo stacionarų upelių stebėjimų vietose 2003-2007 m. pateikti 4.5.1 lentelėje.

**4.5.1 lentelė.** Aukštaitijos ir Žemaitijos IMS (LT01 ir LT03) upelių abiotinės sąlygos bentofaunos tyrimų stotyse mėginių ėmimo metu 2003-2007 m.

Stacionaras	Srovės greitis, m s <sup>-1</sup>					Gylis, cm					Temperatūra, °C				
	2003	2004	2005	2006	2007	2003	2004	2005	2006	2007	2003	2004	2005	2005	2007
<b>LT01</b>															
Pavasaris	0.25	0.09	0.20	0.17	0.05	8	12	9	9	12	5	6	7	5	6
Ruduo	0.15	0.09	0.17	0.07	0.01	11	9	10	14	18	8	8	8	8	8
<b>LT03</b>															
Pavasaris	0.40	0.29	0.26	0.34	0.20	4	5	3	4	7	11	8	10	11	8
Ruduo	0.44	0.36	0.36	0.22	0.31	5	10	3	5	10	8	8	9	6	6

Kaip visada, laboratorijoje surinkti bentoso mėginiai buvo išrenkami, o gyvūnai fiksuojami 70% spiritu. Vėliau jie buvo apibūdinami, skaičiuojami ir sveriami. Monitoringo stacionarų upelių dugno gyvūnų bendrijų struktūra įvertinta pagal Shannon-Wiener'io (H) ir Simpson'o (D) bioįvairovės indeksus, o vandens kokybė - pagal Trent'o biotinį indeksą (TBI) ir vidutinį Chandler'io biotinį indeksą (VCBI) (Arbačiauskas, 2000).

## **Rezultatai**

Integruoto monitoringo stacionarų upelių bentofaunos taksonominis sąstatas, gausumai ir atskirų taksonų biomasės 2007 m. pateikti 2 ir 3 lentelėse. Dugno gyvūnų bendrijų bendros biomasės, įvairovės rodikliai ir vandens kokybės biotiniai indeksai per paskutinius monitoringo metus parodyti 4 lentelėje.

Aukštaitijos IMS Versminio upelyje tiek standartinėje tiek ir papildomoje tyrimų vietoje abiem sezonais bentofauna buvo skurdi (4.5.2 lentelė). Pavasarį pirmoje vietoje rasti tik 2 taksonai (ankstyvės ir dvigeldžiai moliuskai), o antroje – 6 taksonai (prisidėjus dar mažašerėms kirmėlėms ir dvisparniams). Biomasė, Shannon-Wiener'io įvairovės indeksas, Simpson'o įvairovės indeksas, Trent'o biotinis indeksas ir vidutinis Chandler'io biotinis indeksas pirmoje ir antroje tyrimų vietoje atitinkamai buvo 1.6 ir 1.8 g m<sup>-2</sup>, 0.8 ir 1.8 bitai ind<sup>-1</sup>, 0.61 ir 0.39, 6 ir 6 balai ir 57 ir 45 balai.

Visumoje, standartinėje vietoje dugno gyvūnų bendrija buvo skurdesnė nei papildomoje vietoje. Rudenį biomasė, rastų taksonų skaičius, Shannon-Wiener'io įvairovės indeksas, Simpson'o įvairovės indeksas, Trent'o biotinis indeksas ir vidutinis Chandler'io biotinis indeksas pirmoje ir antroje tyrimų vietoje atitinkamai buvo 3.7 ir 3.6 g m<sup>-2</sup>, 9 ir 6 taksonai, 2.4 ir 1.7 bitai ind<sup>-1</sup>, 0.26 ir 0.40, 3 ir 2 balai ir 26 ir 27 balai. Taigi rudenį, atvirksčiai, bentofaunos įvairovė buvo didesnė standartinėje tyrimų vietoje. Įvertinimai abiejų vietų pagal biotinius rodiklius buvo panašūs.



**4.5.2 lentelė.** Aukštaitijos IMS Versminio upelyje 2007 m. pavasarį ir rudenį rastų dugno gyvūnų taksonominis sąstatas, gausumas (N, ind m<sup>-2</sup>) ir biomasė (B, mg m<sup>-2</sup>). Pateikiami dviejų tyrimo vietų, standartinės (kairėje) ir esančios apie 40 m žemiau (dešinėje), duomenys.

Klasė/Būrys	Gentis/Rūšis	Pavasaris				Ruduo			
		N	B	N	B			N	B
Oligochaeta				63	167	21	104	42	167
Bivalvia	<i>Pisidium personatum</i>	229	1146	271	938	208	708	417	1521
	<i>Bithynia sp.</i>					21	83	42	438
Crustacea	<i>Asellus aquaticus</i>					21	417		
Plecoptera	<i>Nemoura sp.</i>	83	438	21	83				
Diptera	Limoniidae			21	21				
	<i>Prodiamesa olivacea</i>			63	521	313	2063	188	1438
	<i>Macropelopia notata</i>					21	188	21	63
	<b>Procladius ferrugineus</b>					63	42		
	<b>Psectrocladius psilopterus</b>					63	83		
	<b>Tanytarsus gregarius</b>					42	42		
	<b>Tanypus vilipennis</b>			21	42				
	<b>Culicoides sp.</b>							21	10

**4.5.3 lentelė.** Žemaitijos IMS Juodupio upelyje 2007 m. pavasarį ir rudenį rastų dugno gyvūnų taksonominis sąstatas, gausumas ir biomasė.

Klasė/Būrys	Gentis/Rūšis	Pavasaris		Ruduo	
		N, ind m <sup>-2</sup>	B, mg m <sup>-2</sup>	N, ind m <sup>-2</sup>	B, mg m <sup>-2</sup>
1	2	3	4	5	6
Platyhelminthes	<i>Planaria sp.</i>			3	3
Oligochaeta		3	3	7	7
Bivalvia	<i>Pisidium sp.</i>	3	3		
Crustacea	<i>Gammarus pulex</i>	987	5627	1127	2553
	<b><i>Asellus aquaticus</i></b>	140	707	83	333
Hydrachnidia		10	2	20	7
Ephemeroptera	<b><i>Baetis buceratus</i></b>			7	27
	<b><i>Baetis sp</i></b>	347	473	167	87
Plecoptera	<i>Nemoura sp.</i>	3	33	113	100
	<i>Nemurella pictetii</i>	3	13		
	<i>Amphinemura sp.</i>	197	27		
	<i>Leuctra sp.</i>	590	187	433	207
Coleoptera	<i>Oulimnius tuberculatus</i>			3	2
	<i>Hydraena riparia</i>	7	3		
	<i>Hydraena gracilis</i>	27	7	80	30
	<i>Hydrobius sp</i>			7	3
	<i>Elodes sp.</i>	147	527	37	33
Diptera	<i>Dicranota bimaculata</i>			47	113
	<i>Eloeophila sp.</i>			13	70
	<i>Rhypholophus sp.</i>	3	27		
	<i>Pedicia sp.</i>	50	370		
	<b><i>Simulium venum</i></b>	210	297	7	13
	<i>Prodiamesa olivacea</i>	10	20		
	<i>Procladius sp.</i>	7	13		
	<i>Procladius ferrugineus</i>			3	3
	<i>Polypedilum scalaenum</i>	23	20	10	7
	<b><i>Culiseta sp.</i></b>			3	10
Trichoptera	<b><i>Plectrocnemia conspersa</i></b>	27	137	27	87
	<i>Lype phaeopa</i>	7	3		
	Limnephilidae	7	3		
	<i>Potamophylax latipennis</i>			3	433
	<b><i>Halesus digitatus</i></b>	7	250		
	<b><i>Halesus radiatus</i></b>	40	4357	13	367
	<b><i>Chaetopteryx villosa</i></b>			3	10
	<b><i>Sericostoma personatum</i></b>	53	1203	33	133

**4.5.4 lentelė.** Aukštaitijos ir Žemaitijos IMS upelių makrozoobentos bendrijų ir vandens kokybės rodikliai 2003-2007 m. pavasarį (P) ir rudenį (R): biomasė (*B*, g m<sup>-2</sup>), apibūdintų taksonų skaičius (*S*), Shannon-Wiener'io bioįvairovės indeksas (*H*, bitai ind<sup>-1</sup>), Simpson'o bioįvairovės indeksas (*D*), Trent'o biotinis indeksas (TBI) ir vidutinis Chandler'io biotinis indeksas (VCBI).

Rodiklis	2003		2004		2005		2006		2007	
	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R
<b>Aukštaitijos KMS (LT01)</b>										
<i>B</i>	37.5	20.7	2.8	4.8	9.5	3.3	7.5	1.3	1.6	3.7
<i>S</i>	15	15	13	15	11	11	10	6	2	9
<i>H</i>	1.97	1.93	2.66	3.01	2.44	2.63	2.62	1.67	0.84	2.42
<i>D</i>	0.45	0.48	0.23	0.17	0.27	0.23	0.22	0.41	0.61	0.26
TBI	9	9	8	7	7	7	8	2	6	3
VCBI	54	54	51	50	49	44	53	27	57	26
<b>Žemaitijos IMS (LT03)</b>										
<i>B</i>	10.2	13.0	7.4	4.3	11.4	29.2	8.2	19.0	14.3	4.6
<i>S</i>	27	23	22	21	32	23	19	25	26	24
<i>H</i>	3.30	3.18	2.70	3.64	3.17	2.85	2.27	2.69	3.02	2.54
<i>D</i>	0.17	0.18	0.21	0.11	0.18	0.23	0.35	0.25	0.19	0.30
TBI	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
VCBI	59	58	58	56	61	62	58	60	59	61

Pavasari, kai abiejose vietose buvo rastos ankstyvės, vandens kokybė pagal biotinius indeksus atitiko vidutiniškai užterštus vandenį, o rudenį, kai ankstyvių nebuvo – smarkiai užterštus vandenį. Toks Versminio upelio vandens kokybės įvertinimas yra aiški nesąmonė, nes globalių pokyčių, kurie galėtų taip įtakoti upelio fauną lyg ir nėra, o vietinės taršos požymių nesimato. Priminsime, kad iki 2005 m. kiekvieną kartą buvo randama nuo 13 iki 21 taksono, o vandens kokybė atitikdavo labai švarius arba švarius vandenį. Taigi nekyla abejonių, kad vandens kokybės “suprastėjimas”, kaip jau buvo pasakyta anksčiau (Arbačiauskas 2005, 2006), yra susijęs su upelio vagos valymo darbais. Parinkti naują tyrimų vietą šiais metais nepavyko. Toje vietoje, kur šiais metais buvo atlikti papildomi tyrimai, matomai, per mažas vandens tėkmės greitis ir todėl tekančių vandenų kokybės kriterijai netinka. Kadangi nauja tyrimų vieta “nepasiteisino”, bendroje integruoto monitoringo stacionarų bentofaunos rodiklių lentelėje nurodyti standartinės tyrimų vietos rodikliai (4.5.4 lentelė).

Žemaitijos IMS Juodupio upelyje 2007 m. vegetacijos sezono pradžioje ir pabaigoje pagal gausumą vyravo šoniplaukos (*Gammarus pulex*). Pagal biomasę pavasarį dominavo apsiuvos (Trichoptera) ir šoniplaukos, o rudenį – šoniplaukos (4.5.3 lentelė). Lyginant su ankstesniais metais, bentofaunos biomasė vegetacijos sezono pradžioje buvo didžiausia per 2003-2007 m. laikotarpį, o

vegetacijos sezono pabaigoje – panaši kaip ir 2004 m., bet mažesnė nei kitais stebėjimo metais. Bendrijos įvairovės ir upelio būklės biotiniai rodikliai buvo artimi ankstesnių metų vertėms. Kaip visada, Žemaitijos IMS upelis įvertintas kaip aukštos ekologinės būklės vandens telkinys su labai švariu vandeniu (4 lentelė).

### **Išvados**

1. Aukštaitijos IMS upelio bentofaunos rodikliai per 2004-2007 m. laikotarpį yra prastesni nei stebėta anksčiau. Pagrindinė to priežastis yra reguliariai vykdomi upelio vagos valymai, kurie veikia bentofauną kaip stresinis veiksnys.
2. Žemaitijos IMS upelis pagal dugno gyvūnijos rodiklius priskirtinas prie aukštos ekologinės būklės upelių. Per paskutinį laikotarpį jame reikšmingų bentofaunos pokyčių tendų nepastebėta.

#### 4.6. 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 SO<sub>2</sub>, fluoro vandenilis HF, etilenas ir ozonas O<sub>3</sub> (James, 1973; De Wit, 1983). Laboratoriniais ir lauko bandymais patvirtinta, kad epifitinių kerpių bendrijos, kaip biomonitoriai, yra puikus daugelio teršalų stebėjimo objektas (Skye, 1979; Burton, 1986). Pagal epifitinių kerpių rūšinę įvairovę, jų gniužulų dydį ir būklę, atskirų jautrių ar tolerantiškų užterštumui kerpių rūšių buvimą, atsiradimą ar išnykimą ir pagal jų bendrijų sugebėjimą užimti didesnę plotą, sprendžiama apie oro užterštumo laipsnį ir aplinkoje vykstančius pokyčius. Silpnai išsivystę, pažeisti, bespalviai ar pajuodavę, maži ar žuvę epifitinių kerpių gniužulai dažniausiai parodo aplinkos užterštumą.

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

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

- pilkoji laumagaurė (*Bryoria implexa* (Hoffm.) Brodo & D. Hawksw.), tamsioji laumagaurė (*Bryoria fuscescens* (Gyeln.) Brodo & D. Hawksw.) ir kt. - 6 balai;

- kedenės (*Usnea Wigg. em Ach. spp.*), žalsvasis kežas (*Melanelia olivacea* (L.) Essl.) - 6 balai;

- sodinė briedragė (*Evernia prunastri* (L.) Ach.), vamzdiškasis plynkežis (*Hypogymnia tubulosa* (Schaer.) Havaas.) - 5 balai;

- dulkėtoji ramalina (*Ramalina pollinaria* (Westr.) Ach.), uosinė ramalina (*Ramalina fraxinea* (L.) Ach.), miltuotoji ramalina (*Ramalina farinacea* (L.) Ach.) - 5 balai;

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

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

- vagotasis kežas (*Parmelia sulcata* Taylor.) - 3 balai;

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

- putlusis plynkežis (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.), neapibrėžtoji kežuotė (*Parmeliopsis ambigua* (Wulfen.) Nyl.) - 2 balai;

- sieninė geltonkerpė (*Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr.), daugiavaisė geltonkerpė (*Xanthoria polycarpa* (Hoffm.) Th. Fr. ex Rieber) - 1 balas.

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

Aukštaitijos IMS KTS kerpės tirtos 140 metų. amžiaus pušyne. Čia rastos ir apmatuotos 4 epifitinių makrokerpių rūšys: putlusis plynkežis (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.), sėleninė briedragė (*Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf.), neapibrėžtoji kežuotė (*Parmeliopsis ambigua* (Wulfen) Nyl.) ir šiurės genties kerpės (*Cladonia* spp. (Hill.) Vain.). Žemaitijos KMS kerpės tirtos mišriame eglės-pušies medyne, kurį sudaro brandi eglė, brandi pušų ir kelios jaunesnių eglėlių kartos. Šiame tankiame, sudėtiniame medyne užregistruotos ir apmatuotos 3 kerpių rūšys: putlusis 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 SO<sub>2</sub> lapiškoji kerpė - putlusis 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 SO<sub>2</sub> 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: putlusis 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 eglėlių kamienų užregistruotos 3 epifitinių makrokerpių rūšys (po 3 ant pušų ir eglėlių medžių) - putlusis plynkežis, šiurė, melsvoji kerpena. Bendras Žemaitijos IMS pušų kerpėtumas - 7,68 %, eglėlių - 23,52 %. Putliuoju plynkežiu padengta tik 4,72 % pušų kamienų žievės (1994 metais buvo 4,79 %) ir 20,37 % eglėlių kamienų žievės (1994 metais buvo 20,92 %).

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

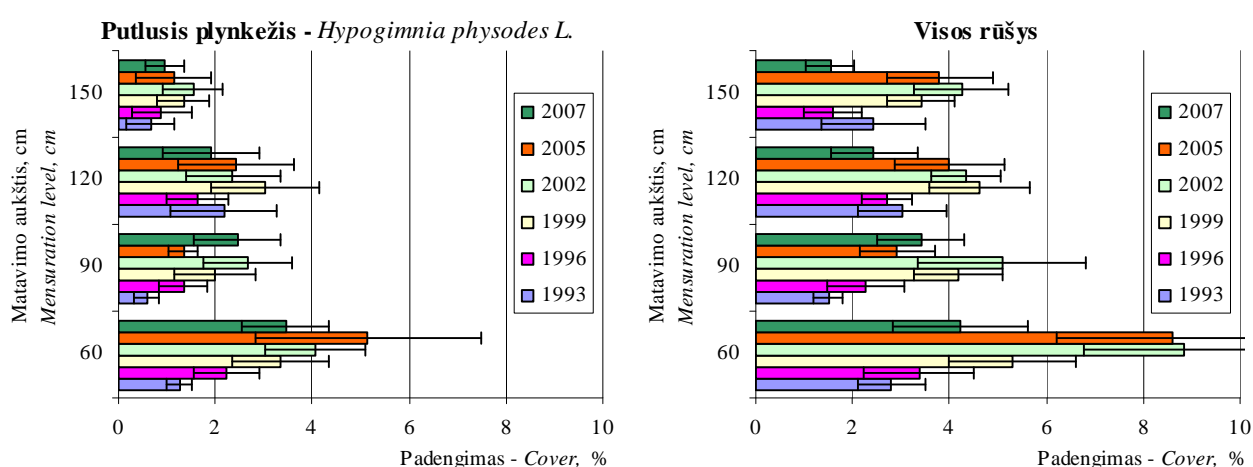
Trečios epifitinių kerpių gausumo apskaitos rezultatai rodė, kad labiausiai pušies kamienų kerpėtumas, kaip bendras taip ir putliuoju plynkežiu, padidėjo Žemaitijos IM stotyje, kiek mažiau Aukštaitijos ir mažiausiai Dzūkijos IM stotyje. 1999 m. naujų kerpių rūšių ant tirtų medžių nerasta.

2002 m. Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS buvo atlikta 4-ta epifitinių kerpių rūšinės įvairovės, gausumo bei būklės apskaita. Žemaitijos KMS epifitinių kerpių rūšinė įvairovė tirta visuose tyrimo

ploteliuose, vykdamas Plokštins rezervato medynų būklės tyrimo programą, kuri buvo finansuota Miškų departamento. 2007 m. atlikta penktoji epifitinių kerpių apskaita.

#### 4.6.1. Epifitinių kerpių rūšinė įvairovė ir gausumas Aukštaitijos KMS kerpių tyrimo stotyje

*Aukštaitijos KMS kerpių tyrimo stotyje* gauti epifitinių kerpių gausumo tyrimo rezultatai pateikti 4.6.1 paveiksle.



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

Iš pateiktų duomenų matyti, kad epifitinių kerpių padengimo intensyvumas per tiriamąjį laikotarpį iš esmės didėjo visuose matavimo lygiuose ir ypač žemiausiame – 60 cm. Medžių kamienų padengimas putliuoju plynkežių (*Hypogymnia physodes*) padidėjimas taip pat žymiausias žemiausiame matavimo lygyje. Tik paskutiniaisiais metais kerpėtumo intensyvumas stabilizavosi ar net pradėjo mažėti.

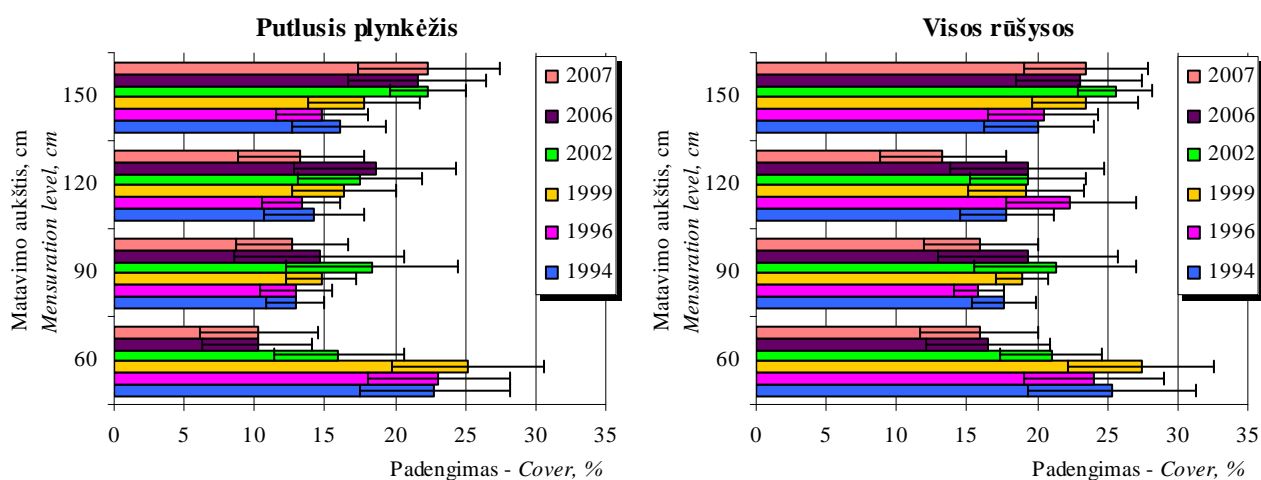
Iš gautų duomenų nustatyta, kad didžiausią įtaką 60 cm aukštyje epifitinių kerpių gausumo padidėjimui turėjo *Cladonia* genties epifitinių kerpių paplitimas.

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

#### 4.6.2. Epifitinių kerpių rūšinė įvairovė ir gausumas Žemaitijos KMS kerpių tyrimo stotyje

*Žemaitijos KMS kerpių tyrimo stotyje* gauti epifitinių kerpių gausumo apskaitos rezultatai pateikti 4.6.2 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. Šis pavyzdys rodo, kad epifitinių kerpių tyrimuose negalima apsiriboti tik linijinių tyrimo metodu. Todėl 2005 m. epifitinių kerpių rūšinės įvairovės ir gausumo tyrimai buvo vykdomi visoje baseino teritorijoje, o 2010 m. juos planuojama pakartoti.



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

## 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, kaip ir nežymus tirtų medžių lajų defoliacijos pavidėjimas gali indikuoti ir nežymų taršos pavidėjimą.



#### 4.7. Miško ekosistemų biotos komponentų tyrimo rezultatų apibendrinimas

Tiriamuoju laikotarpiu (1994-2007 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 1999 m. medžių lajų defoliacija reikšmingai mažėjo, o pastaruojų laikotarpiu Žemaitijos KMS turi tendencija didėti, o Aukštaitijos KMS jau keleta paskutiniųjų metų išlieka praktiškai stabili.

Aukštaitijos KMS stacionaruose pušys yra geriausios būklės, o eglės – blogiausios būklės. Per tiriamąjį laikotarpį reikšmingai mažėjo stacionaruose augančių beržų ir pušų vidutinė defoliacija. Išimti sudaro tik 2005-06 metų pušų defoliacija, kuri reikšmingai padidėjo lyginant su 2004 m. 2007 m. stebimas augalijos stacionare augančių pušų lajos defoliacijos laipsnio sumažėjimas.

Žemaitijos KMS stacionare eglų defoliacija per visą tiriamąjį laikotarpį svyruoja nuo 25 iki 27 %. 1997-2001 m. laikotarpių jų defoliacija reikšmingai mažėjo. Paskutiniuojų laikotarpiu Žemaitijos KMS stacionare augančių medžių vidutinė defoliacija stabili. Palyginus eglų vidutinę defoliaciją augalijos tyrimų stacionaruose, nustatyta, kad Žemaitijos stacionaro eglų vidutinė defoliacija mažesnė negu Aukštaitijos KMS stacionarų.

Aukštaitijos KMS teritorijoje iš 543 apskaitos medžių 77 identifikuoti pažeidimai, kurie iš esmės įtakoją ar galėjo įtakoti jų būklę. Tai sudaro 14,2% šių medžių. Palyginus su praėjusiais metais pažeistų medžių sumažėjo 2,2%. Daugiausiai pažeidimų rasta apatinėje kamieno (3) ir lajos kamieno srityse (6). Iš nustatytų pažeidimų dažniausiai pasikartojantys buvo: atviros žaizdos, vėžys ir viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas, kurių sąlygojo snieglaūžos ar vėjalaūžos. Eglinio topografo pažeidimų 2007 m. sumažėjo iki 6%.

Žemaitijos KMS teritorijoje 10,2% tirtų medžių turėjo indentifikuotus pažeidimus, kurie sąlygojo, ar galėjo sąlygoti šių medžių būklę. Daugiausiai pažeidimų rasta lajos kamieno ir visoje kamieno srityse, kiek mažiau pažeistos buvo šaknų ir priekelminė bei apatinei kamieno sritys. Dažniausiai pasikartojantis pažeidimas buvo viršūninio ūglio ar viršūnės netekimas bei eglinio topografo pažeidimai. Šio kenkėjo pažeidimai per pastaruosius metus (2002-2007 m.) išaugo nuo 6,2% iki 36% visų pažeidimų.

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

Žaliųjų oro dumblių tyrimo rezultatai parodė, kad 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 reikšmingesnis negu Aukštaitijos KMS teritorijoje.

Apibendrinant lichenologinius tyrimų rezultatus kompleksiško monitoringo stotyse, galima teigti, kad klimatiniai faktoriai bei naudojami epifitinių kerpių gausumo tyrimo metodai neleido patikimai nustatyti esminių skirtumų tarp Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS. Tačiau gausmo sumažėjimas per paskutiniųjų trijų metų laikotarpį, kaip ir nežymus tirtų medžių lapų defoliacijos pavidėjimas gali indikuoti ir nežymų taršos padidėjimą.

Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS upeliuose nustatyti bentofaunos įvairovės augimo per 1993-1998 m. ir biomasės didėjimo per visą tyrimų laiką trendai, o tos pačios kitimo kryptys skirtingose stebėjimo vietose rodo, kad pokyčiai vyko dėl globalių aplinkos veiksnių pokyčių. Paskutiniu metu laikotarpiu, t.y. nuo 2001 iki 2007 m. bentofaunos pokyčiai Žemaitijos KMS upelyje nereikšmingi, o Aukštaitijos KMS upelio bentofaunos pokyčius sąlygojo upelio vagos valymas nuo bebrų daromos žalos. Visi KMS upeliai pagal vandens kokybės biotinius rodiklius priskirtini prie švarių aukštos kokybės vandenų.

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 ekosistemų komponentų rūšinei įvairovei ir gausumui.

Reikšmingi ryšiai tarp rūgščiųjų iškritų, ypač sieros junginių ir upelių bentofaunos įvairovės bei biomasės leidžia teigti, kad Aukštaitijos, Dzūkijos ir Žemaitijos KMS upeliuose stebėti

bentofaunos įvairovės augimo per 1993-1998 m. ir biomasės didėjimo per visą tyrimų laiką trendams įtaką galėjo turėti mažėjantis kritulių užterštumas antropogeninės kilmės teršalais.

Aukštaitijos KMS Versminio upelio ekologinė būklė pagal 2005-2007 m. bentofaunos rodiklius yra “prasta”, tačiau tai yra ne globalių pokyčių ar vietinės taršos rezultatas, bet upelio vagos valymų pasekmė (žiūr. Arbačiauskas 2005, 2006). Šiais metais parinkti naują tyrimų tašką, kuris nebūtų įtakojamas vagos valymo, nepavyko. Apžiūrėjus visą Versminio upelio vagą tikslinga būtų dar kartą pamėginti rasti tinkamą monitoringui vietą ir 2008 m. vėl atlikti dviejų taškų tyrimus.

Žemaitijos KMS Juodupio upelio bentofaunos įvairovės ir biotiniai rodikliai 2007 m., kaip ir ankstesniais tyrimų metais, rodo puikią šio stacionaro ekologinę būklę. Atskiri dugno gyvūnų bendrijos rodikliai, aišku, svyruoja. Kokie veiksniai įtakoja Juodupio bentofaunos ilgalaikę dinamiką parodys kaupiamų duomenų analizė. Per pastarąjį laikotarpį (2004-2007 m.) reikšmingų tendų nenustatyta. Integruoto monitoringo stacionarų bentofaunos kaitos trendai iki 2004 m. ir jų priežastys aprašyti anksčiau (Arbačiauskas 2005, Augustaitis ir kt. 2006).

## REZULTATŲ APIBENDRINIMAS

### N iškritos, balansas ir reikšmė sąlyginai natūraliose miško ekosistemose

Azoto (N) iškritos, kurias sudaro neorganiniai amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) ir nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) jonai, pažeisdamos santykį tarp augalams prieinamųjų tirpių organinių ir neorganinių azoto junginių, yra vienas iš pagrindinių veiksnių sąlygojančių miško ekosistemų būklės ir produktyvumo kaitą laiko ir teritoriniu atžvilgiu. Rūšys tose pačiose augalų bendrijose gali skirtis savo galimybėmis įsisavinti skirtingas azoto junginių formas (Falkengren-Grerup, 1995; McKane et al., 2002; Miller and Bowman, 2002).  $\text{NH}_4^+$  ar  $\text{NO}_3^-$  gali skatinti tų augalų rūšių augimą, kurioms šios azoto junginių formos yra tinkamiausios, kai tuo tarpu rūšims, kurioms tinkamesnės yra organinės azoto junginių formos, šie azoto junginiai gali sukelti pažeidimus (Nordin, et al., 2006). Toks dvigubas azoto junginių poveikis augalams jau senai yra gerai žinomas. Daugelis autorių pažymi azoto tręšiamąjį poveikį augalams, ypač skurdžiose augavietėse su nepakankamu N junginių apsirūpinimu, ir augimą stabdantį poveikį, augavietėse prisotintose N junginių (Aber, 1992; Aber et al., 1998; De Wries, et al., 2003). Gausios  $\text{NO}_x$  ir  $\text{NH}_3$  iškritos, teršimo pradžioje gali taip pat sukelti tręšiamąjį poveikį lokalaus užterštumo teritorijose. Tačiau vėliau, augalų bendrijos pirminė produkcija pradeda mažėti dėl aliuminio junginių toksiškumo bei N balanso sutrikimo. Tokie biogeocheminiai pokyčiai gali sukelti augalų augimo depresiją, lydimą mažiau paplitusio, bet ilgiau besitiesiančio miško dirvožemio rūgštėjimo (Shortle and Smith, 1988; McNulty et al., 1996;). Mūsų atlikti tyrimai lokalaus užterštumo AB”Achema” teritorijoje parodė, kad N iškritos gali pakartotinai pradėti teigiamai veikti miško ekosistemas, kai jų kiekiai ženkliai sumažėja ir neviršija nustatytų kritinių ribų (Juknys et al., 2003; Augustaitis et al., 2003; Armolaitis, 1998; Armolaitis et al., 2003). Nepaisant pakankamai gausių publikacijų, N iškritų reikšmė miško ekosistemoms išlieka aktuali ir ypač pastaruoju laikotarpiu, kai jų kiekiai turi tendenciją didėti (Achermann and Bobbink, 2003).

Pagrindiniai N iškritų šaltiniai kaimo vietovėse yra amonjakas ( $\text{NH}_3$ ), o urbanizuotoje teritorijoje (arti kelių) – azoto oksidai ( $\text{NO}_x$ ) (Fрати et al., 2006). Tolimosios oro teršalų pernašos turi papildomą poveikį N iškritų gausai. Pastaruoju laikotarpiu dėl tarptautinių įsipareigojimų sieros emisijos Europoje nuo 1980 m. sumažėjo beveik 70%, kai tuo tarpu azoto emisijos sumažėjo vos 20% (Percy, 2002; Percy and Ferretti, 2004; EMEP, 2004). Dėl šios priežasties, net pilnai įgyvendinus Gothenburgo Protokolų ir kitus reikalavimus, N iškritų neigiamas biologinis poveikis

išlieka tarp aktualiausių ekologinių problemų ne tik Europoje, bet ir JAV bei Kanadoje (Wright et al., 2005).

Teršalų šlapiųjų srautų dydžiai priklauso nuo teršalų koncentracijų krituliuose ir nuo kritulių kiekio. Teršalų koncentracijas krituliuose lemia jų kiekiai atmosferoje, kritulių pobūdis bei jų kiekis, turintis poveikį teršalų išplovimo iš atmosferos efektyvumui, o taip pat atmosferoje vykstantys fizikiniai procesai ir cheminės reakcijos, keičiančios teršalų fizinės-chemines savybes. Grįžtantys į žemės paviršių teršalai deformuoja natūralius cheminius procesus ir su jais susijusius įvairius gyvybinius ciklus miškų ekosistemose, taip sukeldami dirvožemio rūgštėjimo ir eutrofikacijos procesus. Dėl to KM stotyse analizuojamos teršalų koncentracijos krituliuose, jų erdviniai ir laikiniai pokyčiai bei nustatomi atmosferiniai teršalų šlapieji srautai. Išaiškinus šiuos pirminius, miško ekosistemas veikiančius veiksnius, 2007 m. ataskaitoje mes pabandėme atsakyti į 3 pagrindinius klausimus susijusius su N iškritų kaita bei jų reikšme sąlyginai natūralioms miško ekosistemoms:

ar teritorinius miško būklės pokyčius lemia skirtingo didžio N iškritos;

ar skirtingų miško ekosistemos biotos komponentų kaitai turi reikšmingos įtakos N iškrotos;

ar N koncentracijos ir srautai dirvožemio, gruntinio ir paviršinio vandenyse yra sąlygoti N koncentracijų ore ir jų iškritų su krituliai kaitos.

Šių tyrimų reikšmė ta, kad gauti rezultatai padės geriau suprasti, kuris N komponentų poveikis – tiesioginis per augalų lapiją, ar netiesioginis - per dirvožemio mineralizacijos ar eutrofikacijos procesus, yra reikšmingesnis sąlyginai natūralių miško ekosistemų kaitai ir kuris pavojingesnis šių ekosistemų atskiriems biotos komponentams.

## **Tyrimų metodas ir medžiaga**

**Tiriami rodikliai** yra šie:

- N komponentų koncentracija ore ir krituliuose;
- N junginių srautai;
- N komponentų koncentracija paviršiniame, dirvožemio (20 cm gylyje) ir gruntiniame (4 lygmenų) vandenyje bei jų srautai;
- Vyraujančių medžių rūšių vidutinis defoliacijos laipsnis;
- Dirvožemio mikroartropodų, upelio makrobentosos ir smulkiųjų žinduolių rūšių įvairovė ir gausumas.

Tyrimams panaudoti 1994-2007 m. Kompleksiško monitoringo stočių duomenys. Tik Dzūkijos KM stotyje šie duomenis yra už 1994-2000 m. laikotarpį.

### **Objekto charakteristika**

Versminio upelio baseinui būdingos pakraštinės glacioakvalinės akumuliacijos formos su smėliu, gargždu ir rieduliais. Šioje teritorijoje yra įgengti grėžiniai Nr. 1 ir Nr. 2. Vakariniame baseino dalyje, mažėjant paviršiaus altitudai šios formos pereina į fliuvoglacialinę terasinę deltinę lygumą su smulkiagrūdžiu smėliu, kur yra įrengtas grėžinys Nr. 3, o ties upelio ištakom sutinkamos pelkinės akumuliacijos formos su organinėmis nuogulomis. Šioje teritorijoje įrengtas grėžinys Nr. 4.

Aukštaitijos KMS Versminio upelio baseine vyrauja karbonatingieji smėlžemiai, žemutinėje baseino dalyje pereinantys į glėjiškus smėlžemius bei į giliuosius žemapelkės durpžemius. Karbonatingojo smėlžemio profilyje cheminės savybės kinta labiau, negu kitose KMS ir ypač rūgštumas, mainų katijonų kiekis ir kai kurios dirvožemio koloidų savybės. Formuojasi rūgštiniai-šarminiai ir absorbciniai geocheminiai barjerai.

3 augalijos tyrimų stacionarai įrengti spygliuočių daugiaardžiuose medynuose. Tai pagrinde pušynai su eglės priemaiša. Juose dažnai sutinkamas antras ir trečias eglės ardas bei gausus jos pomiškis. Pagal medynų amžių tai seni perbrendę grynai ar su keliomis lydinčiomis kartomis medynai.

Dzūkijos KMS baseino geomorfologinė struktūra labiau išreikšta nei Aukštaitijos KM stoties. Reljefas susiformavęs eolinio proceso performuotoje fliuvioglacialinėje lygumoje su aiškiai išreikštomis sudėtingų formų kontinentinėmis kopomis, kuriose vyrauja smulkiagrūdis smėlis. Šioje teritorijoje, kur dirvožemiai susiformavę ant eolinės kilmės kvarcinių smėlių ir yra nekarbonatingi, įrengti gruntinio vandens tyrimo grėžiniai. Paprastojo smėlžemio cheminės savybės profilyje mažiausiai kinta, o pagrindinių biofilinių elementų atsarga (NPK) yra mažiausia. Dėl šios priežasties Dzūkijos miško ekosistema yra jautriausia kritulių kiekio ir cheminės sudėties pokyčiams.

Augalijos tyrimo stacionaras įrengtas vyraujančiame pribrešančiame kerpiniame pušyne.

Žemaitijos KMS geomorfologinė baseino struktūra taip pat pakankamai sudėtinga. Skirtingai negu kituose baseinuose, šioje stotyje pelkinės akumuliacinės formos su organinėmis nuogulomis, kur yra įrengti 2 seklieji grėžiniai (3-4), pereina į limnoglacialines akumuliacines formas ir į glacioakvalinės akumuliacijos smėlingus kalvotus darinius su joms būdingu limnoglacialiniu smėliu. Šioje teritorijoje įrengti grėžiniai Nr. 1 ir 2.

Dirvodarinėms uolienoms būdingas granulimetrinės sudėties kontrastingumas: limnoglacialinį priemolį dengia smulkus smėlis. Dirvožemiai pajaurėję smėlžemiai, žemesnėse

vietose pereinantys į glėjiškus smėlžemius bei giliuosius žemapelkės durpžemius. Nenuotakiose limnoglacialinėse lygumėlėse yra giliųjų žemapelkės durpžemių. Žemaitijos KMS pajaurėjusiam smėlžemiui, lyginant su kitų monitoringo stočių dirvožemiais, būdingas mažiausias mainų kalcio kiekis, žemiausias prisotinimo bazėmis laipsnis, o organinių medžiagų ir augalų mitybos elementų atsarga yra didžiausia. Žemaitijos KMS būdingas organinės kilmės geocheminių barjerų vyravimas.

Augalijos tyrimo stacionaras įrengtas bręstančiame gryname eglyne.

Aukštaitija KMS (LT-01) klimatas charakterizuojamas kaip vidutiniškai šaltas su aukštu oro drėgnumu ir gausiais krituliais. Daugiametė vidutinė oro temperatūra 5,8°C, daugiametis vidutinis kritulių kiekis 682 mm. Vegetacinio periodo ilgis 189 dienos. Dzūkijos KMS klimatas nelabai skiriasi nuo Aukštaitijos KM stoties klimato. Daugiametė vidutinė oro temperatūra 6,0°C, vidutinis kritulių kiekis 625 mm. Vegetacinio periodo ilgis 195 dienos. Žemaitijos KM stotis yra 50 km nuo Baltijos jūros, kas iš esmės sąlygoja šios teritorijos klimatines sąlygas. Tiriamam baseinui būdingas aukštas oro drėgnumas, debesuotumas ir gausus krituliai. Daugiametė vidutinė oro temperatūra 5,9°C, daugiametis vidutinis kritulių kiekis žymiai didesnis negu kitose stotyse ir siekia 788 mm. Vegetacinio periodo ilgis 187 dienos.

### **Tyrimų metodai**

Pagrindiniai komponentai analizuojant azoto reikšmę miško ekosistemoms buvo suma nitratų ( $\Sigma\text{NO}_3^- = \text{NO}_3^- + \text{HNO}_3$ ) ir suma amonio jonų ( $\Sigma\text{NH}_4^+ = \text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$ ) koncentracijų ore bei krituliuose bei jų iškritos.

KMS stotyse  $\Sigma\text{NO}_3^-$  ir  $\Sigma\text{NH}_4^+$  koncentravimui iš atmosferos naudoti celiulioziniai filtrai "Whatman 40", kurie prieš juos eksponuojant impregnuojami oksalo rūgštimi - amonio junginiams ir kalio šarmu - nitratams. Šarminiu natrio jodido tirpalu impregnuoti specialiai gaminti stiklo filtrai naudoti  $\text{NO}_2$  koncentravimui iš atmosferos oro. Visi filtrai impregnuojami cheminėje laboratorijoje švaraus oro kameroje ir KM stotyse eksponuojami vieną savaitę.

Filtrai po ekspozicijos ekstrahuojami 24 valandas 20-30 ml dejonizuotu vandeniu, kurio varža  $>10\text{M}\Omega/\text{cm}$ . Vandeniniuose eliuatuose  $\Sigma\text{NO}_3^-$  jonų koncentracijų tyrimams naudojamas jonų mainų chromatografas "DIONEX 2010I" (kolonėlės AG4A-SC ir AS4A-SC).  $\Sigma\text{NH}_4^+$  jonų koncentracijų tyrimui spektrofotometriniu indofenoliniu metodu naudojama analitinė nenutrūkstamo srauto sistema "CONTIFLO".  $\text{NO}_2$  koncentracijų trietanolamino vandeniniame eliuate tyrimui naudojamas spektrofotometrinis metodas su Griess reagentu. Teršalų atmosferoje radimo ribos yra

tokios:  $\text{NO}_2 - 0,08 \mu\text{gN/m}^3$ ,  $\Sigma\text{NO}_3^- - 0,014 \mu\text{gN/m}^3$  ir  $\Sigma\text{NH}_4^+ - 0,027 \mu\text{gN/m}^3$ . Visų tiriamų teršalų cheminės analizės paklaidos yra mažesnės nei 10 %.

Siekiant sumažinti atmosferos teršalų sausųjų iškritų patekimą į atmosferos kritulių rinktuvą, KM stotyse nuo balandžio mėn. 1 d. iki lapkričio mėn. 1 d. atmosferos krituliai renkami į rinktuvus su dangčiais, kurie automatiškai atsidaro lietu prasidedant ir užsidaro lietu pasibaigus. Per likusius 5 mėn., dėl techninių rinktuvo savybių (nešildomas dangtis), krituliai šiose stotyse rinkti į nuolat atvirus rinktuvus. Atmosferos krituliai renkami kas savaite į rinktuvuose esančius polietileningus indus, kurie prieš juos pastatant paruošiami cheminėje laboratorijoje. Iškritęs per savaitę kritulių kiekis (mm) skaičiuojamas išmatavus kritulių tūrį rinktuve arba juos pasvėrus.

$\text{NO}_3^-$  anijonų koncentracijoms nustatyti naudojamas jonų mainų chromatografas "DIONEX 2010I" (kolonėlės AG4A-SC ir AS4A-SC). Spektrofotometrinė analitinė nenutrūkstamo srauto sistema (CONTIFLO) naudota  $\text{NH}_4^+$  koncentracijų tyrimui indofenoliniu metodu.

Teršalų radimo ribos atmosferos krituliuose yra tokios:  $\text{NO}_3^- - 0,013 \text{ mgN/l}$ , o  $\text{NH}_4^+ - 0,04 \text{ mgN/l}$ . Kiekvieno bandinio cheminės analizės kokybė įvertinta pagal teigiamų ir neigiamų jonų koncentracijų ( $\mu\text{ekv/l}$ ) balansą. Visų tirtų teršalų cheminės analizės paklaidos yra mažesnės nei 10%.

Vyraujančių visose KM stočių teritorijose medžių – paprastosios pušies (*Pinus sylvestris* L.), paprastosios eglės (*Picea abies* Karst.) and beržų (*Betula pendula* 'Crispa' and *B. pubescens* Ehrh.) - lajų defoliacijos laipsnio kaita tirta augalijos intensyvių tyrimų stacionaruose. Maždaug 600 medžių (pušų – 30%, eglių – 50% ir beržų – 20%) lajų defoliacija kasmet, nuo 1994 iki 2007 m. buvo vertinama pagal tarptautinės miškų monitoringo programos reikalavimus (UN-ECE 1994) 3-juose Aukštaitijos KMS stacionaruose ir po 1 Dzūkijos ir Žemaitijos KMS stacionaruose. Taksacinės medynų charakteristikos pateiktos 1 lentelėje.

**1 lentelė.** Pagrindinės tiriamų medynų taksacinės charakteristikos

KMS	Stand parameters						
	VG plotas	Amžiaus klasė	D cm	H m	Skalsumas	Tūris ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	Miško tipas
LT-01	A	15	38	26	0,5	300	<i>vaccinosum</i>
LT-01	B	17	46	31	0,7	440	<i>oxalidosum</i>
LT-01	C	8	38	28	0,6	260	<i>caricosum</i>
LT-02	A	8	24	26	0,8	370	<i>myrtilius</i> – <i>oxalidosum</i>
LT-03	A	9	34	26	0,8	230	<i>cladoniosum</i>



Augalijos intensyvas tyrimo stacionarai įrengti šalia dirvožemio tyrimo stacionaro ir gruntinio vandens tyrimo gręžinių. Dirvožemio ir gruntinio vandens kokybiniai tyrimai vykdomi pagal KM programos reikalavimus (UN-ECE, 1993; 1997).

Dirvožemio vanduo buvo renkamas 10-20 cm gylyje (pagrindinėje augalų šaknų zonoje), 3-4 kart per vegetacijos laikotarpį. Dirvožemio vandens srautas nustatytas atsižvelgus į lizometro plotą ir surinkto vandens kiekį.

Gruntinio vandens srautas nustatytas pagal jo lygio kitimo ypatumus. Gruntinio vandens lygio matavimas ir pavyzdžių ėmimas cheminei analizei buvo vykdomas kas 2 mėnesius.

Paviršinio vandens srautas nustatytas atsižvelgus į dienes nuotekas. Cheminės analizės buvo vykdomas kartą per mėnesį.

N balansui nustatyti buvo panaudoti ankstesnių tyrimų rezultatai, gauti kalibruojant MAGIC modelį (Gulbinas and Samuila, 2002; Gulbinas, 2000; Samuila, 2000).

Miško ekosistemų skirtingų biotos komponentų gausa ir įvairovė tirta pagal KM programos siūlomas metodikas (UN-ECE, 1993).

## **Rezultatai**

### **3. Aplinkos užterštumo N junginiais kaita KMS teritorijose.**

Apibendrinus azoto komponentų koncentracijų ore, krituliuose ir jų rsautų, o taip pat šių komponentų koncentracijas ir srautus dirvožemio, gruntiniame ir paviršiniame vandenyse išaiškinta tiesioginė ir netiesioginė azoto iškritų reikšmė miško ekosistemų atskiriems biotos komponentams.

#### **3.1. N komponentų koncentracijų ir jų iškritų kaita KMS teritorijose**

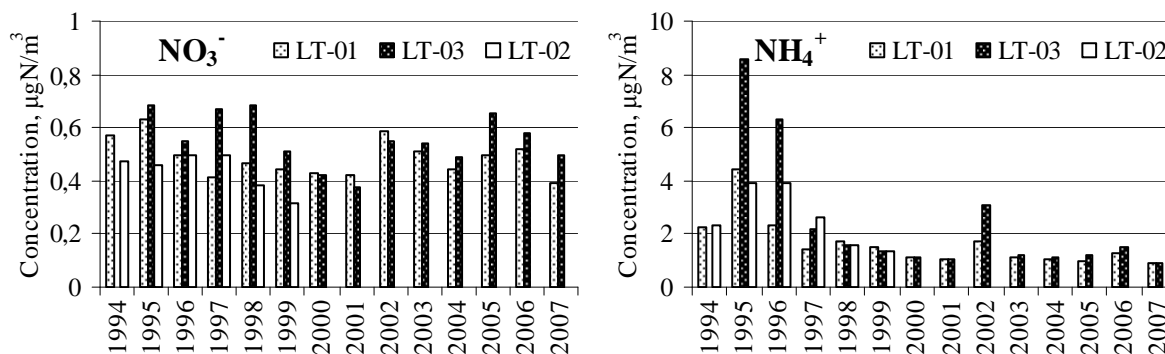
Reikšmingiausia N komponentų koncentracijų ore kaita tęsėsi iki 2001 m. Sumos nitrato ( $\Sigma\text{NO}_3^-$ ) vidutinės metų koncentracijos Aukštaitijos KMS (1994-2001 m.) sumažėjo nuo 0,57 iki 0,42  $\mu\text{gN}/\text{m}^3$  ir Žemaitijos KMS (1995-2001) - nuo 0,66 iki 0,37  $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ , o Dzūkijos KM stotyje (1994-1999) vidutinė metinė  $\Sigma\text{NO}_3^-$  koncentracija išliko gan stabili ir laikotarpio vidutinė buvo apie 0,45  $\mu\text{gN}/\text{m}^3$  (1 pav.). Tačiau paskutiniaisiais metais Aukštaitijos ir Žemaitijos KM stotyse stebima  $\Sigma\text{NO}_3^-$  (kaip ir  $\text{SO}_4^{2-}$ ) vidutinių koncentracijų didėjimo tendencija.

Sumos amonio junginių ( $\Sigma\text{NH}_4^+$ ) vidutinių metinių koncentracijų ore mažėjimo tendencija (1 pav.) nustatyta visose KM stotyse. Aukštaitijos KMS  $\Sigma\text{NH}_4^+$  vidutinė metinė koncentracija sumažėjo nuo 4,44 iki 1,15  $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ , Žemaitijos - nuo 8,55 iki 1,21  $\mu\text{gN}/\text{m}^3$  ir Dzūkijos KMS per 1994-1999 metus - nuo 4,35 iki 1,35  $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ .

Gauti rezultatai parodė, kad tirtų teršalų koncentracijoms yra būdinga sezoninė kaita. Žiemos mėnesiais  $\text{NO}_2$  koncentracijos vidutiniškai 8 kartus, o  $\Sigma\text{NO}_3^-$  apie 4 kartus didesnės negu vasaros mėnesiais.  $\Sigma\text{NH}_4^+$  koncentracijų šis santykis ne toks didelis. Tačiau Žemaitijos KMS stebimi trumpalaikiai  $\Sigma\text{NH}_4^+$  koncentracijų padidėjimai vasaros ir rudens mėnesiais gali būti siejami su  $\text{NH}_3$  emisijomis iš lokalių šaltinių. Pastaraisiais metais ryškėja tiriamų komponentų žiemos ir vasaros mėn. koncentracijų santykio mažėjimo tendencija.

Remiantis tyrimų duomenimis, galime teigti, kad nuo 1997 m.  $\Sigma\text{NH}_4^+$  ir  $\Sigma\text{NO}_3^-$  koncentracijos ore stabilizavosi ir jų metinių koncentracijų kaitą galima sieti labiau su meteorologinių veiksnių (oro temperatūros, inversijų dažnio, kritulių kiekio, skirtingos kilmės oro masių pasikartojamumo) įtaka skirtingais metais bei mėnesiais, nei su teršalų emisija.

Teršalų koncentracijų erdvinė kaita tarp KM stočių rodo (skirtumai apie 10 %), kad dėl vyraujančių oro masių srautų iš vakarinės ir pietvakarinės Europos, azoto pagrindinių junginių koncentracijų lygius tirtose vietose lemia tolimos teršalų pernašos.

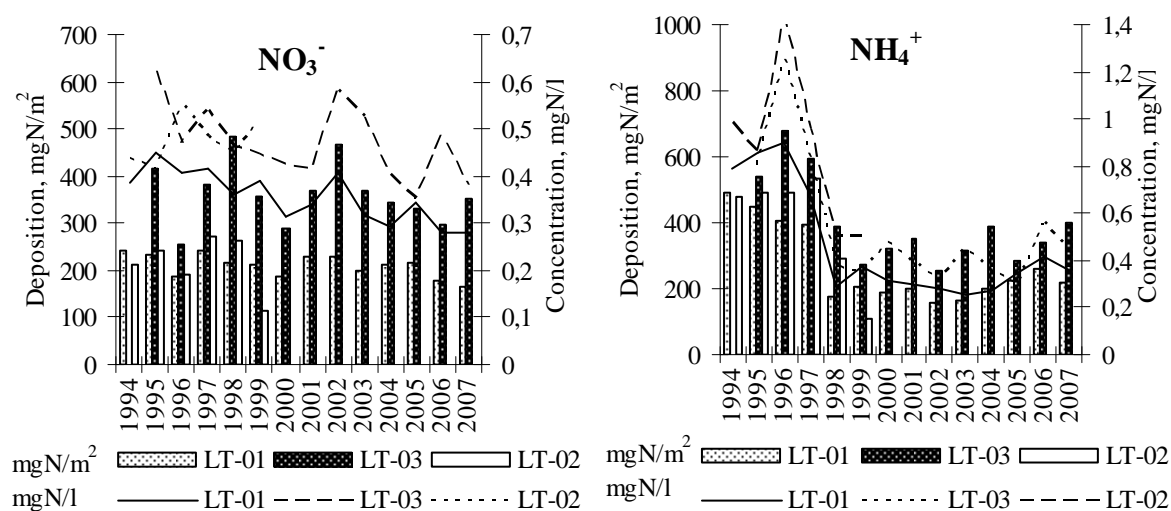


**1 pav.**  $\Sigma\text{NH}_4^+$  ir  $\Sigma\text{NO}_3^-$  metinių koncentracijų ore kaita KMS teritorijose 1994-2007 m. laikotarpiu.

(LT-01 – Aukštaitijos KMS; LT-02 – Dzūkijos KMS; LT-03 – Žemaitijos KMS)

N junginių srautų kaitai buvo būdingos N komponentų koncentracijų ore kaitos tendencijos (2 pav.). Per 1994-1999 metus amonio jonų srautai sumažėjo nuo 492 iki 198  $\text{mgN}/\text{m}^2$  Aukštaitijoje ir nuo 537 iki 303  $\text{mgN}/\text{m}^2$  Žemaitijoje. Amonio metinės koncentracijos krituliuose lėmė jo šlapiųjų srautų dydžius. Gauti reikšmingi koreliacijos koeficientai 0,96 (LT01) ir 0,95 (LT03), prie  $p < 0,05$ ,

rodo didelį amoniakinio azoto šlapiųjų srautų priklausomumą nuo amonio jonų koncentracijų krituliuose. Panaši kaitos tendencija gauta Dzūkijoje, nors tyrimo laikotarpis tik 6 metai.



**2 pav.**  $\text{NH}_4^+$  ir  $\text{NO}_3^-$  koncentracijų krituliuose ir jų iškritų kaita KMS teritorijose 1994-2007 m.

(LT-01 – Aukštaitijos KMS; LT-02 – Dzūkijos KMS; LT-03 – Žemaitijos KMS)

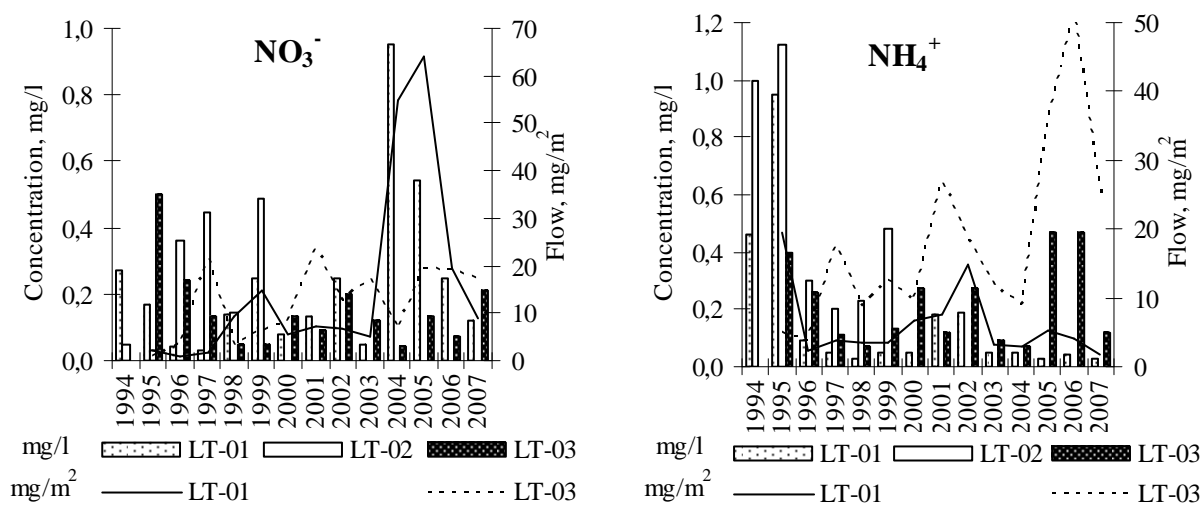
Nitratų šlapiųjų srautų ir jų koncentracijų atmosferos krituliuose kaitoje nėra vienareikšmės tendencijos. Aukštaitijos KMS stebimas nitratų koncentracijos krituliuose 2,2 % per metus, o srauto 0,9 % per metus mažėjimas. Žemaitijos KMS nors nitratų koncentracija mažėja –1,0 % per metus, tačiau jų srautas turi tendenciją didėti (1,2 % per metus). Panašūs nitratų koncentracijų krituliuose bei jų srautų dydžiai gauti foninio monitoringo stotyse Vokietijoje, Lenkijoje ir Latvijoje (EMEP, 2004).

Tirtų N junginių šlapiųjų srautų kaita tarp KM stočių parodė, kad Žemaitijos KMS teritorijoje tiriamų komponentų srautai yra vidutiniškai 70 %, o Dzūkijos KMS teritorijoje (per tiriamąjį laikotarpį) apie 20 % didesni, negu Aukštaitijos KMS teritorijoje. Tai gali būti aiškinama didesniu kritulių kiekiu Žemaitijos KMS (apie 1,35 karto) ir didesnėmis teršalų koncentracijomis krituliuose ir ore Dzūkijos KMS.

### **3.2. N junginių koncentracijos dirvožemio, gruntiniame ir paviršiniame vandenyje, jų srautai ir pagrindinės kaitos tendencijos**

Dirvožemio įšalo, vandens srautų ir atsargų dinamika – tai savybių kompleksas, rodantis dirvožemio režimo kaitą. Vandens atsargų kitimo tendencijos per stebėjimo laikotarpį Aukštaitijos

KMS neryškios, o Žemaitijos KMS ryškėja vandens atsargų dirvožemyje daugėjimas ir kontrastiškumo per vegetacijos laikotarpį didėjimas.

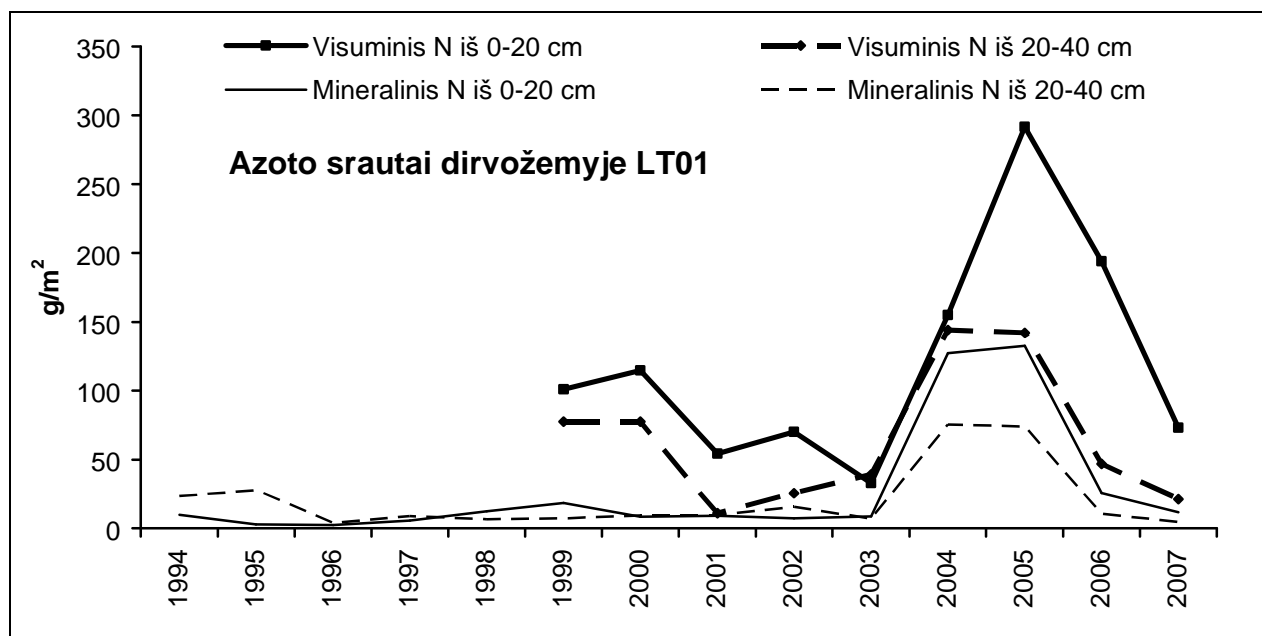


**3 pav.**  $\text{NH}_4^+$  ir  $\text{NO}_3^-$  koncentracijų KMS dirvožemių vandenyje 20 cm gylyje kaita ir srautai 1994-2007 m. laikotarpiu.

Pradžioje, t.y. laikotarpiu nuo 1994 iki 1999 m. Dzūkijos KMS dirvožemio tyrimų stacionare  $\text{NO}_3^-$  koncentracija dirvožemio vandenyje buvo didžiausia tarp KM stočių ir turėjo tendencija didėti. Aukštaitijos KMS dirvožemio tyrimų stacionare per visą tiriamąjį laikotarpį, nustatytas  $\text{NO}_3^-$  koncentracijų trendas nebuvo toks reikšmingas, dėl pakankamai ženklaus koncentracijų sumažėjimo 2000-2003 metų laikotarpiu. Skirtingai nei Aukštaitijoje ir Dzūkijoje, Žemaitijos KMS stacionare  $\text{NO}_3^-$  koncentracijos dirvožemio vandenyje palaipsniui mažėjo.

Visumonio azoto koncentracija dirvožemio vandenyje sumažėjo arba buvo stabili. Aukštaitijos stotyje stabili išliko ir mineralinio azoto koncentracija, o Žemaitijoje nitrato azoto kiekis išaugo, 40 cm gylyje pasiekdamas didžiausią reikšmę per stebėjimo laikotarpį (3 pav.). Didelė nitrato koncentracija Žemaitijos stotyje, 40 cm gylyje gali būti atmosferos teršimo pasekmė.

2007 metais Aukštaitijos KMS ir visuminio ir mineralinio azoto išnešimas iš dirvožemio buvo vienas iš mažiausių per stebėjimo laikotarpį: 0–20 cm gylyje 73 g/m<sup>2</sup>, o 20–40 cm gylyje – 21 g/m<sup>2</sup>. Didžiausias visuminio azoto išnešimas buvo 2005 m.: 292 ir 142 g/m<sup>2</sup> (4 pav.). Pagal azoto atsargas 1993 ir 2005 metais nustatyta, kad Aukštaitijos KMS dirvožemis 0–20 cm gylyje neteko 78 g/m<sup>2</sup>, o 20–40 cm gylyje 52 g/m<sup>2</sup>.

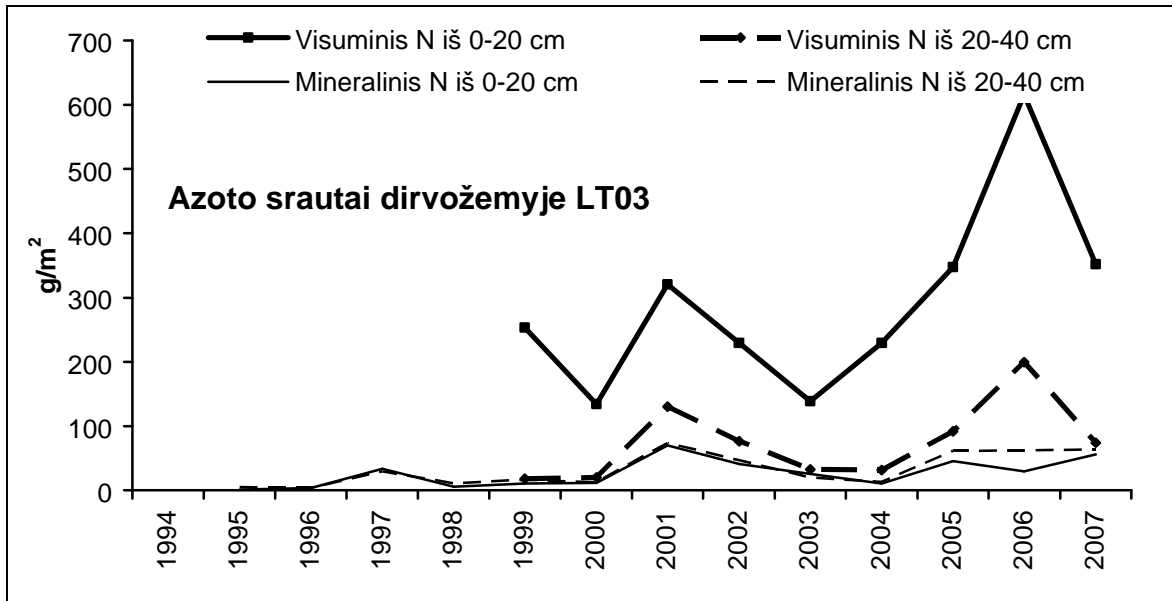


4 pav. Visuminio ir mineralinio azoto išnešimas iš dirvožemio Aukštaitijos KMS.

$\text{NH}_4^+$  koncentracijų dirvožemio vandenyje kaitoje išaiškintos priešingos tendencijos. Aukštaitijos KMS dirvožemio tyrimų stacionare  $\text{NH}_4^+$  koncentracija dirvožemio vandenyje tendencingai mažėjo. Analogiška tendencija buvo nustatyta ir Dzūkijos KMS. Priešingai išaiškintom tendencijom Aukštaitijos ir Dzūkijos KM stotyse, Žemaitijos KMS  $\text{NH}_4^+$  koncentracijos dirvožemio vandenyje kaitoje reikšmingesnių tendencijų neišaiškinta, o paskutiniuoju laikotarpiu pastebimas net tam tikras šių junginių koncentracijų augimas.

Šios išaiškintos  $\text{NO}_3^-$  ir  $\text{NH}_4^+$  koncentracijų kaitos dirvožemio vandenyje tendencijos iš esmės lėmė ir šių junginių srautus su dirvožemio vandeniu. Tyrimų pradžioje (1995-1997 m.)  $\text{NO}_3^-$  srautas visose KM stotyse buvo mažiausias ir siekė vos 5-10  $\text{mgN/m}^2$  per metus. Vėliau, Aukštaitijos KMS  $\text{NO}_3^-$  srautas pradėjo palaipsniui didėti ir 2004-2005 m. pasiekė savo maksimalią reikšmę 80–120  $\text{mgN/m}^2$  per metus, t.y. 8-12 kartų daugiau negu 1995-1997 m. laikotarpiu.

Žemaitijos KMS  $\text{NO}_3^-$  srautas nebuvo taip išreikštas, tačiau jo augimas prasidėjo anksčiau ir tęsėsi ilgiau. 1997 m.  $\text{NO}_3^-$  srautas padidėjo iki 22  $\text{mg/m}^2$  per metus, o jau 2001 m. pasiekė savo maksimalią reikšmę 24-47  $\text{mg/m}^2$  per metus, t.y. 2-4 kartus viršijo srautą nustatyta 1995-1997 m. Priešingai Aukštaitijos KMS, Žemaitijos KMS 2002-2005 m.  $\text{NO}_3^-$  srautas palaipsniui pradėjo mažėti.



5 pav. Visuminio ir mineralinio azoto išnešimas iš dirvožemio.

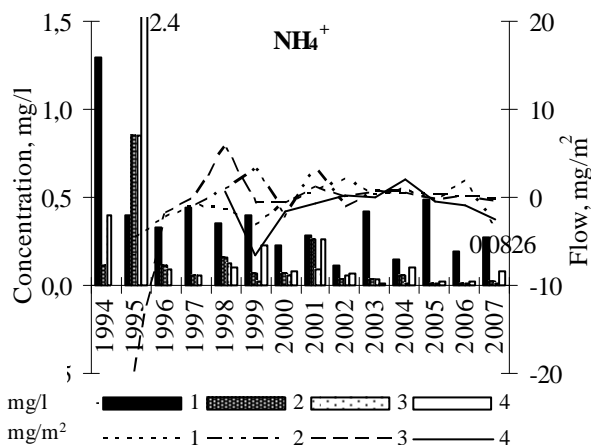
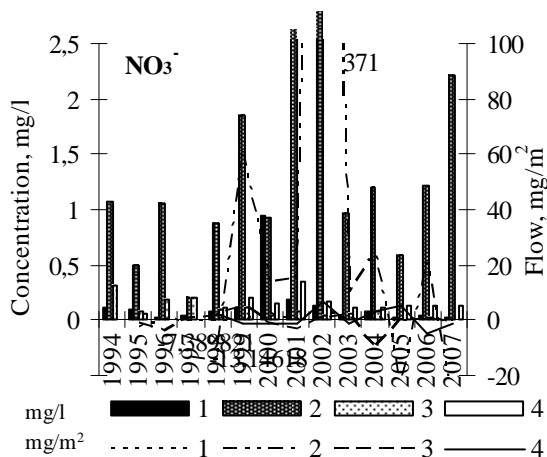
Žemaitijos stotyje visuminio azoto išnešimas iš dirvožemio 2007 m. sumažėjo, o mineralinio laikosi aukštame lygyje nuo 2005 m. (5 pav.). Didžiausias visuminio azoto išnešimas buvo 2001 m. ir 2005–2006 m., atitinkamai, 0–20 cm gylyje 321 ir 347–616 g/m<sup>2</sup>, o 20–40 cm gylyje 130 ir 91–200 g/m<sup>2</sup>. Pagal azoto atsargas 1994 ir 2005 metais nustatyta, kad dirvožemis 0–20 cm gylyje neteko 305 g/m<sup>2</sup>, o 20–40 cm gylyje 82 g/m<sup>2</sup>.

Abiejose stotyse azoto išnešimas iš dirvožemio yra proporcingas dirvožemio vandens srautui: didesnis vandens kiekis išplauna daugiau azoto junginių, bet koreliacijos koeficientai skirtingi: Aukštaitijos KMS mažas, svyruoja apie 0.5, o Žemaitijos KMS aukštas – 0.78–0.84.

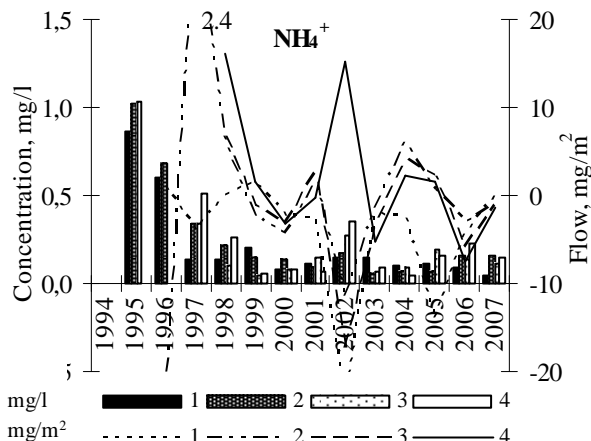
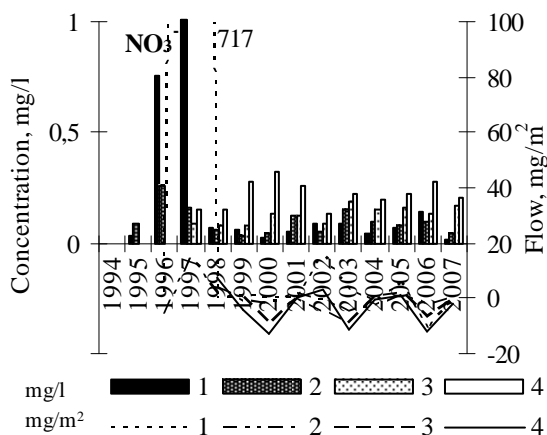
### 3.3. Gruntinio vandens kokybė

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> koncentracijos gruntiniuose vandenyse Aukštaitijos KM stotyje kito nereikšmingai, išskyrus tik 2-ą gręžinį, kuriame šių junginių koncentracijos laikotarpiu nuo 1997 iki 2002 m. reikšmingai padidėjo. Ši kaita sąlygojo ir didžiausius NO<sub>3</sub><sup>-</sup> srautus, kurie tęsėsi iki 2005 metų. Likusiuose gręžiniuose NO<sub>3</sub><sup>-</sup> srautai kito nereikšmingai (p>0,05).

Žemaitijos KMS NO<sub>3</sub><sup>-</sup> koncentracijos gruntiniame vandenyje seklausio gręžinio turėjo tendenciją mažėti, kai tuo tarpu gylesniuose gręžiniuose, priešingai – tendenciją didėti. Tokia kaita turėjo reikšmingos įtakos NO<sub>3</sub><sup>-</sup> didžiausiam srautui giliausiuose gręžiniuose 1998, 2002 ir 2005 metais bei seklausiuose gręžinyje – 1996-1997 metais.



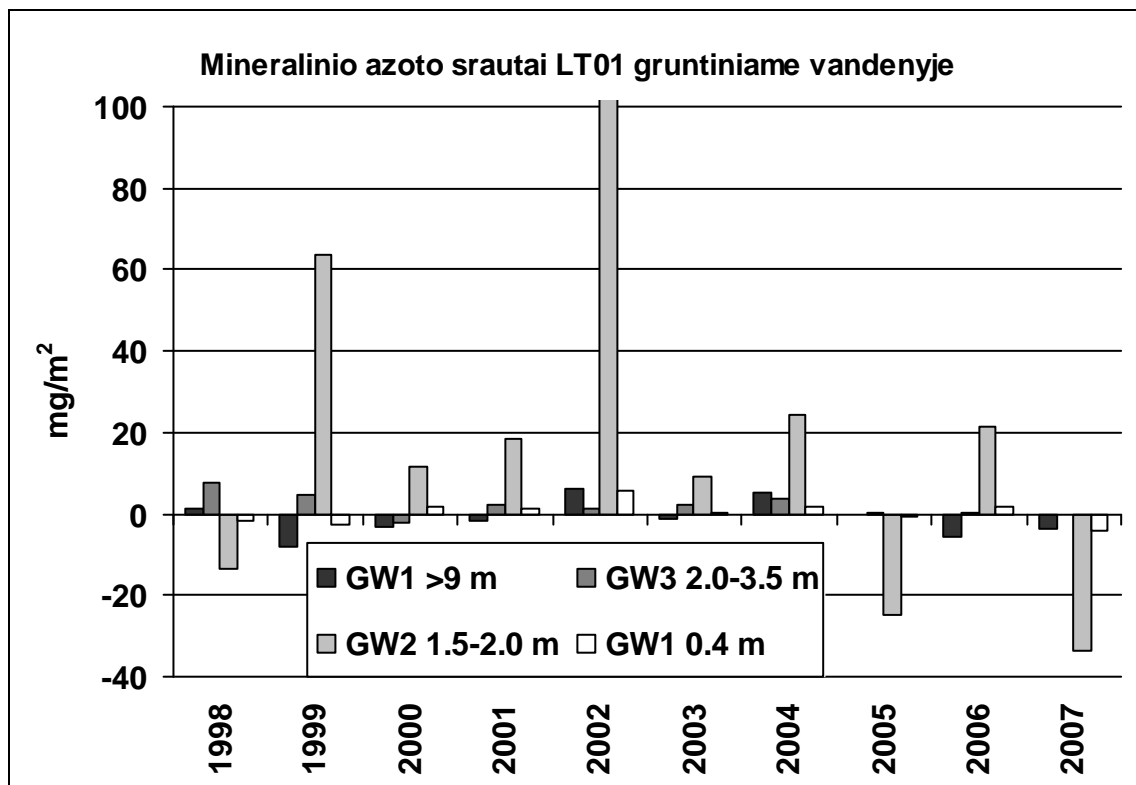
**6 pav.**  $\text{NH}_4^+$  ir  $\text{NO}_3^-$  koncentracijų įvairaus gylio gruntiniuose vandenyse kaita ir jų srautai Aukštaitijos KMS 1994-2007 m. laikotarpiu.



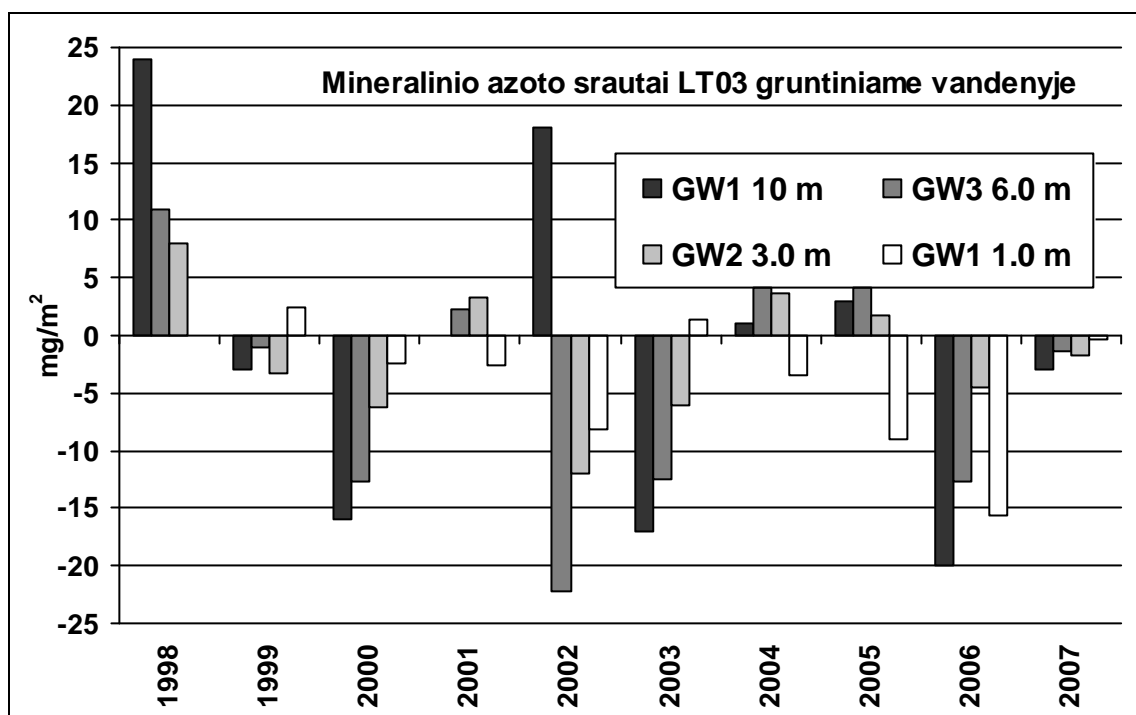
**7 pav.**  $\text{NH}_4^+$  ir  $\text{NO}_3^-$  koncentracijų įvairaus gylio gruntiniuose vandenyse kaita ir jų srautai Žemaitijos KMS 1994-2007 m. laikotarpiu.

$\text{NH}_4^+$  koncentracijos visų KM stočių visų gręžinių gruntiniuose vandenyse turėjo tendenciją mažėti, tačiau trumpalaikiu padidėjimu išsiskyrė 1998, 2002 ir 2004 metai. Šiais paminėtais metais užregistruotos ir šio srauto maksimalios reikšmės.

2007 m. Aukštaitijos KMS visuose gruntinio vandens gręžiniuose vyrauja mineralinio azoto išnešimas, išskyrus giliausią gręžinį, didesnis, negu 2006 m. (8 pav.). Žemaitijos KMS 2007 m. visuose gruntinio vandens gręžiniuose vyrauja mineralinio azoto išnešimas, kuris, palyginti su 2006 m. yra sumažėjęs ir kitaip, negu Aukštaitijos KMS, daugiausia mineralinio azoto išnešta iš giliausiojo gręžinio (9 pav.).



8 pav. Mineralinio azoto atsargos (teigiamos reikšmės) ir išnešimas (neigiamos reikšmės) iš gręžinių 1998–2007 m. Aukštaitijos KMS.



9 pav. Mineralinio azoto atsargos (teigiamos reikšmės) ir išnešimas (neigiamos reikšmės) iš gręžinių 1998–2007 m. Žemaitijos KMS.



Abiejose stotyse neigiamas mineralinio azoto balansas gruntiniame vandenyje geosistemiškai susijęs su kitais ekosistemos komponentais: per pastaruosius septynerius metus iš dirvožemio daugiausia azoto išnešta Aukštaitijos KMS 2004-2005 m., Žemaitijos 2005–2006 o iš giliausiojo gręžinio ir upelio vandeniu iš ekosistemos daugiausia azoto išnešta abiejose stotyse tais pačiais, 2006 m.

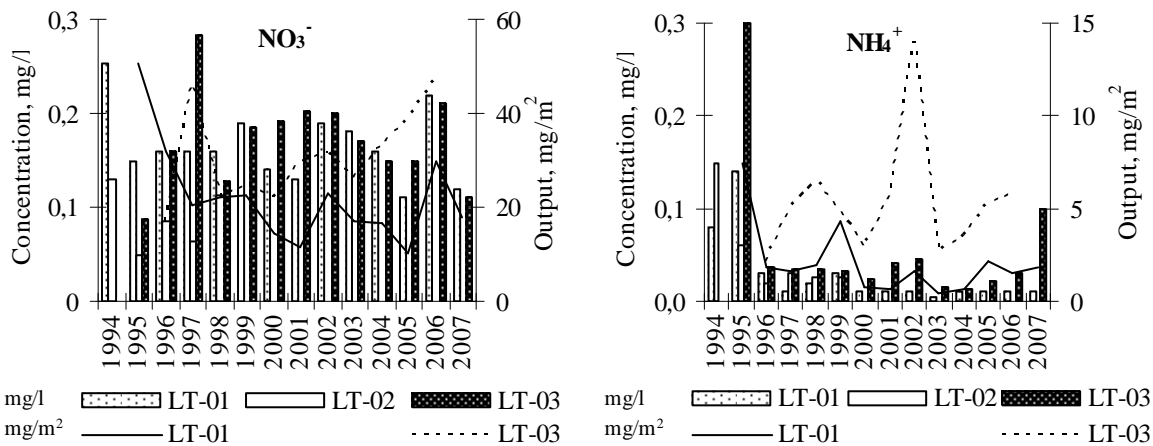
Palyginus tarp KM stočių tirtų cheminių junginių koncentracijas dirvožemio ir gruntiniuose vandenyse per visą tiriamąjį laikotarpį, nustatyta, kad labiau užteršti yra Dzūkijos KMS vandenys. Tai gali būti siejama su geresnėmis filtracinėmis savybėmis kontinentinių smelio kopų, kurios būtent ir yra tipingos Dzūkijos regionui. Paskutiniuoju laikotarpiu vis dažniau didesnėmis tirtų junginių koncentracijomis pasižymi ir Žemaitijos KMS tirti vandenys.

Susumavus mineralinio azoto balanso komponentus nustatyta, kad Aukštaitijos KMS 1998–2007 m. (per 10 metų) vyravo mineralinio azoto kaupimasis visuose gręžiniuose, išskyrus sekliausiąjį, iš kurio per dešimtmetį buvo išnešta 11 g/m<sup>2</sup>, o Žemaitijos KMS, atvirškščiai, vyravo mineralinio azoto išnešimas, bet daugiausia buvo išnešta iš vidutinio gilumo ir giliausiojo gręžinio 37–40 g/m<sup>2</sup>.

### **3.4. Paviršinio vandens kokybė**

Per visą tiriamąjį laikotarpį visose KM stočių paviršiniame vandenyje NO<sub>3</sub><sup>-</sup> koncentracijų kaita neturėjo aiškesnių tendencijų. Tačiau išskirti laikotarpiai kada šių junginių koncentracija Aukštaitijos ir Žemaitijos KM stotyse didėjo, t.y. nuo 1994(95) iki 1999 (2001) ir nežymiai mažėjo – nuo 2001 iki 2005 m. NH<sub>4</sub><sup>+</sup> koncentracijų kaitoje išaiškinta mažėjimo tendencija visų tirtų upelių vandenyse (10 pav.).

Nežiūrint panašių NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ir NH<sub>4</sub><sup>+</sup> koncentracijų kaitos KM stočių paviršiniuose vandenyse, iš esmės išsiskyrė N junginių srautų kaita. Per visą tiriamąjį laikotarpį Aukštaitijos KM stotyje abiejų N komponentų srautai mažėjo, kai tuo tarpu Žemaitijos KMS paviršiniame vandenyje – N srautai didėjo.



**10 pav.**  $\text{NH}_4^+$  ir  $\text{NO}_3^-$  koncentracijų upelio vandenyje kaita ir jų srautai KMS teritorijose 1994-2007 m. laikotarpiu.

#### 4. N junginių poveikis miško ekosistemų įvairiems biotos komponentams.

Pateiktame KMS programos vykdytojų ataskaitų apibendrinime pameginome išsiaiškinti kuris, tiesioginis ar netiesioginis Azoto iškritų poveikis yra reikšmingesnis dirvožemio mikroartropodų, upelio makrobentos, smulkiųjų žinduolių rūšių įvairovei ir gausumui, o taip pat vyraujančių medžių rūšių lajų defoliacijos laipsniui.

##### 4.1. N junginių poveikis dirvožemio mikroartropodų rūšiniai įvairovei ir gausumui.

Dirvožemio mikroartropodų rūšinė įvairovė ir gausa lemia dirvožemio derlingumą. Skurdžiausia rūšių įvairovė ir mažiausia gausa pasižymėjo artropodų bendrijos Dzūkijos KMS tirti dirvožemiai, maždaug  $140 \text{ tūkst. indv./m}^2$  ir 49 rūšys. Gausiausios ir turtingiausios rūšių įvairovė buvo Žemaitijos KMS tirti dirvožemiai -  $385 \text{ tūkst. indv./m}^2$  ir 65 rūšių atitinkamai. Oribatidae genties individai vyraavo tirtuose KMS dirvožemiuose.

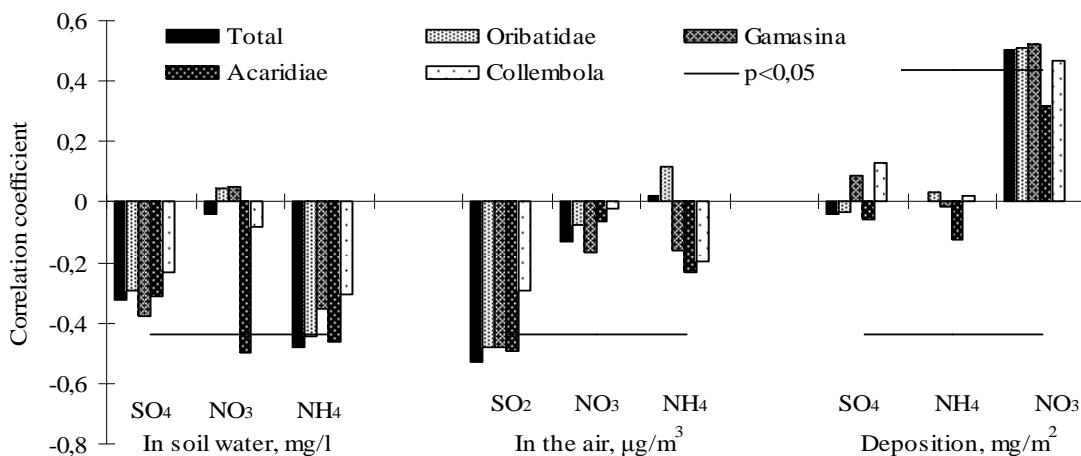
Artropodų gausos ir rūšių įvairovės kaitoje aiškesnių tendencijų nustatyti nepavyko, nors paskutiniuoju laikotarpiu buvo stebimas jų neženklaus augimas. Tačiau jų kiekis ir įvairovė reikšmingai sąlygojo dirvožemių mineralizacijos – humifikacijos procesų santykį. Iki 1999 m. tirtuose biotopuose šis santykis mažėjo, iš teigiamo pereidamas į neigiamą, kas rodė bakterijų humifikatorių augimą. Nuo šio laikotarpio iki pastarųjų metų registruojamas atvirkštinis procesas – M/H santykis didėja, t.y. vėl pradeda didėti bakterijų mineralizatorių.

Mikroartropodų aktyvumas skirtinguose biotopuose dažnai yra susijęs su klimato kintamumu ir substrato kokybe. Kai klimatas ir vietos sąlygos pastovios, organinės medžiagos skaidimasis priklauso nuo jos cheminės sudėties bei fizinės struktūros (Berg et al., 1998).

Aplinkos užterštumas nevienareikšmiškai sąlygoja mikroartropodų rūšinę įvairovę ir gausumą. Literatūroje nurodomi gana priešaringi duomenys apie cheminių teršalų, ypač sunkiųjų metalų poveikį dirvožemio mikroartropodams. Dažnai nenustatomas jų neigiamas poveikis bendram gausumui (Hägvar, Abrahamsen, 1990; Bruus, Pedersen et al., 1999). Jų poveikį galima nustatyti tik tiriant atskiras populiacijas ir trofinius ryšius (Siepel, 1995). Kai kurie autoriai įrodė ir tiesioginį sunkiųjų metalų poveikį mikroartropodams (Tranvik et al., 1993; Crommentuijn et al., 1997; Scott-Fordsmand et al., 1999). Pažeidus mikroorganizmų ir bestuburių gyvūnų gausumo balansą, suardžius jų mitybinius ryšius, sutrinka augalinių liekanų destrukcijos procesai ir pakinta humuso forma iš *mull* į *mor* (Bengtsson et al., 1988a; Gillet, Ponge, 2003). Tačiau sunkiųjų metalų kiekiai dirvožemyje bei jo vandenyje 20 ir 40 cm gylyje, kurie per 10 m. laikotarpį turėjo tendenciją didėti, neturėjo statistiškai reikšmingo poveikio mikroartropodų rūšinei įvairovei ir gausumui.

Daugelis mokslininkų pabrėžia azoto pertekliaus dirvožemyje neigiamą poveikį mikroartropodų rūšinei įvairovei ir gausumui bei nuo jų priklausantiems organinių medžiagų destrukcijos procesams (Fog, 1988; Verhoef and Brussaard, 1990; Boxman et al., 1995), o tuo pačiu ir rūgščiųjų srautų neigiamą poveikį pedobiontų aktyvumui (Persson et al., 1989). Tyrimai atlikti Kėdainių chemijos gamyklos poveikio teritorijoje patvirtino tai, kad dideli kiekiai sieros, azoto ir fluoro junginių atskirais atvejais gali net visai sunaikinti pedobiontų bendrijas, ko pasekoje sutrinka miško paklotės ir nuokritų mineralizacijos-humifikacijos procesai (Eitminavičiūtė ir kt., 1995; Vaičys ir kt., 1998).

Nors eutrofikuojoje aplinkoje mažėjant azoto iškritoms palaipsniui atsikuria mikroartropodų rūšinė įvairovė ir gausumas (Boxman et al., 1995), regioninio užterštumo teritorijose, kur azoto iškritos nesiekia kritinių koncentracijų (15 kg/ha, kai tuo tarpu: Aukštaitijos ir Dzūkijos KMS apie 2 kgN/ha, Žemaitijos KMS apie 4 kgN/ha), kaip ir lajų defoliacijos atveju, nustatytas tiesioginis ryšys tarp nitratų srautų ir dirvožemio pedobiontų įvairovės ir gausumo. Tačiau didesnės amonio jonų koncentracijos dirvožemio vandenyje, priešingai, neigiamai veikia šių artropodų rūšių įvairovę ir gausą. Nitratų kiekis reikšmingai sąlygojo tik Acaridae gausą ( $p < 0.05$ ).



**11 pav.** Tirtų N komponentių reikšmė dirvožemio mikro artropodų gausai.

Išaiškintos dirvožemio artropodų rūšinės įvairovės ir gausos kaitos tendencijos glaudžiai koreliavo su medžių lajų defoliacijos laipsnio kaita. Koreliacijos koeficientas siekė -0,8 ir buvo reikšmingas  $p < 0,05$ . Todėl jau tyrimų pradžioje buvo tikimasi, kad tie patys taršos komponentai, sąlygojantis artropodų kaitą, sąlygos ir medžių lajų defoliaciją.

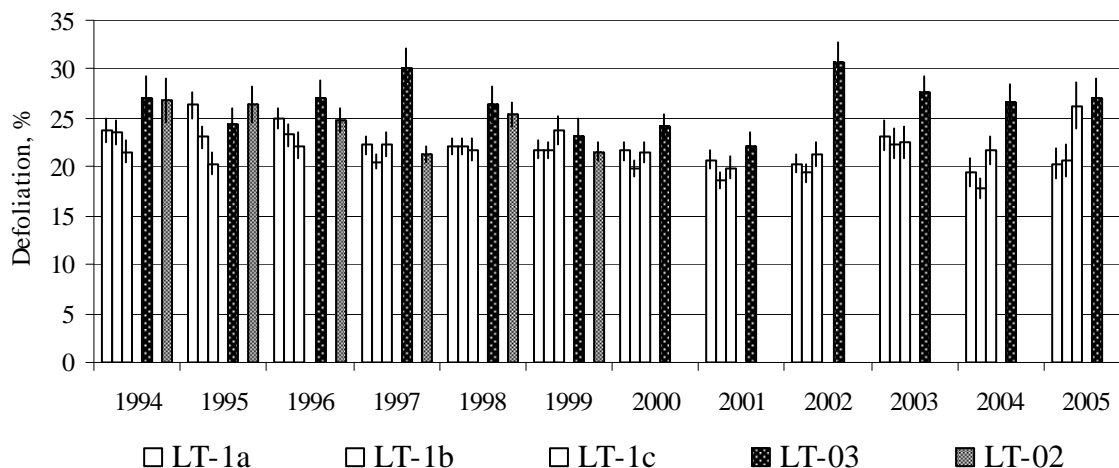
#### 4.2. N iškritų ir N junginių koncentracijų ore reikšmė medžių lajų defoliacijai.

F testo indeksų analizė parodė, kad vidutinė vyraujančių Aukštaitijos KMS tyrimo stacionaruose medžių rūšių defoliacija reikšmingai kito ir tarp stacionarų, ir laiko atžvilgiu. Per tiriamąjį laikotarpį visų tirtų medžių lajų defoliacijos laipsnis pirmajame stacionare LT-01A sumažėjo nuo 30,4% 1994 m. iki 22,1% 2004 m., t.y., vidutiniškai 0,61% per metus. Antrajame stacionare LT-01B vidutinė defoliacija per šį laikotarpį sumažėjo nuo 36,2% iki 22,8%, t.y., 1,02% per metus ir trečiajame stacionare LT-01C - nuo 30,1% iki 23,2%, t.y., 0,59% per metus (12 pav.). Tik paskutiniuoju laikotarpiu visuose stacionaruose užfiksuotas reikšmingas defoliacijos padidėjimas, maždaug iki 27-28%.

Žemaitijos stacionare augančių eglė vidutinėje kaitoje nebuvo nustatyta reikšmingesnė tendencija. Didžiausia reikšmė nustatyta 1997 ir 2002 metais, kai ji viršijo 30%, o mažiausia 1999 m. – apie 22%. Kitais metais vidutinės defoliacijos reikšmė svyravo apie 27%-28%.

Dzūkijos KMS stacionare 1994-2001 m. laikotarpiu augančių pušų vidutinė defoliacija reikšmingai mažėjo nuo 26,7% iki 21,6%.

Per tiriamąjį laikotarpį pušų ir beržų defoliacija Aukštaitijoje buvo mažiausia –  $20,1 \pm 0,9\%$  ir  $22,4 \pm 1,18\%$  atitinkamai, o Žemaitijos stacionaro eglių  $26,9 \pm 1,7\%$  ir Dzūkijos stacionaro pušų  $24,6\%$ .

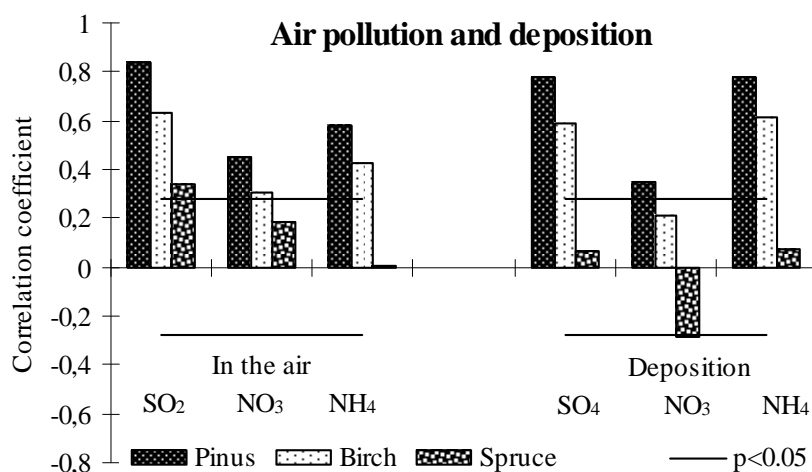


**12 pav.** Augalijos tyrimo stacionaruose augančių medžių vidutinės defoliacijos kaita (LT-01 – Aukštaitijos KMS; LT-02 – Dzūkijos KMS; LT-03 – Žemaitijos KMS)

Atskleisti vyraujančių medžių rūšių lajų defoliacijos kaitos ypatumai buvo analizuoti atsižvelgiant į pagrindinių rūgštinančių komponentų koncentracijas ore, jų iškritas (tiesioginis poveikis) ir jų koncentracijas dirvožemio, gruntiniame ir paviršiniame vandenyje (netiesioginis poveikis).

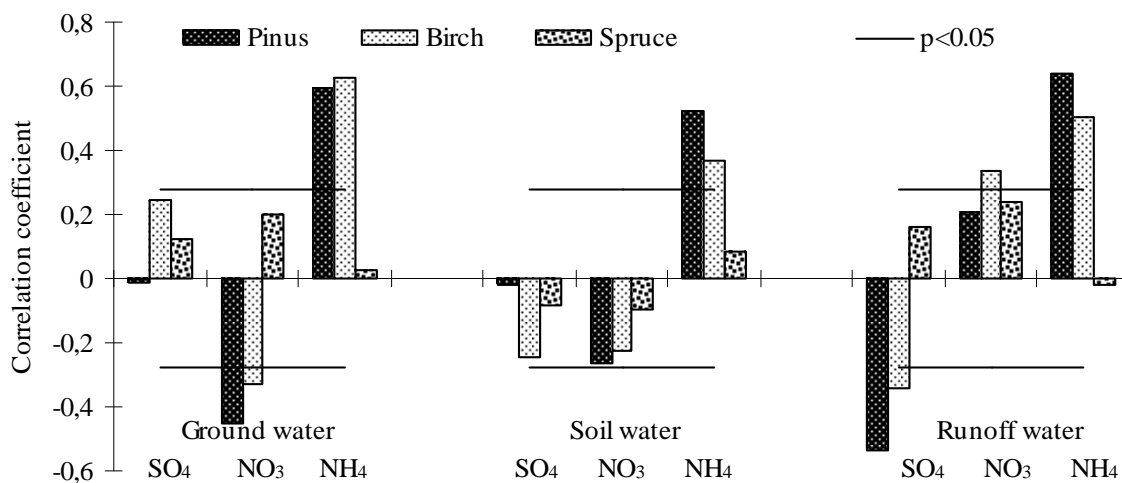
Reikšmingiausiais ryšiais, kaip ir tikėtasi, pasižymėjo sieros junginių koncentracijų bei jų iškritų ir pušų defoliacijos kaita (13 pav.). Šie gauti rezultatai patvirtino gautus rezultatus Europoje analizuojant pušų lajų defoliacijos laipsnio kaitą salygojančius veiksnius (de Vries et al. 2000).  $\text{NH}_4^+$  iškritų ir jų koncentracijų reikšmingumas buvo kiek mažesnis, o nitratų – mažiausias.

Tirtų rūgščių komponentų koncentracijų ore ir jų iškritų poveikis beržų lajų defoliacijos kaitai buvo kiek silpnesnis, tačiau išliko reikšmingas. Poveikio ypatumais išsiskyrė rūgštinančių junginių ir eglių lajų defoliacijos ryšys. Jei N komponentų koncentracijos ore neturėjo reikšmingesnio poveikio lajų defoliacijos kaitai, tai nitratų iškritas turėjo tendenciją gerinti eglių lajų būklę. Tačiau, analizuojant eglių lajų būklę salygojančius veiksnius, reiktų paminėti, kad tiriamuoju laikotarpiu eglės intensyviai buvo pažeistos eglinių tipografų (*Ips typographus* L.), kurių žala galėjo pakenkti teršalų poveikio eglių būklei nustatymo tikslumui.



**13 pav.** Rūgščių koncentracijų ore ir jų iškritų poveikis vyraujančių medžių rūšių defoliacijos laipsniui.

Tiriant netiesioginį N junginių poveikį medžių lajų defoliacijai, nustatyta, kad amonio koncentracijos tirtuose vandenyse turėjo didžiausios neigiamos reikšmės pušų ir beržų lajų būklei, kai tuo tarpu nitratų koncentracijos ir gruntiniame, ir dirvožemio vandenyse, atrodo, kad galėjo gerinti šių medžių rūšių lajų būklę. Netiesioginis N junginių koncentracijų tirtuose vandenyse poveikis eglėms lajų defoliacijai buvo silpniausias ir dažnai nereikšmingas.



**14 pav.** N junginių koncentracijų dirvožemio, gruntiniame ir paviršiniame vandenyje poveikis medžių lajų defoliacijos laipsniui

N junginių tiesioginio ir netiesioginio poveikio reikšmingumas medžių lajų defoliacijai buvo tirtas daugialypės regresinės analizės metodu. Gauti rezultatai pateikti 2 lentelėje.

Tyrimų rezultatai rodo, kad NO<sub>3</sub><sup>-</sup> koncentracijos ore ir NH<sub>4</sub><sup>+</sup> iškritos yra reikšmingesnės pušų lajų defoliacijos laipsniui negu N junginių koncentracijos dirvožemio, gruntiniuose ir paviršiaus vandenyse. Panašiu dėsningu pasižymėjo ir tiesioginis bei netiesioginis N junginių

poveikis eglių lajų defoliacijos laipsniui, tačiau šių poveikių reikšmingumas buvo ženkliai mažesnis. Jei tiesioginis N junginių poveikis buvo reikšmingas, tai netiesioginis nereikšmingas.

**2 lentelė.** N komponenčių reikšmė kompleksiškame teršalų poveikyje pušų, eglių ir beržų lajų defoliacijai.

Teršalai	Models, F(a.b)														
	Pinus					Birch					Spruce				
Ore															
NH <sub>4</sub>															
NO <sub>3</sub>	+					+								+	
Iškritos															
NH <sub>4</sub>	+					+									
NO <sub>3</sub>														+	
Dirvožemio vandenyje															
NH <sub>4</sub>		+					+							+	
NO <sub>3</sub>		+			+		+			+			+	+	+
Gruntiniame vandenyje															
NH <sub>4</sub>			+					+			+				
NO <sub>3</sub>			+		+			+			+			+	+
Upelio vandenyje:															
NH <sub>4</sub>				+	+				+						
NO <sub>3</sub>				+					+					+	
r <sup>2</sup> , %	0.632	0.332	0.459	0.432	0.583	0.293	0.184	0.382	0.179	0.464	0.187	0.017	0.041	0.057	0.097
p <	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.008	0.000	0.011	0.672	0.172	0.105	0.104

Priešingi rezultatai gauti tiriant tiesioginio ir netiesioginio N poveikio reikšmingumą beržų lajų defoliacijos laipsniui. Pagal gautus rezultatus N junginių netiesioginis poveikis, atrodo, kad yra reikšmingesnis ( $r^2=0.464$ ) negu jų tiesioginis poveikis per atmosferą ( $r^2=0.293$ ) (2 lentelė).

Apibendrinus gautus rezultatus galėtume teigti, kad tiesioginis N junginių poveikis spygliuočių defoliacijos laipsniui yra reikšmingesnis už šių junginių netiesioginį poveikį, t.y. už šių junginių koncentracijų dirvožemio, gruntiniuose ir paviršiaus vandenyse poveikį. Tačiau tik nitratų koncentracijos vandenyse pasižymi medžių būklę gerinančių poveikiu.

#### 4.3. N junginių koncentracijų upelio vandenyje poveikis makrobentosui.

1994-1999 metų laikotarpiu makro bentoso rūšių įvairovė bei biomasė turėjo tendenciją didėti. Vėliau, iki 2004 m. rūšių įvairovė išliko tame pačiame lygmenyje. Aukštaitijos KMS baseino upelyje dominuoja Plecoptera ir Trichoptera. Dzūkijos KMS baseino upelyje skaitlingiausias būrys Ephemeroptera, kai tuo tarpu didžiausią biomasę sudaro Trichoptera būrio atstovai. Žemaitijos KMS

baseino upelyje skirtingais metais skaitlingiausi ir pagal biomasę labiausiai paplitę yra Ephemeroptera ir Amphipoda būrio atstovai. Visų KMS baseinų upeliuose didžiausia rūšių įvairovė pasižymėjo Diptera būys.

Pastaroju laikotarpiu daugelyje Europos valstybių, kaip rezultatas ženkliai sumažėjusių emisijų ir rūgščiųjų iškritų, stebimas upių ir ežerų makrobentos įvairovės ir gausos atsikūrimas (Keller et al. 1999; Raddum et al. 2004; Harriman et al. 2001; Alewell et al. 2001). Tačiau, labiausiai užrūgštintose Centinės Europos teritorijose vandenių faunos atsikūrimas dar neregistruojamas (Wright et al. 2005).

Pagrindinė priežastis - upelių vandens rūgštingumas. Tik prie neutralio reakcijos, t.y. kai upelių vandens pH siekia 7 galima tikėtis upelių bentofaunos atsikūrimo. Net kai upelių vandens pH siekia 6,5-6,0 registruojami pirmieji bentoso pakitimai (Baker et al. 1990). Lietuvos KM stočių upelių vandens pH viršija 7 ir dėl šios priežasties tai neturėtų turėti jokios neigiamos reikšmės upelio bentosui. Tačiau išaiškinti bentoso rūšinės sudėties ir gausos pokyčiai reikšmingai koreliavo su kritulių rūgštingumu bei  $\text{SO}_2$  ir  $\text{SO}_4^{2-}$  koncentracijomis ore (Augustaitis et al., 2005). Tai būtų galima aiškinti, kad trumpalaikiai gausūs ir rūgštūs krituliai gali turėti neigiamos įtakos bentoso įvairovei ir gausai. Iš upelio charakteristikų, tik ryšys tarp  $\text{NO}_3^-$  ir  $\text{NH}_4^+$  koncentracijų upelio vandenyje ir bioįvairovės indeksų H ir Chennon buvo reikšmingas. Tačiau šis poveikis buvo neigiamas.

#### **4.4. Njunginių poveikis smulkiems žinduoliams**

Sausumos gyvūnijos būklės ir jos dinamikos stebėjimas yra svarbi kompleksinio monitoringo dalis, leidžianti įvertinti sąlygiškai natūralių ekosistemų pokyčius. Viena iš ekosistemas sudarančių grandžių yra smulkieji žinduoliai (vabzdžiaėdžiai ir peliniai graužikai), kurie dėl jų biologinių savybių yra geras bioindikatorius aplinkos būklei vertinti.

Visose teritorijose įprastomis rūšimis buvo kirstukas nykštukas (*Sorex minutus*), paprastasis kirstukas (*S. araneus*), rudasis pelėnas (*Clethrionomys glareolus*) ir geltonkaklė pelė (*Apodemus (Sylvaemus) flavicollis*). Visur dominavo rudasis pelėnas. Kitų rūšių individai buvo negausūs arba migruojantys.

Daugiausiai rūšių užregistruota Dzūkijos KMS teritorijoje, mažiau – Žemaitijos KMS ir mažiausiai Aukštaitijos KMS (atitinkamai 13, 10 ir 9 rūšys). Daugiamečiai rezultatai rodo, kad rūšių skaičiaus kitimas tirtose teritorijose buvo skirtingas. Rūšių įvairovės indekso (H) statistiškai reikšmingas pastovus augimas buvo registruojamas tik Aukštaitijos KMS tirtose biotopuose,



nereikšmingas mažėjimas Dzūkijos KMS, o Žemaitijos KMS biotopuose šio rodiklio kitimas neturėjo aiškios tendencijos. Tačiau būtent šios stoties tirtuose biotopuose per pastaruosius 5 metus (nuo 1998 m.) stebimas statistiškai reikšmingas smulkiųjų žinduolių rūšinės įvairovės indekso mažėjimas. Polidominantiškiausia bendrija rasta Žemaitijos KMS (pavasariį  $H=1,26$ , rudenį  $H=2,04$ ), o skurdžiausia – Aukštaitijos KMS (pavasariį  $H=1,05$ , rudenį  $H=1,29$ ).

Labai svarbus ekologinių sąlygų tinkamumo smulkiesiems žinduoliams įvertinimo rodiklis yra jų gausumas tiriamoje teritorijoje. Daugiamečiai smulkiųjų žinduolių bendrijos gausumo tyrimo rezultatai rodo, kad pavasariį bendras smulkiųjų žinduolių gausumas yra nedidelis. Aukštaitijos KMS teritorijoje jis kito vidutiniškai nuo 0,3 iki 1,2, Dzūkijos KMS – nuo 0,5 iki 4, o Žemaitijos KMS – nuo 0,2 iki 1,2 ind./ha. Paprastai pavasario sulaukia nedidelė dalis žiemojančios populiacijos. Tik atskirais metais, esant palankesnėms žiemojimo (daug sniego, pakankamai maisto ir slėptuvių, mažesnė plėšrūnų įtaka) bei pastovios sniego dangos susidarymo rudenį ir jo nutirpimo pavasariį sąlygomis, žvėrelių išlieka daugiau. Duomenų analizė rodo, kad iki pavasario Aukštaitijoje išgyveno 4,6 - 21,3, Dzūkijoje – 2,4 - 19,3 (1996 m. - 41,1) ir Žemaitijoje – 2,7 - 17,1 % visos praėjusių metų rudeninės smulkiųjų žinduolių populiacijos. Šiems žvėreliams palankiausios žiemos buvo: Dzūkijoje – 1994/95 m., 1995/96 m. ir 2001/02, Žemaitijoje – 1996/97 m. ir 2000/01 m., o Aukštaitijoje - 1994/95 m. ir 1995/96 m.

Iki rudens (per veisimosi sezoną) smulkiųjų žinduolių gausumas tirtose teritorijose vidutiniškai didėjo nuo 2,2-8,5 kartų iki 12,7-18,2 kartų, o atskirais metais net iki 28-47 kartų. Toks intensyvus smulkiųjų žinduolių populiacijos gausumo augimas buvo užregistruotas Dzūkijos KMS teritorijoje – 1993 m. ir Žemaitijos KMS teritorijose - 1995, 1996 ir 1999 m. Tokie dideli žvėrelių gausumo augimo tempai Dzūkijoje buvo susiję su rudojo pelėno, o Žemaitijoje – papildomai ir su paprastojo kirstuko bei kirstuko nykštuko populiacijų augimu.

Rudeniniai tyrimai rodo 5 metų (1997-2003 m.) gausumo svyravimo ciklus Aukštaitijos ir ypač Dzūkijos KMS teritorijose. Žemaitijos KMS teritorijoje buvo stebimas gausumo augimas iki 1999 m. ir jo mažėjimas per pastaruosius 4 metus. Didžiausią įtaką smulkiųjų žinduolių bendrijos gausumui turėjo dominuojančios rūšies populiacijos gausumas ir miško medynų tipas. Tirtų teritorijų miškuose pagrindinę smulkiųjų žinduolių bendrijos masę sudarė rudasis pelėnas. Be to, 1999 m. visose, ypač Žemaitijos, KMS teritorijose buvo stebimas žymus kirstukų pagausėjimas. Žinoma, kad rudajam pelėnui Pabaltijo-Poleses miškų-pievų zonoje yra būdingi 2-5 metų gausumo ciklai (Башенина и др. 1981). Faktiškai nuo jo gausumo kitimo atskirais sezonais ir metais tirtuose biotopuose priklauso ir visos smulkiųjų žinduolių bendrijos gausumo dinamiškumas.

Koreliacinė analizė parodė, kad taršos komponentai gali turėti didesnę įtaką šių smulkiųjų žinduolių rūšių įvairovei nei gausumui. Pastarąjį, kaip parodė mūsų ankstesnieji tyrimai, reikšmingiau sąlygoja meteorologinės sąlygos. Tarpusavio ryšis tarp smulkiųjų žinduolių rūšių įvairovės ir SO<sub>2</sub> koncentracijos ore bei SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> koncentracijų krituluose nors yra ir silpnas, tačiau statistiškai patikimas (p<0,05). Šių gyvūnų rūšių įvairovės ir NO<sub>3</sub><sup>-</sup> iškritų ryšys buvo reikšmingiausias ir siekė R=0.597, kai p<0.003. Tiesioginis ryšys indikavo, kad didesnės N iškritos lemia didesnę smulkiųjų žinduolių gausą. Aiškinant šį ryšį, mes manome, kad teigiamas N junginių poveikis augalams, sudarantiems pagrindinę šių gyvūnų maistinę bazę, yra pagrindinis veiksnys sąlygojantys jų gausą.

Apibendrinus gautus rezultatus galima būtų teigti, kad miško ekosistemose N iškritos lemia N koncentracijų kaitą dirvožemio, gruntiniuose ir paviršiniuose vandenyse, o per jų tiesioginį ir netiesioginį poveikį lemia medžių būklės ir tirtų ekosistemos biotos komponentų gausą. Dažniausiai foninės nitratų koncentracijos lėmė pozityvią miško ekosistemos biotos komponentų kaitą, kai tuo tarpu amonio pozityvi įtaka jiems nebuvo nustatyta.

## 5. Apibendrinimas

Miško ekosistemų būklės pokyčiai dažniausiai yra siejami su kompleksišku natūralių ir antropogeninių aplinkos veiksnių poveikiu, kuriame sieros ir azoto iškritų poveikis gali būti pirminis arba pagrindinis, stipriai užterštose teritorijose, lydintis kitų veiksnių poveikį bei jį sustiprinantis (Schulze, 1989; Manion, Lachance, 1992; Chappelka and Freer-Smith, 1995; Cronan and Grigal, 1995). Toks nevienareikšmiškas sieros ir azoto iškritų poveikis aiškinamas dar galutinai neištirtu kompleksišku šių teršalų poveikiu, kuris pasireiškia tiesioginiu būdu šiems teršalams veikiant lapiją, ir netiesioginiu būdu, per dirvožemyje sąlygotus procesus. Pastarasis poveikis gali lemti maistinių medžiagų trūkumą ir sustiprinti tokių natūralių veiksnių poveikį, kaip sausrų ar miško kenkėjų ir ligų poveikį (De Vries et al., 2000a). Daugelis autorių linkę teigti, kad būtent netiesioginis teršalų poveikis augaluose gali sukelti ženklesnių pakitimų nei tiesioginis, pažeidžiant lapus ar spyglius (Roberts *et al.*, 1989; De Vries et al., 200b). W. de Vries et al tirdamas Europinio II lygio miškų monitoringo rezultatus teigė, kad netiesioginis oro teršalų poveikis gali būti nustatytas tik turint pakankamai ilgas duomenų sekas, kadangi dirvožemio tarša keičiasi daug lėčiau negu oro (2003a). Lietuvoje Kompleksiško monitoringo programa vykdoma jau daugiau kaip 10 m., todėl gauti rezultatai leidžia pradėti išsamų tyrimą. Leidžianti atsakyti į pakankamai aktualų pastarojo laikotarpio klausimą, kuris oro teršalų poveikis – tiesioginis ar netiesioginis, per dirvožemyje sąlygotus procesus – yra reikšmingesnis medžių būklei.

Pastaruoju laikotarpiu biologiškai reaktyvios azoto formos didžiojoje dalyje Europos ir Šiaurės Amerikos lėmė miško ekosistemose eutrofikacijos procesų suintensyvėjimą. Sausumos ekosistemoms, pasižeminčioms ribotu praturtinimu azoto junginiais, didesnės azoto iškritos lemia fundamentalius ekosistemų produktyvumo ir rūšių įvairovės pokyčius (Jefferies and Maron, 1997; Nordin, et al., 2006). Mūsų ankstesnių tyrimų rezultatai, gauti azoto junginiais lokalaus užterštumo AB”Achema” poveikio teritorijose patvirtino šiuos mūsų atskleistus dėsningumus. Gausios, NOx and NH3 iškritos gamyklos veiklos pradžioje teigiamai sąlygojo procesus vykstančius miško ekosistemose (Juknys, 2001; Juknys et al., 2002; Juknys et al., 2003; Augustaitis et al., 2003). Tokie tręšiamieji efektai yra gerai žinomi ir aprašyti ne vieno šios srities vedančiojo specialisto. Tačiau kuris poveikis – tiesioginis ar netiesioginis yra reikšmingesnis miško ekosistemoms iki dabar pilnai neištirtas.

AB”Achema” poveikio teritorijoje per 25 m. laikotarpį, pokyčiai dirvožemyje buvo fiksuoti 3-8 kart mažesniame atstume nuo gamyklos, negu pušų lajų būklės pokyčiai (Armolaitis, 1998; Armolaitis and Stakenas, 2001). Gauti rezultatai rodo, kad būtent, oro teršalai, veikdami pušų lajas tiesiogiai sukelia didesnius pažeidimus, nei jų netiesioginis poveikis per dirvožemį, kuris buvo registruojamas tik arti gamyklos. Tyrimai KMS teritorijose patvirtino atskleistus dėsningumus. Spygliuočių lajų defoliacijos laipsnį reikšmingiau lėmė oro teršalai ir jų iškritos, negu šių teršalų koncentracijos dirvožemio, gruntiniuose ir paviršiniuose vandenyse.

Priešingi rezultatai buvo gauti atskleidžiant pagrindinius veiksnius sąlygojančius beržų būklę. Visžali augalai, kurie nenumeta spyglių ištisus metus, atrodo, kad yra geresni aerolių rinktuvai negu lapuočių medžių lapai. Tai patvirtina ir užsienio mokslininkų skelbiami rezultatai (Blood et al., 1989; Rothe et al., 2002).

Apibendrinus gautus rezultatus būtų galima teigti, kad regresinės analizės metodais nepavyko išaiškinti NH<sub>4</sub><sup>+</sup> junginių poveikio ypatumus skirtingų miško ekosistemų biotos komponentų kaitai. Reikšmingas SO<sub>2</sub> koncentracijų ore ir SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> koncentracijų krituliuose ir jų iškritų poveikis neleido atskleisti NH<sub>4</sub><sup>+</sup> junginių poveikio ypatumų. Tačiau atskleisti tie petys NO<sub>3</sub><sup>-</sup> koncentracijų skirtingose substancijos ir skirtingų miško ekosistemų biotos komponentų ryšio ypatumai laidžia manyti, apie egzistuojantį tarp jų priežastinį ryšį. Tolimesnis Kompleksiškos monitoringo programos vykdymas skirtinguose Lietuvos regionuose ateityje įgalins patvirtinti gautus rezultatus – azoto tarša nors ir nesiekianti priimtų kritinių normų (didžiausių leistinų koncentracijų) gali turėti reikšmingos įtakos miško ekosistemoms. Antravertus, detalesnių tyrimų reikalauja tirtų elenetų balancui vertinti (Kleemola and Forsius, 2006).

## Report on national ICP IM activities in Lithuania

The Finnish Environment, 26, 2007, 86-90.

A. Augustaitis<sup>1</sup>, G.Pivoras<sup>1</sup>, D. Sopauskiene<sup>2</sup>, I. Baužienė<sup>3</sup>,

<sup>1</sup> Lithuanian University of Agriculture, LT-53362 Kaunas distr., Lithuania,

e-mail: [algirdas.augustaitis@nora.lzua.lt](mailto:algirdas.augustaitis@nora.lzua.lt)

<sup>2</sup> Institute of Physics, Savanoriu 231, LT-02300, Vilnius, Lithuania,

e-mail: [daliasop@ktl.mii.lt](mailto:daliasop@ktl.mii.lt)

<sup>3</sup> Institute of Geology and Geography, T. Sevcenkos 13, LT-02300, Vilnius, Lithuania,

e-mail: [bauziene@geo.lt](mailto:bauziene@geo.lt),

### Introduction

Sulphur emissions have declined in Europe by 67% since the early 1980s due to enactment of strict pollution control strategies whereas nitrogen emissions remained fairly constant. Therefore, even after a complete implementation of the Gothenburg Protocol and other current legislation the effect of N deposition with commensurate adverse biological effects still remains the most relevant problem to address in Europe as well as in the USA and Canada.

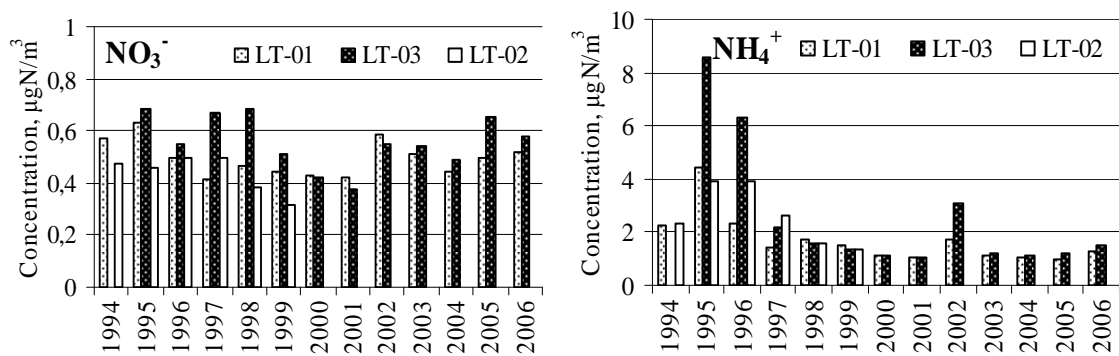
The study focuses on the analysis of specific effects of  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  concentration in the air and their deposition on N enrichment processes in N limited forest ecosystems.

### N concentration in the air and N atmospheric deposition fluxes

The most significant decrease in nitrogen compounds in the air lasted until 2001.  $\Sigma\text{NH}_4^+$  concentration in the air at LT03 decreased by 86%, at LT02 by 65%. For 2002, a slight increase in the concentration was recorded. Afterwards,  $\Sigma\text{NH}_4^+$  concentration in the air was stable at the level of 1.1 – 1.3  $\mu\text{g N m}^{-3}$  both at LT01 and LT03.

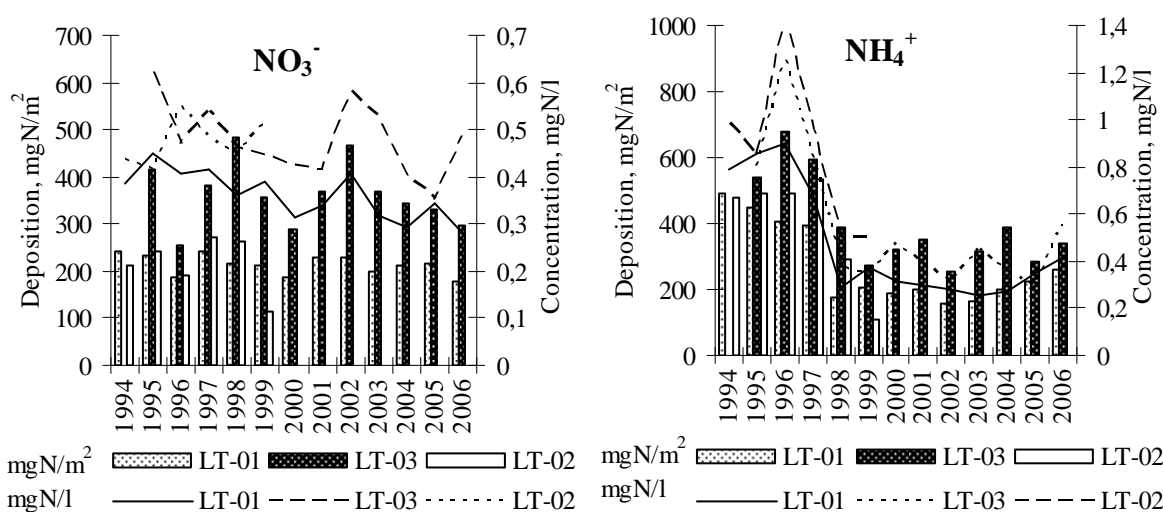
Although annual means of  $\Sigma\text{NO}_3^-$  concentration in the air were quite stable 0.5-0.7  $\mu\text{g N m}^{-3}$  over the entire period considered at all stations, an increase in mean annual concentration of  $\Sigma\text{NO}_3^-$  since 2001 has been observed (Figure 1).

The changes in annual wet deposition for the period 1994-2005 had a very similar pattern to that in the air: the decrease in annual wet deposition of  $\text{NH}_4^+$  and no significant change in wet deposition of  $\text{NO}_3^-$  (Figure 2).



**Figure 1.** Changes in mean annual concentrations of  $\Sigma\text{NH}_4^+$  and  $\Sigma\text{NO}_3^-$  in the air over 1994-2005.

(LT01 – Aukstaitija IM site, LT02 – Dzukija IM site, LT03 – Zemaitija IM site)



**Figure 2.** Changes in  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  depositions, and concentrations in precipitation.

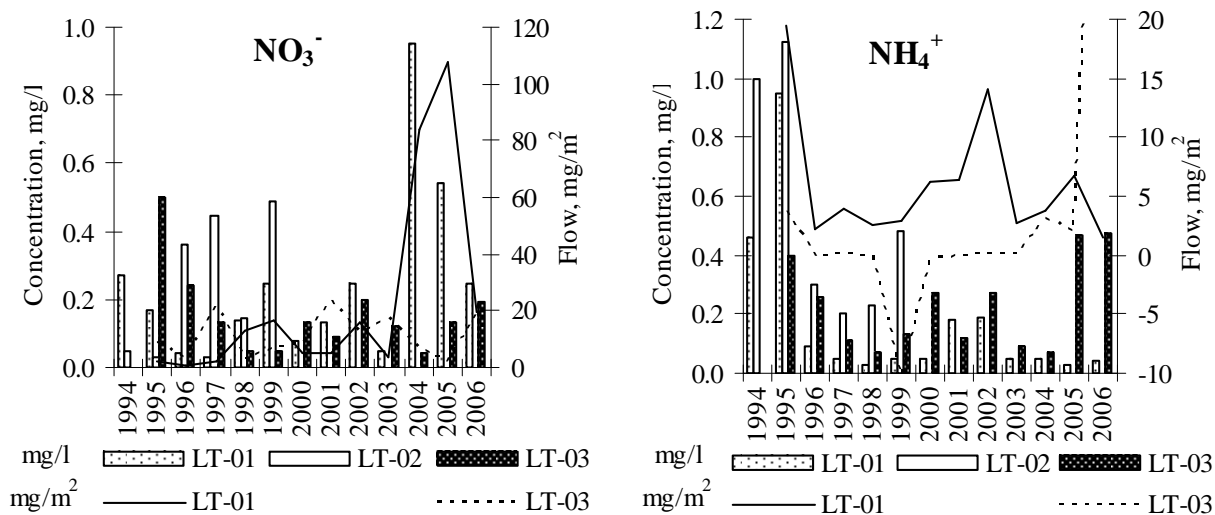
(LT01 – Aukstaitija IM site, LT02 – Dzukija IM site, LT03 – Zemaitija IM site)

Analysis of the spatial pattern of regional pollution level revealed that Western and Southern parts of Lithuania were more polluted by N compounds, which is most likely related to the proximity of these areas to the major pollutant sources in Central Europe as well as to the difference in the amount of precipitation.

### N concentrations in soil, ground and runoff water and their flows

In the first part of the period considered, i.e. from 1994 to 1999, soil water at LT02 was more contaminated with  $\text{NO}_3^-$  than in the other stations and demonstrated a significant upward trend. At LT01 the upward trend for the period 1994-2003 was not as significant. Since 2004, however, a considerable increase in concentrations has been observed. At LT03 a downward trend in  $\text{NO}_3^-$  concentration in soil water was detected (Figure 3).

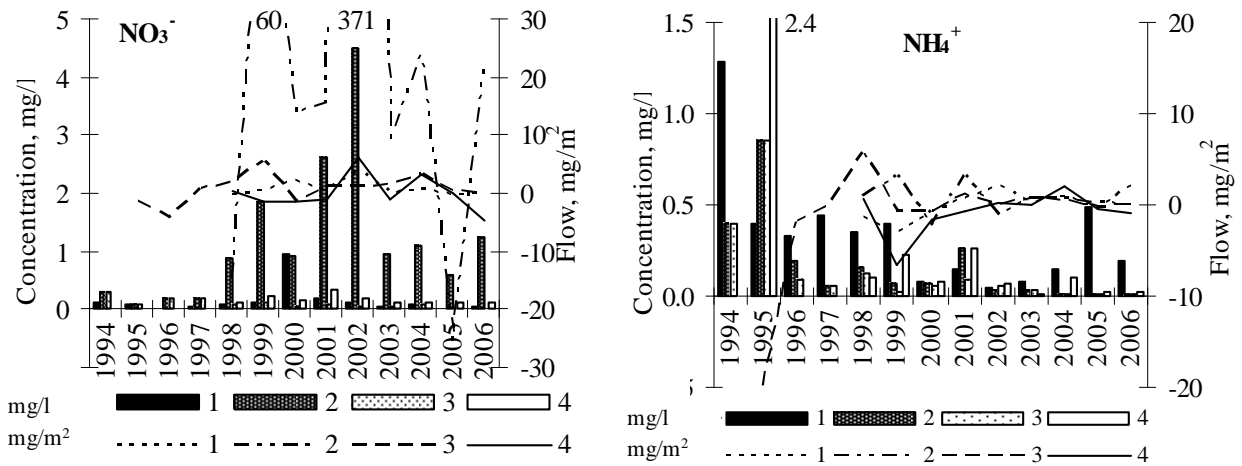
In LT01 a significant downward trend in  $\text{NH}_4^+$  concentration in the soil water was detected. Similar changes in this compound were detected at LT02 for the period, when it was in operation. Contrary to these, at LT03 no significant trend was detected (Figure 3).



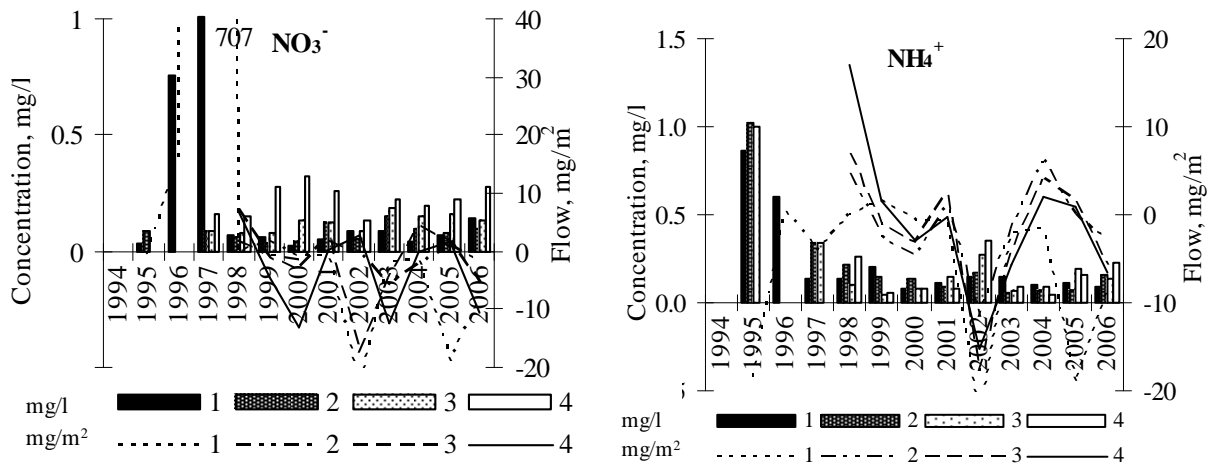
**Figure 3.** N concentrations in soil water and flows at 20 cm deep at IM sites.

In the first years of observation (1995-1997) flow of  $\text{NO}_3^-$  in the soil water of all IM stations were the lowest: 5-10  $\text{mg N m}^{-2}$  per year. Afterwards, at LT01  $\text{NO}_3^-$  flow in soil water had a tendency to increase and over the last 2-year period 2004-2005 reached the highest level, 80–120  $\text{mg N m}^{-2}$  per year, i.e. increased 8-12 fold if compared to 1995–1997. Changes at LT03 were not so pronounced, however, started earlier and lasted longer – in 1997  $\text{NO}_3^-$  flow increased up to 22  $\text{mg N m}^{-2}$  per year. In 2001  $\text{NO}_3^-$  flow reached the maximum value over the entire observation period 24–47  $\text{mg N m}^{-2}$ , i.e. 2-4 fold exceeded the flows of 1995–1996. Contrary to LT01, in 2002–2005 the flows of  $\text{NO}_3^-$  in soil water at LT03 decreased.

N concentrations in ground water were investigated at 4 bores in each stations.  $\text{NO}_3^-$  concentrations in the ground water of LT01 had no statistically significant trends, with the exception of bore No 2, where over the period from 1999 to 2002 its concentration increased drastically (Figure 4). These changes resulted in the highest  $\text{NO}_3^-$  flow which lasted till 2005. In the rest of bores, the changes were insignificant. At LT03  $\text{NO}_3^-$  concentrations in ground water of the shallow bores had a tendency to decrease, whereas in the deeper bores – a tendency to increase (Figure 5). These changes resulted in the highest  $\text{NO}_3^-$  flow in the deeper bores in 1998, 2002 and 2005, and in the shallow bores in 1996-1997.



**Figure 4.** N concentrations and flows at different ground water depths at Aukstaitija IM site (LT01)



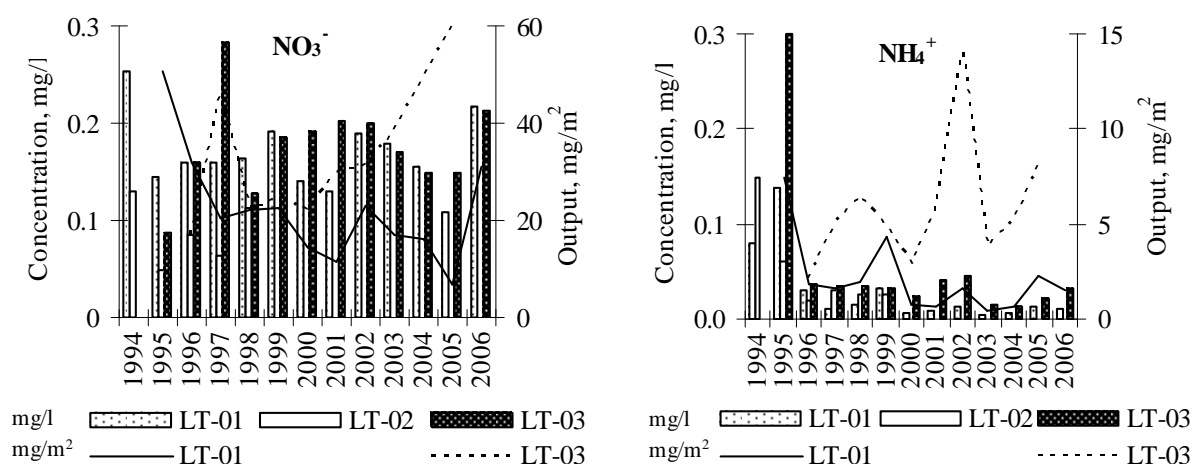
**Figure 5.** N concentrations and flows at different ground water depths at Zemaitija IM site (LT03)

$\text{NH}_4^+$  concentration in ground water had a tendency to decrease in all bores of all IM stations, however  $\text{NH}_4^+$  flow at LT01 had a tendency to increase, reaching the highest values in 1998, 2002 and 2004. Meanwhile at LT03  $\text{NH}_4^+$  concentration in ground water had a tendency to decrease (Figure 4 and 5).

The comparison of the means of concentrations of considered chemical components in soil and ground water of all three stations over the considered period, revealed higher concentrations of many parameters at Dzukija (LT02). Most likely it might be attributed to good filtrational features of the continental dune sand. Recently, higher concentrations of these components have also been observed at LT03.

Concentration of  $\text{NO}_3^-$  in runoff water had no significant trends over the considered period at all stations. However, some increase at LT01 and LT03 from 1994(95) to 1999(2001) and some

decrease afterwards until 2005 was observed. Concentration of  $\text{NH}_4^+$  in runoff water had a tendency to decrease at all considered stations over the entire observation period (Figure 6).



**Figure 6.** N concentrations in runoff water and their output at IM Stations

Despite similar character of the changes in  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  concentrations in runoff water there was an evident difference in their output. Over the period considered output of both N compounds had a tendency to decrease at LT01, whereas at LT03 - to increase.

### N mass balance

The observed data revealed that nitrogen balance on all IM sites exhibited obviously similar trends – the amount of nitrogen inflow into the system was much greater than its elimination from the catchments. At LT01 the content of nitrogen output made up only 2-5% of the input, at LT03 2-4%. The variations between N input and output at the IM sites were rather small. The amount of precipitation had no influence. The great difference between the high input of nitrogen (in the form of compounds) and its low output from the system may be accounted for the fact that a great part of nitrogen is fixed in the biosphere.

The peculiarities of concentrations of nitrogen and sulphur compounds in precipitation may be explained by western transport which partly refutes the common assumption that the greatest amounts of acidifying chemical components in precipitation are transported to Lithuania with south-easterly winds. The outputs of nitrogen with runoff water on IM sites are rather variable. Individual features of the catchments – vegetation specifics were key contributing factors. At LT01 and LT03 the nitrogen balances reveal great amounts of nitrogen accumulated in the investigated geosystems – about  $1000 \text{ kg/km}^2/\text{year}$  at LT01 and about  $600 \text{ kg/km}^2/\text{year}$  at LT03.



## 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 NO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub> 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. *Hydro 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.
- Kopozski, 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 CO<sub>2</sub> 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.

*Papildoma literatūra*

1. R. O. Gilbert, (1987). Statistical methods for environmental pollution monitoring. Van Nostrand Reinhold, New York.
2. 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.
1. M.L.Lee, M.V. Novotny, K.D.Bartle (1981) Analytical chemistry of polycyclic aromatic compounds. Academic Press, New York.
2. A.Milukaite, V.Ulevicius (2004). Evaluation of traffic influence on wide aerosol particle spectrum and polycyclic aromatic hydrocarbons concentration in city atmosphere. *J. Environmental and Chemical Physics*, 26, 3, p. 90-98.
3. S.O.Baek, M.E.Goldstone, P.W.Kirk, J.N.Lester, R.Perry (1991) Phase distribution and particle size dependency of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere. *Chemosphere*, 22, 503-520.
4. 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.
5. Borstrom-Lunden E., Lindskog A., Mowrer J. (1994). Concentrations and fluxes of organic compounds in the atmosphere of the Swedish west coast. *Atmospheric Environment*, 28, 22, 3605-3615.
6. Bodzek D., Luks-Betlej K., Warzecha L. (1993). Determination of particle – associated polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air samples from the upper Silesia region of Poland. *Atmospheric Environment*, 27A, 5, 759-764.
7. A.Milukaite (2006). Long-term trends of benzo(a)pyrene concentration on the eastern coast of the Baltic Sea.. *Atmospheric Environment*, 40, 2046-2057.
8. A. Milukaitė, A. Mikelinšienė B. Giedraitis (2001). Characteristics of NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, benzo(a)pyrene and soot concentration variation at the eastern coast of the Baltic sea. *J. Water Air and Soil Pollution*, **130**, 1553-1558.

9. D. Čeburnis. (1997) Qualitative and quantitative estimation of atmospheric trace metal deposition. PhD thesis, Institute of Physics, Vilnius, Lithuania.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. W. Salomons, U. Förster. (1984) Metals in the hydrocycle. Springer-Verlag. 352 p.
14. А.А. Милукайте. Тонкоструктурная спектрофлуориметрия. Метод добавок. В кн.: Унифицированные методы мониторинга фоновое загрязнение природной среды. Совет экономической взаимопомощи. Москва, "Гидрометеиздат", 1986, с. 103-112.
15. J. Šakalys, J. Švedkauskaitė and D. Valiulis. (2003) Estimation of heavy metal wash-out from the atmosphere. Environmental and Chemical Physics (Vilnius), **25** (1), 16-22.
16. J. Šakalys, K. Kvietkus, D. Valiulis. (2004) Variation tendencies of heavy metal concentrations in the air and precipitation. Environmental and Chemical Physics, (Vilnius), **26** (2), 61-67.
17. A. Bukantis (1994). Lietuvos klimatas. Vilnius, VU, 187 p.
18. A. Milukaite, A. Mikelinskiene, I. Lyulko, M. Frolova (2004). Differences in benzo(a)pyrene concentration in atmospheric air on a regional scale. J. Environmental and Chemical Physics, 26, 1, p. 14-21.
19. 2004 m. gruodžio 15 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2004/107/EB dėl arseno, kadmio, gyvsidabrio, nikelio ir policiklinių aromatinių angliavandenių aplinkos ore.