

Sąlygiškai natūralių ekosistemų kompleksiškas monitoringas

Dešimtmečio rezultatai

Vilnius, 2006

UDK 630(474.5)
Sa-107

Leidiny skirtas
SĄLYGIŠKAI NATŪRALIŲ EKOSISTEMŲ KOMPLEKSIŠKO MONITORINGO 10-mečiui

Leidinį rengė:

dr. Algirdas Augustaitis, Lietuvos žemės ūkio universiteto Miškų monitoringo laboratorija
dr. Kęstutis Arbačiauskas, Vilniaus universiteto Ekologijos institutas
dr. Ieva Baužienė, Geologijos ir geografijos institutas
prof. habil. dr. Irena Eitminavičiūtė, Vilniaus universiteto Ekologijos institutas
dr. Raselė Girgždienė, Fizikos institutas
dr. Almantas Kliučius, Lietuvos žemės ūkio universiteto Miškų monitoringo laboratorija
dr. Reda Mažeikytė, Vilniaus universiteto Ekologijos institutas
dr. Gintautas Mozgeris, LŽŪU GIS mokymo ir mokslo centras
dr. Valerijus Rašomavičius, Botanikos institutas
dr. Dalia Šopauskienė, Fizikos institutas

Recenzentai:

prof. habil. dr. Romualdas Juknys, Vytauto Didžiojo Universiteto Aplinkotyros katedra
doc. dr. Aloyzas Girgždys, Vilniaus Gedimino technikos universiteto
Branduolinės hidrofizikos laboratorija
dr. Gaudenta Sakalauskienė, Aplinkos apsaugos agentūra
doc. dr. Mudis Šalkauskas, Lietuvos chemikų draugijos, Lietuvos metalo ekologų draugijos ir
Lietuvos kompiuterininkų sąjungos narys

Redagavo **Inesa Oranskytė**

Nuotraukos:

A. Augustaičio, G. Pivoro, R. Barausko, K. Arbačiausko, M. Kirstuko

Turinys

<i>Ivadas</i>	5
I. SĄLYGIŠKAI NATŪRALIŲ EKOSISTEMŲ KOMPLEKSIŠKO MONITORINGO PROGRAMA	7
1.1. Kompleksiško ekosistemų monitoringo atsiradimo prielaidos	8
1.2. Programos koncepcija, tikslas ir uždaviniai	9
1.3. Tyrimų metodai, apimties ir parametrai	10
<i>Santrauka</i>	16
II. KOMPLEKSIŠKO MONITORINGO STOTYS IR JŲ CHARAKTERISTIKA	17
2.1. Aukštaitijos kompleksiško monitoringo stotis	18
2.2. Dzūkijos kompleksiško monitoringo stotis	22
2.3. Žemaitijos kompleksiško monitoringo stotis	23
<i>Santrauka</i>	24
III. APLINKOS BŪKLĖ IR JOS POKYČIAI	25
3.1. Meteorologiniai veiksniai ir augaviečių drėgmės režimas	26
3.2. Dujinių ir aerosolinių priemaišų ore koncentracijos ir jų kaita	28
3.3. Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos krituliuose ir jų šlapieji srautai	32
3.4. Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos polajiniuose krituliuose	37
3.5. Pažemio ozonas	40
3.6. Dirvožemio, gruntinio ir upelio vandens cheminė sudėtis bei pagrindinių elementų išnaša	44
3.7. Sunkieji metalai ir jų srautai miško ekosistemose	50
<i>Santrauka</i>	61
IV. BIOTOS KOMPONENTŲ POKYČIAI IR JUOS SĄLYGOJANTYS VEIKSNIAI	63
4.1. Miško ekosistemų augalijos monitoringas	64
4.1.1. <i>Medynų būklės pokyčiai ir juos sąlygojantys veiksniai</i>	64
4.1.2. <i>Augmenijos rūšinės įvairovės ir gausumo monitoringas</i>	73
4.1.3. <i>Epifitinių kerpių rūšinės įvairovės ir gausumo monitoringas</i>	77
4.1.4. <i>Žaliadumblių gausumo monitoringas</i>	80

4.2. Faunos įvairovės ir gausumo monitoringas	82
4.2.1. <i>Pedobiontų rūšinės įvairovės ir gausumo monitoringas</i>	82
4.2.2. <i>Upelių bentofaunos monitoringas</i>	87
4.2.3. <i>Smulkiųjų žinduolių monitoringas</i>	92
<i>Santrauka</i>	97
Baigiamasis žodis	99
Santrumpos	105
Literatūra	106

Ivadas

Šiaurės šalių Ministrų Taryba 1992 m. visoms trims nepriklausomybę atkūrusioms Baltijos valstybėms pasiūlė prisijungti prie Tarptautinės kompleksiško (integruoto) monitoringo (toliau – KM) programos ir skyrė tam reikalingą finansinę bei metodinę paramą. 1993 m. tuometinis Aplinkos apsaugos departamentas, vadovaujant Mokslo valdybos viršininkui prof. R. Jukniui, šią programą inicijavo Lietuvoje.

Nuo pat pirmųjų KM programos įgyvendinimo metų joje aktyviai dalyvavo specialistai iš Aplinkos apsaugos agentūros (buvęs Aplinkos ministerijos Jungtinis tyrimų centras; upelių hidrocheminis monitoringas, nuokritų cheminis monitoringas, duomenų kaupimas), mokslininkai iš Botanikos instituto (žolinės augalijos ir iki 2003 m. toksinių medžiagų susikaupimo indikatorinėse rūšyse monitoringas), Fizikos instituto (oro ir kritulių užterštumo monitoringas), Geologijos ir geografijos instituto (dirvožemio, dirvožemio vandens ir gruntinio vandens bei upelio vandens monitoringas), Vilniaus universiteto Ekologijos instituto (smulkiųjų žinduolių, dirvožemio mikroartrpodų, upelio makrobentoso rūšinės įvairovės ir gausumo monitoringas) bei Lietuvos žemės ūkio universiteto Miškų monitoringo laboratorijos (medynų inventorizacija ir jų biomasės, būklės, vystymosi procesų, medžių pažeidimų, epifitinių kerpių, žaliadumblių, fotosintetiškai aktyvios Saulės spinduliuotės po augalijos dangą ir nuokritų monitoringas). Nuo 1998 m. kompleksiškas ekosistemų monitoringas tapo sudėtine Valstybinės aplinkos monitoringo programos dalimi.

Šio leidinio tikslas – apibendrinti sąlygiškai natūralių miško ekosistemų tyrimo rezultatus per 10 metų laikotarpį ir supažindinti skaitytoją su foniniu aplinkos užterštumu sieros, azoto junginiais, sunkiaisiais metalais bei ozonu, jų kaitos tendencijomis, taip pat su natūraliais aplinkos veiksniais, kompleksišku jų poveikiu miško ekosistemoms.

Leidinį sudaro keturi pagrindiniai skyriai. Pirmajame skaitytojas supažindinamas su aplinkos monitoringo raida Lietuvoje, pagrindinėmis priežastimis, lemiančiomis sąlygiškai natūralių ekosistemų kompleksiško monitoringo programos atsiradimą, su šios programos tikslais, uždaviniais ir pagrindiniais metodiniais aspektais.

Antras skyrius skirtas kompleksiško monitoringo stočių (toliau – KMS) charakteristikoms apibūdinti. Čia pateikiami miškų inventorizacijos duomenys, taip pat informacija apie vyraujančius dirvožemius, augalijos bendrijas, geomorfologines ir dirvodarines šių teritorijų struktūras.

Trečiame skyriuje pateikiama aktualiausia ir naujausia informacija apie dujinių ir aerozolinių priemaišų ore koncentracijų bei jų srautų kaitą, vieno didžiausio biotos toksino ozono kitimo ypatumus, informacija apie aplinkos užterštumą sunkiaisiais metalais, jų pagrindines kitimo tendencijas.

Ketvirtame skyriuje spausdinama informacija apie biotos pokyčius. Šiame skyriuje nagrinėjama KMS teritorijose augančių miškų būklė, pagrindinės, vizualiai

nustatytos medžių pažeidimo priežastys ir jų poveikio medžių lajų būklei ypatumai. Pateikiami žolinės augalijos rūšinės sudėties ir padengimo intensyvumo tyrimo rezultatai. Daug dėmesio skirta atskirų ekosistemos komponentų bioindikacinių savybių tyrimams. Skelbiami epifitinių kerpių, oro užterštumo sieros oksidais bioindikatorių, rūšinės įvairovės, būklės ir gausumo, taip pat žaliadumblių, indukuojančių aplinkos užterštumą azoto junginiais, gausumo ant eglių spyglių tyrimo rezultatai. Antra šio skyriaus dalis skirta faunos rūšinės įvairovės ir gausumo tyrimams. Pateikiama informacija apie smulkiųjų žinduolių ir upelio makrobentosos rūšinę įvairovę ir gausumą. Išskirtinis dėmesys skirtas dirvožemio mikroartropodų ir jų struktūrinio funkcinio santykio, nuo kurio priklauso kuriamo humuso kokybė, tyrimų rezultatų analizei. Nustatytas aplinkos veiksnių poveikis tirtiems biotos komponentams.

Kiekvieno skyriaus pabaigoje pateikiama trumpa gautų rezultatų apžvalga išryškinant pagrindinius nustatytus gyvosios ir negyvosios aplinkos kaitos ypatumus bei sąlygojančius veiksnius, o pabaigoje – visų tyrimų rezultatų santrauka.



I. Sąlygiškai natūralių ekosistemų kompleksiško monitoringo programa

Algirdas Augustaitis

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 ir Šiaurės Amerikoje. Tai iš esmės ir lėmė aplinkos monitoringo programos atsiradimą Lietuvoje.

1.1. Kompleksiško ekosistemų monitoringo atsiradimo prielaidos

Tolimų tarpvalstybinių oro teršalų pernašų konvencija paskatino rengti naujas užteršto oro ir kritulių poveikio atskiriems biotos komponentams programas. 1980 m. pagal šią konvenciją buvo pradėtos vykdyti trys skirtingos monitoringo programos (UN-ECE, 1994), skirtos stebėti oro teršalų kaitą erdvės ir laiko atžvilgiu bei vertinti jų poveikį aplinkai. Šios tarptautinės programos buvo skirtos miškų, gėlių vandeniui, augalijai ir medžiagai monitoringui.

1988 m. UN/ECE rekomendavo dalyvaujančioms šalims imtis įgyvendinti 3 metų programą, vadinamą Kompleksišku (Integruotu) monitoringu (KM), mažuose upelių baseinuose, kuri ateityje turėtų tapti trečiuoju miškų monitoringo lygiu. Ši programa skirta nustatyti, vertinti ir prognozuoti sąlygiškai natūralių miško ekosistemų būklę bei jos ilgalaikius pokyčius, įvertinus tolimų oro teršalų (ypač sieros ir azoto junginių) pernašų, ozono ir sunkiųjų metalų poveikį, atsižvelgiant į regioninius ypatumus. 1992 m. buvo nutarta tęsti KM programos vykdymą pavadinus ją Oro teršalų poveikio ekosistemoms kompleksiško monitoringo tarptautine programa („International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems“ – ICP IM) (Manual of Integrated Monitoring..., 1993, 1997).

Šiaurės šalių Ministrų Taryba 1992 m. pasiūlė visoms trims nepriklausomybę atkūrusioms Baltijos valstybėms prisijungti prie Tarptautinės kompleksiško (integruoto) monitoringo programos ir skyrė tam reikalingą finansinę bei metodinę paramą. Lietuvos ir kitų šalių specialistams buvo sudaryta galimybė susipažinti su Šiaurės šalių kompleksiško monitoringo stočių (KMS) įranga ir darbu, buvo rengiamos įvairių sričių specialistų stažuotės. Vienas iš šios tarptautinės programos iniciatorių Lundo universiteto prof. Bengtas Nyłghardas buvo kelis kartus atvykęs į Lietuvą ir padėjo parinkti KMS vietas. Šios programos įgyvendinimo Lietuvoje ir stočių įrengimo darbus koordinavo tuometinis Aplinkos apsaugos departamento Mokslo valdybos viršininkas prof. R. Juknys.

Pagrindiniuose Lietuvos kraštovaizdžiuose buvo įkurtos 3 KMS minimalaus antropogeninio poveikio vietose, kurios buvo derinamos prie nacionalinių parkų (NP) infrastruktūros. 1993 m. buvo įsteigtos Aukštaitijos ir Dzūkijos KMS, o 1994 m. – trečioji Žemaitijos KMS. Visos šios stotys įkurtos minėtų NP rezervatinėse zonose. Šiose stotyse kompleksiška stebimi aplinkos komponentai ir juos jungiantys medžiagų srautai.

KM veikla apima atmosferos iškritų, paviršinio, gruntinio ir dirvožemio vandens, dirvožemio cheminės sudėties, taip pat elementų akumuliacijos biotoje ir išsiplovimo tyrimus. Tyrimai atliekami hidrologiškai uždaroje teritorijoje. Jų metu kiekybiškai įvertinami cheminių junginių srautai, keliaujantys per tiriamą ekosistemą, jų masių balansui bei ryšiui „priežastis (poveikis) ir pasekmė (efektas)“ nustatyti, taip gaunama išsami informacija apie skirtingus ekosistemos komponentus. Įvertinus visos ekosistemos būklę, išaiškėja jos kitimo priežastys ir ją sąlygojantys veiksniai. Tai leidžia prognozuoti ekosistemos būklę pakitus poveikio krūviams, susiformavus kitokiam medžiagų balansui, padidėjus atskirų ekosistemos komponentų apkrovoms besikeičiančio klimato sąlygomis.

Šioje programoje dalyvauja ir duomenis Aplinkos duomenų centrai Helsinkyje siunčia 22 Europos šalys.

1.2. Programos koncepcija, tikslas ir uždaviniai

Kompleksiško ekosistemų monitoringas pagrįstas mažų upelių baseinų koncepcija. Remiantis šia koncepcija, hidrogeologiniu požiūriu pakankamai gerai izoliuoti mažų upelių baseinai traktuojami kaip lauko laboratorijos, suteikiančios galimybę stebėti teršiančių ir maistinių medžiagų srautus, kontroliuoti jų balansą, stebėti ir vertinti jų poveikį vykstantiems biologiniams pokyčiams. Ši koncepcija gimė Švedijoje. Šalyse, kurių reljefas ir geologinė sandara gerokai skiriasi nuo Šiaurės šalių, tarp jų ir Lietuvoje, mažų upelių baseinai yra gerokai didesni ir dažniausiai juos sudaro ne viena, o kelios ar keliolika ekosistemų. Todėl ši monitoringo sistema tam tikra prasme galėtų būti traktuojama ne kaip ekosistemų, o kaip kraštovaizdžių kompleksiškas monitoringas (Juknys, 1999).

Pagrindinis kompleksiško ekosistemų monitoringo tikslas – nustatyti, vertinti ir prognozuoti sąlygiškai natūralių ekosistemų būklę bei jos ilgalaikius pokyčius, įvertinus tolimų 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.

Šios programos aplinkosaugos politikos tikslas – sudaryti sąlygas kompleksišškai vertinti tarptautinį tolimų oro teršalų pernašų poveikį ekosistemoms ir tuo remiantis teikti informaciją apie aplinkos pokyčių priežastis, stebėti teršalų apkrovas miško ekosistemoms, tikslinant jų kritines reikšmes, bei sudaryti mokslinį pagrindą emisijoms kontroliuoti.

Valstybinėje aplinkos monitoringo programoje 2005–2010 metams sąlygiškai natūralių ekosistemų monitoringui keliami uždaviniai labiau susieti su šios programos 3 pagrindinėmis paprogramėmis:

- nustatyti ir vertinti tolimas oro teršalų pernašas iš Vakarų ir Vidurio Europos valstybių bei išsklaidytą taršą iš nacionalinių šaltinių bei jų srautus ir kaitą pagrindiniuose Lietuvos kraštovaizdžio tipuose;

- nustatyti ir vertinti teršiančių medžiagų poveikį miško dirvožemių ir vandenų kokybei;

– vertinti teršiančių medžiagų poveikį miško ekosistemų komponentų būklei, atskiriant antropogeniškai sąlygotus pokyčius nuo natūralių pokyčių besikeičiančio klimato sąlygomis.

Visapusiškas sąlygiškai natūralių ekosistemų KM programos įgyvendinimas padeda 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.

1.3. Tyrimų metodas, apimtis ir parametrai

KMS stebėjimų tinklas sukurtas laikantis intensyvaus monitoringo principo. Tai reiškia, kad stebėjimo objektų (šiuo atveju mažų baseinų) skaičius yra palyginti nedidelis ir jie parenkami vadovaujantis specialiais kriterijais, o ne statistinės atrankos metodais (Juknys, 1999; Manual of Integrated..., 1993, 1997).

Parinkant KMS vietą buvo laikomasi šių reikalavimų:

1. Upelio baseino dydis turi būti ne mažesnis kaip 10 ha ir ne didesnis kaip 1 000 ha. Pageidautina, kad turėtų panašios žemėnaudos buferinę (apsauginę) zoną.

2. Upelio baseine turėtų būti neatliekama jokia ūkinė veikla (arba labai ribota ir griežtai kontroliuojama). Rekomenduojama, kad baseinas turėtų saugomos teritorijos statusą.

3. Atstumas iki artimiausio lokalaus teršimo šaltinio (pramonės, energetikos objektų) būtų ne mažesnis kaip 50 km.

4. Upelio baseinas turi būti hidrologiškai izoliuotas ir geologiniu požiūriu homogeniškas.

5. Upelio baseino miško ekosistemos turi būti tipingos tam regionui ir minimaliai antropogenuotos.

Stebimi parametrai yra parinkti taip, kad sudarytų galimybę įvertinti biogeninių ir teršiančių medžiagų balansą bei nustatyti vykstančių pokyčių „priežastis – pasekmė“ ryšius.

Detali informacija apie parametrus, kurie buvo tirti KMS 1993–2004 m. ir planuojami tirti ateityje, t. y. 2005–2010 m., yra pateikta 1.1. lentelėje. Išskirtose baseinų teritorijose atliekami dirvožemio ir jo vandens, gruntinio ir paviršinio vandens, taip pat polajinių kritulių, lapijos ir nuokritų cheminės sudėties, augmenijos, žaliadumblių bei epifitinių kerpių tyrimai kartu su upelio makrobentosos ir dirvožemio pedobiontų rūšinės įvairovės, gausumo bei būklės stebėjimais. Tačiau tik oro monitoringo stotys įsteigtos atokiau nuo paties baseino. Šiose stotyse, be oro teršalų stebėjimo, matuojami fiziniai ir meteorologiniai parametrai, atliekamas atviroje vietoje iškrintančių kritulių monitoringas.

1.1. lentelė. Pagrindiniai matuojami kompleksiško ekosistemų monitoringo parametrai ir periodiškumas

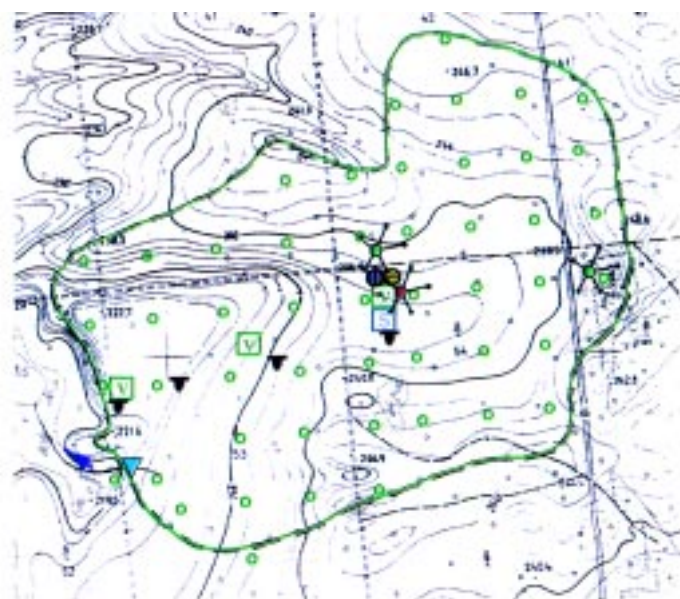
Priemonės pavadinimas	Parametrai, tirti 1994–2003 m. laikotarpiu	Papildomi parametrai 2005–2010 m.	Stebėjimų dažnumas – periodiškumas
Fiziniai ir meteorologiniai matavimai	Momentinis kritulių kiekis (mm); oro temperatūra, dirvos temperatūra (-5, -10, -20 cm gylyje) (°C); santykinis drėgnumas (%); vėjo kryptis (laipsniais); vėjo greitis (m/s); bendroji Saulės spinduliuotė (W/m ²); fotosintetiška Saulės spinduliuotė (FAS) (W/m ²); UV-B spinduliuotė (W/m ²)		Nuolatos
Oro cheminiai matavimai	SO ₂ -S, SO ₄ -S, NO ₂ , NO ₃ +HNO ₃ , NH ₃ +NH ₄ , O ₃ (µg/m ³)		Kas savaitę; O ₃ – nuolatos
Kritulių cheminiai matavimai	Kritulių kiekis, (mm); pH; NO ₃ -N, NH ₄ -N, SO ₄ -S, Cl, K, Na, Ca (mg/l); specifinis elektros laidumas (µS/cm); Alk (šarmingumas, jeigu pH>5) (µeq/l)	N _{bendras} , P _{bendras} , S _{bendra} , PO ₄ -P, Mg (mg/l); Al, Cd, Cu, Pb, Ni, Mn, Fe, Cr, Zn (µg/l)	Kas savaitę
Polajinių kritulių cheminiai matavimai	Kritulių kiekis (mm); pH; NO ₃ -N, NH ₄ -N, Cl, K, Na, Ca, SO ₄ -S (mg/l); specifinis elektros laidumas (µS/cm); Alk (šarmingumas jeigu pH>5) (µeq/l)	N _{bendras} , P _{bendras} , S _{bendra} , PO ₄ -P, Mg (mg/l)	Kas mėnesį
Dirvožemio cheminiai matavimai	pH(CaCl ₂), bendra org. C (mg/kg); mainūs K, Na, Ca, Mg, Al rūgštingumas (meq/kg); mainūs rūgštingumas (H+AL) (meq/kg); dirvožemio tankis (kg/m ³), pH (H ₂ O); Cd, Cu, Pb, Ni, Cr, Zn (mg/kg); sorbcinis imlumumas (meq/kg); pasotinimo bazinis laipsnis (%) <u>Dirvožemio profilis (nustatoma tik vieną kartą):</u> dirvožemio tipas (pagal tarptautinę FAO klasifikaciją); dirvodarinė uoliena, horizontai, humuso forma, horizontų storis (cm); <i>Munsello</i> spalvinis kodas, granulimetrinis sudėtis, skeletingumas, dalelių dydžių pasiskirstymas (%)	N _{bendras} , P _{bendras} (mg/kg) mainūs Mn, Fe (meq/kg)	Kas 5 metai

Priemonės pavadinimas	Parametrai, tirti 1994–2003 m. laikotarpiu	Papildomi parametrai 2005–2010 m.	Stebėjimų dažnumas – periodiškumas
Dirvožemio vandens cheminiai matavimai	pH ₂₅ , specifinis elektros laidumas (mS/m); Alk (šarmingumas, jeigu pH>4,5) (µeq/l); NO ₃ -N, NH ₄ -N, N _{bendras} , P _{bendras} , Cl, K, Na, Ca, Mg, SO ₄ -S, ištirpusi org. C, SiO ₂ (mg/l), N _{organinis} (mg/l), Al _{bendras} ; PO ₄ -P, S _{bendras} , Cd, Cu, Pb, Ni, Mn, Fe, Cr, Zn (µg/l); dirvožemio drėgmė (m ³ /m ³), dirvožemio vandens srautas (l/s×km ²)	Al _{aisvas} (jeigu pH<4.5), S _{bendras} (µg/l)	Kas mėnesį, sunkieji metalai – kas 3 mėnesiai
Gruntinio vandens cheminiai matavimai	Gylis (cm); pH, specifinis elektros laidumas (mS/l); NH ₄ -N, NO ₃ -N, N _{bendras} , SO ₄ -S, ištirpusi org. C, K, Na, Ca, Mg, Cl, P _{bendras} , S _{bendras} , SiO ₂ (mg/l); Alk (šarmingumas) (mmol/l), Al _{bendras} ; PO ₄ -P, Cd, Cu, Pb, Ni, Mn, Fe, Cr, Zn (µg/l)	Al _{aisvas} (µg/l)	Kas 2 mėnesiai, sunkieji metalai – 3 kartus per metus
Upelių vandens cheminiai matavimai	Nuotakis (l/s×km ²); vandens temperatūra (°C); pH, specifinis elektros laidumas (mS/m); Alk (šarmingumas) (mmol/l); K, Na, Ca, Mg, SO ₄ -S, Cl, ištirpusi org. C, O ₂ , SiO ₂ , N _{bendras} , NH ₄ -N, NO ₃ -N (mg/l); P _{bendras} , S _{bendras} , PO ₄ -P, Al _{bendras} , Cd, Cu, Pb, Ni, Mn, Fe, Cr, Zn (µg/l)	Al _{aisvas} (µg/l)	Kas mėnesį, sunkieji metalai – kas 3 mėnesiai
Lapijos cheminiai matavimai	Paprogramą nebuvo vykdoma	1 000 spyglių / 100 lapų orasaukmas (g); S _{bendras} , N _{bendras} , P _{bendras} , C _{bendra org.} , C, K, Ca, Mg (mg/g); Na, Zn, Mn, Fe, Cu, Cl, Cd, Pb, Al, Cr, Ni (µg/g)	Kasmet

Priemonės pavadinimas	Parametrai, tirti 1994–2003 m. laikotarpiu	Papildomi parametrai 2005–2010 m.	Stebėjimų dažnumas – periodiškumas
Nuokrit. cheminiai matavimai	Nuokrit. kiekis (g/m^2); Na, Mn, Cu, Cd, Pb, Cr ($\mu\text{g}/\text{g}$)	S_{bendras} , N_{bendras} , P_{bendras} , $C_{\text{bendra.org}}$, K, Ca, Mg (mg/g); Fe; Cl, Al, Ni ($\mu\text{g}/\text{g}$); destrukcijos greitis (%)	Kas 3 metus, nesiai, destrukcija kas 5 metai
Sumedėjusios augmenijos stebėjimai	Kamieno skersmuo (cm); medži. aukštis, lajos plotis ir aukštis (m); laj. padengimas (%); ruš. sud. t. medži. bukl. (klas., kiekis); biomas. (t); bioelementai, bioelement. metinis pokytis (kg/ha); medži. pažeidimai, lajos defoliacija, dispigmentacija (%); fotosintetiška Saulės spinduliuot. (FAS) po augalijos dangą ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)	O_3 – pažeidimai	Kas 5 metai, bukl. ir FAS kasmet
Žolinės augmenijos stebėjimai ir cheminiai matavimai	Ruš. sud. t., fertilumas (klas.); dažnumas, padengimas (%)	Įvairovės indeksai, Cd, Cu, Cr, Fe, Ni, Pb, Zn, Mn, Hg (mg/kg)	Kas 5 metai KMS baseine, sunkieji metalai, kasmet
Upeli. hidrobiologiniai stebėjimai	Bentofaunos ruš. sud. t., gausumas ($\text{ind.}/\text{m}^2$); biomas. (g/m^2); Shannon-Wiener'io įvairovės indeksas; biotinis indeksas		Kasmet – 2 kartus per metus (pavasari ir rudenį)
Epifitini. kerpi. stebėjimai	Ruš. sud. t., dažnumas, padengimas (%); maksimalus ilgis (cm); gyvybingumas (klas.); medžio rušis ir kamieno skersmuo (cm)	Bendrija, sud. t. pokytis, augimo greitis	Visame baseine – kas 5 metai, bendrij. – kasmet
Sausumos žaliadumbl. stebėjimai	Egli. spygli. amžius (m.); spygli. kiekis (%), spygli. padengimas dumbliais (%), kodas); medžio kamieno skersmuo (cm)		Kasmet
Dirvožemio faunos apskaita	Pedobiont. tankumas ($\text{ind.}/\text{m}^2$) ir kompleks. struktūra		Kas 5 metai
Smulki. žinduoli. apskaita	Ruš. sud. t., gausumas, ruš. įvairovės indeksas; sunkieji metalai	Paprogram. vykdymas sustabdytas	Kasmet, sunkieji metalai – kas 5 metai

Rezultatų pilną reprezentatyvumą užtikrina skirtingo detalumo ir apimties tyrimų darna t. y. visoje baseino teritorijoje vykdomų ekstensyvių tyrimų rezultatus papildo intensyvių – tik pagal atitinkamus reikalavimus atrinktose vietose atliktų tyrimų rezultatai. Taip surinkti duomenys leidžia siekti pagrindinio programos tikslo – nustatyti tolimų oro teršalų (ypač sieros ir azoto junginių) pernašų, ozono ir sunkiųjų metalų kaitos regioninius ypatumus bei įvertinti jų poveikį gyvajai ir negyvajai aplinkai atsižvelgiant į visuotinį klimato atšilimą.

Ekstensyvus monitoringas apima visą baseino teritoriją. Skrituliniai ploteliai išdėstomi pagal kvadratinį tinklelį arba išilgai transektų tokiu tankumu, kad bendras jų skaičius baseine būtų apie 50 vnt. Rekomenduojama, kad mažiausiems medynams, kurių plotas yra 0,25 ha, tektų bent 2 tyrimo ploteliai. Šie ploteliai naudoja-



Intensyvus monitoringas

- V Augalijos
- S Dirvožemio ir dirvožemio vandens
- Pajūrinų kritulių
- ▼ Upelių hidrometrijos ir hidrochemijos
- Nuokritų
- ▼ Gruntinio vandens

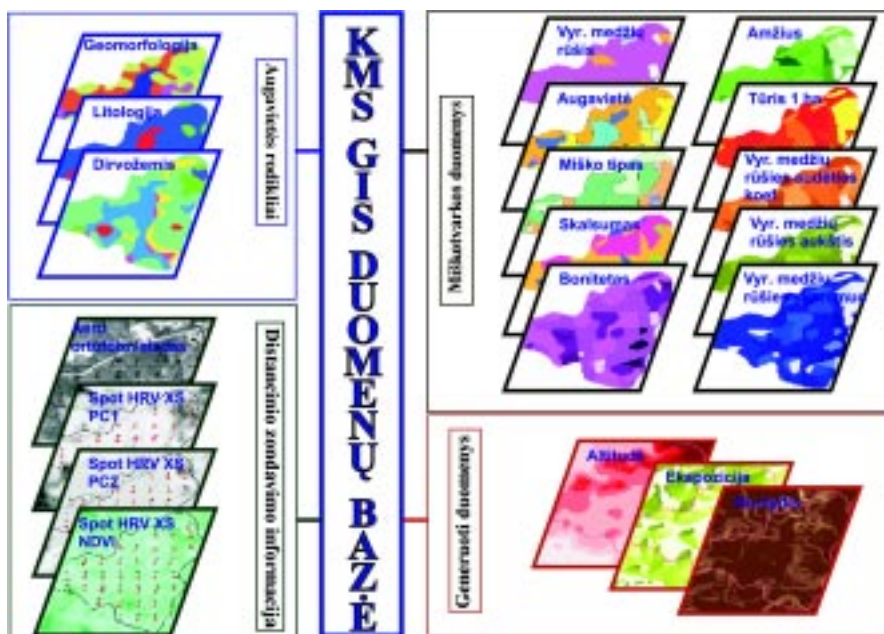
Ekstensyvus monitoringas

- Augalijos rūšinės sudėties, struktūros, biomasės ir bioelementų bei medžių pažeidimų
- ✱ Žaliadumblių
- ✱ Epifitinių kerpių

1.1. pav. KM stoties stebėjimų sistema

mi pradinei augalijos inventorizacijai (nurodant gausumą ir padengimo procentą) ir augalinės dangos struktūrai, padengimo intensyvumui, biomasei ir bioelementams nustatyti, taip pat medžių būklei vertinti.

Intensyvaus monitoringo sistemą sudaro augalijos ir dirvožemio monitoringo intensyvaus tyrimo stacionarai (ITS), kurie yra kvadratinės formos ir priklausomai nuo medžių tankumo ir vientisumo yra 40 x 40 m ir 50 x 50 m dydžio. ITS paprastai kuriami šalia, kad jų augalija ir dirvožemis būtų identiški. Dažniausiai baseine išskiriama tik po vieną intensyvaus augalijos monitoringo ir dirvožemio monitoringo plotelį, tačiau siekiant geriau reprezentuoti baseino įvairovę, rekomenduojama, kad jie būtų įkurti labiausiai paplitusiuose miško tipuose. Atskiri ITS įkuriami ir smulkiųjų žinduolių, dirvožemio pedobiontų bei upelio makrobentos rūšinei įvairovei ir gausumui stebėti.



1.2 pav. Kompleksiško monitoringo stoties principinės GIS duomenų bazės schema

Prieš visų tyrimų pradžią išskirtuose upelių baseinuose atliekama detali jų inventorizacija, sudaromi įvairūs žemėlapiai, kurių mastelis yra 1:5 000 ir 1:10 000. Tai baziniai žemėlapiai, kuriuose žymimos baseino ir pagrindinių augalijų bendrijų ribos, upelio vaga ir visi atliekamų stebėjimų punktai bei geomorfologinis, dirvodarinės uolienos; dirvožemio tipų žemėlapis ir medynų planas. Visa ši medžiaga sudaro KMS geografinės informacinės sistemos (GIS) duomenų bazę.

Kompleksiško ekosistemų monitoringo tikslas – nustatyti, vertinti ir prognozuoti sąlygiškai natūralių ekosistemų būklę bei jos ilgalaikius pokyčius, įvertinus tolimų 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. Tikslui įgyvendinti trijuose Lietuvos nacionalinių parkų rezervatuose buvo įsteigtos 3 kompleksiško monitoringo stotys (KMS). 1993 m. – Aukštaitijos ir Dzūkijos KMS, o 1994 m. – Žemaitijos KMS. KMS sudaro ekosistemos komponentų kompleksiško stebėjimo stotis, steigiamą uždarų upelių baseinuose, bei oro ir kritulių stebėjimo stotis. Šiose stotyse kompleksišškai stebimi beveik visi gamtinės aplinkos komponentai ir juos jungiantys medžiagų srautai. Mažų upelių baseinų koncepcija, pagal kurią hidrogeologiniu požiūriu pakankamai gerai izoliuoti mažų upelių baseinai traktuojami kaip lauko laboratorijos, leidžia stebėti teršiančių ir maistinių medžiagų srautus, kontroliuoti jų balansą ir stebėti bei vertinti jų sąlygojamus biotos pokyčius. Stebėjimų metodika ir stebimi parametrai sudaro galimybę panaudoti visą kaupiamą informaciją regioninių ir globalinių procesų pasekmėms vertinti bei modeliuoti, taip nustatant tolimų oro teršalų pernašų poveikį ekosistemoms. Išaiškinus aplinkos pokyčių priežastis, galima stebėti teršalų apkrovas miško ekosistemoms, tikslinti jų kritines vertes ir sudaryti mokslinį pagrindą emisijoms kontroliuoti.

Pradinio KMS programos įgyvendinimo etapo pagrindiniai tikslai, uždaviniai ir apimtis buvo patvirtintos Valstybinėje aplinkos monitoringo programoje, priimtoje 1998 m. Valstybinėje aplinkos monitoringo programoje 2005–2010 metams iškelti uždaviniai iš esmės nepakeisti, tik labiau susieti su šios programos 3 pagrindinėmis paprogramėmis: oro ir kritulių, dirvožemio ir jo vandens bei augalijos monitoringo. Didesnis dėmesys taip pat skiriamas azoto, sieros ir ozono poveikiui aplinkai tirti. Numatoma iš esmės įsigilinti į rūgščiųjų iškritų tiesioginį poveikį augalams (pradedant vykdyti lapijos cheminių matavimų paprogramę) bei į jų netiesioginį poveikį per dirvožemį (pradedant stebėti laisvojo aliuminio koncentracijas). Dėl pastaruoju metu fiksuojamų sunkiųjų metalų kiekių biotoje padidėjimo KM programą numatyta papildyti sunkiųjų metalų poveikio aplinkai vertinimu, pradedant vykdyti sunkiųjų metalų srautų atviroje vietovėje, koncentracijų lapijoje ir samanose tyrimų paprogrames.

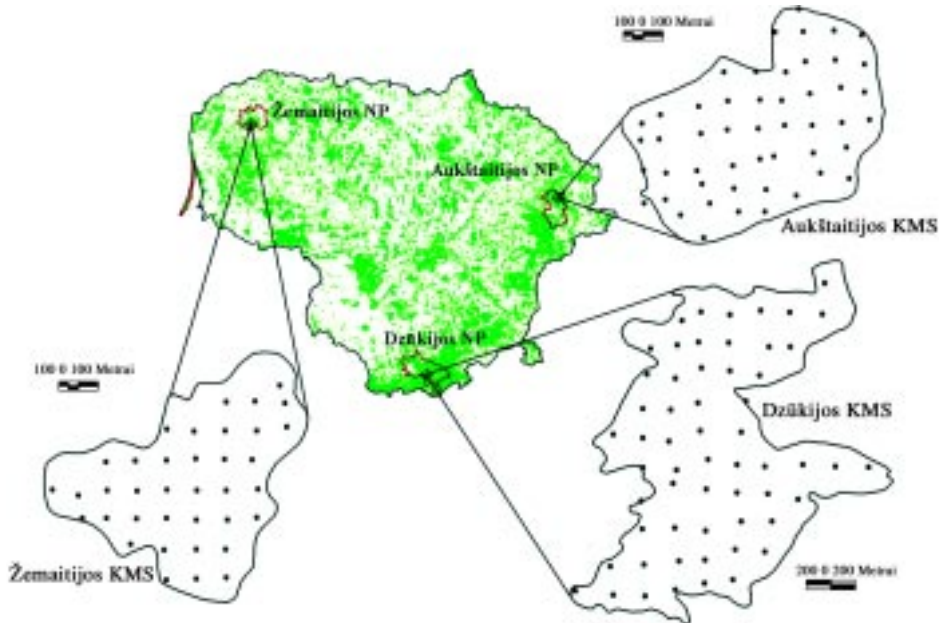
Sąlygiškai natūralių ekosistemų KM visapusiškas įgyvendinimas leidžia spręsti uždavinius, susijusius ne tik su Tolimų oro teršalų pernašų konvencijos ir jos protokolų reikalavimais, bet ir su Tarpvalstybinių vandentakių ir ežerų apsaugos bei naudojimo konvencijos, Jungtinių Tautų klimato kaitos konvencijos ir Kioto protokolo, Biologinės įvairovės konvencijos bei Vienos konvencijos dėl ozono sluoksnio apsaugos reikalavimais.



II. Kompleksiško ekosistemų monitoringo stotys ir jų charakteristika

*Algirdas Augustaitis, Ieva Baužienė, Zenonas Gulbinas,
Gintautas Mozgeris, Valerijus Rašomavičius*

Pagal KM programos reikalavimus Aukštaitijos, Dzūkijos ir Žemaitijos nacionaliniuose parkuose įkurtos KMS gerai reprezentuoja pagrindinius Lietuvos žemėvaizdžių tipus, geomorfologinę struktūrą ir augalines bendrijas (2.1 pav.).



2.1. pav. Aukštaitijos, Dzūkijos ir Žemaitijos KMS



Aukštaitijos KMS oro ir kritulių stebėjimo stotis

2.1. Aukštaitijos kompleksiško monitoringo stotis

Aukštaitijos KMS (LT01) oro ir kritulių stebėjimo stotis įkurta Aukštaitijos NP Rūgšteliesčio km., LŽŪU Miškų monitoringo laboratorijos filiale, o miško ekosistemų kompleksiškų tyrimų stotis Aukštaitijos NP Ažvinčių sengirės uždaramo Versminio upelio baseine (2.2 pav.). Upelio baseino plotas – 101,5 ha. žemiausia vieta – 159,5 m, aukščiausia – 188,6 m virš jūros lygio. Geografinės baseino koordinatės: ilguma – 26°03'20" – 26°04'50", plotuma – 55°26'00" – 55°26'53". Pa-

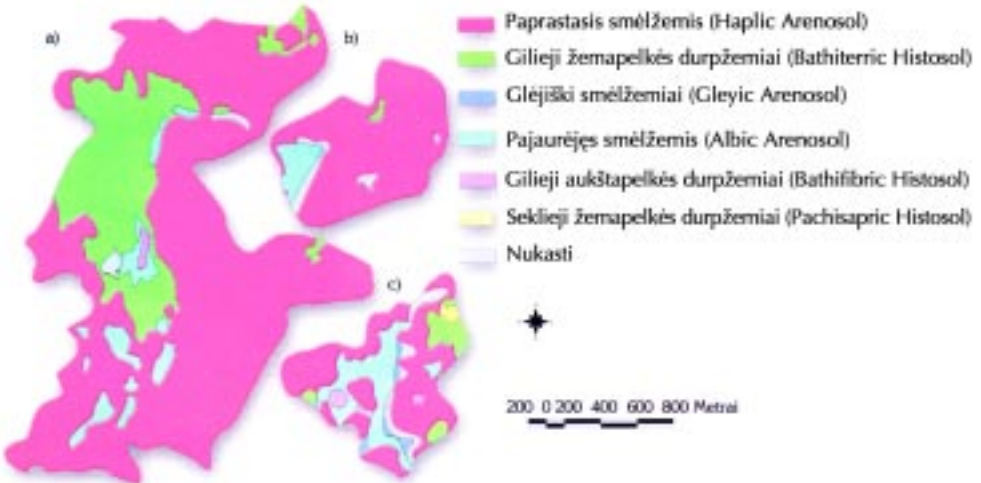
gal Lietuvos koordinacių sistemą LKS–94: 630200–631600 ir 6146200–6147200.

Klimatas apibūdinamas kaip vidutiniškai šaltas su didele oro drėgme ir gausiais krituliais. Daugiametė vidutinė oro temperatūra – 5,8 °C, daugiametis vidutinis kritulių kiekis – 682 mm. Vegetacinio periodo ilgis – 189 dienos.

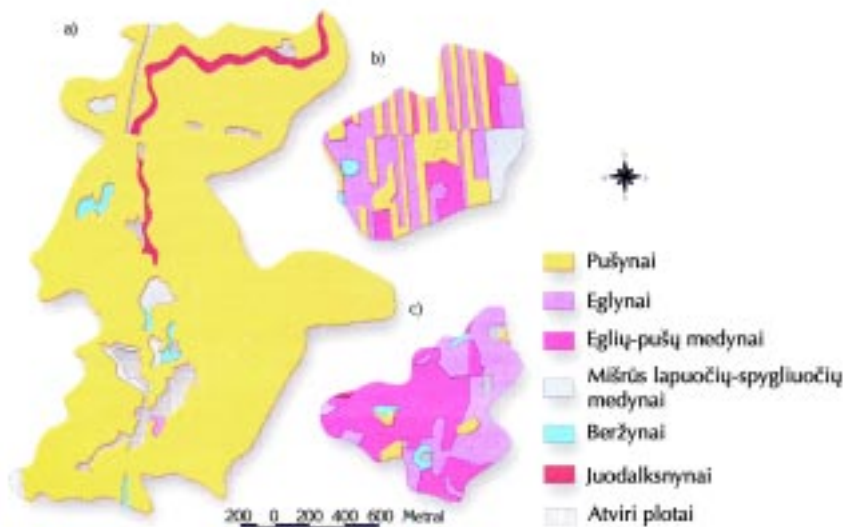
Versminio upelio baseinui būdingos pakraštinės glacioakvalinės akumuliacijos formos su smėliu, gargždu ir rieduliais, kurios vakarinėje baseino dalyje, mažėjant paviršiaus altitutei, pereina į fluvoglacialinę terasinę deltinę lygumą su smulkiagrūdžiu smėliu, o ties upelio ištakomis – ir į pelkines akumuliacijos formas su organinėmis nuogulomis. Rytinėje baseino dalyje, turinčioje didesnes altitudes, šiam baseinui būdingos pakraštinės glacioakvalinės akumuliacijos formos pereina į ozus su žvyringu smėliu. Karbonatai putoja nuo 45 cm gylio.



2.2. pav. Aukštaitijos KMS baseinas (LŽŪU, Miškų monitoringo laboratorija, 2003)



2.3. pav. Kompleksinio monitoringo stočių dirvožemiai: a) Dzūkijos KMS, b) Aukštaitijos KMS, c) Žemaitijos KMS



2.4. pav. Vyraujančios medžių rūšys: a) Dzūkijos KMS, b) Aukštaitijos KMS, c) Žemaitijos KMS

Aukštaitijos KMS karbonatingojo smėlžemio profilio cheminės savybės kinta labiau negu kitose KMS, ypač rūgštumas, mainų katijonų kiekis ir kai kurios dirvožemio koloidų savybės. Formuojasi rūgštiniai-šarminiai ir absorbciniai geocheminiai barjerai.

Versminio upelio baseine vyrauja karbonatingieji smėlžemiai, žemutinėje baseino dalyje pereinantys į glėjiškus smėlžemius ir į giliuosius žemapelkės durpžemius (2.3 pav.).

Baseine vyrauja daugiaardžiai spygliuočių medynai, daugiausia pušynai su eglės priemaiša. Juose dažnai aptinkamas antras ir trečias eglės ardas bei gausus jos pomiškis. Eglynai taip pat sudėtinės sandaros. Dažnai antras ir trečias eglės ardas turi gausų jos pomiškį. Didelę teritoriją užima mišrūs spygliuočių bei mišrūs spygliuočių ir lapuočių miškai. Drėgnesnėse augavietėse, šalia Versminio upelio ištakų, auga ir grynai beržo medynai. Vyrauja seni perbrendę grynai medynai arba medynai su keliomis lydinčiomis kartomis. Tai įvairiaamžiai ir daugiaardžiai perbrendę pušynai ir eglynai (2.4 pav.).

Pagrindinis biotopas – brukniniai pušies bei eglės ir pušies miškai. Iš viso Versminio upelio baseine išskirti tik 2 biotopai (2.5 pav.).



Dzūkija

- Brukniniai pušynai ir pušų-eglių miškai
- Mezo-acidofiliniai kimininiai beržynai
- Europinių pušų plantacijos
- Apleisti dirbami laukai
- Drėgnos pagerintos pievos
- Apaugę smėlėti upelių krantai
- Iškirsti medynai
- Kimininiai eglynų ir pušų-eglių miškai
- Mezo-eutrofiniai pelkiniai juodalksnynai
- Borealiniai pakrančių juodalksnynai
- Žemutiniai kopų kadagnai
- Aukštosios viksvos kupstynai
- Kimininės-laibosios viksvos bendrijos
- Šeriuotojo vikšrio pievos ir drėgnos briedgaurės vejės
- Žemutinių kopų pionieriniai žolynai

Žemaitija

- Subokeaniniai mėlyniniai spygliuočių miškai
- Borealiniai pelkiniai eglynai
- Borealiniai aukštapelkiniai pušynai
- Švyliniai kimininiai beržynai
- Borealiniai viksviniai žemapelkiniai karklynai
- Žemapelkė su *Carex nigra*, *Carex curta*
- Šilinė pelkė
- Mezo-eutrofiniai pelkiniai juodalksnynai
- Briedgaurynas
- Aborigeninių spygliuočių jaunuolaynai
- Žyvro karjeras

Aukštaitija

- Mėlyniniai eglynų ir pušų-eglių miškai
- Nemoraliniai pelkiniai eglynai

2.5. pav. Kompleksinio monitoringo stočių biotopai: a) Dzūkijos KMS, b) Aukštaitijos KMS, c) Žemaitijos KMS



2.6. pav. Dzūkijos KMS baseinas (Nacionalinė žemės tarnyba, 1996)



Dzūkijos KMS oro ir kritulių stebėjimo stotis

2.2. Dzūkijos kompleksiško monitoringo stotis

Dzūkijos KMS (LT02) oro ir kritulių stebėjimo stotis buvo įkurta Dzūkijos NP Dubininkų k., o kompleksiškų tyrimų stotis – Dzūkijos NP Skroblaus rezervato Duburių upelio baseine, kurio plotas yra 380 ha (2.6 pav.). Žemiausia vieta – 80,0 m, aukščiausia – 134,5 m virš jūros lygio. Geografinės baseino koordinatės: ilguma – $24^{\circ}15'39''$ – $24^{\circ}18'02''$, platumą – $54^{\circ}03'40''$ – $54^{\circ}05'38''$, pagal Lietuvos koordinatų sistemą LKS-94: 517500–519200 ir 5991700–5994600. Nuo 1999 m. tyrimai šioje stotyje buvo sustabdyti.

Tiriamos teritorijos klimatas nelabai skiriasi nuo Aukštaitijos KMS klimato. Daugiametė vidutinė oro temperatūra yra $6,0^{\circ}\text{C}$, vidutinis kritulių kiekis – 625 mm. Vegetacinio periodo ilgis – 195 dienos.

Tačiau baseino geomorfologinė struktūra labiau išreikšta nei Aukštaitijos KMS. Reljefas susiformavęs eolinio proceso performuotoje fluvioglacialinėje lygumoje su aiškiai išreikštomis sudėtingų formų kontinentinėmis kopomis, kuriose vyrauja smulkiagrūdis smėlis. Sudėtingesnę baseino geomorfologinę struktūrą paryškina statūs upelio slėnio šlaitai su denudacinės ir sufosinės kil-

mės nuogulomis bei pelkinės denudacijos formos su organinėmis nuogulomis.

Dzūkijos KMS dirvožemiai susidarę ant eolinės kilmės kvarcinių smėlių ir yra nekarbonatingi. Baseine vyrauja paprastieji smėlžemiai, pereinantys į pajaurėjusius smėlžemius. Žemesnėse vietose randama glėjiškų smėlžemių, pereinančių į giliuosius žemapelkės durpžemius (2.3 pav.). Dzūkijos KMS paprastojo smėlžemio profilio cheminės savybės mažiausiai kinta, o pagrindinių biofilinių elementų atsarga (NPK) yra mažiausia. Dėl šios priežasties Dzūkijos miško ekosistema yra jautriausia kritulių kiekio ir cheminės sudėties pokyčiams.

Rūšinė miškų įvairovė daug skurdesnė negu Aukštaitijos stoties. Čia vyrauja grynai pušies medynai. Retkarčiais aptinkami eglynai bei eglės ir pušies medynai. Prie

pat upelio, kur geresnės augimo sąlygos, turtingesni ir drėgnesni dirvožemiai, auga juodalksnynai, mišrūs lapuočių ir spygliuočių medynai. Šiame upelio baseine vyrauja pribirstantys ir brandūs medynai, nors neretai aptinkami ir jaunuolynai (2.4 pav.).

Nors baseine vyrauja pušynai, išskirta net 15 biotopų (2.5 pav.). Vyraujantis biotopas – brukniniai pušies bei eglės ir pušies miškai, aborigeninės pušies jaunuolynai, mezo-acidofiliniai kimininiai pušynai, mezo-acidofiliniai kimininiai beržynai ir aukštosios viksvos kupstynai.

Stotis buvo įsteigta regione, kuriame natūralios miško ekosistemos sudaro didžiąją teritorijos dalį, o jų pagrindinis užterštumo šaltinis – tolimos oro teršalų pernašos iš Vakarų ir Vidurio Europos valstybių. Šiame regione miškai pasižymi gausia augalinių bendrijų įvairove, tačiau yra paprastos ir, skirtingai nei Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS, vėjavartų ir snieglaužų nesuardytos struktūros. Juose vyrauja vienaardžiai, sąlygiškai vienaamžiai paprastųjų pušų medynai, beveik be pomiškio ir antro paprastųjų eglių ardo. Dėl to tiriant miško ekosistemą galima naudoti visą šiuolaikiškiausią nuotolinio zondavimo ir Saulės spinduliuotės po medžių danga techniką ir tiksliau įvertinti tolimų oro teršalų pernašų poveikį biotai.

Dzūkijos KMS dirvožemiai taip pat atspindi viso regiono keršilių miškų dirvožemius. Dirvodarinė uoliena ir dirvožemis yra vienalytiškesni bei skurdesni negu Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS. Tai dirvožemiai, kurie menkiausiai apsaugo ekosistemą nuo pokyčių. Jų zoocenozės aiškiai atspindi klimato sąlygų ir antropogeninio poveikio pokyčius, todėl matavimų duomenis paprasčiau pritaikyti kuriant ir tobulinant modelius. Augalija, augdama tokiuose skurdžiuose dirvožemiuose, yra jautresnė aplinkos veiksniams, tarp jų ir užterštumui. Upelio charakteristikos, labiausiai atitinka keliamus KM programos reikalavimus. Duburių upelio srovė greičiausia, lyginant su kitų KMS upelių, o jo dugną dengia smėlis ir įvairaus stambumo žvirgždas. Dėl šių miško ekosistemų savybių Dzūkijos KMS veikla ateityje galėtų būti atnaujinta.

2.3. Žemaitijos kompleksinio monitoringo stotis

Žemaitijos KMS (LT03) oro ir kritulių tyrimų stotis įkurta 1994 m. Žemaitijos NP Plokštinės rezervate, o kompleksinių tyrimų stotis šio rezervato, Uošnos upės dešiniojo intako Juodupio baseine, kurio plotas – 147,3 ha (2.7 pav.). Žemiausia vieta yra 147,0 m, aukščiausia – 180,0 m virš jūros lygio. Geografinės baseino koordinatės ilguma – 21°51'56"–21°53'10", platumas – 56°00'19"–56°01'05", o koordinatės pagal Lietuvos koordinačių sistemą LKS-94: 367000–368000 ir 6209800–6211200.



Žemaitijos KMS oro ir kritulių stebėjimo stotis



2.7. pav. Augalijos tyrimo plotų schema Žemaitijos KMS baseine (Valstybinė miškotvarkos tarnyba, 2004)

Žemaitijos KMS yra 50 km nuo Baltijos jūros. Tai iš esmės lemia šios teritorijos klimato sąlygas. Tiriamam baseinui būdinga didelė oro drėgmė, debesuotumas ir gausūs krituliai. Daugiametė vidutinė oro temperatūra – 5,9 °C, daugiametis vidutinis kritulių kiekis daug didesnis negu kitų stočių ir siekia 788 mm. Vegetacinio periodo ilgis – 187 dienos.

Geomorfologinė baseino struktūra taip pat pakankamai sudėtinga. Skirtingai negu kituose baseinuose, šioje stotyje pelkinės akumuliacinės formos su organinėmis nuogulomis, pereina į limnoglacialines akumuliacines formas ir į glacioakvalinės akumuliacijos smėlingus kalvotus darinius su joms būdingu limnoglacialiniu smėliu.

Dirvodarinėms uolienoms būdingas granulimetrinės sudėties kontrastingumas: limnoglacialinį priemolį dengia smulkus smėlis. Dirvožemiai – pajaurėję smėlžemiai, žemesnėse vietose pereinantys į glėjiškus smėlžemius ir giliuosius žemapelkės durpžemius (2.3 pav.). 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 vyrauja organinės kilmės geocheminiai barjerai.

Šio upelio baseine vyrauja spygliuočių medynų. Tai eglynai su nedidele iki 20–30 % pušies priemaiša. Juose dažnas gausus eglės pomiškis. Didelę teritoriją baseine užima ir grynai eglynai. Pušynų čia daug mažiau. Tačiau ir šiuose medynuose paprastai yra antras eglės ardas bei gausus jos pomiškis. Dar mažiau Žemaitijos stotyje beržynų ir juodalksnynų. Jie aptinkami tik upelio ištakose, kur vyrauja pelkinės augavietės (2.4 pav.).

Žemaitijos KMS auga įvairiaamžiai medynai: daugiaardžiai eglynai, grynai ar su pušies priemaiša ir gausiu eglės pomiškiu. Kiek mažesnę teritoriją užima brandūs medynai ir jaunuolynai.

Pagrindiniai biotopai – subokeaniniai mėlyniniai spygliuočių miškai, pelkiniai borealiniai eglynai ir borealiniai aukštapelkiniai pušynai (2.5 pav.). Upelio baseine išskirta net 11 biotopų.

Stotyse stebimi parametrai gerai atspindi pagrindinius Lietuvos regionus. Jos įsteigtos šiuose regionuose vyraujančiuose miško tipuose ir būdingiausiose geomorfologinės struktūros augavietėse. Tai sudaro galimybę įgyvendinti KM pagrindinius uždavinius atsižvelgiant į aplinkos pokyčių ypatumus.



III. Aplinkos būklė ir jos pokyčiai

Kiekviena ekosistema turi savitus ryšius 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 ir cheminė aplinka sąveikauja su biotine, taip sudarydama ekosistemų dinamikos pagrindą (Kormondy, 1992).

Antropogeniniai veiksniai, tarp kurių savo poveikio aplinkai pobūdžiu išsiskiria taršos komponentai ir jų junginiai, gali turėti esminę įtaką pagrindiniams procesams, vykstantiems ekosistemose. Dėl šios priežasties sąlygiškai natūralių ekosistemų KM programoje išskirtinis dėmesys skirtas dujinių ir aerosolinių priemaišų ore koncentracijoms bei jų srautų kaitos tendencijoms nustatyti, taip pat pažemio ozono koncentracijoms ore ir jų kaitai analizuoti. Šių tyrimų, kaip ir sunkiųjų metalų koncentracijų bei jų pagrindinių tendencijų, taip pat šių veiksmų sąlygojamų geocheminių procesų dirvožemyje ir jo vandenyse analizės rezultatai pateikti šiame skyriuje.

3.1. Meteorologiniai veiksniai ir augaviečių drėgmės režimas

Ieva Baužienė

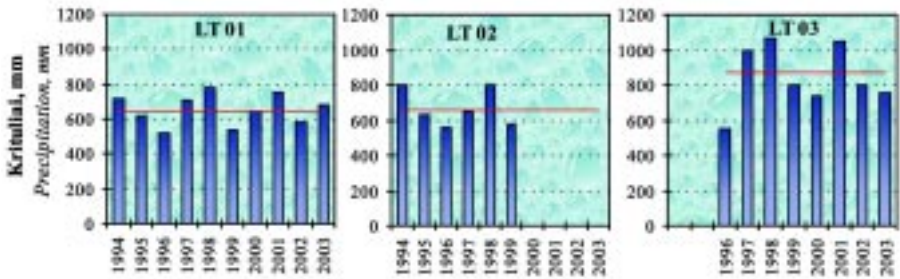
Meteorologiniai veiksniai gali ir sustiprinti, ir sušvelninti kitų aplinkos veiksnių neigiamą poveikį biotai. Dėl to šių veiksnių poveikio įvertinimas iš bendro aplinkos veiksnių kompleksiško poveikio leidžia išskirti antropogeninį signalą, užtikrinant pagrindinių KM programos uždavinių sprendimą ir tikslų įgyvendinimą.

Kritulių kiekis. Tai vienas iš pagrindinių natūralių veiksnių, lemiančių dirvodaros, dirvožemio vandens nuotėkio, gruntinio vandens lygio kitimo ir upelių nuotėkio procesus, taip pat dirvožemio, dirvožemio vandens, gruntinio vandens bei upelių vandens cheminę sudėtį ir jos pokyčius. Besikeičiančio klimato sąlygomis šie tyrimai įgauna papildomą svarbą, nes nuo jų kaitos intensyvumo priklauso miško ekosistemų būklė, jų atsparumas nepalankiems aplinkos veiksniams ir daugelis kitų procesų, vykstančių ekosistemose.

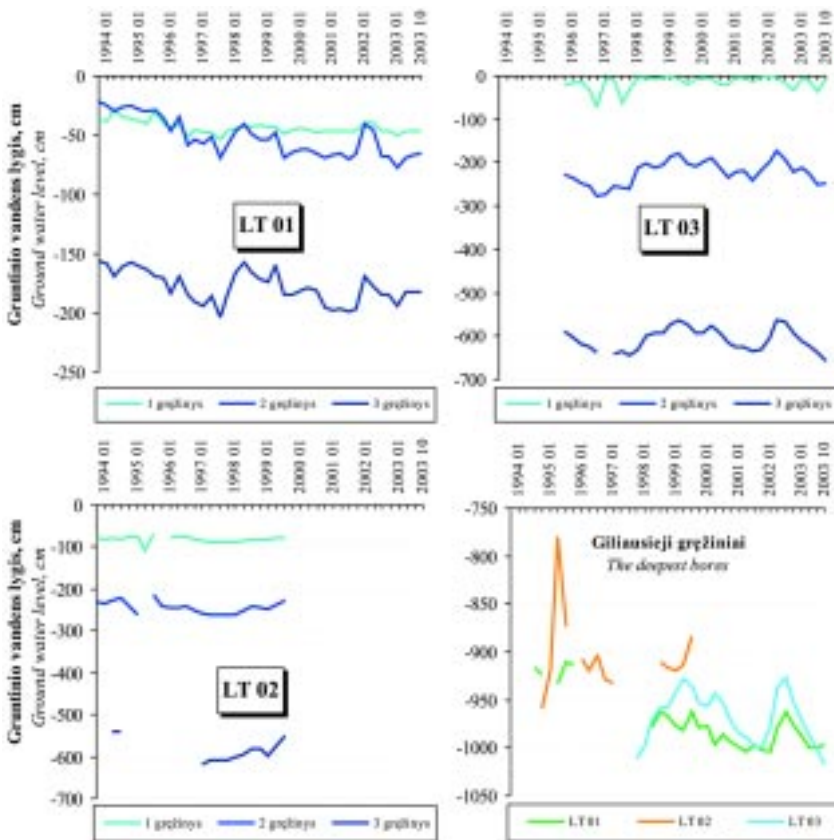
Palyginus kritulių kiekį su klimato normomis nustatyta, kad nepalankiausi miško ekosistemoms buvo 1996 m., kuriais kritulių kiekis Dzūkijos KMS siekė 83 %, Aukštaitijos 80 % ir Žemaitijos KMS vos 63 % daugiamečių normos. Kritulių deficitas KMS teritorijose taip pat nustatytas 1999 m., 2002 m. ir papildomai 2000 m. Žemaitijos KMS, tačiau jis nebuvo toks didelis kaip 1996 m. Pasakutiniausiais 2003 m. kritulių kiekis nesiekė daugiamečių normos taip pat tik Žemaitijos KMS teritorijoje (3.1. pav.).



Meteorologinė aikštelė



3.1. pav. Kritulių metų kiekis ir jų palyginimas su klimato norma KMS (LT 01 – Aukštaitijos KMS; LT 02 – Dzūkijos KMS; LT 03 – Žemaitijos KMS)



3.2. pav. Gruntinio vandens lygio kaita KMS gręžiniuose (1, 2, 3, 4) (LT 01 – Aukštaitijos KMS; LT 02 – Dzūkijos KMS; LT 03 – Žemaitijos KMS)

Gruntinio vandens lygis. 1996 m., 1999 m. ir 2002 m. pavasario bei vasaros sausros turėjo įtakos šio laikotarpio gruntinio vandens lygio sumažėjimui sekliuosiuose Aukštaitijos ir Dzūkijos KMS gręžiniuose (3.2. pav.). Tuo tarpu giliausių gręžinių vandens lygis mažėjo tik po 1,5 metų.

Žemaitijos KMS gruntinio vandens lygis kito kiek kitaip nei Aukštaitijos ir Dzūkijos KMS. Tai lėmė Žemaitijos KMS baseino dirvodarinė uoliena, kuri iš esmės skiriasi nuo Aukštaitijos ir Dzūkijos KMS dirvodarinės uolienos. Limnoglacialinis smėlis, po kuriuo glūdi nelaidus vandeniui priemolio tarp sluoksnis, galėjo turėti reikšmingos įtakos gruntinio vandens lygio stabilumui arba jo nedideliam kilimui sekliuosiuose iki 600 cm gylio gręžiniuose.



Gruntinio vandens tyrimas



Meteorologinis ir oro užterštumo tyrimo bokštas

3.2. Dujinių ir aerosolinių priemai- šų ore koncentracijos ir jų kaita

Dalia Šopauskienė, Dalia Jasinevičienė

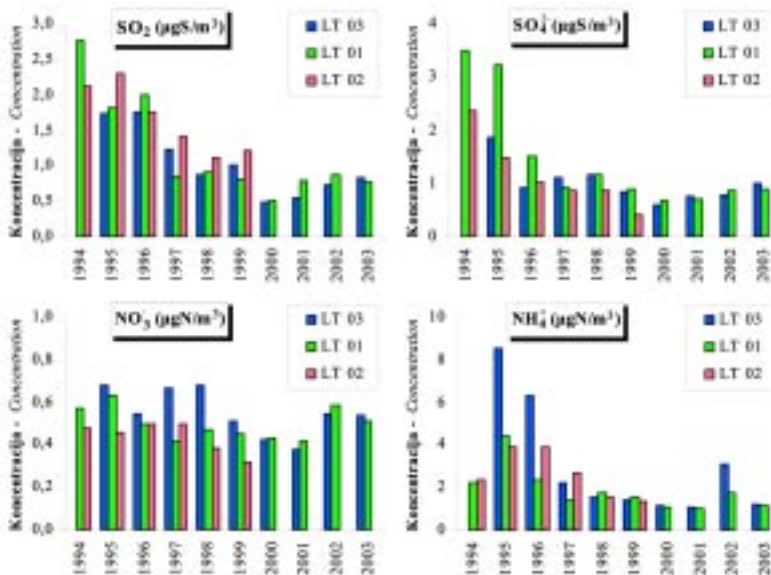
Rūgštėjimo ir eutrofikacijos procesai aplinkoje daugiausia siejami su sieros ir azoto junginiais. Todėl vienas iš pagrindinių oro monitoringo tikslų yra tirti šių sieros ir azoto junginių koncentracijas ore: sieros dioksido (SO_2), azoto dioksido (NO_2), aerosolinių sulfatų (SO_4^{2-}), sumos nitratų (ΣNO_3^-), t. y. aerosolinis nitratas ir azoto rūgštis ($\text{NO}_3^- + \text{HNO}_3$), ir sumos amonio (ΣNH_4^+), t. y. aerosolinis amonis ir amoniakas ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$).

KMS stotyse SO_2 , ΣNO_3^- ir ΣNH_4^+ koncentruojant iš atmosferos naudoti celiulioziniai filtrai „Whatman 40“, kurie prieš juos naudojant impregnuojami oksalo rūgštimi amonio junginiams ir kalio šarmu sieros dioksidui bei nitratams. SO_4^{2-} koncentruojamas iš atmosferos oro tiesiogiai ant „Whatman 40“ filtrų. Šarminiu natrio

jodido tirpalu impregnuoti specialiai gaminti stiklo filtrai, naudoti NO_2 koncentruojant iš atmosferos oro. Visi filtrai impregnuojami cheminėje laboratorijoje švaraus oro kameroje ir KMS naudojami vieną savaitę.

Panaudoti filtrai ekstrahuojami 24 valandas 20–30 ml dejonizuotu vandeniu, kurio varža yra $>10 \text{ M}\Omega/\text{cm}$. Vandeniniuose eliuatuose SO_4^{2-} ir ΣNO_3^- jonų koncentracijų tyrimams naudojamas jonų mainų chromatografas DIONEX 2010I (kolonėlės AG4A-SC ir AS4A-SC). ΣNH_4^+ jonų koncentracijų tyrimui spektrofotometrinis indofenoliniu metodu naudojama analitinė nenutrūkstanto srauto sistema CONTIFLO. NO_2 koncentracijų trietanolamino vandeniniame eluate tyrimui naudojamas spektrofotometrinis metodas su Griess reagentu. Teršalų atmosferoje radimo ribos yra tokios: $\text{SO}_2 - 0,02 \mu\text{gS}/\text{m}^3$, $\text{NO}_2 - 0,08 \mu\text{gN}/\text{m}^3$, $\text{SO}_4^{2-} - 0,02 \mu\text{gS}/\text{m}^3$, $\Sigma\text{NO}_3^- - 0,014 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ ir $\Sigma\text{NH}_4^+ - 0,027 \mu\text{gN}/\text{m}^3$. Visų tiriamų teršalų cheminės analizės paklaidos yra mažesnės nei 10 %.

Per tiriamąjį laikotarpį sieros dioksido vidutinės metų koncentracijos Aukštaitijos KMS sumažėjo nuo 2,76 (1994 m.) iki 0,77 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (2003 m.), o Žemaitijos KMS – nuo 1,74 (1995 m.) iki 0,83 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (2003 m.) (3.3. pav.). 1995–1999 m. SO_2 vidutinė metinė koncentracija Dzūkijos KMS sumažėjo nuo 2,11 iki 0,84 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$. Vertinant SO_2 vidutinių metinių koncentracijų kitimą per tiriamąjį laikotarpį, galima pa-



3.3. pav. Azoto komponentių (ΣNO_3^- ; ΣNH_4^+) vidutinių metinių koncentracijų kaita ore Aukštaitijos (LT 01), Dzūkijos (LT 02) ir Žemaitijos (LT 03) KMS

stebėti didelį jų mažėjimą iki 1997 m., o 1997–2003 m. koncentracijos kito nedideliu intervalu (0,7–0,9 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$), išskyrus 2000 m., kada SO_2 koncentracija ore buvo mažiausia per visą tiriamąjį laikotarpį ir siekė apie 0,48 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS teritorijose. Pastarųjų 3 metų laikotarpiu SO_2 vidutinės koncentracijos padidėjo ir siekė Aukštaitijos KMS 0,81 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$, o Žemaitijos KMS – 0,70 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$.

Oro užterštumo ir jo kaitos tendencijų tyrimų duomenys gana panašūs į kitų Europos valstybių gautus duomenis. Didelis SO_2 koncentracijų mažėjimas Lenkijoje, Vokietijoje, Čekijoje ir kitose centrinės Europos foninio monitoringo vietose buvo nuo 1990 m., lyginant su pastarųjų metų vidutine koncentracija, kuri yra apie 1,0 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$. Mažesnės koncentracijos (apie 0,5 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$) yra pietinėje Skandinavijoje, Latvijoje – 0,5–0,8 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ (EMEP, 2004).

Dideli aerozolinių sulfatų vidutinių metinių koncentracijų pokyčiai matyti, lyginant 1994–1997 m. ir 1999–2003 m. duomenis (3.3. pav.). Nustatyta, kad Aukštaitijos KMS SO_4^{2-} vidutinės metinės koncentracijos ore per visą tyrimo laikotarpį sumažėjo nuo 3,32 iki 0,89 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$, Dzūkijos – nuo 2,37 iki 0,65 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ ir Žemaitijos KMS – nuo 2,03 iki 1,0 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$. Tirtų sieros komponentų koncentracijų atmosferos ore mažėjimas, be abejonės, labiausiai siejamas su dideliu (70–90 %) SO_2 emisijos mažėjimu daugumoje Vakarų Europos valstybių ir Skandinavijoje, ypač per 1990–2000 m. laikotarpį (EMEP, 2004).

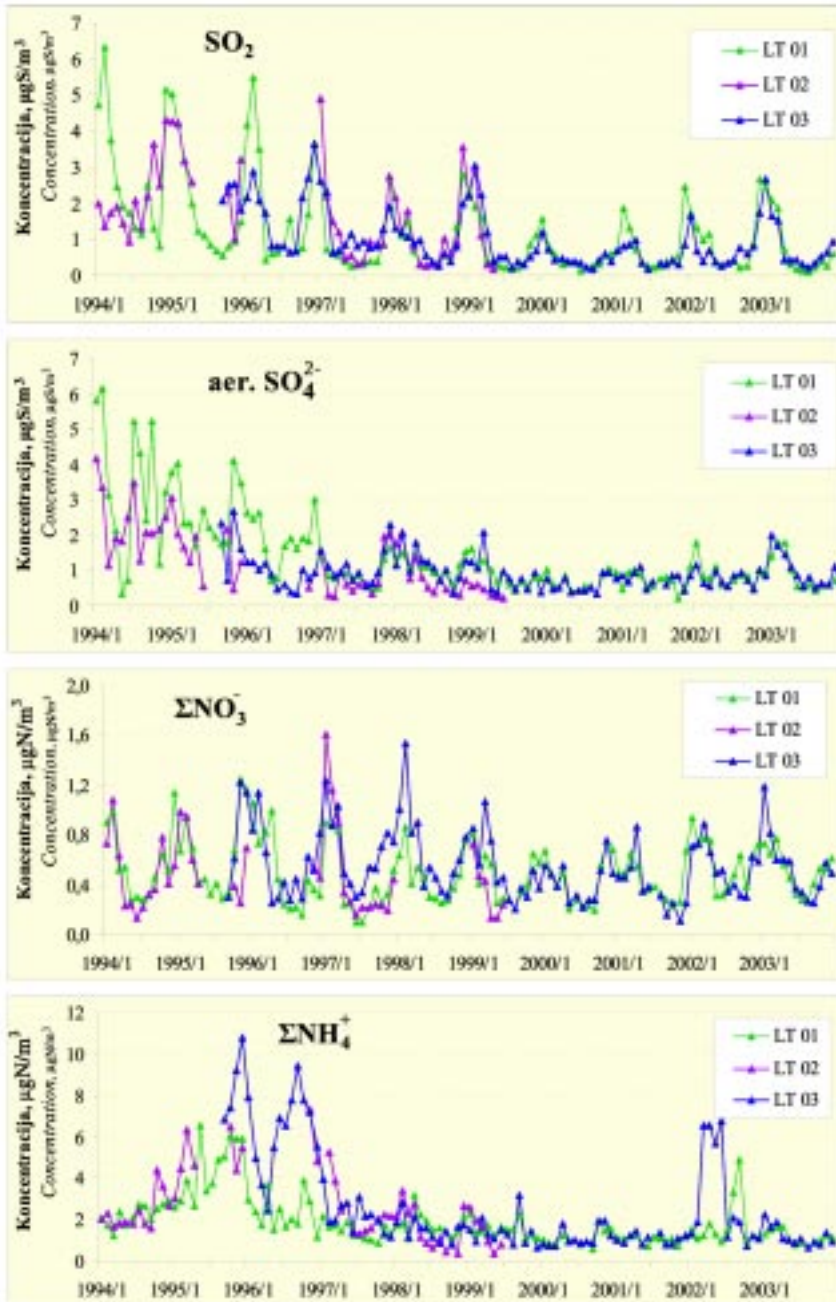
Tik per pastaruosius 3 metus stebimas, nors ir nereikšmingas, aerozolinių SO_4^{2-} vidutinių metinių koncentracijų ore didėjimas: po 0,09 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ per metus Aukštaitijos ir po 0,13 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ per metus Žemaitijos KMS teritorijose.

Azoto dioksido vidutinės metinės koncentracijos Aukštaitijos KMS 1999–2003 m. kito nuo 0,62 iki 0,71 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ be aiškios metinių koncentracijų didėjimo ar mažėjimo tendencijos. Žemaitijos KMS vidutinės metinės koncentracijos didėjo nuo 0,69 (1999 m.) iki 0,79 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (2003 m.).

Sumos nitratų (ΣNO_3^-) vidutinės metų koncentracijos Aukštaitijos KMS (1994–2001 m.) sumažėjo nuo 0,57 iki 0,42 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, Žemaitijos KMS (1995–2001 m.) – nuo 0,66 iki 0,37 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, o Dzūkijos KMS (1994–1999 m.) vidutinė metinė ΣNO_3^- koncentracija išliko palyginti stabili ir buvo apie 0,45 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (3.3. pav.). Tačiau paskutiniaisiais metais Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS vyrauja ΣNO_3^- (kaip ir SO_4^{2-}) vidutinių koncentracijų didėjimo tendencija.

Sumos amonio junginių (ΣNH_4^+) vidutinių metinių koncentracijų ore mažėjimo tendencija (3.3. pav.) gauta visose tirtose KMS. Aukštaitijos KMS ΣNH_4^+ vidutinė metinė koncentracija sumažėjo nuo 4,44 iki 1,15 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$, Žemaitijos KMS – nuo 8,55 iki 1,21 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ ir Dzūkijos KMS per 1994–1999 m. – nuo 4,35 iki 1,35 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$.

Gauti rezultatai parodė, kad tirtų teršalų koncentracijoms yra būdinga sezoninė kaita (3.4. pav.). Žiemos mėnesiais SO_2 ir NO_2 koncentracijos vidutiniškai 8 kartus, o ΣNO_3^- apie 4 kartus yra didesnės negu vasaros mėnesiais. SO_4^{2-} ir ΣNH_4^+ koncentracijų šis santykis ne toks didelis. Tačiau Žemaitijos KMS pasitaikantys trumpalaikiai ΣNH_4^+ koncentracijų padidėjimai vasaros ir rudens mėnesiais gali būti siejami su



3.4. pav. Pagrindinių taršos komponentių mėnesio vidutinių koncentracijų kaita ore Aukštaitijos (LT 01), Dzūkijos (LT 02) ir Žemaitijos (LT 03) KMS

NH₃ emisijomis iš lokalių šaltinių. Pastaraisiais metais ryškėja tiriamų komponentų koncentracijų santykio mažėjimo žiemos ir vasaros mėnesiais tendencija.

Remiantis tyrimų duomenimis, galima teigti, kad nuo 1997 m. SO₂, SO₄²⁻, ΣNH₄⁺ ir ΣNO₃⁻ 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 ir mėnesiais nei su teršalų emisija.

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

Per 1994–1999 m. laikotarpį KMS teritorijose SO₂ ir aerolinio SO₄²⁻ koncentracijos sumažėjo nuo 60 % iki 73 %. Tai siejama su dideliu SO₂ emisijos mažėjimu daugumoje Vakarų Europos valstybių (iki 80 %). Smarkiai mažėja ir ΣNH₄⁺ koncentracijos. Pagrindiniuose Lietuvos regionuose ΣNO₃⁻ ir NO₂ koncentracijos ore išlieka stabilios ir tik per paskutinių 3 metų laikotarpį nežymiai didėja SO₂, SO₄²⁻ ir ΣNO₃⁻ koncentracijos ore.

3.3. Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos krituliuose ir jų šlapieji srautai *Dalia Šopauskienė, Dalia Jasinevičienė*

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, taip pat atmosferoje vykstantys fizikiniai procesai ir cheminės reakcijos, keičiančios teršalų fizines ir 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 šių tyrimų tikslas – gauti informaciją apie teršalų koncentracijas krituliuose, jų erdvinius ir laikinius pokyčius bei nustatyti atmosferinius teršalų šlapiuosius srautus. Atmosferos krituliuose tiriamos tokių teršalų koncentracijos: sulfatų (SO₄²⁻), nitratų (NO₃⁻), chloridų (Cl⁻), amonio (NH₄⁺), natrio (Na⁺), kalio (K⁺), kalcio (Ca²⁺) ir kritulių pH.

Siekiant sumažinti atmosferos teršalų sausųjų iškritų patekimą į atmosferos kritulių rinktuvą, KMS nuo balandžio mėn. 1 d. iki lapkričio mėn. 1 d. atmosferos krituliai renkami į rinktuvus su dangčiais, kurie automatiškai atsidaro pradėjus lyti ir užsidaro nustojus lyti. Per kitus 5 mėn. dėl techninių rinktuvo savybių (nešildomas dangtis) krituliai šiose stotyse rinkti į nuolatos atvirus rinktuvus. Atmosferos krituliai renkami kas savaitę 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.

Anijonų (SO_4^{2-} , NO_3^- ir Cl^-) koncentracijoms nustatyti naudojamas jonų mainų chromatografas DIONEX 2010I (kolonėlės AG4A-SC ir AS4A-SC). Spektrofotometrinė analitinė nenutrūkstamo srauto sistema (CONTIFLO) naudota NH_4^+ koncentracijoms tirti indofenoliniu metodu. Matuojant pH, naudotas laboratorinis skaitmeninis pH metras OP-211/1 su kombinuotu sidabro elektrodu CORNING, kuris kalibruojamas pagal „Merck“ standartus pH = 4,0 ir pH = 7,0. Na^+ , K^+ ir Ca^{2+} koncentracijos tiriamos liepsnos fotometru PAŽ 2.

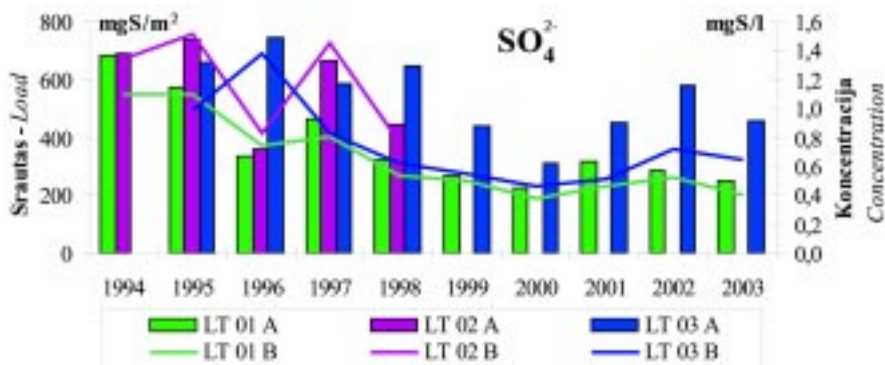
Teršalų radimo ribos atmosferos krituliuose yra tokios: SO_4^{2-} – 0,02 mgS/l, NO_3^- – 0,013 mgN/l, Cl^- – 0,01 mg/l, NH_4^+ – 0,04 mgN/l, Na^+ – 0,02 mg/l, K^+ – 0,02 mg/l, Ca^{2+} – 0,02 mg/l. Kiekvieno bandinio cheminės analizės kokybė įvertinta pagal teigiamų ir neigiamų jonų koncentracijų ($\mu\text{ekv/l}$) balansą. Visų tirtų teršalų cheminės analizės paklaidos yra mažesnės nei 10 %. Baltijos jūros įtaka sulfatų koncentracijoms krituliuose įvertinama pagal Na^+ arba Cl^- koncentracijas krituliuose, naudojant atitinkamai koeficientus 0,082 arba 0,0466. Atėmus suskaičiuotą jūrinės kilmės sulfatų kiekį iš išmatuoto viso sulfatų kiekio kritulių bandinyje, nustatomos neįjūrinės kilmės sulfatų koncentracijos.

KMS sulfatų metinės koncentracijos atmosferos krituliuose per laikotarpį nuo 1994 m. iki 1998 m. sumažėjo beveik dvigubai (3.5. pav.). Tačiau per pastaruosius 6 metus sulfatų metinių koncentracijų pokyčiai yra neesminiai, t. y. metinės koncentracijos kinta intervalu nuo 0,39 iki 0,54 mgS/l Aukštaitijos KMS ir nuo 0,46 iki 0,72 mgS/l Žemaitijos KMS. Panaši sulfatų metinių koncentracijų atmosferos krituliuose kaita ir koncentracijų dydžiai gauti foninio monitoringo stotyse Vokietijoje, Lenkijoje ir Latvijoje (EMEP, 2004).

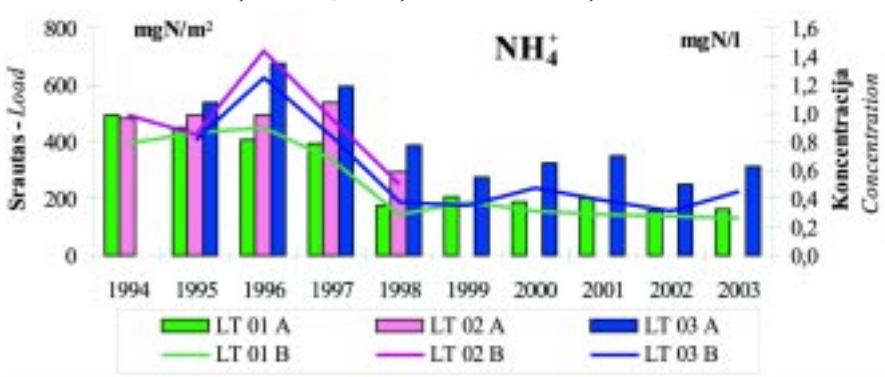
Tyrimų duomenys rodo, kad sulfatų metiniai šlapieji srautai 2003 m., palyginti su 1994 m. (LT01) ir 1996 m. (LT03), sumažėjo Aukštaitijos KMS 63 % ir Žemaitijos KMS 39 %. Gauti statistiškai reikšmingi ($p < 0,05$) koreliacijos koeficientai 0,96 (LT01) ir 0,85 (LT03) tarp sulfatų koncentracijų krituliuose ir šlapiųjų srautų patvirtina, kad srautų mažėjimą labiausiai sąlygojo SO_4^{2-} koncentracijų krituliuose mažėjimas.

Vidutiniškai 2,5 karto mažesnės amonio metinės koncentracijos per 1998–2003 m., palyginti su 1994–1997 m., lėmė jo šlapiųjų srautų dydžius (3.6. pav.). Kaip ir sulfatų atveju, gauti reikšmingi koreliacijos koeficientai 0,96 (LT01) ir 0,95 (LT03), esant $p < 0,05$, rodo didelį amoniakinio azoto šlapiųjų srautų priklausomumą nuo amonio jonų koncentracijų krituliuose. Panaši kaitos tendencija gauta Dzūkijoje, nors tyrimo laikotarpis – tik 6 metai.

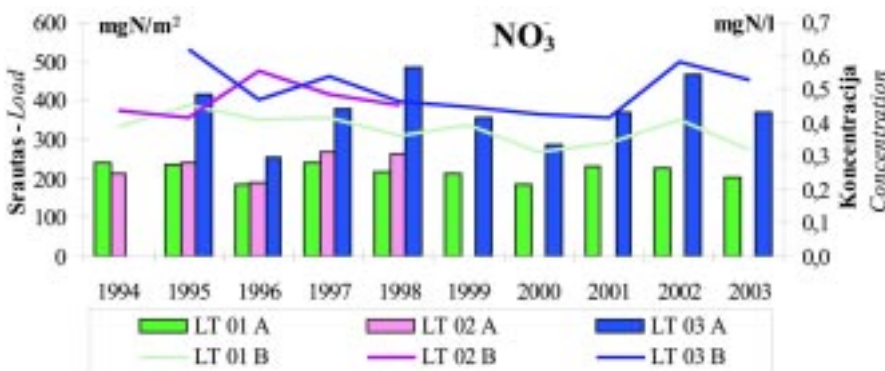
Nitratų šlapiųjų srautų ir jų koncentracijų atmosferos krituliuose kaita neturi viena-reikšmės tendencijos (3.7. pav.). Aukštaitijos KMS nitratų koncentracijos krituliuose mažėja 2,2 % per metus, o srauto – 0,9 %. Žemaitijos KMS, nors nitratų koncentracija mažėja 1,0 % per metus, tačiau jų srautas turi tendenciją didėti (1,2 % per metus).



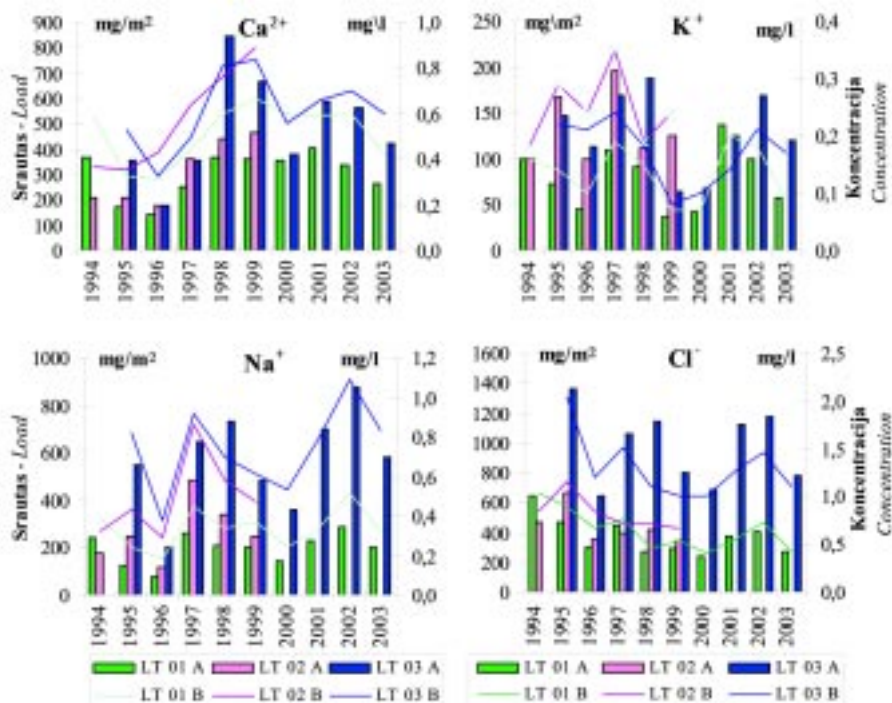
3.5. pav. Sulfatų šlapiųjų srautų (A, mgS/m²,m) ir koncentracijų krituliuose (B, mgS/l) kaita Aukštaitijos (LT 01), Dzūkijos (LT 02) ir Žemaitijos (LT 03) KMS



3.6. pav. Amonio šlapiųjų srautų (A, mgN/m²,m) ir koncentracijų krituliuose (B, mgN/l) kaita Aukštaitijos (LT 01), Dzūkijos (LT 02) ir Žemaitijos (LT 03) KMS



3.7. pav. Nitratų šlapiųjų srautų (A, mgN/m²,m) ir koncentracijų krituliuose (B, mgN/l) kaita Aukštaitijos (LT 01), Dzūkijos (LT 02) ir Žemaitijos (LT 03) KMS



3.8. pav. Kalcio (Ca^{2+}), kalio (K^+), natrio (Na^+) ir chloridų (Cl^-) šlapiųjų srautų (A, $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{m}$) ir koncentracijų krituliuose (B, mg/l) kaita Aukštaitijos (LT 01), Dzūkijos (LT 02) ir Žemaitijos (LT 03) KMS

Panašūs nitratų koncentracijų krituliuose ir jų srautų dydžiai gauti foninio monitoringo stotyse Vokietijoje, Lenkijoje ir Latvijoje (EMEP, 2004).

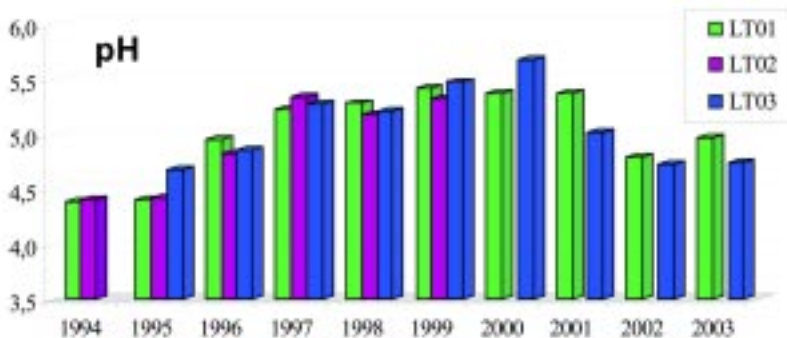
Kalčio koncentracijos krituliuose iki 1999 m. turėjo tendenciją didėti visose KMS teritorijose ir tik pastaruoju laikotarpiu jo koncentracijos krituliuose bei bendras srautas su krituliais gerokai sumažėjo. Ypač kalčio koncentracijos krituliuose ir bendras srautas su krituliais sumažėjo Žemaitijos KMS teritorijoje (3.8. pav.).

Stebint kalio jonų metinių koncentracijų krituliuose ir jų šlapiųjų srautų kaitą, aiškesnės tendencijos nustatyti nepavyko (3.8. pav.). Per tiriamąjį laikotarpį Aukštaitijos KMS koncentracija kito nuo 0,07 iki 0,20 mg/l , o srautas – nuo 38 iki 136 $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{m}$, Žemaitijos KMS – nuo 0,08 iki 0,24 mg/l , o srautas – nuo 64 iki 188 $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{m}$. Laikotarpiu, kai tyrimai buvo atliekami ir Dzūkijos KMS, šioje stotyje K^+ koncentracijos krituliuose ir jo šlapijieji srautai viršijo šio elemento koncentracijas ir srautus kitose stotyse.

Stebint natrio jonų metinių koncentracijų krituliuose ir jų šlapiųjų srautų (3.8. pav.) kaitą, per tiriamąjį laikotarpį KMS pastebėta bendra tendencija didėti, tačiau jos patikimumas yra statistiškai nereikšmingas. Skirtingai negu Na^+ , Cl^- metinių koncentracijų ir srautų kaita turi tendenciją mažėti (3.8. pav.). Remiantis gautu santykiu tarp natrio ir chloro jonų metinių ekvivalentinių koncentracijų galima teigti, kad 1994–1996 m. nuo 30 iki 45 % chloro jonų KMS rinktuose krituliuose galėjo būti ne jūrinės, o antropogeninės kilmės iš vietinių šaltinių, t. y. iš gyvenamųjų namų, kuriuose deginamos durpės ar akmens anglis. Nuo 1997 m., arčiausiai kritulių ir atmosferos oro bandinių rinkimo vietų esančius pastatus pradėta šildyti elektros energija. Tai turėjo įtakos, kad Na^+ ir Cl^- jonų ekvivalentinių koncentracijų santykiai pradėjo atitikti NaCl junginį, kurio pagrindinis šaltinis yra jūra. Baltijos jūros artumas lėmė beveik du kartus didesnes Na ir Cl jonų koncentracijas krituliuose Žemaitijos KMS.

1994–1997 m. laikotarpiu, dėl sulfatų, kurie buvo vyraujanti rūgštinanti komponentė krituliuose, mažėjimo didėjo kritulių pH vertė (3.9. pav.). 1994–1996 m. KMS teritorijose vyravo rūgštūs krituliai ($\text{pH} < 5,0$), o 1997–2000 m. laikotarpiu kritulių pH metinės vertės buvo didžiausios ir kito intervalu nuo 5,2 iki 5,7. Tačiau nuo 2000 m., gerokai sumažėjus sulfatų ir amonio koncentracijoms, nitratai tapo vyraujančia rūgštinančia komponente, turėjusia įtakos kritulių pH mažėjimui. Pasukiniaus metais pH metinės vertės vėl artėjo prie 1994–1996 m. verčių ir svyravo nuo 4,7 iki 4,9. Šis pH sumažėjimas galėjo būti ne tik dėl SO_4^{2-} ir NO_3^- koncentracijų padidėjimo, bet ir dėl Ca^{2+} koncentracijų krituliuose sumažėjimo.

Tirtų junginių šlapiųjų srautų kaita tarp KMS parodė, kad Žemaitijos KMS teritorijoje tiriamų komponentių 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.



3.9. pav. Atmosferos kritulių metinių pH verčių kaita Aukštaitijos (LT 01), Dzūkijos (LT 02) ir Žemaitijos (LT 03) KMS

Per 1994–2003 m. laikotarpį sulfatų ir amonio koncentracijos krituliuose sumažėjo 60–80 % visose KMS. Nitratų šlapiųjų srautų ir jų koncentracijų atmosferos krituliuose kaita neturi vienos krypties tendencijos. Aukštaitijos KMS nitratų koncentracija krituliuose ir jų srautas mažėja, Žemaitijos KMS nitratų srautas turi tendenciją didėti.

Žemaitijos KMS teritorijoje tirtų junginių srautai vidutiniškai 70 %, o Dzūkijos KMS teritorijoje (per tiriamąjį laikotarpį) apie 20 % didesni negu Aukštaitijos KMS teritorijoje. Žemaitijos KMS lemiamu veiksniu galima būtų laikyti didesnę kritulių kiekį, Dzūkijos KMS – didesnes teršalų koncentracijas ore ir krituliuose dėl šios teritorijos artumo su Vakarų ir Vidurio Europos valstybėmis.

Rūgštesni lietūs buvo 1994–1996 m. ir 2002–2003 m. laikotarpiais. Kritulių pH metinių verčių padidėjimui (>5,0) per 1997–2001 m. įtakos galėjo turėti sulfatų koncentracijų mažėjimas, o pakartotiniam pH verčių sumažėjimui 2002–2003 m. laikotarpiu – sulfatų ir nitratų koncentracijos krituliuose didėjimas ir kalcio mažėjimas.

3.4. Pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos polajiniuose krituliuose

Dalia Šopauskienė, Dalia Jasinevičienė

Cheminiai elementai (azoto junginiai, K, Na, Mg), kurie dalyvauja miško ekosistemų biologiniuose procesuose, gali būti medžių lapijos absorbuoti iš atmosferos kritulių ar išplauti kritulių iš jos. Tuo pačiu metu krituliai nuo medžių lajų nuplauna ir sausai nusėdusius iš atmosferos teršalus. Dėl to duomenys apie azoto, sieros ir šarminių katijonų atmosferinius srautus po lajomis yra būtini biogeocheminiam ciklams miško ekosistemose tirti.

Polajinių kritulių monitoringo tikslas yra nustatyti medžių lajų poveikį atmosferos kritulių cheminei sudėčiai ir įvertinti teršalų srautus į miško paklotę.

Atmosferos krituliai rinkti kiekvieną mėnesį į 5 vienoje linijoje kas 10 m po medžių lajomis pastatytus rinktuvus ir į vieną rinktuvą atviroje vietoje. Visų surinktų polajinių kritulių cheminės analizės atliktos analogiškai kaip ir kritulių, surinktų atviroje vietoje (3.3. skyrius).

Teršalų srautai po laja iš esmės skiriasi nuo jų srautų atviroje vietoje. Aukštaitijos KMS sieros srautas po medžių lajomis 1,2–1,5 karto, Dzūkijoje 1,2–2,5 karto, o Žemaitijoje net 1,8–3,0 karto yra didesnis negu atviroje vietoje (3.10. pav.). Šį sieros srauto padidėjimą reikėtų sieti su sausai ant lapijos nusėdusių sieros junginių (SO_2 ir SO_4^{2-}) nuplovimu.



Kritulių rinkimas žiemą



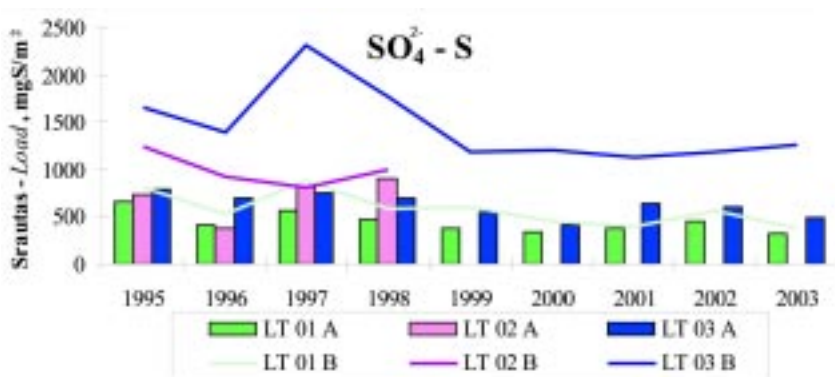
Kritulių rinkima vasarą

Didžiausias sieros srautas į miško paklotę buvo registruojamas 1995–1998 m. laikotarpiu. Vėliau jis gerokai sumažėjo ir pastaruoju metu mažai kinta bei yra beveik du kartus mažesnis, palyginti su metiniais srautais 1995–1998 m. Nepaisant tokio žymaus sieros srauto sumažėjimo KMS, Žemaitijoje sieros srautas į miško paklotę beveik 3 kartus didesnis negu Aukštaitijoje.

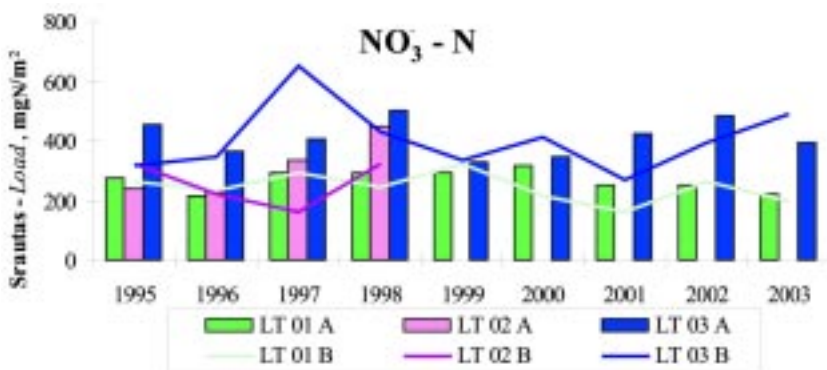
Azoto junginių (NO_3^- ir NH_4^+) srautų pokyčiai į miško paklotę gali būti padidėję, nuplovus šiuos junginius nuo lajų, ir sumažėję, lapijai absorbavus juos iš kritulių. Nitratų srautas į miško paklotę per tyrimų laikotarpį iš esmės nekito (3.11. pav.), tačiau amonio azoto srautas, kaip ir sulfatų, buvo didžiausias 1995–1997 m. laikotarpiu (3.12. pav.). Pastaraisiais metais šis srautas į miško paklotę Aukštaitijoje ir Žemaitijoje vidutiniškai yra 4 kartus mažesnis, palyginti su 1995–1997 m.

Tyrimai rodo didelį K^+ srauto padidėjimą po medžių lajomis, lyginant su jo srautu atviroje vietoje (3.13. pav.). Dzūkijos KMS toks padidėjimas kito iki 5 kartų, Aukštaitijos KMS – nuo 5 iki 10 kartų, o Žemaitijos KMS – net nuo 10 iki 30 kartų. Labiausiai tikėtina, kad tai yra dėl K^+ išplovimo iš lajos, nes šio teršalo sausieji srautai, esant nedidelėms koncentracijoms atmosferoje, yra gana maži ir todėl nuplovimas nuo lajos yra mažai reikšmingas.

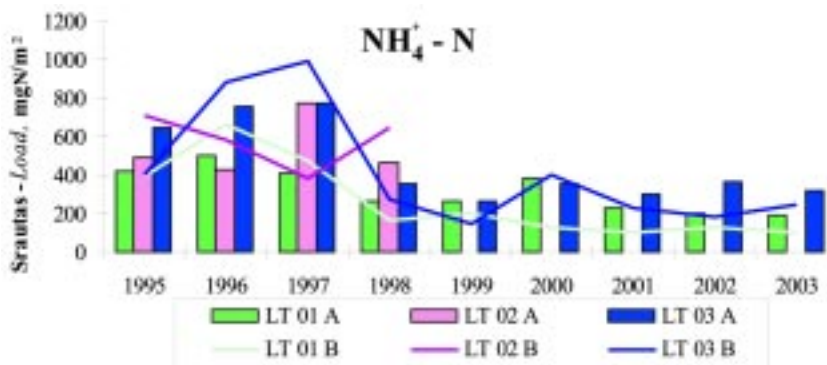
Reikšmingos įtakos tirtų elementų srautams po medžių lajomis turėjo medžių lajų susivėrimo laipsnis. Žemaitijos KMS polajinių kritulių rinkimo stotis įkurta prie augalijos tyrimo stacionaro brandžiame eglyne. Lajų susivėrimas šioje stotyje intensyviausias, lyginant su kitomis KMS. Aukštaitijos KMS polajinių kritulių rinkimo sto-



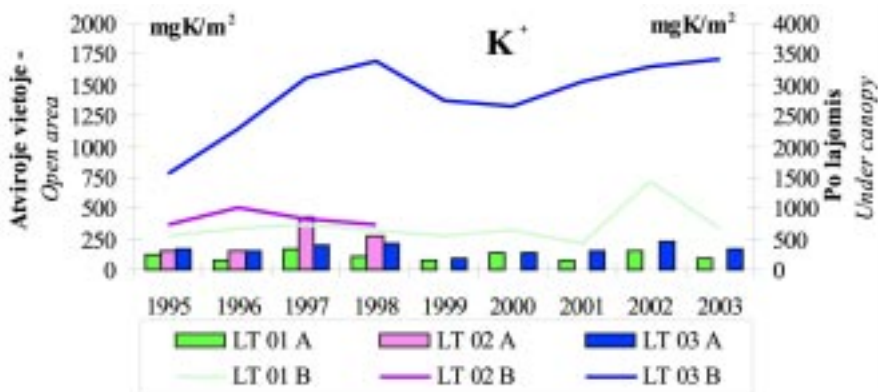
3.10. pav. Sulfatų srautų kaita atmosferos krituliuose atviroje vietoje (A) ir po medžių lajomis (B) Aukštaitijos (LT 01), Dzūkijos (LT 02) ir Žemaitijos (LT 03) KMS



3.11. pav. Nitratinio azoto srautų kaita krituliuose atviroje vietoje (A) ir po medžių lajomis (B) Aukštaitijos (LT 01), Dzūkijos (LT 02) ir Žemaitijos (LT 03) KMS



3.12. pav. Amonio azoto srautų kaita krituliuose atviroje vietoje (A) ir po medžių lajomis (B) Aukštaitijos (LT 01), Dzūkijos (LT 02) ir Žemaitijos (LT 03) KMS



3.13. pav. Kalio srautų kaita krituliuose atviroje vietoje (A) ir po medžių lajomis (B) Aukštaitijos (LT 01), Dzūkijos (LT 02) ir Žemaitijos (LT 03) KMS

tiš įsteigta perbrendusiam pušyne su nedidele eglių priemaiša, dėl to medžių lajos susiveria mažiau. Dzūkijos KMS polajinių kritulių rinkimo stotyje vyraujančios pušys susivėrusios mažiausiai. Būtent toks medžių susivėrimo laipsnis lėmė tirtų elementų srautų, o ypač K srauto, atitinkamą padidėjimą po medžių lajomis.

Polajiniai srautai Žemaitijos KMS kelis kartus viršijo tirtų komponentų srautus kitose stotyse. 1997 m. sulfatų ir amonio srautams po medžių lajomis labai sumažėjus, pastaruoju laikotarpiu jie išlieka stabilūs, o jų kaitą lemia nuplovimo ir absorbcijos procesai, vykstantys lajose.

3.5. Pažemio ozonas

Raselė Girgždienė

Atmosferos ozono monitoringas yra neatskiriama dalis daugumos tarptautinių programų, susijusių su bendru atmosferos monitoringu. Ozono lygį matavimo vietoje daugiausia lemia: ozono pernaša, susijusi tiek su oro masių judėjimu, tiek ir su vertikaliuoju maišymusi; fotocheminis susidarymas, kuris glaudžiai siejasi su vietinėmis meteorologinėmis sąlygomis ir ozono pirmtakų koncentracijomis; suirimas į paklotinį paviršių. Didelės – per $160 \mu\text{g m}^{-3}$ – koncentracijos Lietuvoje dažnai yra susijusios su užterštu oro masių pernaša iš Vakarų Europos ir Ukrainos (Girgždienė, 2002). Tokiais atvejais didelės ozono koncentracijos registruojamos visose stotyse. Tačiau augmenijai pavojingos yra ir daug mažesnės ozono koncentracijos. Didžiausią poveikį augmenijai, be abejonės, turi ozono lygis vegetacijos metu, t. y. balandžio – rugsėjo mėnesiais. Pagal Ozono direktyvą 2002/3/EB/ („Directive 2002/3/EC“), vertinant ozono poveikį augmenijai ir miškams, įvertintas ozono lygis turi būti didesnis nei $80 \mu\text{g m}^{-3}$ dienos metu.

Šiandien ozono koncentracija oro masėse virš jūros, kurios pasiekia Europą iš Vakarų, yra 60–70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Fotocheminiai vyksmai virš Vakarų ir Centrinės Europos padidina šį lygį 30–40 % vasarą ir sumažina apie 10 % žiemos metu. Ozonas troposferoje yra labai svarbus daugeliui atmosferos vyksmų: oksidacijai, aplinkos rūgštėjimui, „šiltnamio“ efektui, aerozolio susidarymui ir kitiems procesams. Dėl to šių tyrimų tikslas – nustatyti ozono lygio pokyčius, kitimo tendenciją ir šaltinius kritiniam lygiui tikslinti bei poveikiui ekosistemoms vertinti.

Ozono koncentracija Lietuvos KMS šiuo metu matuojama visame Europos tinkle naudojamais UV absorbcijos metodu veikiančiais ozono nenutrūkstamo matavimo analizatoriais: Aukštaitijos – ML 9811, o Žemaitijos – ML 8810. Pirmieji matavimai visose stotyse buvo atlikti dar Fizikos institute pagamintais elektrocheminiais ozonometrais. Šie prietaisai buvo pakeisti į komercinius UV absorbcijos metodu veikiančius prietaisus Aukštaitijos stotyje 1996 m., o Žemaitijos – 2000 m. UV absorbcijos ozono analizatorių veikimas paremtas ozono gebėjimu absorbuoti 254 nm bangos ultravioletinius spindulius. Spinduliuotės šaltinis prietaise yra gyvsidabrio garų lempa, o detektorius – vakuuminis fotodiodas. Aplinkos ozono koncentracija matuojama dviem ciklais kas 20 sekundžių. Pirmuoju – oras su ozonu pereina absorbcinę celę ir išmatuojamas šviesos intensyvumas I . Antruoju etapu – oras, jau išvalytas nuo ozono, patenka į celę ir vėl išmatuojamas šviesos intensyvumas I_0 . Pagal Bero ir Lamberto dėsnį išmatuota ozono koncentracija apskaičiuojama taip:

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

čia

$[O_3]$ – ozono koncentracija, ppm (1 ppm = 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); a = absorbcijos koeficientas;

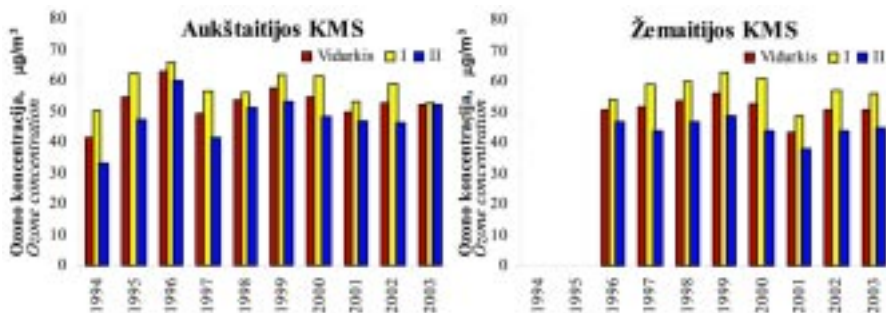
I = optinio kelio ilgis, cm; T = pavyzdžio temperatūra, K; P = pavyzdžio slėgis, tor;

L = ozono nuostoliai prietaise.

Prietaisų matavimo ribos – 0–40 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, jautrumo riba – 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, matavimo trukmė – 20 s. Prietaisai turi skaitmeninį ir analoginį išėjimą.

Šie prietaisai yra labai brangūs, tačiau lyginant su pasyviais ozono rinktuvais, leidžia stebėti ozono kaitą, pvz., ozono koncentracijų kaitą per parą, trumpalaikių didžiausių ozono koncentracijų epizodus) ir apskaičiuoti AOT40 arba AOT60 vertes. Pasyvūs rinktuvai, nors ir yra daug pigesni, tačiau juos naudojant galima nustatyti tik vidutines ozono koncentracijas per tam tikrą laiko tarpą, pvz., savaitę. Jie nėra labai tikslūs, o koreliacija tarp ozono koncentracijų, nustatytų pasyviais rinktuvais ir nenutrūkstamo matavimo analizatoriais, tėra vos 0,24 (Krupa and Nosal, 2001).

Lietuvos KMS teritorijose gauti ozono koncentracijų duomenys rodo, kad jų kitimo tendencijos visose stotyse per tą patį laiką tarpą buvo panašios. Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS per 1997–2003 m., nors ir nereikšmingai, tačiau vidutinės metinės ozono koncentracijos sumažėjo – per metus atitinkamai $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ir $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mažiausia vidutinė metinė koncentracija Aukštaitijos KMS buvo 1997 m. ($49 \mu\text{g}/\text{m}^3$), o didžiausia – 1999 m. ($57,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Žemaitijos KMS mažiausia vidutinė metinė koncentracija užfiksuota 2001 m. ($45,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), o didžiausia – taip pat 1999 m. ($55,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Dzūkijos KMS gauti ozono koncentracijų duomenys yra neištiesiniai, tačiau koncentracijos ir jų kaita (3.15. pav.) yra labai panašios į Aukštaitijos KMS per 1994–1999 m. laikotarpį.



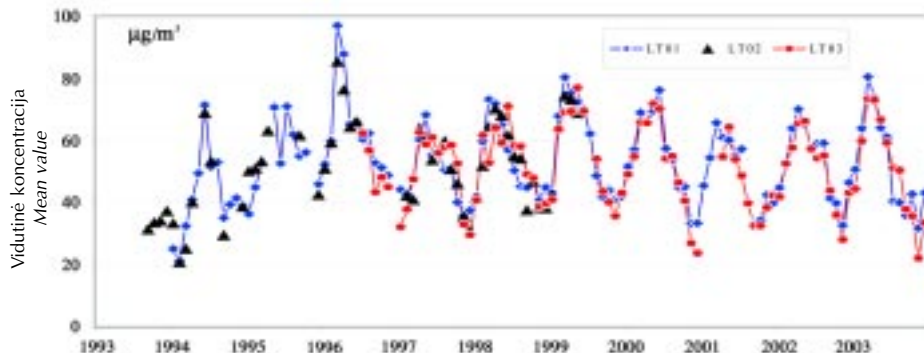
3.14. pav. Ozono koncentracijos vidutinių verčių kaita Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS (Vidurkis – vidutinė metinė koncentracija; I – šiltuoju laikotarpiu; II – šaltuoju laikotarpiu)

Iš 1993–2003 m. laikotarpio labai išsiskiria 1996 m. Didžiausios vidutinės mėnesio (bet nedidžiausios valandinės) koncentracijos buvo išmatuotos tiek LT01 $97 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tiek ir LT02 stotyje $85,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.14. pav.). Šie metai išsiskyrė iš kitų metų mažiausiu krituliu kiekiu ir žemiausia metine vidutine temperatūra (3.1. pav.). Nagrinėjant ilgalaikes ozono koncentracijų kitimo tendencijas per 1994–2003 m. KMS, atmetus 1996 m., kaip nestandartinių meteorologinių požūrių metų, ozono lygius, nustatytas teigiamas $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus trendas, kuris statistškai taip pat nėra reikšmingas, tačiau labai panašus į kitose šalyse nustatytą tendenciją, pvz., $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Anglijoje (Coyle *et al.*, 2003), $0,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Švedijoje. Apskritai Šiaurės ir Vakarų Europoje neužterštuose regionuose ozono koncentracijos didėja nuo $0,6$ iki $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus (Solberg *et al.*, 2004).

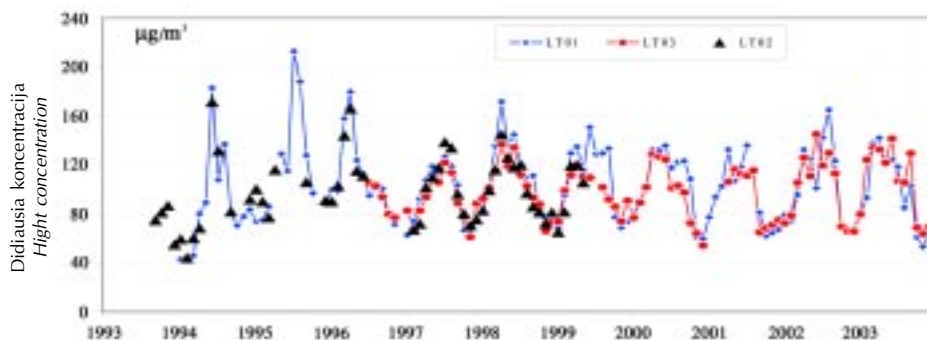
Nagrinėjant atskirai šiltojo (balandis – rugsėjis) ir šaltojo (spalis – kovas) laikotarpių ozono koncentracijas Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS (3.15. pav.), nustatyta, kad jų lygis artėja, t. y. šaltojo laikotarpio vidutinė koncentracija didėja, o šiltojo – mažėja. Tokia tendencija ypač akivaizdi Aukštaitijos KMS. Šioje stotyje iki 1996 m. buvo registruojamas pastovus ozono koncentracijų didėjimas ir šaltuoju, ir šiltuoju laikotarpiu, o nuo 1996 m. ozono koncentracija ore pradėjo mažėti, ypač šiltuoju metų laikotarpiu ($1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per metus).

Užregistruotas bendras didžiausių ozono koncentracijų sumažėjimas (nuo $213 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 1995 m. iki $142 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 2003 m.) per 1994–2003 m. Aukštaitijos KMS (3.16. pav.) gerai

koreliuoja su kitų dujinių ir aerosolinių priemaišų ore koncentracijos pokyčiais (žr. 3.2. skyrių). Dzūkijos KMS taip pat nustatyta, kad nuo 1997 m. labai sumažėjo didžiausios ozono koncentracijos. Tik Žemaitijos KMS toks didelis didžiausių ozono koncentracijų verčių sumažėjimas nenustatytas, nes koncentracijos matuoti pradėtos tikrai nuo 1996 m. Nepaisant to, tokia didžiausių ozono koncentracijų kaita būdinga ir kitoms stotims Europoje (Roemer, 2001). Anglijoje užregistruotas apie 30 % didžiausių ozono koncentracijų sumažėjimas per paskutinius 10 metų (Coyle *et al*, 2003), tačiau nuo 1997 m. vyrauja tik nedideli šių koncentracijų svyravimai. Skandinavijos šalyse taip pat užregistruotas didžiausių ozono koncentracijų sumažėjimas (Solberg *et al*, 2002).



3.15. pav. Ozono vidutinių mėnesio koncentracijų kaita Aukštaitijos (LT01), Dzūkijos (LT02) ir Žemaitijos (LT03) KMS



3.16. pav. Ozono didžiausių mėnesio koncentracijų kaita Aukštaitijos (LT01), Dzūkijos (LT02) ir Žemaitijos (LT03) KMS

Per 1994–2003 m. laikotarpį Aukštaitijos KMS nustatytas didžiausių ozono koncentracijų sumažėjimas – 0,3 % per metus ir 0,4 % per šiltąjį metų laikotarpį. Paskutinių 5 metų laikotarpiu užregistruotas ir vidutinių metinių koncentracijų mažėjimas Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS. Tačiau šie pažemio ozono koncentracijų pokyčiai yra statistiškai nereikšmingi ir atspindi pastarojo laikotarpio bendras ozono kitimo tendencijas Europoje.

3.6. Dirvožemio, gruntinio ir upelio vandens cheminė sudėtis bei pagrindinių elementų išnaša

leva Baužienė



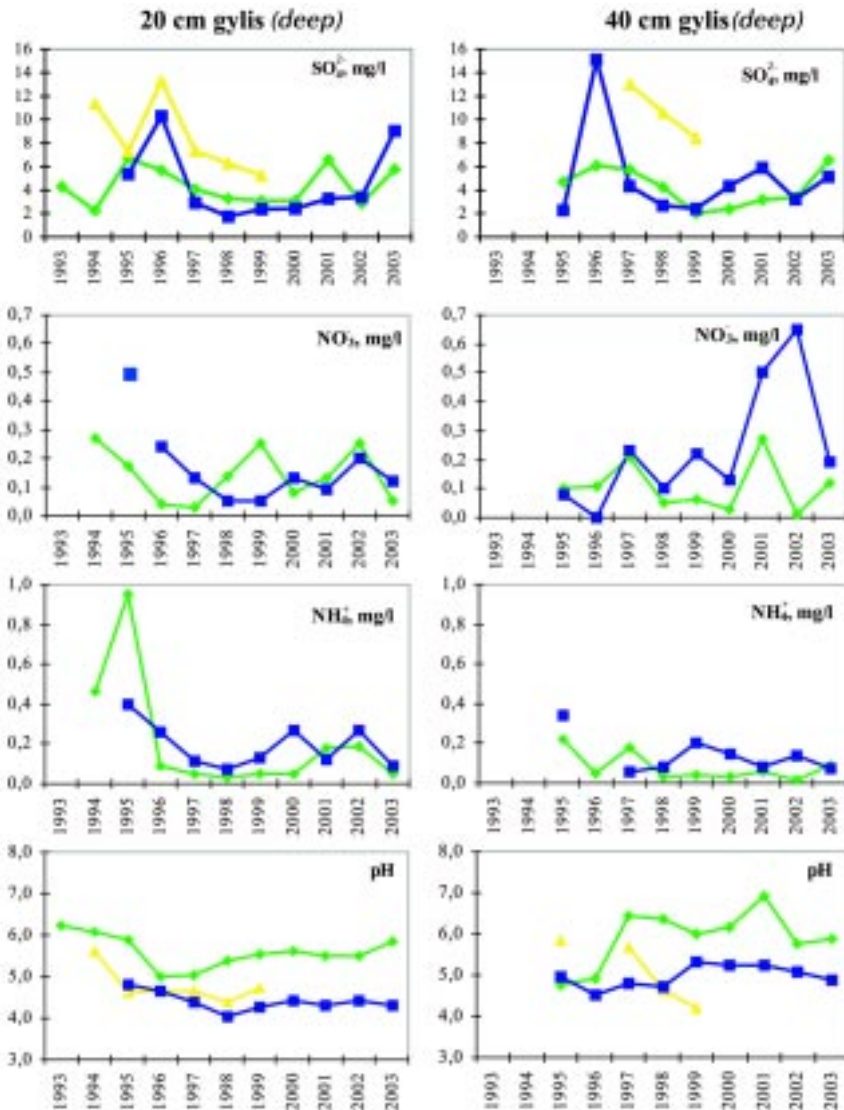
Dirvožemių, jo vandenų ir upelio vandens cheminės sudėties analizė, atsižvelgiant į tiriamų cheminių komponentų šlapiuosius srautus, leidžia vertinti su tolimomis pernašomis į Lietuvos teritoriją patenkančių teršalų kaupimąsi ir transformaciją dirvožemyje, nustatyti medžiagų išplovimo iš dirvožemių režimą, migracijos kelius ir patekimą į gruntinį vandenį bei pernešimą upeliais į paviršinio vandens telkinius. Šie duomenys reikalingi natūraliems ir antropogeniniams medžiagų srautams, jų migracijos ir kaupimosi pobūdžiui nustatyti, antropogeninės veiklos poveikiui natūralioms ekosistemoms vertinti ir prognozuoti.

Tyrimų tikslas – nustatyti pamatinių ekosistemos elementų – dirvožemio, dirvožemio vandens, gruntinio vandens – cheminę sudėtį ir jos pokyčius tolimų oro teršalų pernašų poveikiui įvertinti.

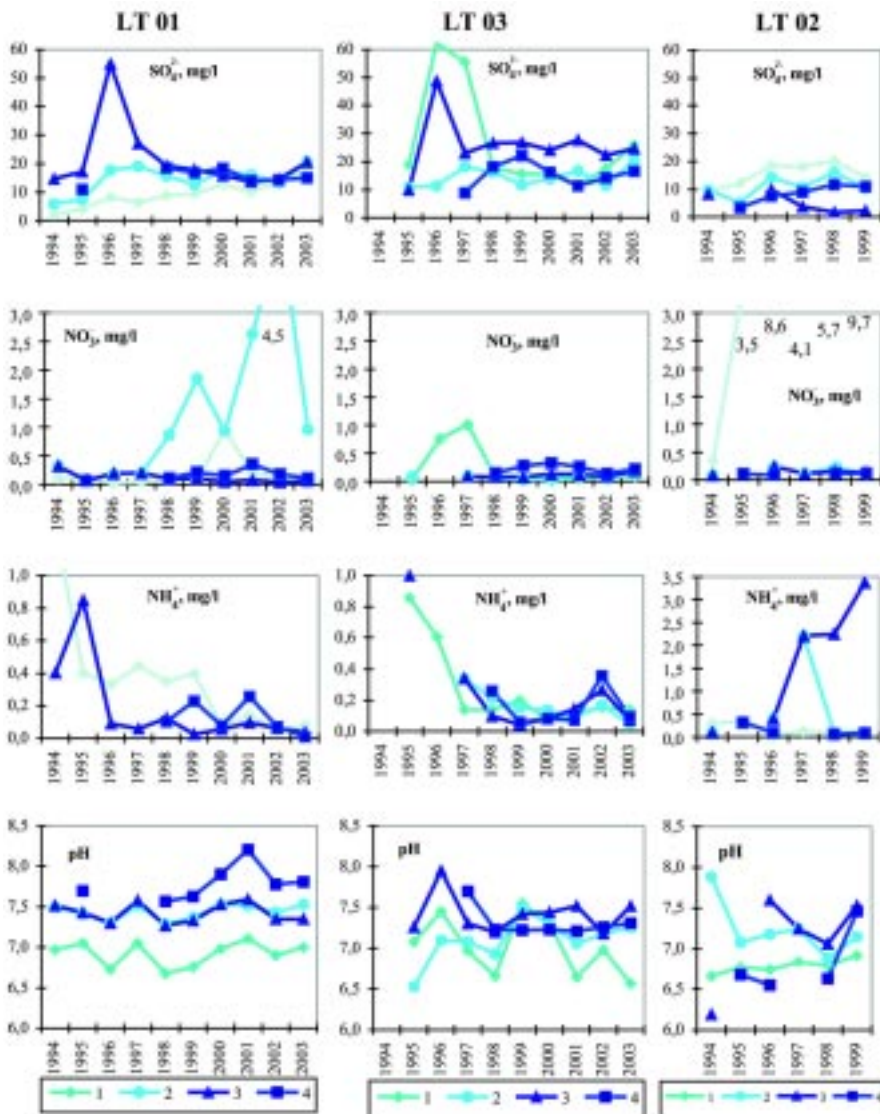
Nuolatiniai dirvožemio vandens, gruntinio vandens ir upelių vandens cheminės sudėties stebėjimai Aukštaitijos ir Dzūkijos KMS teritorijose pradėti 1993 m. rudenį, o Žemaitijos KMS – 1995 m. pavasarį. Sunkiųjų metalų kiekis pradėtas matuoti nuo 2000 m. Visi mėginiai imami ir jų cheminės analizės atliekamos Aplinkos apsaugos agentūros laboratorijoje, vadovaujantis bendra metodika, pagal kurią dirba ir kitos KM programoje dalyvaujantios šalys.

Dirvožemio, gruntinio ir upelio vandens cheminė sudėtis. Atmosferos krituliai transformuojasi biotoje ir dirvožemyje, filtruojasi į gruntinius vandenis, kurie maitina paviršinį srautą ir upeliu išplukdomi iš teritorijos. Augalų, dirvožemių ir gruntinio vandens zona, kuri dar vadinama geosistema, yra geochemiškai aktyviausia kraštovaizdžio dalis, susijusi grandininėmis reakcijomis, vidiniu autoreguliacijos mechanizmu ir atmintimi (Pauliukevičius, Kenstavičius, 1995).

Apibendrinant dešimtmečio stebėjimų duomenis, palyginti vandens pH, azoto junginių ir sulfatų koncentracijų metiniai vidurkiai. Nustatyta, kad jų kaita dirvožemio, gruntiniame ir upelio vandenyje yra sinchroniška arba nuosekli.



3.17. pav. Sulfatų, nitratų, amonio ir pH kaita dirvožemio vandenyje 20 cm ir 40 cm



3.18. pav. Sulfatų, nitratų, amonio ir pH kaita Aukštaitijos (LT 01), Dzūkijos (LT 02) ir Žemaitijos (LT 03) KMS gruntiniame vandeny; (1, 2, 3, 4 – gręžinio numeris)

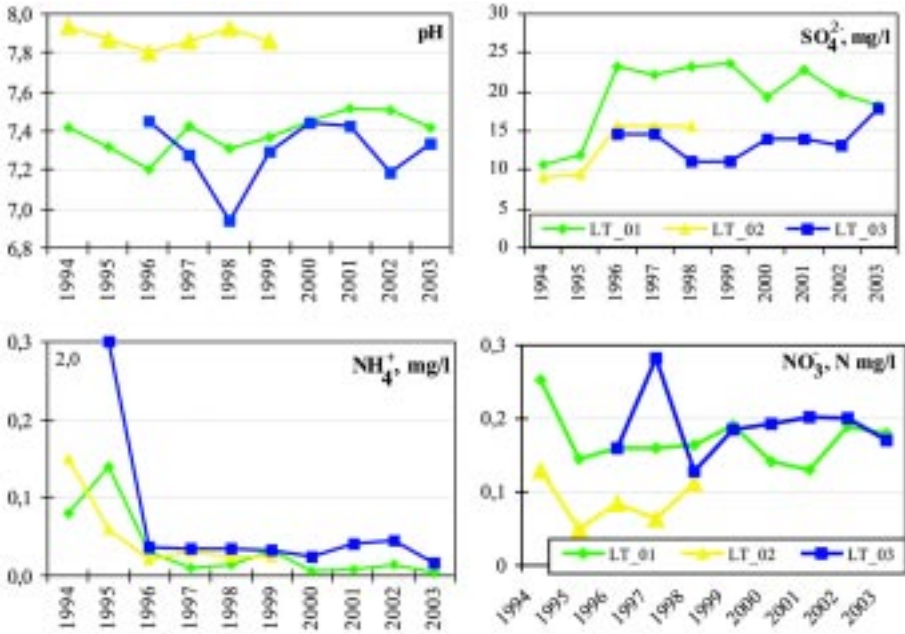
Didžiausias Aukštaitijos KMS dirvožemio, gruntinio ir upelio vandens rūgštingumas buvo nustatytas tais pačiais metais, 1996 m. ir 1998 m., o vėliau – ne toks didelis, pH mažėjo kasmet paeiliui: 2001 m. dirvožemio vandenyje (3.17. pav.),

2002 m. gruntiniame vandenyje (3.18. pav.) ir 2003 m. upelio vandenyje (3.19. pav.). Žemaitijos ir Dzūkijos KMS dirvožemio, gruntinio ir upelio vandens didžiausias vidutinis rūgštingumas buvo užregistruotas 1998 m., vėliau, 2001 m., Žemaitijos KMS vėl sumažėjo dirvožemio ir gruntinio vandens, o 2002 m. ir upelio vandens pH.

Dirvožemio, gruntinio ir upelio vandens rūgštėjimo laikotarpiai yra nevienodi. 2001 m. dėl parūgštėjusio dirvožemio vandens Aukštaitijos KMS tik po dvejų, o Žemaitijos KMS po vienerių metų sumažėjo upelio vandens pH. Tai gi geosistema reagavo inertiškiau negu 1996–1998 m. Tai gali rodyti mažesnį nepalankaus poveikio mastą.



Hidroįtvaras Aukštaitijos KMS



3.24. pav. Pagrindinių vandens kokybės rodiklių kaita upelių vandenyje Aukštaitijos (LT-01), Dzūkijos (LT-02) ir Žemaitijos (LT-03) KMS

Azoto junginių (nitratų ir amonio) koncentracija dirvožemio, gruntinio ir upelio vandenyje buvo padidėjusi 1998–1999 m. ir 2001–2002 m., sinchroniškai arba kitais metais po rūgštingumo padidėjimo. Azoto junginių koncentracija dirvožemio, gruntinio ir upelio vandenyje (3.17., 3.18. ir 3.19. pav.) padidėjo tais pačiais metais kaip ir azoto junginių srautai (3.6. ir 3.7. pav.).

Sulfatų koncentracija dirvožemio, gruntinio ir upelio vandenyje visose KMS buvo padidėjusi 1996 m., o Žemaitijos KMS – 2001 m. ir 2003 m.

Lietuvos statistikos departamentas skelbia, kad per 1995–2003 m. laikotarpį azoto oksidų į atmosferą buvo išmesta daugiausiai 2001 m. ir 1997–1998 m., o sieros – 1998 m. Tačiau pagal detalesnius apskričių duomenis, didžiausias teršimas sieros dioksidu buvo 2001 m. Telšių apskrityje, kai į atmosferą buvo išmesta 1,5 karto daugiau sieros dioksido negu 2003 m. (Teršalų išmetimas, 2004). Taigi, azoto ir sieros junginių kiekio padidėjimą KMS geosistemose lėmė regioninis teršimas.

Klimato sąlygos taip pat lėmė azoto, sieros ir fosforo kiekio geosistemose kaitą. Sausringais 1999 m. ir 2000 m. sumažėjo azoto, sieros ir fosfatų koncentracijos dirvožemio, gruntiniame ir upelio vandenyje.

Dirvožemio, gruntinio ir upelio vandens cheminės sudėties pokyčiai vyko netolygiai. 1993–1996 m. buvo užregistruotos didžiausios sulfatų koncentracijos ir žemiausios pH vertės. 2001–2003 m. cheminės sudėties pokyčiai buvo mažesni ir skirtingose geosistemos dalyse vyko ne tuo pačiu metu. Aukštaitijos KMS dirvožemio vandens cheminės sudėties pokyčio poveikis plito 2–3 metus, o Žemaitijos KMS – apie 2 metus.

Nuo 2001 m. dirvožemio vandenyje padidėjo sulfatų koncentracija, 2001–2002 m. padaugėjo dar ir nitratų. Didžiausi cheminės sudėties svyravimai per stebėjimo laikotarpį užregistruoti Dzūkijos ir Žemaitijos KMS. Cheminių medžiagų koncentracijų padidėjimas sutapo su 2001 m. įvykusių kritulių parūgštėjimu bei azoto junginių ir sulfatų srauto iš atmosferos padidėjimu dėl regioninio teršimo.

Cheminių medžiagų išnaša

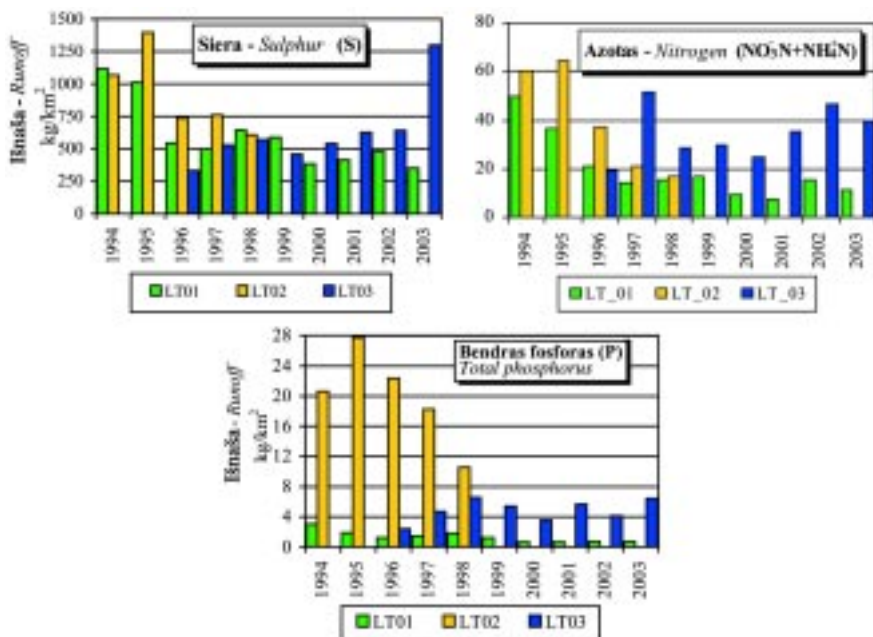
Cheminių medžiagų išnaša iš baseinų įvertinta atsižvelgiant į medžiagų srautus su upelio vandeniu. Per stebėjimo laikotarpį sieros, mineralinio azoto ir fosforo išnašos iš upelių baseinų visose stotyse kito netolygiai. Išnašų mažėjo Aukštaitijos KMS 1995–1996 (1997) m., 1999–2000 m., 2002–2003 m., Dzūkijos KMS – 1995–1998 m., o Žemaitijos KMS – 1998–1999 (2000) m. (3.20. pav.).

1996–2003 m. – tai periodas, kai duomenys buvo renkami reguliariai dviejose Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS, todėl galima palyginti medžiagų išnašos tendencijas. Skirtumai tarp metinės medžiagų išnašos 1996–2003 m. laikotarpiu mažėjo. Bet kaitos tendencijos Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS buvo skirtingos. Aukštaitijos KMS metinė išnaša per 1996–2003 m. laikotarpį sumažėjo, o Žemaitijoje – padidėjo. Metinių išnašos pokyčių suma Aukštaitijos KMS buvo neigiama: sieros –195

kg/km², mineralinio azoto –10,2 kg/km², – bendrojo fosforo – 0,54 kg/km², o Žemaitijos KMS – teigiama: sieros +918 kg/km², mineralinio azoto +18,8 kg/km², bendrojo fosforo +4,0 kg/km². Palyginus variacijos koeficiento vertes nustatyta, kad Aukštaitijos KMS medžiagų išnašos sumažėjimas statistiškai reikšmingas.

Medžiagų išnašos kaita KMS panaši į medžiagų srauto, patenkančio į sistemą su polajiniais krituliais, kaitą. Aukštaitijos KMS S išnašą statistiškai reikšmingai lėmė upelio debitas ir sieros šlapiaasis srautas. Šiems parametrams mažėjant, S išnaša taip pat mažėjo. Dzūkijos KMS baseine gautas analogiškas priklausomumas. Mažėjant upelio debitui ir S srautui, S išnaša mažėjo, tačiau šių veiksnių poveikis, matyt, dėl trumpo duomenų sekos statistiškai nereikšmingas. Žemaitijos KMS baseine nei upelio debitas, nei S srautas neturėjo reikšmingesnės įtakos šio elemento išnašai iš baseino. Analogiški dėsningumai užregistruoti ir tiriant bendrojo azoto išnašas iš KMS baseinų.

Kitų elementų, sudarančių tirpius junginius (Cl, Ca, Mg, Na ir K), išnašos mažėjimą Aukštaitijos KMS baseine lėmė upelio nuotėkio sumažėjimas. Tuo tarpu Žemaitijos KMS baseine upelio nuotėkiui didėjant, toliau didėjo S, Cl, Ca, Mg, Na ir K išnašos.



3.20. pav. Cheminių elementų išnaša (kg/km² per metus) iš KMS upelių baseinų

Stebėjimo laikotarpiu medžiagų išnašų iš Aukštaitijos KMS baseino mažėjo. Medžiagų išnašų iš Žemaitijos KMS baseino tendencijos neryškios. Žemaitijos KMS 2002 m. padaugėjo azoto junginių išnašų, o 2003 m. – ir sieros bei fosforo.

Dirvožemio, gruntinio ir upelio vandens pH bei azoto junginių ir sulfatų koncentracijų kaita rodo, kad 1994–2003 m. rūgštėjimo procesai slopo, mažėjo teršalų, bet 2001–2003 m. vėl užregistruoti nepalankūs pokyčiai, kurių mastas Aukštaitijos KMS mažesnis, o Žemaitijos KMS didesnis negu stebėjimo laikotarpio pradžioje.

3.7. Sunkieji metalai ir jų šrantai miško ekosistemose

Algirdas Augustaitis, Ieva Baužienė, Zenonas Gulbinas, Reda Mažeikytė

Sunkieji metalai į atmosferą patenka dviem būdais: natūralių, gamtoje vykstančių procesų metu (dirvos erozija, vulkaninė veikla, miškų gaisrai, vegetacija, išnašos su jūros purlais) ir technologinių procesų metu. Natūraliai gamtoje vykstantys procesai išmeta nedidelius sunkiųjų metalų kiekius (Shukla, Leland, 1973). Daugelį metų deginant gamtinį kurą, planetoje padidėjo sunkiųjų metalų koncentracijos ore, vandenyje, dirvožemyje, dumble, 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.

Nuokritų sezoninė dinamika ir jų cheminė sudėtis

Nuokritų dinamika yra vienas iš cheminių elementų judėjimo ekosistemoje tarpinių. Nuo nuokritų kiekio ir užterštumo sunkiaisiais metalais priklauso bendras metalų balansas ekosistemoje. Nuokritų kiekis parodo ir medžių lajų būklę. Didėjantis jų kiekis natūraliomis sąlygomis rodo didėjančią lapijos biomasę bei mažesnę lajų defoliaciją, t. y. gerėjančią medžių būklę. Todėl KMS teritorijose tiriama nuokritų sezoninė dinamika, jų užterštumas sunkiaisiais metalais ir nustatomi su nuokritomis patenkančių sunkiųjų metalų šrantai tiriamose miško ekosistemose.

Nuokritų dinamika tirta būdingiausiuose KMS teritorijų medynuose, ties augalijos intensyvaus tyrimo stacionarais, greta polajinių kritulių rinktuvų. Aukštaitijos KMS prie ITS 01 perbrendusiame pušyne su antru eglės ardu, Dzūkijos KMS prie ITS 01 bręstančiame gryname pušyne ir Žemaitijos KMS prie ITS 01, brandžiam gryname eglyne. Nuokritos buvo renkamos kas mėnesį. Išskirtos šios nuokritos: spygliai, lapai, kankorėžiai, šakos, žievė ir visos likusios medžio dalys (pumpurai, žvyneliai, strobilai, šakelės ir kt.).

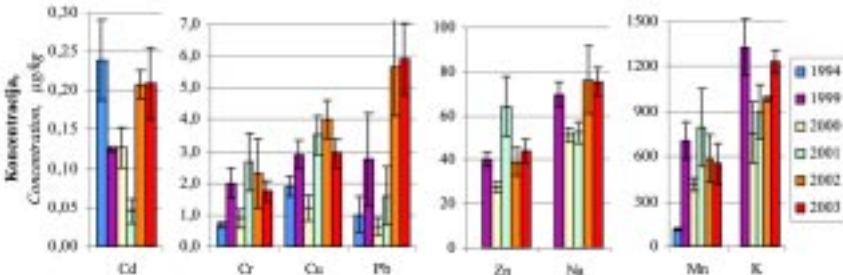
Aukštaitijos KMS nuokritų tyrimo stotyje (perbrendusiame brukniniame pušyne) vidutiniškai susidaro apie 3 500 kg/ha nuokritų, iš kurių apie 50 % tenka spygliams, 30 % pušies žievei ir maždaug po 10 % kankorėžiams ir beržų lapams. Dzūkijos stotyje (bręstantis grynas pušynas) vidutiniškai susidaro 3 745 kg/ha nuokritų per metus, kurių daugiau nei 50 % sudaro spygliai. Žemaitijos bręstančiame eglyne susidaro apie 4 580 kg/ha nuokritų, iš kurių net 77 % visų nuokritų tenka eglės spygliams.

Per tiriamąjį laikotarpį nustatyta statistiškai reikšmingas nuokritų kiekio didėjimo trendas. Žemaitijos KMS nuokritų kiekis vidutiniškai didėja 45 g/m², Aukštaitijos KMS – 20 g/m² ir tik Dzūkijos KMS

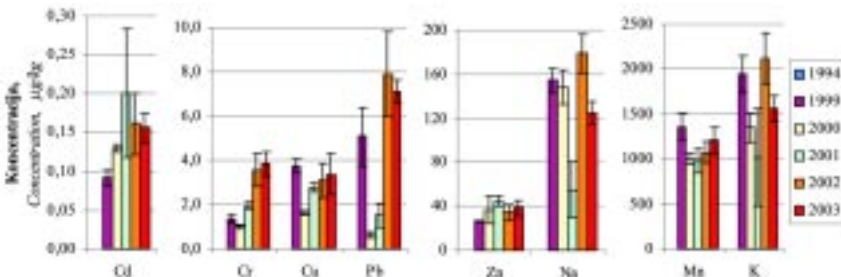
per 6 metų laikotarpį nuokritų kiekis didėjo tik po 10 g/m². Jų užterštumo sunkiaisiais metais duomenys rodo, kad Aukštaitijos KMS teritorijoje sunkiųjų metalų koncentracijos nuokritose didėjo, ypač Pb, Cu ir Cr (3.20. pav.). Žemaitijos KMS reikšmingai didėjo Pb, Cd, Cr koncentracijos (3.21. pav.).



Nuokritų rinktuvai įrengti šalia polajinių kritulių rinktuvų

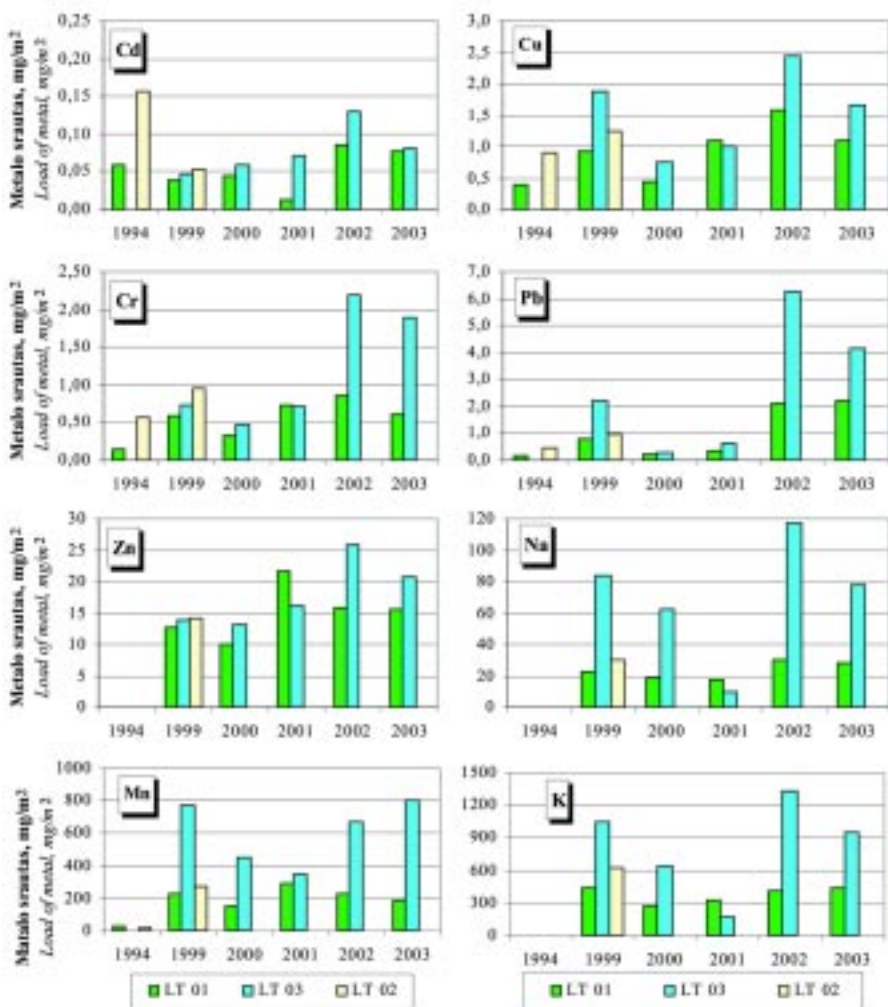


3.20. pav. Metalų metinių koncentracijų nuokritose kaita Aukštaitijos KMS 1994–2003 m.



3.21. pav. Metalų metinių koncentracijų nuokritose kaita Žemaitijos KMS 1999–2003 m.

Palyginus tirtų metalų koncentraciją tarp atskirų KMS nustatyta, kad tik Cd ir Cu koncentracijos Aukštaitijos KMS yra vienodos ar didesnės nei Žemaitijos KMS nuokritose. Kitų tirtų metalų koncentracijos Žemaitijos KMS nuokritose 2–3 kartus didesnės nei Aukštaitijos KMS nuokritose. Laikotarpiu, kuriuo buvo tiriama nuokritų sezoninė dinamika ir jų užterštumas sunkiaisiais metalais Dzūkijos KMS, Cd, Cr ir Zn daugiausiai buvo susikcentravę Dzūkijos KMS bręstančio pušyno nuokritose.



3.22. pav. Tirtų metalų srautai su nuokritomis 1994–2003 m. Aukštaitijos (LT 01), Dzūkijos (LT 02) ir Žemaitijos (LT 03) KMS

Sunkiųjų metalų metinių srautų su nuokritomis analizė parodė, kad Aukštaitijos KMS teritorijoje buvo būdingas šių metalų srautų didėjimo trendas. Per 10 metų laikotarpį būdingame perbrendusiame šios stoties pušyne Pb srautas padidėjo nuo 0,2 iki 2,2 mg/m², Cu – nuo 0,4 iki 1,4 mg/m², Cr – nuo 0,2 iki 0,7 mg/m² ir Cd – nuo 0,6 iki 0,8 mg/m² per metus. Per paskutinių 5 metų laikotarpį reikšmingas didėjimo trendas išliko tik Pb, Cd ir Zn. Na, Mn, ir K srautai neturėjo aiškesnės kitimo tendencijos (3.22. pav.).

Bendras sunkiųjų metalų metinių srautų kitimo bruožas Aukštaitijos KMS teritorijoje yra didelis srautų padidėjimas per paskutinių 2 metų laikotarpį.

Žemaitijos KMS teritorijoje per 5 metų laikotarpį buvo registruojamas taip pat daugelio tirtų sunkiųjų metalų srautų didėjimas. Pb srautas padidėjo maždaug nuo 1 iki 5 mg/m² per metus, Cd – nuo 0,5 iki 1 mg/m², Cr – nuo 0,7 iki 2 mg/m², o Zn – nuo 14 iki 23 mg/m² per metus. Cu, Na, Mn ir K srautas neturėjo aiškesnės tendencijos, tačiau jų minimalios vertės buvo registruojamos 2001 m. Paskutinių 2 metų laikotarpiu šių metalų srautas, kaip ir Aukštaitijos KMS, gerokai padidėjo.

2 paskutinių metų laikotarpiu Žemaitijos KMS sunkiųjų metalų Cu, Cd, Zn srautas su nuokritomis viršijo apie 1,5 karto, Pb, Cr, K – apie 2,5 karto, Na, Mn – apie 3,5 karto atitinkamų metalų srautą Aukštaitijos KMS (3.22 pav.).

Apibendrinus tirtų metalų srautų su nuokritomis į dirvožemio paklotę tyrimų rezultatus nustatyta, kad Aukštaitijos KMS būdingiausiame pušyne sunkiųjų metalų metinių srautų kiekiams su nuokritomis statistiškai daugiau įtakos turėjo jų koncentracija nuokritose, o Žemaitijos KMS būdingiausiame eglyne – nuokritų kiekis.

Sunkieji metalai dirvožemyje.

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

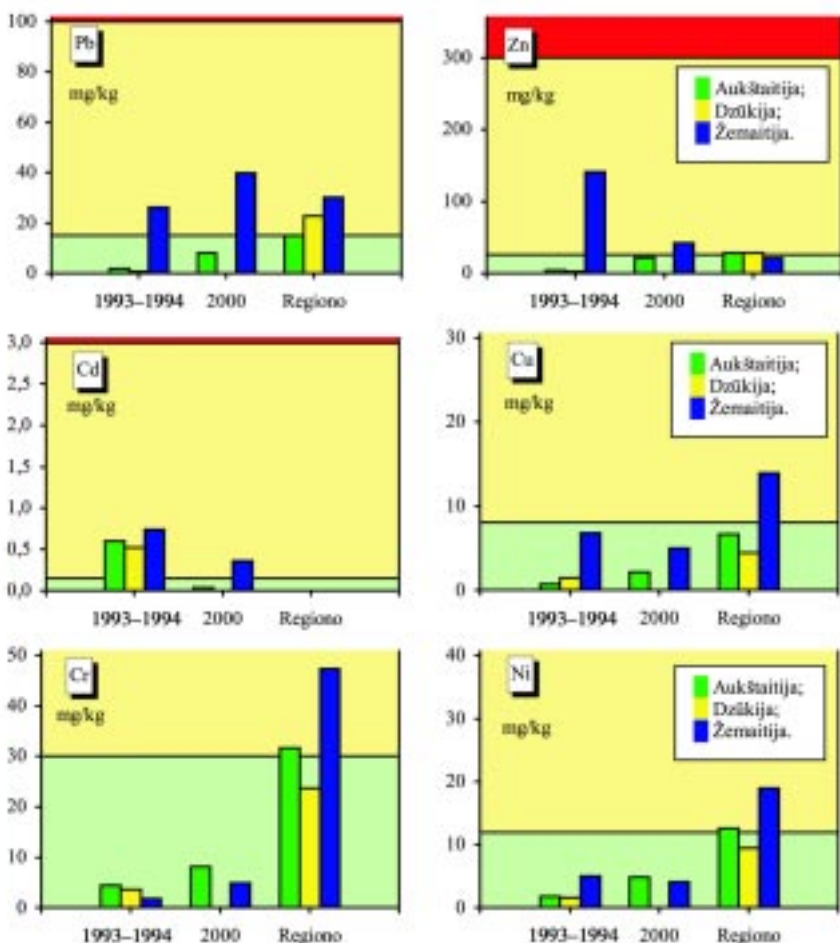
Skirtingi sunkieji metalai dirvožemio profilyje pasiskirsto nevienodai. Didesni Cr, Ni, Cu kiekiai randami organiniuose arba iliuviniuose dirvožemio horizontuose. Pb, Zn ir Cd randama daug daugiau organiniuose negu mineraliniuose dirvožemio horizontuose. Tai dėsningas pasiskirstymas, atspindintis litogeninę arba organogeninę šių metalų grupių prigimtį (Lietuvos geocheminis ..., 1999).

Sunkiųjų metalų koncentracijoms paviršiniame dirvožemio sluoksnyje daugiau išanalizuoti, pateiktos didžiausios leidžiamos (DLK) ir foninės šių elementų koncentracijos dirvožemiuose (Įsakymas V-114, 2004) bei didžiausios koncentracijos tirtų regionų smėlio dirvožemiuose (Lietuvos geocheminis..., 1999) (3.23 pav.).

Pb kiekis Aukštaitijos KMS ir Dzūkijos dirvožemio viršutiniame horizonte nesiekia nustatytų šio elemento foninių koncentracijų ir tik Žemaitijos KMS dirvožemyje Pb koncentracija beveik 2 kartus didesnė nei foninė. Per tiriamąjį laikotarpį Pb koncentracija didėjo ir Aukštaitijos bei Žemaitijos KMS dirvožemiuose. Aukštaitijos KMS viršutiniame horizonte jo kiekis padidėjo 4 kartus – nuo 1,88 iki

8,22 mg/kg, o Žemaitijos KMS – nuo 26,22 iki 39,86 mg/kg. Iš pateiktų duomenų matyti, kad Žemaitijos dirvožemiuose Pb koncentracija daugiau kaip 4 kartus didesnė negu Aukštaitijos KMS dirvožemiuose.

2000 m. Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS dirvožemiuose Cr koncentracijos, kaip ir Pb, taip pat buvo didesnės negu tyrimų pradžioje. Tačiau šios koncentracijos daugiau nei 3 kartus buvo mažesnės už fonines.



3.23. pav. Sunkiųjų metalų koncentracijų kitimas viršutiniame dirvožemio horizonte KMS teritorijose ir jų palyginimas su regiono vidutinėmis smėlio dirvožemiuose (Lietuvos geocheminis..., 1999) bei DLK ir foninėmis vertėmis (Įsakymas V-114, 2004)

● – foninė koncentracija; ● – koncentracija, viršijanti foninę; ● – koncentracija, viršijanti DLK

Kitų tirtų sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemių mėginiuose tiek 1994 m., tiek 2000 m. buvo panašios. Tik Cd koncentracija 2000 m. dirvožemių bandiniuose buvo daug mažesnė ir Aukštaitijos, ir Žemaitijos KMS. 1993–1994 m. laikotarpiu jo koncentracija dirvožemyje 3–4 kartus viršijo foninį lygį, 2000 m. šio elemento koncentracija Žemaitijos KMS siekė 0,36 mg/kg, o Aukštaitijos KMS – tik 0,03 mg/kg, t. y. tapo beveik 5 kartus mažesnė nei foninė.

Cu, Zn, Ni koncentracijų vidurkiai dirvožemyje 1993–2000 m. buvo skirtingi: Cu koncentracija Aukštaitijos KMS viršutiniame horizonte siekė 0,74 ir 2,22 mg/kg, o Žemaitijos KMS – 6,84 ir 5,06 mg/kg. Šios Cu koncentracijos dirvožemiuose neviršijo foninio Cu lygio (8,1 mg/kg).

Zn koncentracijos Aukštaitijos KMS viršutiniame horizonte 1993–2000 m. buvo tokios: 4,32 ir 21,13 mg/kg (neperžengė foninės normos ribų), o Žemaitijoje – 140,85 ir 42,13 mg/kg, t. y. per tiriamąjį laikotarpį šio elemento koncentracija viršijo foninį lygį ir buvo arčiausiai didžiausios leistinos koncentracijos iš visų tirtų sunkiųjų metalų (Zn DLK=300 mg/kg).

Ni koncentracija Aukštaitijos KMS viršutiniame horizonte siekė 1,85 mg/kg 1993 m. ir 4,83 mg/kg 2000 m., o Žemaitijos KMS – atitinkamai 5,06 ir 4,16 mg/kg. Šios koncentracijos beveik 2–3 kartus mažesnės už foninę koncentraciją (12 mg/kg).

Palyginus gautus rezultatus su vidutiniais regiono rezultatais matyti, kad daugeliu atveju regiono vidutinės dirvožemio sunkiųjų metalų koncentracijos yra didesnės negu nustatytos KMS teritorijose arba lygios (3.23. pav.). Ir tik Zn bei Pb koncentracijos Žemaitijos KMS dirvožemiuose viršija šio regiono vidurkį (Lietuvos geocheminis ..., 1999).

Apibendrinus tyrimų rezultatus nustatyta, kad sunkiaisiais metalais labiau užteršti Žemaitijos KMS, kiek mažiau Aukštaitijos KMS ir mažiausiai Dzūkijos KMS dirvožemiai.

Sunkieji metalai dirvožemio vandenyje

Sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio vandenyje pradėtos tirti nuo 2000 m. po 3 kartus per vegetacijos laikotarpį. Patikimų kaitos tendencijų per 3 tyrimų metus nenustatyta, nes visiems duomenims būdinga netolygi kaita, nesusijusi su vegetacijos laikotarpiu.

Didžiausios Pb koncentracijos užfiksuotos 2001–2002 m. Didžiausios koncentracijos užregistruotos Aukštaitijos KMS 20 cm gylyje 2002 m. vasarą (28,57 µg/l), o Žemaitijos KMS – 40 cm gylyje 2002 m. pavasarį (145,20 µg/l).

Viso stebėjimo periodo Pb koncentracijos Aukštaitijos KMS dirvožemio vandenyje didelės kitimo tendencijos neturi, o Žemaitijos KMS priklauso nuo gylio: 20 cm turi nedidelę tendenciją didėti, o 40 cm gylyje – mažėti.

Cd koncentracija dirvožemio vandenyje buvo padidėjusi 2001 m. vasarą: Aukštaitijos KMS 20 cm gylyje – iki 0,34 µg/l, Žemaitijos KMS 20 cm gylyje – iki 0,38 µg/l. Abiejose KMS Cd koncentracija dirvožemio vandenyje turi nedidelę tendenciją mažėti.

Didžiausios Cu koncentracijos užregistruotos 2001–2002 m. Aukštaitijos KMS 20 cm gylyje Cu koncentracija buvo padidėjusi iki 15,8 $\mu\text{g/l}$ (stebėjimo laikotarpiui būdinga 2–5 $\mu\text{g/l}$), o Žemaitijos KMS – iki 15,5 $\mu\text{g/l}$ (stebėjimo laikotarpiui būdinga 3–5 $\mu\text{g/l}$). Cu koncentracija turi tendenciją didėti dirvožemio vandenyje 20 cm gylyje, 40 cm gylyje kitimo tendencijos nedidelės.

Cr koncentracija dirvožemio vandenyje, kaip ir kitų metalų, 2001 m. buvo padidėjusi iki 2,19 $\mu\text{g/l}$ (palyginti su vidurkiu, padidėjo du kartus) Aukštaitijos KMS ir iki 3,6 $\mu\text{g/l}$ (palyginti su vidurkiu, padidėjo 2–3 kartus) Žemaitijos KMS.

Zn koncentracija Aukštaitijos KMS 20 cm gylyje turėjo tendenciją didėti 2001 m. ir 2003 m., kai išaugo iki 50–55 $\mu\text{g/l}$ (stebėjimo laikotarpiui būdinga 20–30 $\mu\text{g/l}$) ir iki 30 $\mu\text{g/l}$ 40 cm gylyje (stebėjimo laikotarpiui būdinga apie 15 $\mu\text{g/l}$). Žemaitijos KMS Zn koncentracija 20 cm gylyje buvo padidėjusi 2001 m. iki 46 $\mu\text{g/l}$ (stebėjimo laikotarpiui būdinga apie 20–30 $\mu\text{g/l}$) ir 40 cm gylyje iki 60 $\mu\text{g/l}$ (stebėjimo laikotarpiui būdinga apie 30–40 $\mu\text{g/l}$).

Sunkieji metalai gruntiniame vandenyje

Per tiriamąjį laikotarpį Pb, Cu ir Zn koncentracijos gruntiniame vandenyje didėjo, ypač per kelerių pastarųjų metų laikotarpį.

Pb koncentracija, palyginti su Zn ir Cu, didėjo tolydžiausiai. Giliuosiuose gręžiniuose Pb koncentracija buvo didžiausia ir didėjo pastebimiausiai. 2002 m. Pb koncentracija gruntiniuose vandenyse pasiekė maksimalią ribą: Aukštaitijos KMS sekliuose gruntiniuose vandenyse šio elemento koncentracija buvo 2,9 $\mu\text{g/l}$, o giliuosiuose – net 15,9 $\mu\text{g/l}$. Žemaitijos KMS Pb koncentracijos atitinkamai buvo 3,8 $\mu\text{g/l}$ ir 19 $\mu\text{g/l}$. 2003 m. Pb koncentracija Aukštaitijos KMS giliajame gręžinyje išliko didelė – 16,9 $\mu\text{g/l}$, o Žemaitijos KMS dar padidėjo iki 36,0 $\mu\text{g/l}$. Pb koncentracija sekliųjų gręžinių vandenyje 2003 m., palyginti su 2000–2002 m., mažai pakito: Aukštaitijos KMS buvo 0,5–6,0 $\mu\text{g/l}$, o žemaitijos KMS – 2,2–12,7 $\mu\text{g/l}$.

Aukštaitijos KMS Zn koncentracijos giliai slūgsančiame gruntiniame vandenyje didėjo nuo 3,6 $\mu\text{g/l}$ (2000 m.) iki 30 $\mu\text{g/l}$ (2002 m.), Žemaitijos KMS nuo 8,8 $\mu\text{g/l}$ iki 296 $\mu\text{g/l}$. 2003 m. Zn koncentracija stabilizavosi: Aukštaitijos KMS buvo apie 20–25 $\mu\text{g/l}$, Žemaitijos KMS – apie 70–80 $\mu\text{g/l}$ (kaip 2001 m.). Seklesniuose gręžiniuose Zn koncentracijos buvo mažesnės, o pokyčiai buvo ne tokie dideli, tačiau kaitos tendencijos buvo tokios pačios.

Cu koncentracijos, kaip ir Zn, taip pat buvo didžiausios 2002 m. Aukštaitijos KMS šio elemento koncentracija nuo vandens gylio gręžinyje nepriklausė, o Žemaitijos KMS 2002–2003 m. Cu koncentracija buvo proporcinga gręžinio gyliui. Aukštaitijos KMS Cu koncentracija nuo 1,5–4,0 $\mu\text{g/l}$ (2000 m.) padidėjo iki 12–14 $\mu\text{g/l}$ (2002 m.), Žemaitijos KMS – nuo 3,2–5,6 $\mu\text{g/l}$ (2000 m.) iki 6,3–276 $\mu\text{g/l}$ (2003 m.).

Cr ir Cd koncentracijos 2000–2003 m. nuo gręžinio gylio nepriklausė, o didžiausią lygį pasiekė ne tuo pačiu metu kaip kiti sunkieji metalai.

Aukštaitijos KMS didžiausia Cd koncentracija sekliausiame pirmame gręžinyje nustatyta 2001 m. rudenį – 0,48 µg/l, o po 5 mėnesių jo koncentracija 2 ir 3 gręžiniuose padidėjo iki 0,41–0,75 µg/l. Dar po 6 mėnesių Cd koncentracija padidėjo ir giliausiame 4 gręžinyje iki 0,42 µg/l.

Žemaitijos KMS didžiausia Cd koncentracija sekliausiame gręžinyje buvo 2000 m. viduryje (0,9 µg/l), o po 4 mėnesių – gilesniame gręžinyje (0,42 µg/l). Didžiausia Cd koncentracija giliausiuose gręžiniuose buvo 2002 m. pavasarį (0,36–0,41 µg/l).

Panašiais laikotarpiais buvo padidėjusi ir Cr koncentracija. Sekliųjų gręžinių vandenyje Cr padaugėjo anksčiau negu Cd 2001 m. pavasarį. Aukštaitijos KMS Cr koncentracija siekė 8,4 µg/l, o Žemaitijos KMS – 8,1 µg/l. Giliuosiuose gręžiniuose Cr koncentracija Aukštaitijos KMS padidėjo po metų, 2002 m. pavasarį (iki 9,0 µg/l), Žemaitijos KMS – šiek tiek padidėjo 2001 m. rudenį (iki 3,5 µg/l), o dar labiau 2003 m. rudenį (iki 6,7 µg/l).

Cr ir Cd koncentracijos padidėjimas sekliajame gruntiniame vandenyje 2001 m. sutapo su šių metalų koncentracijų padidėjimu dirvožemio vandenyje. Zn ir Pb koncentracijų padidėjimas gruntiniame vandenyje ir dirvožemio vandenyje nėra susiję, o Cu koncentracijų padidėjimas sutapo tik Aukštaitijos KMS 2001 m. rudenį.

Sunkieji metalai paviršiniame (upelio) vandenyje

Pb koncentracija upelio vandenyje turėjo tendenciją didėti, tačiau šis kitimas buvo nereikšmingas. Pb koncentracija Aukštaitijos KMS sudarė 4,4 µg/l (2002 m. vasarą), o Žemaitijos KMS – 41,1 µg/l (2001 m. pavasarį).

Netolygiai kito Cd koncentracija upelio vandenyje, kuri Aukštaitijos KMS svyravo nuo 0,01 µg/l iki 0,18 µg/l (2001 m. rudenį ir 2002 m. pavasarį – vasarą), o Žemaitijos KMS – nuo 0,05 µg/l iki 0,57 µg/l (2001 m. vasarą). Nuo 2001–2002 m. Cd koncentracija nebedidėjo.

Cr koncentracija upelio vandenyje Aukštaitijos KMS siekė 1,7 µg/l (2001 m. rudenį), Žemaitijos KMS – 3,8 µg/l (2001 m. pavasarį).

Didžiausia Cu koncentracija upelio vandenyje Aukštaitijos KMS buvo 2002 m. žiemą (5,5 µg/l), Žemaitijos KMS – 2002 m. pavasarį (7,5 µg/l). Cu koncentracija Aukštaitijos KMS upelio vandenyje reikšmingai didėjo, o Žemaitijos KMS upelio vandenyje išliko stabili.

Reikšmingiausias Zn koncentracijų kitimas. Aukštaitijos KMS upelio vandenyje šio elemento koncentracija padidėjo nuo 5 µg/l iki 36 µg/l (daugiau nei 7 kartų), o Žemaitijos KMS – nuo 2 µg/l iki 46 µg/l (daugiau nei 20 kartų). Sinchroninį Zn koncentracijų didėjimą upelio ir gruntiniame vandenyje galėjo lemti dėl padidėjusių šio elemento koncentracijų ore atsiradęs didėjantis srautas su krituliais (Zn srautas su nuokritomis didėja – 3.30. pav.).

Sunkiųjų metalų – Cd, Cr, Pb, Cu – koncentracijų padidėjimas upelių vandenyse buvo užregistruotas vėliau arba tuo pačiu metu kaip dirvožemio vandenyje bei

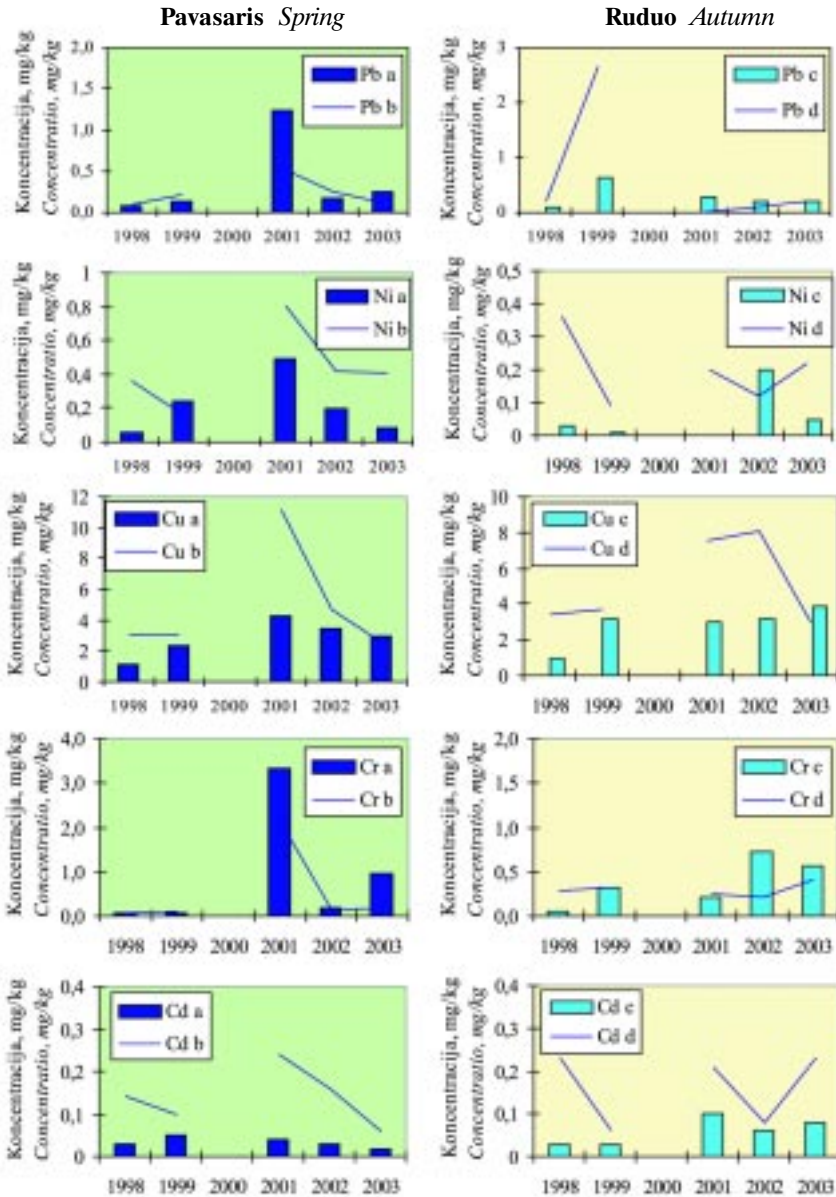
panašiu metu kaip ir gruntiniame vandenyje. Cu ir Pb koncentracija upelio vandenyje buvo pasiekusi didžiausią leidžiamą koncentracijos lygį (Įsakymas 267, 2002) ir jas viršijusi, tačiau tik vieną kartą per 2000–2003 m. laikotarpį (1 kartą iš 3 metų matavimų). Pb koncentracija Aukštaitijos KMS upelyje buvo priartėjusi prie DLK 2002 m. vasarą, bet jo neviršijo. Žemaitijos KMS Pb koncentracija 8 kartus viršijo DLK 2001 m. pavasarį. Kitais atvejais Pb koncentracija abiejose KMS buvo 10–1,5 karto mažesnė už DLK. Cu, Zn, Cr ir Cd koncentracijos buvo mažesnės nei didžiausios leidžiamos koncentracijos vandens telkinyje: Cu – maždaug 2–5 kartus; Zn – apie 2 kartus; Cd – 10 kartų Žemaitijos KMS ir 20 kartų Aukštaitijos KMS; Cr – apie 10 kartų Aukštaitijos KMS, Žemaitijos KMS daugiau kaip 5–10 kartų, o 2001 m. pavasarį – 2 kartus.

Sunkieji metalai smulkiuosiuose žinduoliuose

Sunkiųjų metalų koncentracijai smulkiuosiuose žinduoliuose įvertinti dažniausiai yra pasirenkamos gausiausios tiriamoje ekosistemoje žinduolių rūšys. Miško ekosistemose Lietuvoje daugiausia vyrauja rudasis pelėnas (*Clethrionomys glareolus*). Šis pelėnas yra gana sėslus ir dažniausiai minta įvairiu augaliniu maistu (Gębczynska, 1983). Yra duomenų, įrodančių, kad atskirų sunkiųjų metalų susikaupimas šių žinduolių organizme tiesiogiai priklauso nuo jų kiekio augaluose ir kituose smulkiųjų žinduolių mitybos šaltiniuose (Мухачева, Безель, 1995; Pankakoski et al. 1992; Denneman, 1990; Wlostowski et al. 1988; Безель, 1987; Savicka-Kapusta et al. 1987, 1999;). Bet tiksliai įvertinti, kiek sunkiųjų metalų patenka į šių žinduolių organizmą pagal jų kiekį augaluose, neįmanoma, nes smulkieji žinduoliai, judėdami tam tikroje teritorijoje, minta įvairiu šioje teritorijoje esančiu augaliniu maistu. Todėl sunkieji metalai buvo tirti ir pelėnų kūnuose, ir skrandžio turiniuose.

Sunkiųjų metalų (Cu, Cr, Cd, Ni, Pb) kiekiai pelėnuose 1998–1999 m. bei 2001–2003 m. pavasarį ir rudenį Aukštaitijos KMS buvo tirti ne tik jų organuose, bet ir skrandžio turiniuose. Pavasarį buvo tiriami peržiemoję (suaugėliai), o rudenį – jaunikliai (iki 16 g) pelėnai. Rudenį sugautuose pelėnų jaunikliuose sunkiųjų metalų koncentraciją turėjo sąlygoti einamųjų metų vegetacijos laikotarpio sunkieji metalai, o pavasarį sugautuose suaugėliuose – praėjusių metų sunkiųjų metalų kiekiai aplinkoje ir gyvūnų jau sukaupti sunkiųjų metalų kiekiai praėjusių metų rudenį.

Koreliacinė analizė parodė, kad egzistuoja statistiškai patikimas koreliacinis ryšys tarp Pb ir Cr kiekių rudųjų pelėnų suaugėlių maiste ir jų kiekių kūnuose pavasarį ($r = 0,934-0,972$), o rudenį analogiškas koreliacinis ryšys nustatytas tik tarp Pb koncentracijų jaunikliuose ($r = 0,918$). Tiesinė priklausomybė tarp Pb ir Cd kiekių rudųjų pelėnų maiste ir jų kiekių atskiruose šių pelėnų organuose nustatyta ir kitų mokslininkų (Безель, 1987; Мухачева, Безель, 1995).



3.24. pav. Sunkiųjų metalų koncentracija (mg/kg drėgnos masės) ruduosiuose pelėnuose ir jų maiste Aukštaitijos KMS teritorijoje 1998–2003 m.

a – suaugėliuose, b – jų skrandžių turiniuose, c – jaunikliuose, d – jų skrandžių turiniuose

Tirtų sunkiųjų metalų kiekių vidurkiai suaugėliuose pelėnuose pavasarį ir jaunikliuose rudenį buvo atitinkamai 1,7–2,0 ir 1,8–3,4 karto mažesni (su kai kuriais išimtimis) negu maiste, išskyrus Cr koncentracijas (3.24. pav.). Šio elemento koncentracijos ir suaugėliuose, ir jaunikliuose viršijo koncentracijas jų maisto turiniuose, o tai rodytų Cr didžiausią kaupimosi intensyvumą pelėnų kūnuose, lyginant su kitais tirtais sunkiaisiais metalais.

5 metų tyrimo rezultatai leidžia teigti, kad Aukštaitijos KMS teritorijoje gyvenančių pelėnų organuose, ypač jauniklių, reikšmingai didėjo Cu, Cr ir Cd kiekiai. Didėjimo tendencija, nors ir nereikšminga, nustatyta ir Pb, bet tik pelėnų suaugėlių kūnuose. Taigi sunkiųjų metalų kaitai smulkiuosiuose žinduoliuose buvo būdingos bendrosios sunkiųjų metalų kaitos tendencijos, vykstančios Aukštaitijos KMS teritorijoje.

Apibendrinus sunkiųjų metalų koncentracijų skirtingose ekosistemos komponentuose tyrimo rezultatus nustatyta, kad Cd koncentracijoms būdinga mažėjimo tendencija. Kitų metalų Pb, Cr, Cu ir Zn koncentracijoms dažniau būdingos didėjimo tendencijos.

Nuokritų užterštumas sunkiaisiais metalais didžiausias Dzūkijos KMS, kiek mažesnis Žemaitijos ir mažiausias Aukštaitijos KMS teritorijoje. Tyrimų laikotarpiu jų koncentracijos turėjo tendenciją didėti, ypač Pb ir Cr. Pastaraisiais metais iš esmės padidėjo ir Pb, Zn bei Cr metiniai srautai su nuokritomis. Aukštaitijos KMS šių srautų didėjimui didesnės reikšmės turėjo didėjanti sunkiųjų metalų koncentracija nuokritose, o Žemaitijos KMS – didėjantis nuokritų kiekis. Žemaitijos KMS sunkiųjų metalų srautas su nuokritomis viršijo nuo 1,5 iki 3,5 karto atitinkamų metalų srautą Aukštaitijos KMS.

2000 m. dirvožemio bandiniuose Pb ir Cr koncentracijos viršijo jų koncentracijas, nustatytas tyrimų pradžioje, o Cd priešingai – buvo daug mažesnės. Kitų elementų koncentracijos iš esmės nesiskyrė.

Dirvožemio vandenyje padidėjo Zn, Cu ir nežymiai Pb, sumažėjo Cd, o stabilios išliko Cr koncentracijos. Gruntiniame vandenyje tirtų metalų koncentracijos kito panašiai kaip ir koncentracijos dirvožemio vandenyje, tik pastaruoju metu Pb koncentracija giliuosiuose gręžiniuose turi didesnę tendenciją didėti negu dirvožemio vandenyje. Tai gali būti gruntinio vandens nuotėkio sumažėjimo pasekmė.

Upeilio vandenyje, kaip ir dirvožemio bei gruntiniame vandenyje, reikšmingiausiai didėjo Zn koncentracijos. Pb koncentracijoms buvo būdinga didėjimo tendencija, o kitų elementų koncentracijos buvo stabilios ar kito nevienareikšmiškai.

Sunkiųjų metalų kaitai smulkiuosiuose žinduoliuose buvo būdingos bendrosios sunkiųjų metalų kaitos tendencijos, vykstančios Aukštaitijos KMS teritorijoje. Sunkiųjų metalų koncentracijos jų kūnuose ir skrandžio turiniuose turėjo tendenciją didėti.

Sunkiųjų metalų srautų su krituliais duomenų stoka neleido iš esmės įsigilinti į šių išaiškintų sunkiųjų metalų koncentracijų įvairiuose miško ekosistemų komponentuose pokyčių priežastinius ryšius ir taršos šaltinius.

Aplinkos būklė ir pagrindinės pokyčių tendencijos

10 metų sąlygiškai natūralių ir antropogeninių veiksnių monitoringo rezultatuose gerai atsispindėjo globalūs pokyčiai, vykstantys aplinkoje. Daugumoje Vakarų Europos valstybių SO_2 emisijų sumažėjimas iki 80 % turėjo įtakos per 1994–1999 m. laikotarpį KMS teritorijose SO_2 ir aerozolinio SO_4^{2-} koncentracijų ore mažėjimui nuo 2–3 $\mu gS/m^3$ iki 0,5–0,7 $\mu gS/m^3$. Labai sumažėjo ir ΣNH_4^+ koncentracijos ore – nuo 4–8 iki 1,5 $\mu gN/m^3$. Tik ΣNO_3^- ir NO_2 koncentracijos ore pagrindiniuose Lietuvos regionuose buvo stabilios. Tačiau per paskutinius 3 metus užregistruotas nedidelis visų tirtų taršos komponentų koncentracijų ore didėjimas.

SO_4^{2-} ir NH_4^+ koncentracijos krituliuose sumažėjimas 1994–2000 m. laikotarpiu visose KMS apie 60–80 % turėjo didelės įtakos ir šių taršos komponentų šlapiųjų srautų sumažėjimui: SO_4^{2-} – maždaug nuo 7 iki 3 kgS/ha , NH_4^+ – nuo 6 iki 2 kgN/ha . Tačiau pastaruoju laikotarpiu pastebimas nedidelis SO_4^{2-} ir NH_4^+ šlapiųjų srautų didėjimas. NO_3^- srautų ir jų koncentracijų krituliuose kaita neturi vienareikšmės tendencijos. Aukštaitijos KMS ΣNO_3^- koncentracija krituliuose ir jo srautas mažėja, o Žemaitijos KMS nitratų srautas turi tendenciją didėti.

Rūgštūs lietūs, kurie praėjusio amžiaus devintajame dešimtmetyje buvo laikomi vienu pagrindinių regioninio masto miškų būklės pablogėjimą lemiančių veiksnių, KMS teritorijose vyravo 1994–1996 m. ir 2002–2003 m. laikotarpiais. Dėl sulfatų, kurie krituliuose iki 1996 m. buvo vyraujanti rūgštinanti komponentė, mažėjimo krituliai iš rūgščių (pH didėjo nuo 4,4 iki 4,8) 1997–2000 m. laikotarpiu tapo beveik neutralūs (pH kito nuo 5,2 iki 5,7). Tačiau nuo 2000 m., gerokai sumažėjus sulfatų ir amonio koncentracijoms, nitratai tapo vyraujančia rūgštinančia komponente, turėjusia reikšmingos įtakos kritulių rūgštingumo padidėjimui, kuris paskutiniaisiais metais beveiki vėl susilygino su 1994–1996 m. rūgštingumo vertėmis (pH 4,6–4,8). Pastarąjį kritulių rūgštingumo padidėjimą galėjo sustiprinti ir nedidelis SO_4^{2-} srautų padidėjimas, ir Ca^{2+} koncentracijų krituliuose sumažėjimas.

Miško ekosistemose medžių lajos iš esmės nepakeitė pagrindinių taršos komponentų srautams būdingų tendencijų, nustatytų atviroje vietoje. Sulfatų ir amonio srautai, 1997 m. po medžių lajomis smarkiai sumažėję, pastaruoju laikotarpiu išlieka stabilūs, o jų kaitą lemia nuplovimo ir absorbcijos procesai, vykstantys lajose.

Dirvožemio, gruntinio ir upelio vandens pH bei azoto junginių ir sulfatų koncentracijų kaitos eiga rodo, kad 1994–2000 m. rūgštėjimo procesai slopo, tai gerai sutapo su teršalų mažėjimo tendencija. Tačiau 2001–2003 m. vėl užregistruoti neigiami pokyčiai, kuriuos galėjo sąlygoti kritulių rūgštingumą padidinę veiksniai. Šie neigiami pokyčiai buvo reikšmingesni Žemaitijos KMS negu Aukštaitijos KMS, viršydami tirtų parametru vertes stebėjimo laikotarpio pradžioje.

Reikšmingos įtakos biotai šalia rūgščiųjų iškritų turi ir pažemio ozonas. Per 10 metų tyrimo laikotarpį KMS teritorijose nustatytas didžiausių ozono koncentracijų sumažėjimas – 0,3 % per metus ir 0,4 % per šiltąjį metų tarpsnį. Paskutinių 5 metų laikotarpiu pastebimas ir vidutinių koncentracijų mažėjimas. Tačiau šios nustatytos pažemio ozono kitimo tendencijos yra statistiškai nereikšmingos. Ozono lygis Aukštaitijos KMS šiltuoju metų laiku yra panašus į Dzūkijos KMS ir aukštesnis už išmatuotą Žemaitijos KMS.

Sunkiųjų metalų poveikio aplinkai tyrimus pradinio KM programos įgyvendinimo etapu riboja tai, kad nebuvo nustatomos jų koncentracijos nei ore, nei krituliuose. Dėl to išaiškintos Cd mažėjimo, o Pb, Zn, Cu ir Cr koncentracijų didėjimo tendencijos nuokrituose, dirvožemyje, jo vandenyse, gruntiniame ir upelio vandenyje bei smulkiuosiuose žinduoliuose leido iškelti hipotezę, kad šių elementų pokyčius sąlygiškai natūraliose miško ekosistemose sąlygojo jų srantai su krituliais. Ar ši hipotezė teisinga, bus galima patikrinti tik įgyvendinant kitą KM programos etapą 2005–2010 m.



IV. Biotos komponentų pokyčiai ir juos sąlygojantys veiksniai

Sąlygiškai natūraliose miško ekosistemose nevyksta tokie aplinkos pokyčiai, kurie galėtų iš esmės pakeisti ekosistemos struktūrą ir funkcinius santykius. Tačiau tokių pagrindinių aplinkos natūralių komponentų kaip oro temperatūros ir drėgmės pokyčiai kartu su reikšmingais aplinkos užterštumo dėl tolimų oro teršalų (ypač sieros ir azoto junginių) pernašų, ozono ir sunkiųjų metalų pokyčiais galėjo turėti įtakos biotos kaitai miško ekosistemose. Dėl to šiame skyriuje daugiausiai dėmesio skirta miškų, kaip pagrindinio miško ekosistemos komponento, būklės tyrimams.

Skyriuje pateikiami duomenys ir apie žolių (su krūmokšniais), samanų (su kerpėmis) struktūros ir gausumo pokyčius intensyvaus tyrimo stacionaruose (ITS) ir visoje KM teritorijoje, taip pat epifitinių kerpių rūšinės įvairovės, gausumo ir gyvybingumo bei žaliadumblių gausos ant eglų spyglių tyrimo rezultatai. Dviejų pastarųjų tirtus biologinius parametrus atitinkamai lemia oro užterštumas sieros ir azoto junginiais.

Šiame skyriuje pateikiami ir smulkiųjų žinduolių bei upelio makrobentos rūšinės įvairovės ir gausumo tyrimų rezultatai. Turtingesnė šios faunos įvairovė ir gausesnės bendrijos – geresnės aplinkos kokybės indikatoriai.

4.1. Miško ekosistemų augalijos monitoringas

Augalijos bendrijų pokyčiai, jų būklė ir produktyvumas turi reikšmingą įtaką ne tik visiems kitiems biotos komponentams, bet ir abiotinei aplinkai, joje vykstančioms pagrindinių biogeocheminių elementų apytakos ciklams ir balansui.



Sąlygiškai sveiki Ažvinčių sengirės pušynai

4.1.1. Medynų būklės pokyčiai ir juos sąlygojantys veiksniai

Algirdas Augustaitis

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

Miškų būklės tyrimai atliekami ekstensyvaus ir intensyvaus tyrimo ploteliuose. Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS ekstensyvių tyrimų ploteliuose miškų būklė buvo tiriama 1993 m. (1994 m.) ir 1996 m., o nuo 1998 m. kasmet. Dzūkijos KMS medžių būklės tyrimai atlikti tik 1993 m., 1996 m. ir 1998–1999 m.

Aukštaitijos KMS medynų būklė

Per 1993–1996 m. laikotarpį visų tirtų rūšių vidutinė medžių lajų defoliacija padidėjo apie 2 kartus. Vyraujančių paprastųjų pušų (*Pinus sylvestris* L.) vidutinė defoliacija padidėjo nuo 16,9 % 1993 m. iki 24,1 % 1996 m., o paprastųjų eglų (*Picea abies* Karst.) – nuo 15,2 iki 34,3 %. Tokį pastarųjų medžių būklės pablogėjimą lėmė po sausrų susiformavęs eglinio tipografo (*Ips typographus* L.) židiny.

Per 1998–1999 m. laikotarpį medžių būklė labai pagerėjo. Tirtų pušų vidutinė lajos defoliacija sumažėjo nuo 24,1 iki 18,4 %. Vidutinė eglų defoliacija taip pat sumažėjo nuo 34,4 iki 26,6 %. Pastutiniaisiais metais tirtų medžių reikšmingas vidutinės defoliacijos didėjimas sutapo su 1999 m. ir 2002 m. sausromis

bei didėjančiu kritulių rūgštingumu. Intensyviausiai pablogėjo spygliuočių būklė ir ypač viršaujančių eglų. Vidutinės defoliacijos pokytis siekė apie 2 % ($p < 0,05$).

Beržų būklė (*Betula* spp.) kito dvejopai. Karpotųjų beržų (*Betula pendula* 'Crispa'), kurie auga sausesnėse augavietėse, būklė pablogėjo, o plaukuotųjų beržų (*Betula pubescens* Ehrh.), kurie auga pelkinėse augavietėse, būklė pagerėjo. Tai tipingas sausros poveikio medžių, augančių skirtingo drėgmės režimo sąlygomis, lajų būklei rezultatas.

Žemaitijos KMS medynų būklė

Žemaitijos KM teritorijoje augančių medžių būklė kito analogiškai Aukštaitijos KMS medžių būklei. Per pirmąjį 2 metų laikotarpį vidutinė visų tirtų medžių defoliacija padidėjo nuo 18,9 iki 26,4 %. Eglynų būklė per šį laikotarpį pablogėjo labiausiai. Jų būklės pablogėjimą, kaip ir Aukštaitijos KMS, lėmė po sausrų susiformavęs eglinio tipografo (*Ips typographus* L.) židiny.



Sausrų poveikis beržų lajų būklei



Eglinio tipografo židiny

Per 1998–1999 m. laikotarpį medynai labai atsigavo. Tirtų medynų vidutinė defoliacija sumažėjo iki 20,2 %, o eglynų – stabilizavosi ir pradėjo gerėti.

Paskutiniaisiais metais medynų būklė pablogėjo dėl sausros ir gausios snieglaūžos vasario mėnesį. Dėl šių veiksnių labiausiai pablogėjo spygliuočių medynų būklė. Eglių defoliacija padidėjo iki 24,1 %, o pušų iki 25,3%.

Neigiamų veiksnių poveikis labiau išsivysčiusiems medžiams buvo mažiau žalingas. 2002 m. sausra tirtų medžių vidutinę defoliaciją padidino nuo 20,3 iki 23,6 %. Šis neigiamas būklės pokytis buvo statistiškai reikšmingas ($p < 0,05$). Paskutiniaisiais metais nors ir nedidelis būklės pagerėjimas gali būti siejamas ne tik su drėgnesnėmis augavietėmis, lyginant su Aukštaitijos KMS, bet ir su snieglaūžų pažeistų medžių būklės atsigavimu.

Dzūkijos KMS medynų būklė

Dzūkijos KMS medynų būklę lėmė paprastojo pušinio pjūklelio (*Dendrolimus pini* L.) ir verpiko vienuolio (*Ocneria monacha* L.) daroma žala. 1993 m. vidutinė pušų defoliacija buvo 29,5 %, o 1996 m. ji padidėjo iki 36,4 %. Labiau pažeisti buvo viršaujantys ir vyraujantys medyne medžiai. Tačiau didžiausias žuvusių medžių skaičius užregistruotas tarp užsteltų pušų, kurių skaičius sudarė apie 13 %, tarp atsilikusio augimo medžių žuvusios pušys sudarė 5 %, o tarp viršujančių ir vyraujančių – vos po 1 %.

1996 m. pradėjus naudoti biologinį insekticidą „Foray-48“ nuo paprastojo pušinio pjūklelio ir neporinio verpiko, pušynai pradėjo atsigauti ir 2000 m. pušų defoliacija sumažėjo iki 29 %. Viršujančių ir vyraujančių medžių defoliacija sumažėjo apie 3 %, atsilikusio augimo – apie 5 %, o užsteltų – apie 7 %.

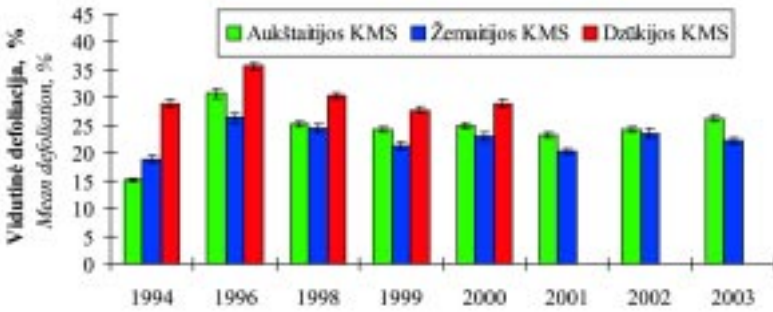
Tirtų beržų būklė iki 1996 m. taip pat blogėjo. Jų vidutinė defoliacija padidėjo nuo 16,5% iki 23,3 %. Vėliau buvo užregistruotas žymus būklės pagerėjimas, jų vidutinė defoliacija sumažėjo apie 4–5 %. Tirtų juodalksnių būklė per tiriamąjį laikotarpį išliko beveik stabili. Paskutiniaisiais metais dėl sustabdytos KMS veiklos

duomenų apie tolimesnį medynų būklės kitimą nėra.

Apibendrinus medynų būklės tyrimo rezultatus KMS teritorijose, galima būtų teigti, kad visi nustatyti medynų būklės pokyčiai per tiriamąjį laikotarpį buvo statistiškai reikšmingi. 1996 m. medynų būklė buvo blogiausia per visą tiriamąjį laikotarpį. Būtent šiais metais kritulių kiekis ir oro vidutinė metinė temperatūra buvo mažiausia, o oro užterštumas vienas iš didžiausių. Nuo



Pušinių pjūklelių pažeistos pušų lajos



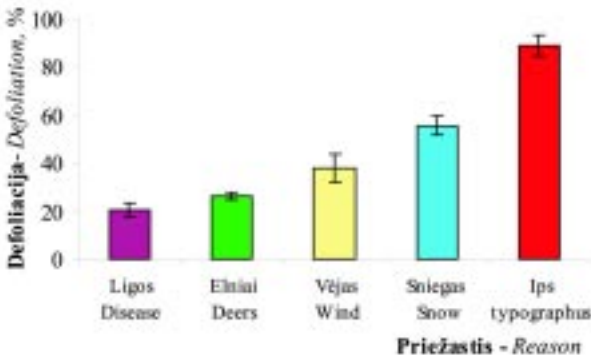
4.1. pav. Aukštaitijos (LT 01), Dzūkijos (LT 02) ir Žemaitijos (LT 03) KMS teritorijose augančių medžių lajų defoliacijos kaita

1996 m. iki 2001 m. miškų būklė gerėjo. Šio proceso patikimumo lygmuo buvo ypač aukštas. Paskutiniiais metais (nuo 2001 m. iki 2003 m.) miškų būklė vėl pradėjo blogėti (4.1. pav.). Šiam būklės pablogėjimui įtakos galėjo turėti oro užterštumo ir kritulių rūgštingumo padidėjimas (3.13. pav.).

Miškų būklę sąlygojantys aplinkos veiksniai

Pastaruoju laikotarpiu, atsižvelgiant į ankstesnių tyrimų rezultatus, populiariausia tarp mokslininkų yra aplinkos veiksnių kompleksiško poveikio hipotezė. Išskirti kurį nors vieną veiksnių, kaip ribojantį medžio gyvybingumo procesus, pakankamai sudėtinga dėl pačių aplinkos veiksnių daugiareikšmės sąveikos. Atsižvelgiant į mažėjančius emisijų trendus Vakarų ir Vidurio Europoje, manoma, kad regioninis oro užterštumo poveikis turėtų mažėti (Mayerhofer et al., 2001), o klimato poveikis didėti (Innes, 1994; Spiecker et al., 1996; Ratio, 2000).

Tačiau per pradinį šių tyrimų etapą buvo nustatyti vizualiai identifikuojami medžių pažeidimai, jų priežastys, medžio pažeidimo sritys ir pažeidimo intensyvumas bei jų poveikis medžių lajų defoliacijai.



4.2. pav. Pagrindinių pažeidimų poveikis medžių lajų vidutinei defoliacijai



Vėžys elnių pažeistose vietose

Vizualiai identifikuojami medžių pažeidimai ir jų poveikis medžių defoliacijai

Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS teritorijose daugiausia buvo užregistruota medžių kamienų srities pažeidimų. Tai eglinio tipografo pažeidimai. Dzūkijos KMS teritorijoje daugiausia buvo pažeistos medžių lajos. Joms žalos padarė spyglius graužiantys entokenkėjai. Pastaruoju laikotarpiu sumažėjus entokenkėjų daromai žalai, pasikeitė ir medžių pažeidimų pagrindinių priežasčių sudėtis, ir medžio pažeidimų sritys. Išskirta 10 pagrindinių medžių pažeidimo rūšių ir 6 medžio pažeidimo sritys.

Aukštaitijos KMS teritorijoje užregistruoti medžių pažeidimai atsirado dėl elninių žvėrių, kurie nugraužė eglės ka-

mienų žievę (57 % visų pažeidimų), o Žemaitijos KMS – dėl snieglaužos (74 % visų pažeidimų). Tačiau didžiausią įtaką medžių lajų defoliacijos padidėjimui turėjo žievėgraužio tipografo pažeidimai, kiek mažesnę – snieglauža, vėjalauža ir vėjolanka, o mažiausią – elniniai žvėrys ir fitopatologinės ligos (4.2. pav.).

Meteorologinių veiksnių poveikis medžių lajų būklei

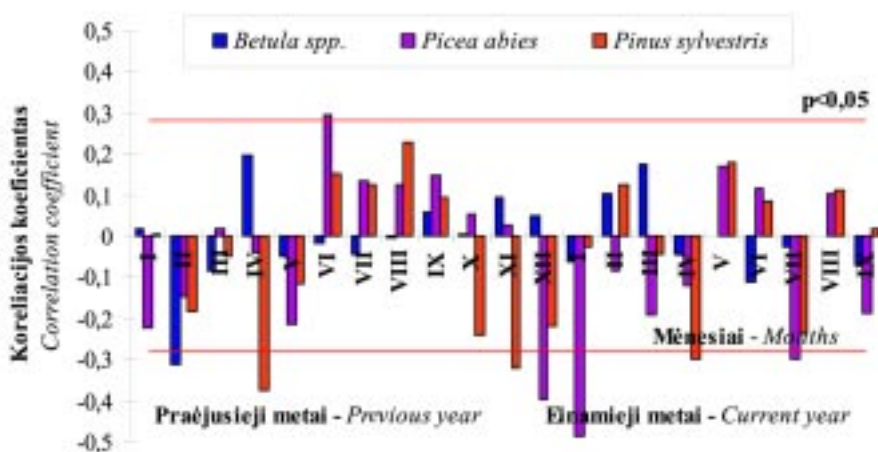
Medžių būklę iš esmės lemia dvi meteorologinių veiksnių grupės. Pirmą – palankios ir nepalankios klimato sąlygos; antrą – ekstremalūs meteorologiniai veiksniai, tiesiogiai sąlygojantys medžių būklę (snieglaužos, vėjalaužos ir kt.) (Auclair et al., 1992). Pastaruoju laikotarpiu vis didesnę įtaką miškų būklei ima daryti klimato kaita.

Atskirais atvejais klimato veiksniai, lyginant ne tik su medyno ar augavietės veiksniais, bet ir su aplinkos užterštumo poveikiu, gali turėti daugiau reikšmės medžių lajų būklės pokyčiams. Meteorologiniai stresiniai veiksniai labiausiai siejami su tokiais reiškiniais kaip žema ar aukšta temperatūra atitinkamais laikotarpiais ir su sausra. Miškų būklės tyrimo rezultatai rodo, kad miškų būklė intensyviai blogėja karštomis ir sausringomis vasaromis. Vandens poveikis šiuo atveju pasireiškia per jo kiekį ir medžio fiziologinę adaptaciją prie jo stygiaus. Sausra gali ne tik tiesiogiai paveikti medžio gyvybingumą ir lemti jo žūtį, bet ir sumažinti augalo atsparumą nepalankiems aplinkos veiksniams. Kai kurie mokslininkai net teigia, kad sausros poveikis medžių lajų būklei turi daugiau įtakos negu realus oro užterštumas (Prinz et al., 1987; Chappelka, Freer-Smith, 1995).

Atlikti tyrimai KMS teritorijose parodė (4.3. pav.), kad tirtų medžių būklę statistškai reikšmingai sąlygojo kelerių paskutinių metų meteorologinės sąlygos. Ypač

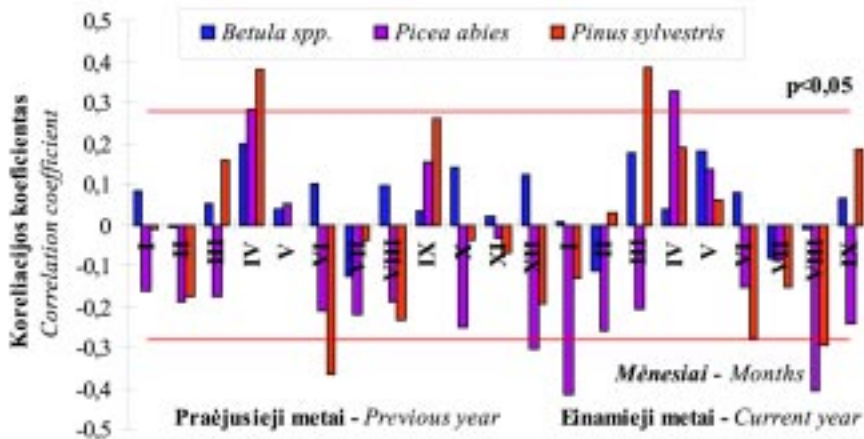
daug įtakos meteorologinės sąlygos turi spygliuočiams medžiams. Pušų lajų būklę lemia 2 metų meteorologinės sąlygos, o eglų, kurių spyglių amžius siekia iki 10 metų, – net 5–7 metų meteorologinės sąlygos (De Vries et al., 2000).

Pušų, kaip labiausiai paplitusių medžių KMS teritorijose, vidutinės defoliacijos kaitai daugiausiai įtakos turėjo pavasario (balandžio), vasaros (birželio ir rugpjūčio) ir vėlyvo rudens bei žiemos (spalio – gruodžio) mėnesių vidutinė temperatūra. Pavasarį ir žiemą aukštesnė mėnesio vidutinė temperatūra sąlygojo geresnę medžių lajų būklę, o aukštesnė vasaros mėnesių temperatūra – blogesnę, nors šis ryšys buvo statistiškai nepatikimas. Panašiai nuo mėnesio vidutinės temperatūros priklausė ir eglų lajų vidutinė defoliacija, tik žiemą temperatūros poveikis buvo daug didesnis. Matyt, žemų temperatūrų stresas medžiams, kuris gali pasireikšti keliais būdais (pigmentų fotooksidacija, šalčio ir žieminio džiovinimo pažeidimais) ir veikti augalus atskirai, kompleksiskai ar nuosekliai vienas po kito (Karenlampi and Skarby, 1996), turi reikšmingiausią poveikį medžių lajų defoliacijai. Vadinasi, klimato atšilimas, kuris, kaip parodė gauti rezultatai, pasireiškė intensyviausiu vidutinės temperatūros padidėjimu pavasario ir rudens, kiek mažesniu – žiemos bei mažiausiu – vasaros mėnesiais, apskritai turėtų teigiamai veikti medžių lajų būklę. Lajos turėtų būti tankesnės, o jų defoliacija mažesnė.



4.3. pav. Medžių vidutinės defoliacijos priklausomybė nuo mėnesio vidutinės temperatūros

Mėnesių kritulių kiekis statistiškai turėjo daugiau reikšmės medžių defoliacijos kaitai negu mėnesių vidutinė temperatūra (4.4. pav.). Medžių vidutinę defoliaciją statistiškai reikšmingai sąlygojo praėjusių metų vasaros (birželio ir rugpjūčio), rudens (spalio ir lapkričio) bei einamųjų metų žiemos (sausio ir vasario) mėnesių kritulių kiekiai. Visų šių mėnesių kritulių kiekio ryšys su defoliacijos laipsniu buvo atvirktinis, t. y. didesni kritulių kiekiai lėmė mažesnę vidutinę defoliaciją. Tik didesni ankstyvo pavasario (balandžio mėnuo) kritulių kiekiai neigiamai veikė medžių būklę, didindami lapų defoliaciją.



4.4. pav. Medynų vidutinės defoliacijos priklausomybė nuo mėnesio kritulių kiekio

Būtent pavasario laikotarpiu medžių ūglių augimo pradžią ir intensyvų augimą lemia aukštesnė oro temperatūra (Молчанов, 1961; Аугустайтис, 1989, 1992; Kairiūkštis, 1963; Ozolinčius 1998), o gausesni krituliai, sąlygojantys žemesnę temperatūrą, neigiamai veikia lapijos susidarymo procesus.

Miškų būklės tyrimo rezultatai rodo, kad kritulių trūkumas (sausros) ir šaltuoju (12–2 mėnesiai), ir vasaros laikotarpiu (6–8 mėnesiai) turi neigiamos įtakos medžių lapų būklei. Tačiau būtent vasaros mėnesių sausros, kurių poveikį (nors ir nereikšmingai) sustiprina aukšta temperatūra, turi reikšmingiausios įtakos defoliacijos padidėjimui ne tik einamaisiais, bet ir ateinančiais metais. Šiuos tyrimų rezultatus patvirtina mokslininkai ir Lietuvoje (Stakėnas, Ozolinis, 1999), ir užsienyje (Schrock, 1995; Callaert, Schiezling, 1996; Hilton, Packham, 1997; Strand, 1997 ir kt.).

Jautriausiai į meteorologinių veiksnių poveikį reagavo eglės. Tai aiškinama šios medžių rūšies šaknų sistemos ypatumais. Paviršinė šaknų sistema daro egles labiau priklausomas nuo drėgmės režimo negu pušis. Matyt, dėl to jų būklė ir atsparumas nepalankiems aplinkos veiksniams labiau priklauso nuo kritulių kiekio nei nuo regioninio užterštumo. Priešingai negu eglų, pušų, kurios turi giluminę šaknų sistemą, būklei daugiau įtakos turėjo aplinkos užterštumas. Dėl nepakankamos beržų stebėjimo apimties nepavyko nustatyti meteorologinių veiksnių poveikio jų būklei.

Oro teršalų poveikis medžių lajų defoliacijai

Nuo pat pradžių tolimos užteršto oro pernašos ir rūgščiųjų junginių iškritos buvo laikomos pagrindine šių neigiamų miškų pokyčių priežastimi (Knabe, 1981; Bauer, 1982), didinančia ne tik dirvožemio rūgštingumą (Falkengren-Grerup, 1987; Tamm, 1989; Bytnerowicz, Fenn, 1996), dirvožemio buferinių savybių sumažėjimą ir pagrindinių mineralinių medžiagų bei jonų iš dirvožemio išplovimą (Schulze, 1989; Likens et al., 1996), bet ir skatinančia toksinių aliuminio junginių susidarymą (Ulrich 1981, Hutchinson et. al 1986, Cronan and Gregal 1995, Eisman, de Vries, 2000), didinančia medžių jautrumą šalčiui (Sheppard, 1994) ar sausroms (Dueck et al., 1998) ir galiausiai sąlygojančia dirvožemio mikroorganizmų aktyvumo sumažėjimą (Persson et al., 1989).

Oro užterštumo poveikio nustatymas – vienas pagrindinių KM programų uždavinių. Pagal oro užterštumą Lietuva Europoje užima tarpinę padėtį tarp Centrinės Europos, kurioje registruojamos didžiausios oro teršalų koncentracijos ir iškritos, bei Skandinavijos šalių, kuriose oro užterštumas yra vienas mažiausių (UN-ECE, 2003).

Taršos komponentų koncentracijų ir tirtų medynų vidutinės defoliacijos koreliacinė analizė parodė, kad medžių defoliaciją sąlygoja net kelerių metų aplinkos užterštumo lygis. Koreliacijos koeficientai tarp praėjusių metų laikotarpio užterštumo parametrų ir defoliacijos yra didesni nei tarp einamųjų metų užterštumo ir tų pačių metų lajų defoliacijos laipsnio. Taip, matyt, pasireiškia užterštumo liekamasis ir vėlavimo poveikis miškų būklei, tą patvirtina ir daugybė tyrimo rezultatų (De Vries et al., 2000; Klap et. al., 1997, 2000).

Skirtingų medžių rūšių vidutinės defoliacijos priklausomybės nuo užterštumo lygio analizė parodė, kad daugiausiai įtakos aplinkos užterštumo komponentai turėjo pušų lajų vidutinei defoliacijai. Statistiškai reikšmingą poveikį pušų lajų defoliacijai darė sieros oksidų koncentracijos ore ir vandenilio, sulfatų bei amonio jonų srautai. Šių porinių priklausomybių koreliacijos koeficientai viršijo 0,5 ($p < 0,05$).

Kitų medžių vidutinę defoliaciją užterštumo lygis sąlygojo silpniau. Paprastosios egglės labiausiai nukentėjo nuo žievėgraužių topografų, kurių invazijos intensyvumas, pagal daugelio mokslininkų tyrimų rezultatus, priklauso nuo vėjo, šalčio, sniego, sausros pažeistų medžių skaičiaus. Tačiau pastaruoju laikotarpiu daugelis mokslininkų pradėjo teigti, kad ir oro užterštumas, rūgštūs lietūs bei ozonas, kurie kaip šiuos pažeidimus lemiantys veiksniai, padidino medynų jautrumą minėtų kenkėjų invazijai (Grodzki et al., 2002). Šiems teiginiams neprieštaraavo KMS teritorijose gauti rezultatai. Eg-



Sąlyginai sveika ir pažeista paprastosios pušies laja

lių vidutinės defoliacijos ir praėjusių metų sieros oksidų koncentracijos ore bei oksiduoto azoto srauto per 2 metų laikotarpį (praėjusių ir einamųjų metų) kaita buvo labai panaši. Defoliacijos priklausomybė nuo oksiduoto azoto atvirkštinė, t. y. šio komponento srautas gerina eglių lajų būklę, mažindamas jų defoliaciją. Tokį teigiamą oksiduoto azoto poveikį nustatė ir kiti autoriai (UN-ECE, 2002). Tai siejama su azoto sukeliama augalų augimą skatinančiu poveikiu (tręšimo poveikis).

1996 m. tirtų medžių vidutinė defoliacija buvo didžiausia visose KMS ir kito nuo 26,4 % Žemaitijos KMS iki 35,6 % Dzūkijos KMS. Nuo 1996 m. iki 2001 m. vyravo medžių lajų defoliacijos laipsnio mažėjimo tendencija ir tik paskutinių 3 metų laikotarpiu medžių būklė vėl pradėjo blogėti. Aukštaitijos KMS medžių defoliacija padidėjo iki 26,2 %, o Žemaitijos KMS – iki 22,2 %.

Vizualiai identifikuojamų medžių pažeidimo priežasčių analizė parodė, kad tyrimų pradžioje medžių būklę lėmė po sausrų ir gausių vėjalaužų susiformavę liemenų kenkėjų židiniai Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS teritorijose bei spyglius graužiančių vabzdžių židinyje Dzūkijos KMS teritorijoje. Pastaruoju laikotarpiu, pasibaigus neigiamam jų poveikiui, iš vizualiai identifikuojamų medžių būklės pablogėjimo priežasčių Aukštaitijos KMS dažniausi elninių žvėrių pažeisti eglių kamienai ir dėl to plintančios ligos, o Žemaitijos KMS – medžių viršūnės netekimas dėl snieglaužos.

KMS teritorijų foninis užterštumas labiausiai lėmė pušų vidutinę defoliaciją, kiek silpniau eglių ir mažiausiai beržų lajų vidutinę defoliaciją. Pušų būklės pokyčiams statistiškai reikšmingiausia buvo sieros koncentracijos ore bei redukuoto azoto srauto ($r=0,43-0,57$; $p<0,05$) ir kiek mažiau redukuoto azoto koncentracijų ore bei sieros ir vandenilio jonų srautų su krituliais įtaka. Didėjant šių komponentų koncentracijai ore ir šlapiesiems srautams, medžių būklė blogėjo. Tik oksiduoto azoto srauto poveikis medžių būklei buvo teigiamas, nors silpnas ir nereikšmingas.

Didėjanti vidutinė temperatūra, ypač žiemos ir pavasario mėnesiais, teigiamai veikė medžių lajų būklę, mažindama lajų vidutinę defoliaciją. Kritulių įtaka lajų būklei didesnė nei vidutinės temperatūros, o jų poveikis tik ankstyvo pavasario mėnesiais yra neigiamas. Šiuo laikotarpiu medžių augimą lėmė aukštesnė temperatūra.

Vasaros mėnesių sausras, kurių poveikį sustiprina aukšta temperatūra, turi didžiausios įtakos lajų defoliacijos padidėjimui ir einamaisiais, ir ateinančiais metais.

Meteorologinės sąlygos dėl šaknų sistemos ypatumų daugiau įtakos turėjo eglių negu pušų lajų vidutinei defoliacijai. Dėl to eglių būklė ir atsparumas nepalankiems aplinkos veiksniams labiau priklausė nuo kritulių kiekio nei nuo regioninio užterštumo. Pušys, kurios turi giluminę šaknų sistemą, buvo mažiau jautrios meteorologinių sąlygų svyravimams, o jų būklę daugiau lėmė aplinkos užterštumas.

4.1.2. Augmenijos rūšinės įvairovės ir gausumo monitoringas

Valerijus Rašomavičius

Žolių (su krūmokšniais) ir samanų (su kerpėmis) struktūros ir gausumo tyrimai kompleksinio monitoringo stotyse yra sudedamoji augalijos monitoringo dalis. Pagal augalijos komponentų įvairovės, gausumo ir gyvybingumo stebėjimo rezultatus vertinamos augalų bendrijų gamtinės dinamikos ypatybės besikeičiančios aplinkos sąlygomis. Remiantis šių duomenų ir negyvosios gamtos stebėjimų rezultatais, galima įvertinti natūralių (klimato) ir antropogeninių aplinkos veiksnių įtaką augalinės dangos pokyčiams. Tokie tyrimai atlikti visų trijų KMS teritorijose ir jose išskirtuose intensyvaus tyrimo stacionaruose (ITS) (Aukštaitijos KMS – 2 ITS, Žemaitijos ir Dzūkijos KMS – po 1 ITS).

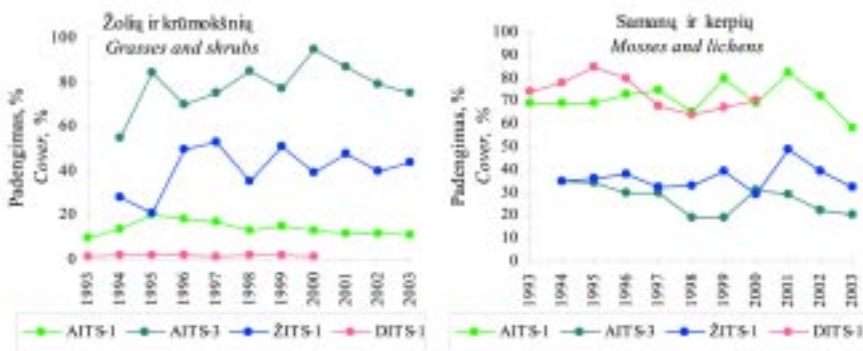
ITS kas 5 metai atliekami visų augalijos ardy, tarp jų ir medžių augimo bei medyno struktūros pokyčių tyrimai. Šalia medžių dendrometrinių tyrimų šiose stotyse reguliariai stebima pomiškio rūšinė sudėtis. Žolinių augalų, samanų ir kerpių rūšių įvairovė bei padengimo procentas stebimas tam tikslui atsitiktinai išdėstytose 0,5 x 0,5 m tyrimo aikštelėse (2 aikštelės 10 m² plotui). Pastarieji tyrimai, kaip ir medžių lajų būklės tyrimai, atliekami kasmet.

Aukštaitijos KMS augalų bendrijų įvairovė labai maža – beveik 2/3 teritorijos užima *Peucedano-Pinetum* W. Matuszkiewicz 1962 pušynai, likusiame plote vyrauja *Linnaeo-Piceetum* (Kajander 1921) K.-Lund 1967 eglynai ir tik labai nedidelę dalį sudaro drėgnieji beržynai (*Carici elongatae-Alnetum* W. Koch 1926 ex R. Tx. 1937). Žolinės augalijos rūšinės sudėties ir padengimo kaitos tyrimai atliekami tik augalijos ITS Nr. 1 ir Nr. 3.

Aukštaitijos ITS-1. Paskutiniu laikotarpiu šioje stotyje tirtos 13 induočių augalų ir 13 samanų bei kerpių rūšių. Labai neintensyvus medžių išsiretinimas galėjo lemti nedidelį augalijos žolių ir krūmokšnių ardo bendro projekcinio padengimo sumažėjimą per visą tyrimų periodą (4.5. pav.). Paskutiniaisiais metais jis artėja prie absoliučiai mažiausios vertės per visą stebėjimų laikotarpį. Šiam procesui įtakos turėjo pagrindinio bendrijų dominanto *Vaccinium myrtillus* L. būklė ir *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth gausumo mažėjimas.

Samanų dangos rodiklius lemia 3 jos dominantai: *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp., *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., ir *Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not. Visų 3 samanų, ypač *Hylocomium splendens*, padengimo sumažėjimas lėmė bendrąjį samanų ardo sumažėjimą (4.5 pav.).





4.5. pav. Augalijos projekcinio padengimo kaita ITS (1993–2003 m.)

Aukštaitijos ITS-3. Šioje stotyje stebimi supelkėjusių biotopų augalijos kompleksai, kurie pasižymi rūšinės įvairovės gausumu ir intensyvia danga. Visą praėjusį stebėjimų periodą čia vyko didžiausi įvairovės pokyčiai. Stebėtų induočių augalų rūšių skaičius padidėjo nuo 41 iki 47 vnt., o samanų ir kerpių – nuo 22 iki 24 vnt. susivėrimui (bendram projekciniam Stebėjimų pradžioje (1994–2000 m.) didėjant bendrijų padengimui) vyko intensyvi ekologinių nišų paieška. Tačiau nepaisant naujų rūšių atsiradimo bendrijose, nuo 2000 m. prasidėjo ir žolių, ir samanų



ardo bendro projekcinio padengimo mažėjimas (4.5. pav.). Abiem atvejais jį lėmė akivaizdus vyraujančių rūšių (*Dryopteris carthusiana* (Vill.) H. P. Fuchs, *Vaccinium myrtillus*, *Oxalis acetosella* L. ir *Mercurialis perennis* L.) padengimo mažėjimas. Tuo pat metu formavosi rūšių grupė, kurių padengimas linkęs didėti ir kurios gali būti svarbios tolesniam bendrijos formavimuisi (*Rubus saxatilis* L., *Rubus idaeus* L., *Maianthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt, *Equisetum pratense* Ehrh.). Samanų danga, kuri yra mažiausia iš visų stebimų stočių, paskutiniaisiais metais dar labiau sumažėjo ir visiškai priartėjo prie žemiausios per 10 metų užregistruotos ribos. Sumažėjo *Plagiomnium af-*

fine (Bland.) T. J. Kop., *Pleurozium schreberi*, *Plagiomnium undulatum* (Hedw.) T. J. Kop., *Atrichum undulatum* P. Beauv. ir ypač *Plagiochila asplenioides* (L.) Dum. gausumas. Nei vienos samanų rūšies gausumas šioje tyrimų stotyje nepadidėjo.

Žemaitijos KMS būdingiausias augalijos tipas – eglynai (*Linnaeo-Piceetum*) – per tyrimų laikotarpį patyrė intensyvią žievėgraužio invaziją ir smarkaus vėjo poveikį. Tokiose teritorijose intensyvus eglės atžėlimas iš esmės pakeitė žolinės augalijos dangos tankumą. Kai kuriose teritorijose žolinės dangos tankumui reikšmingos įtakos turėjo ir šernai, suardydami ištisus plotus gyvosios dirvožemio dangos. Šie gamtiniai veiksniai mažiau paveikė šlapių augaviečių eglynus ir pušynus (*Sphagno girgensohnii-Piceetum* Polakowski 1962, *Vaccinio uliginosi-Pinetum* de Kleist 1929).



Entokenkėjų pažeistuose eglynuose kyla gausus pomiškis



Šernų maitinimosi vietose gyvosios dirvožemio dangos nelieka

Žemaitijos ITS-1. Per dešimtmetį šioje stotyje tirtų induočių rūšių padidėjo nuo 12 iki 15, o samanų rūšių sumažėjo nuo 19 iki 14.

Žolių padengimą lėmė pagrindinio eglynų žolinės dangos dominanto – *Vaccinium myrtillus* vystimasis. Metais, kai mėlynės lapiją pažeisdavo grybinės ligos, bendras žolyno padengimas būdavo mažesnis. Smarkiai pagausėjo kitas dominantas – *Maianthemum bifolium*. Tačiau apskritai gera šių dviejų augalų būklė, bendrai vertinant, kompensavo *Oxalis acetosella* ir *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin. gausumo mažėjimą (4.5. pav.).

Samanų danga mažėja dėl kol kas nepaaiškinamo drastiško *Dicranum majus* Sm. padengimo mažėjimo (4.5. pav.). Sumenko ir kitų vyraujančių samanų reikšmė (*Brachythecium oedipodium* (Mitt.) Jaeg., *Plagiothecium curvifolium* Schlieph. ex Limpr., *Ptilium crista-castrensis*).



Dzūkijos KMS vyrauja *Peucedano-Pinetum* pušynai, kuriuos kalvų viršūnėse ir šlaituose keičia *Cladonio-Pinetum* Juraszek 1927 kerpšiliai. Bendrijų įvairovę padidina šlapių tarpukalvių žolinės bendrijos (*Caricetum elatae* W. Koch 1926, *Caricetum lasiocarpae* Osvald 1923), šlapi miškai (*Carici elongatae-Alnetum*), nedideli briedgaurnų ir smiltpievių ploteliai.

Dzūkijos ITS-1. Šioje stotyje būdinga kerpšilių ir brukniašilių augalinė danga, turinti labai redukuotą žolių ardą (projekcinis padengimas sudaro apie 1 %), ir beveik ištisinė samanų danga (vyrauja *Pleurozium schreberi* ir *Dicranum polysetum*,



projekcinis padengimas – 67–84 %) (4.10. pav.). Čia palyginti didelė kerpių įvairovė. Per tiriamąjį laikotarpį stebimų rūšių skaičius (19) išliko stabilus. Nuo 1996 m. iki 1999 m. besitęsiantį samanų dangos mažėjimą lėmė dominantų *Pleurozium schreberi* ir *Dicranum polysetum* Sw. gausumo mažėjimas. Ši tendencija sietina su tiesiogine žmogaus įtaka pušyno bendrijai. Pavienėse vietose jų samanų danga buvo mechanškai suardyta arba sutrypta. Tose vietose atsirado smėlio lopinėlių, kurie vėliau užžėlė, o dėl to santykinai pagausėjo kerpių.

Apibendrinus žolinės augalijos rūšinės įvairovės ir gausumo tyrimo rezultatus ITS, matyti, kad sausros turėjo įtakos induočių gausumo padidėjimui drėgnesnėse (pelkinėse ir laikinai užmirkusiuose) augavietėse (AITS-03 ir ŽITS-01) bei sumažėjimui natūraliai drėkinamose augavietėse (AITS-01 ir DITS-01).

Samanų bendro padengimo intensyvumo sumažėjimui įtakos galėjo turėti ir didėjantis induočių gausumas, stelbiantis samanas, bei dėl intensyvesnio medžių žuvimo didėjantis samanų apšviestumas. Būtent padidėjusi fotosintetiškai aktyvios Saulės spinduliuotė kartu su ultravioletine (UV-B) ir ozono spinduliuote dėl viršutinių augalijos ardų išretėjimo gali neigiamai veikti prie riboto apšviestumo sąlygų prisitaikiusių miško samanų – *bryophyta* – rūšinę įvairovę ir gausumą (Gehrke, 1999; Niemi et al., 2002; Searles et al., 2002; De Baker et al., 2005). Šią hipotezę būtų galima patikrinti pradedant matuoti į tyrimo plotelius patenkančią, likusią (medžių lapų neabsorbuotą) fotosintetiškai aktyvią Saulės spinduliuotę.

Žolių ir samanų ardų gausiausių komponentų analizė rodo, kad per pirmąjį 5 metų laikotarpį visose KMS nuolatos didėjo dažnumas rūšių, būdingų tiriamam bendrijos tipui, ir tik paskutiniu laikotarpiu bendras samanų gausumas pradėjo mažėti. Tačiau šių parametru svyravimai neviršijo gamtiniams procesams būdingų fluktuacijų. Dėl to, remiantis atliktais KMS intensyvaus tyrimo stacionarų (ITS) žolių ir krūmokšnių bei samanų ir kerpių gausumo duomenimis, galima teigti, kad stebėtos bendrijos išliko stabilios.

4.1.3. Epifitinių kerpių rūšinės įvairovės ir gausumo monitoringas

Almantas Kliučius, Algirdas Augustaitis

Kamieno epifitai, o ypač kerpės, jautriau nei ant žemės paviršiaus augantys augalai, reaguoja į oro taršą. Laboratoriniais ir lauko bandymais patvirtinta, kad epifitinių kerpių bendrijos, kaip bioindikatoriai, yra puikus daugelio teršalų stebėjimo objektas. Pagal epifitinių kerpių rūšinę įvairovę, jų gniūžulų dydį ir būklę, atskirų jautrių ar tolerantiškų užterštumui kerpių rūšių buvimą, atsiradimą ar išnykimą ir pagal jų bendrijų sugebėjimą užimti didesnį plotą sprendžiama apie oro užterštumo lygį ir aplinkoje vykstančius pokyčius. Todėl šių tyrimų tikslas – pagal atskirų epifitinių kerpių rūšių gausumą, būklę ir pagal jų bendrijas nustatyti oro kokybės, klimato ar miško struktūros pokyčius.



Epifitinių kerpių bendrija

Pirmieji kerpių tyrimai Aukštaitijos ir Dzūkijos KMS atlikti 1993 m., o Žemaitijos KMS – 1994 m. Vėliau tyrimai pakartoti 1996 m., 1999 m. ir 2002 m. Medžių kerpėtumas įvertintas (60, 90, 120 ir 150 cm aukštyje nuo žemės paviršiaus ant medžių kamienų) linijiniu metodu.



sėleninė briedragė



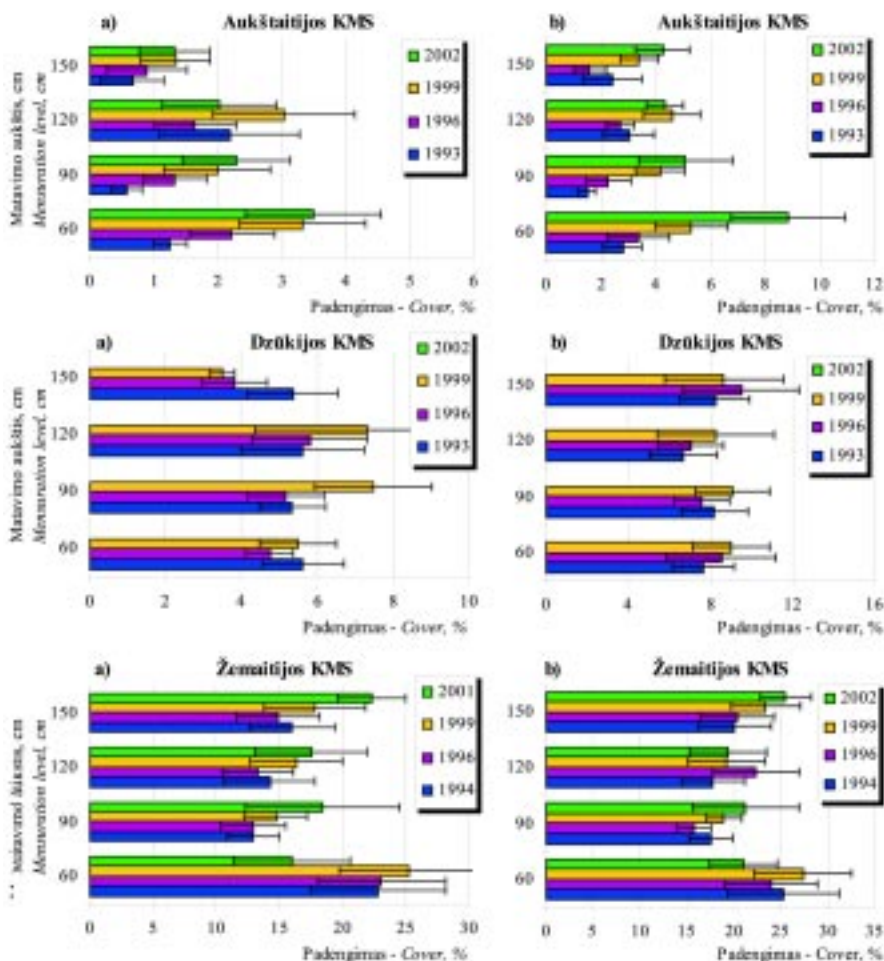
šiuurkščioji kedėnė



putlusis plynkežis

Aukštaitijos KMS kerpės tirtos 140 metų amžiaus pušyne. Čia rastos ir apmatuotos 2 epifitinių makrokerpių rūšys: putlusis plynkežis (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.) ir

neapibrėžtoji kežuotė (*Parmeliopsis ambigua* (Wulfen) Nyl.), bei šiurės genties kerpės (*Cladonia* spp. (Hill.) Vain.). Dzūkijos KMS kerpės stebėtos bręstančiame 90 metų amžiaus gryname kerpiniam pušyne. Čia rastos ir apmatuotos 5 epifitinių makrokerpių rūšys: putlusis plynkežis (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.), sėleninė briedragė (*Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf.), neapibrėžtoji kežuotė (*Parmeliopsis ambigua* (Wulfen) Nyl.), melsvoji kerpena (*Platismatia glauca* (L.) W.L. Culb. & C.F. Culb.) ir šiurkščioji kedenė (*Usnea hirta* (L.) Weber ex F. H. Wigg.), bei šiurės genties kerpės (*Cladonia* spp. Vain.).



4.6. pav. Kamienų padengimas epifitinėmis kerpėmis ir jo kaita (a) *Hypogymnia physodes*; b) visos epifitinių kerpių rūšys)

Žemaitijos KMS kerpės tirtos mišriame eglės ir pušies medyne, kuriame užregistruotos ir apmatuotos tik 2 kerpių rūšys: putlusis plynkežis (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.) ir melsvoji kerpena (*Platismatia glauca* (L.) W.L. Culb. & C.F. Culb.), bei šiurės genties kerpės (*Cladonia* spp. (Hill.) Vain.).

Visose kerpių tyrimo ploteliuose ant pušų kamienų registruojama pakankamai poleotolerantiška SO₂ lapiškoji kerpė – putlusis plynkežis.

Dzūkijos KMS jautriausia SO₂ kerpė – šiurkščioji kedėnė. Jos jautrumas, vertinant pagal dešimtbalę skalę, – 6 balai. Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS poleofobiškų makrokerpių rūšių nerasta.

Aukštaitijos KMS tirtų medžių kamienų padengimas epifitinėmis kerpėmis per tiriamąjį laikotarpį padidėjo nuo 2,8 iki 5,6 %, o putliuoju plynkežiu – nuo 1,8 iki 3,2 % (4.6. pav.). Žemaitijos KMS tirtų medžių kamienų padengimo epifitinėmis kerpėmis padidėjimas nebuvo toks akivaizdus. Dzūkijos KMS tirtų medžių kamienų padengimas epifitinėmis kerpėmis per 1993–1999 m. laikotarpį padidėjo nuo 7,7 iki 8,8 %, o putliuoju plynkežiu – nuo 5,4 % iki 5,6 % (4.6. pav.). Dėl skirtingų augalų šeimininkų kamienų padengimo kerpėmis laipsnį lyginti tarp atskirų stočių netikslinga.

Kamienų kerpėtumo laipsnio kitimo reikšmingumui įvertinti buvo atlikta F-testo duomenų analizė. Gauti rezultatai parodė, kad statistiškai reikšmingai didėjo tik Aukštaitijos KMS tirtų pušų kamienų bendras kerpėtumo laipsnis 60 cm aukštyje. Kitose stotyse ir kituose matavimo lygiuose nustatyti kerpėtumo rodikliai kito nereikšmingai.



Epifitinių kerpių tyrimo rezultatų patikimumą tikimasi padidinti specialiai atrinktų bendrijų vystymosi kartografiniais tyrimais

KMS lichenoidikacinių tyrimų rezultatai rodo, kad epifitinių kerpių įvairovė ir gausumas, nustatytas linijiniu metodu, neatskleidė bendrų aplinkos užterštumo pokyčių, todėl ateityje, tiriant epifitinių kerpių įvairovę ir gausumą linijiniu metodu, siūloma padidinti medžių atrankos imtį, kerpėtumą nustatant kiekviename nuolatinųjų tyrimų plotelyje augančių 3–5 gerai apšviestų medžių kamienų 1,0 m aukštyje, o tyrimus kartoti kas 5 metus, derinant juos su visų augalijos ardu tyrimais.

4.1.4. Žaliadumblų gausumo monitoringas

Algirdas Augustaitis, Almantas Kliučius

Algoindikaciniai stebėjimai – ankstyvosios diagnostikos metodas, nustatantis miško ekosistemoje vykstančias permainas – visų pirma oro baseino užterštumo kaitą. Plevelo genties dumbliai *Pleurococcus vulgaris* ir *Protococcus viridis* – oro užterštumo azoto junginiais bioindikatoriai (Bräkenhelm, 1990). Kuo daugiau azoto junginių krituliuose ir atmosferoje, tuo storesniu ir tankesniu sluoksniu šie dumbliai padengia eglės spyglius, tuo greičiau plinta jų kolonijos.

Tyrinėjimo objektas – eglės jaunuolynai, nes juose aplinkos sąlygos yra palankiausios šiems dumbliams augti ir daugintis. Tyrimų tikslas – stebėti žaliadumblų gausumą, pokyčius ir išaiškinti pagrindines priežastis.

Tyrimams atrinktos 15–20 viršaujančios arba brandžiuose medynuose, bet atvirose aikštelėse augančios jaunos eglaitės, kurioms 120–150 cm aukštyje nustatomas tiriamų šakų spyglių amžius; ūglių amžius, ant kurių yra daugiau kaip 5 % ir 50 % spyglių; spyglių amžius, ant kurių pastebėti žaliadumbliai ir intensyviausias žaliadumblų didžiausias žaliadumblų padengimo intensyvumas. Šalia šių rodiklių 1998 m. papildomai buvo nustatyta: tirtos šakos azimutas, kiekvienos ūglių kartos defoliacija ir spyglių padengimo žaliadumbliais intensyvumas 10 % tikslumu.

Pirmieji žaliadumblų tyrimai atlikti 1993 metais Aukštaitijos ir Dzūkijos kompleksinio monitoringo stotyse (KMS), o 1994 m. ir Žemaitijos KMS. 1998 m. žaliadumblų gausos tyrimai pakartoti antrą kartą. 2001 m. pakartotiniai dumblų tyrimai atlikti tik Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS.

1993–2001 m. atliktų stebėjimų rezultatai pateikti 4.1. lentelėje.

Palyginus KMS pirmuosius (1993–1994 m.) žaliadumblų padengimo intensyvumo tyrimo rezultatus, nustatyta, kad labiausiai azoto junginiais turėjo būti užteršta Dzūkijos KMS teritorija. 1998 m. pakartojus tyrimus, didžiausiu žaliadumblų gausumu išsiskyrė jau Aukštaitijos (2–3 balai), o mažiausiu – Žemaitijos KMS (1–2 balai) augančios eglaitės. Dzūkijos KMS žaliadumblų gausumas siekė 2 balus. Tai 3 ir daugiau metų turinčių eglės spyglių padengimo žaliadumbliais intensyvumas



Spyglių padengimo žaliadumbliais vidutinis intensyvumas

4.1. lentelė. Žaliadumблиų stebėjimo rezultatai KMS

Eil. Nr.	Skersmuo Diameter, mm	Aukštis Height, dm	Spyglių amžius Needle age	Defoliacija Defoliation, %	Padengimas Cover, %	Dumblio amžius Algae age	Eglių amžius Shoot age	
							50 % spyglių Needle	5 % spyglių Needle
....*	DBH	HEIG	ANF	DEF	COAT	YALG	MED	MAX
Aukštaitijos KMS								
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
Dzūkijos KMS								
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 KMS								
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

Pastaba: *parametrų sutrumpinimas pagal „Manual of Integrated Monitoring“, 1993

2001 m. žaliadumблиų kolonijos ant eglių spyglių Žemaitijos KMS pagausėjo nuo 1 iki 2 balų, o Aukštaitijos KMS – sumažėjo nuo 2–3 iki 1–2 balų.

Taip per 9 stebėjimo metus (1993–2001 m.) žaliadumблиų kolonijos padidėjo Žemaitijos ir sumažėjo Aukštaitijos KMS. Atsižvelgiant į žaliadumблиų bioindikacines savybes, dabartinis užterštumas azoto junginiais Žemaitijoje ir Aukštaitijoje supanašėjo.

Apibendrinus žaliadumблиų gausos tyrimo rezultatus per tiriamąjį laikotarpį, nustatytos oksiduoto ir redukuoto azoto koncentracijos ore bei jų iškritos neturėjo reikšmingos įtakos dublių gausumo kaitai KMS teritorijose.

Per tiriamąjį laikotarpį žaliadumблиų kolonijos padidėjo Žemaitijos ir sumažėjo Aukštaitijos KMS. Atsižvelgiant į žaliadumблиų bioindikacines savybes, dabartinis užterštumas azoto junginiais Žemaitijos ir Aukštaitijos KMS teritorijose turėtų būti panašus, o labiausiai užteršta turėtų būti Dzūkijos KMS teritorija. Cheminių tyrimų rezultatai nepatvirtina šių žaliadumблиų bioindikacijų. Ateityje tyrimus reikėtų labiau detalizuoti ir, be rodiklių, nurodytų KMS programos metodikoje, nustatyti kiekvienos spyglių generacijos padengimo dumbliais intensyvumo laipsnį bei šių ūglių defoliacijos laipsnį, atsižvelgiant į modelinės šakos kryptį. Taip būtų gaunami patikimesni rezultatai.

4.2. Faunos įvairovės ir gausumo monitoringas

Sąlygiškai natūralių ekosistemų KM programa apima mikro- ir makrofaunos tyrimus. Jų kaitą lemiančių veiksnių nustatymas dar labiau komplikuoatas. Daugelio autorių nuomone, nors šis poveikis turi būti neigiamas, tačiau yra labai subtilus ir sunkiai nustatomas dėl jo sąveikos su nepalankiais natūraliais aplinkos veiksniais – stresais (Barker and Tingley, 1992; Szaro, 1993; Boxman et al., 1995).

4.2.1. Pedobiontų rūšinės įvairovės ir gausumo monitoringas

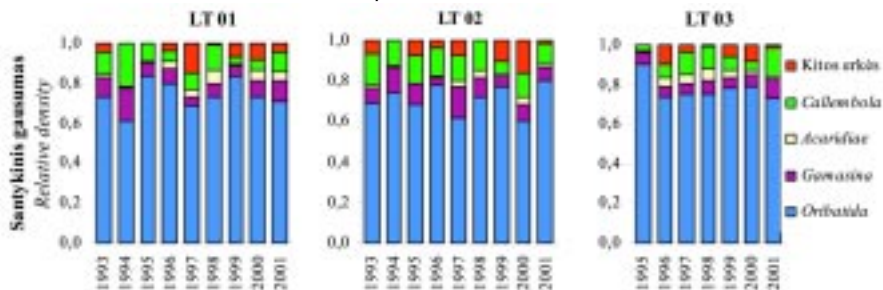
Irena Eitminavičiūtė, Zinaida Bagdanavičienė, Audronė Matusevičiūtė

Dirvožemis atlieka unikalų funkcinį vaidmenį visiems sausumos organizmams. Jis jungia biologinį ir geologinį medžiagų apykaitos ciklą, taip pat yra buferinis ir apsauginis biogeocenozinis ekranas, kuris leidžia sudaryti normalias sąlygas biosferai funkcionuoti. Dėl to šių tyrimų tikslas – išaiškinti skirtingų kraštovaizdžio tipų sąlygiškai natūralių miško ekosistemų būdingiausių dirvožemio zoocenozių genofondą, nustatyti zoocenozių struktūrą, būdingą klimaksinėi miško stadijai, pateikti mikroartropodų gausumo ir rūšinės įvairovės kaitos ypatumus bei išaiškinti šių dirvožemių mikrobiologinį aktyvumą ir mineralizacijos-humifikacijos procesų kryptingumą priklausomai nuo tolimų oro teršalų pernašų ir klimato poveikio.

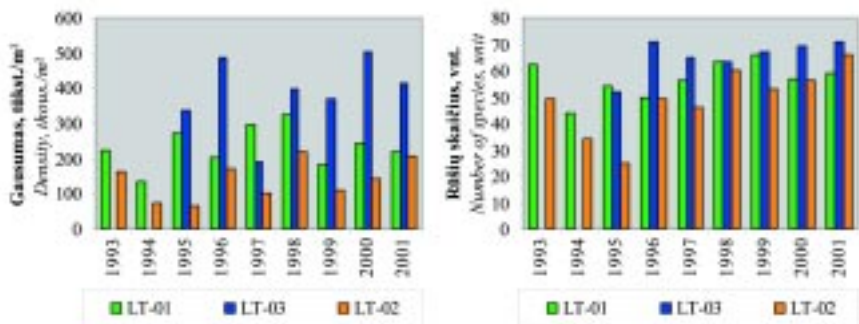
Pedobiontų (mikroartropodų, vabzdžių ir mikroorganizmų) stebėjimai atlikti kompleksiskai kartu su dirvožemių, botaniniais, geografiniais, klimato tyrimais trijuose ITS, laikantis švedų siūlomos metodikos (Pylvanainen, 1993). Aukštaitijos ir Dzūkijos KMS pušnyuose šie tyrimai atlikti 1993–2001 m., o Žemaitijos KMS eglyne – 1995–2001 m. laikotarpiu.

Mikroartropodų gausumas, kompleksų struktūra ir rūšinė įvairovė

Nustatyta, kad pušynų smėlžemių dirvožemiuose vyrauja mikroartropodų (atskira grupė pedobiontų) kompleksai, kurių gausumas – vidutiniškai 233 tūkst. ind./m², o jų biomasė – 1,7 g/m². Rastos 139 mikroartropodų rūšys. Vyraujanti grupė – oribatidinės erkės (*Oribatida*) (4.7. pav.).



4.7. pav. Mikroartropodų grupių santykinis gausumas Aukštaitijos (LT 01), Dzūkijos (LT 02) ir Žemaitijos (LT 03) KMS



4.8. pav. Mikroartropodų gausumo ir rūšių skaičiaus kaita KMS dirvožemiuose

Eglynai, augantys smėlžemių dirvožemiuose, labai išsiskiria mikroartropodų gausumu (385 tūkst. ind./m²). Mikroartropodų biomasė sudaro iki 3,0 g/m². Vyraujanti grupė – oribatidinės erkės. Rastos 149 rūšys.

Nustatyta, kad per tiriamąjį laikotarpį mikroartropodų gausumas dirvožemyje intensyviausiai padidėjo Dzūkijos KMS tirtame pušyne (maždaug nuo 100 iki 170 tūkst. ind./m² (1,70 karto)), kiek mažiau – Žemaitijos KMS tirtame eglyne (maždaug nuo 340 iki 420 tūkst. ind./m² (1,24 karto)) ir mažiausiai Aukštaitijos KMS tirtame pušyne (nuo 210 iki 240 tūkst. ind./m² (1,14 karto)) (4.8. pav.). Tačiau visos tendencijos statistiškai nereikšmingos.

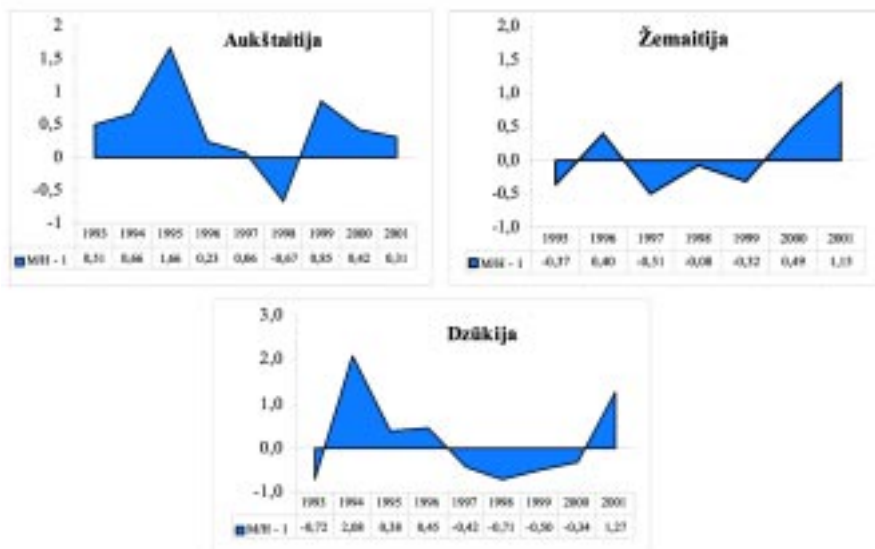
Mikroartropodų kompleksų struktūros rūšinė analizė rodo, kad tirtuose KMS miškų dirvožemiuose yra mikroartropodų rūšių gausėjimo tendencija, kuri reikšmingiausia buvo Dzūkijos KMS.

Mikrobiologinis dirvos aktyvumas

Pušynų ekosistemos biotopams būdingas gana mažas bakterijų gausumas – 5–13 mln. ląstelių 1 g sauso dirvožemio (s. d.). Tarp bakterijų vyrauja oligonitrofilinės bakterijos. Retai aptinkama aktinomicetų ir celiuliozę skaidančių mikroorganizmų, tarp jų beveik visai nėra celiuliozę skaidančių bakterijų. Pušynuose labai gausu mikroskopinių grybų – 400 tūkst. pradų 1 g s. d., tarp jų labai didelė *Penicillium* genties atstovų rūšinė įvairovė.

Eglynų biotope mikroorganizmų gausumas ir struktūrinė-funkcinė sudėtis labai priklauso nuo dirvožemio granulometrinės sudėties. Pajaurėjusiuose išplautžemiuose mikroorganizmų struktūrinė sudėtis panaši į pušynų – mažai aktinomicetų ir celiuliozę skaidančių mikroorganizmų, bet daugiau bakterijų (8–19 mln. ląstelių 1 g s. d.) ir ypač daug mikromicetų (500–700 tūkst. užuomazgų 1 g s. d.). Bakterijų grupinėje struktūroje, kaip ir pušyne, vyrauja oligonitrofilai.

Mineralizuojančių ir humifikuojančių bakterijų struktūrinis-funkcinis santykis (M/H) rodo humifikuojančių ar mineralizuojančių bakterijų gausėjimo kryptį. Nustatyta, kad iki 1997–1998 m. tirtuose pušyno ir eglynų biotopuose šis santykis



4.9. pav. Bakterijų struktūrinio-funkcinio santykio (M/H) kaita

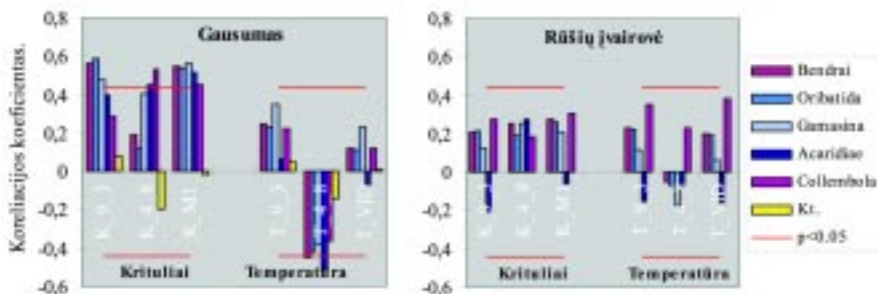
mažėjo, iš teigiamo pereidamas į neigiamą. Tai lėmė humifikuojančių bakterijų didėjimą (4.9. pav.). Nuo šio laikotarpio iki pastarųjų metų registruojamas atvirkštinis procesas – M/H santykis didėja, t. y. vėl pradeda daugėti mineralizuojančių bakterijų.

Aplinkos veiksniai, sąlygojantys pedobiontų rūšinę įvairovę ir gausumą

Šiuo metu plačiai diskutuojama apie globalinės klimato kaitos įtaką procesams, vykstantiems dirvožemyje. Manoma, kad šių procesų kaitą atskirų regionų dirvožemiuose geriausiai atspindi C/N santykis, kuris tiesiogiai sąveikauja su dirvožemio biotos veikla ir nuo kurio priklauso medynų būklė bei produktyvumas (Vaičys ir kt., 1998). Tačiau klimato kaitos poveikis dirvožemio (ypač stabilių miško ekosistemų) biotai yra gana problematiškas. Dirvožemio temperatūros ir drėgmės pokyčiai geriau atspindi mikroartropodų bendrijose, paplitusiose skurdesniuose dirvožemiuose, pvz., Dzūkijos KMS, o ne Aukštaitijos KMS. Šie pokyčiai dar didesni natūralių pievų ar daugiamečių žolių ekosistemose.

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

Teigiama, kad dirvožemio pedobiontų gausumą ir rūšių skaičių tiesiogiai lemia kritulių kiekis. Sausros, ypač vegetacijos laikotarpiu, sumažina šių mikroartropodų bendrijas iki minimumo. Šį neigiamą poveikį sustiprina ir aukšta vidutinė temperatūra (Boxman et al., 1995). KMS teritorijose atliekami dirvožemio mikroartropodų ilgamečiai dinaminiai tyrimai atskleidžia pokyčius, vykstančius dirvožemiuose vidutinio klimato zonoje ir lemiamus meteorologinių sąlygų.



4.10. pav. Kritulių (K) ir vidutinės temperatūros (T) poveikis atskirų mikroartropodų grupių gausumui ir rūšinei įvairovei (9–3 – rugsėjo – kovo mėnesių parametras; 4–8 – balandžio – rugpjūčio mėnesių parametras) M1 – metiniai; Vid. – vidutiniai parametrai

Nustatyta, kad kritulių kiekis ir šaltuoju, ir šiltuoju metų laikotarpiu vienareikšmiškai teigiamai lėmė mikroartropodų gausumą (4.10. pav.). Ypač į drėgmės svyravimus vegetacijos laikotarpiu reagavo kolembolos. Drėgnais 1998 m. jų labai pagausėjo Žemaitijos KMS, dar labiau – Aukštaitijos KMS, o sumažėjo – sausais 1999 m. ir 2000 m.

Vidutinės temperatūros poveikis dvejopas. Šaltuoju metų laiku aukštesnė temperatūra turi įtakos (nors ir nereikšmingos) didesniai mikroartropodų gausumui, o vegetacijos laikotarpiu – priešingai, t. y. aukšta temperatūra statistiškai reikšmingai mažina pedobiontų gausumą. Gauti rezultatai patvirtino ir kitų mokslininkų gautus rezultatus, kad karštos ir sausos vasaros ne tik mažina pedobiontų gausumą, bet ir blogina bendrą miškų būklę.

Klimato veiksnių poveikis mikroartropodų rūšinei įvairovei daug mažesnis ir statistiškai nereikšmingas, nors ir yra teigiamas. Būtent dėl to, kad pagrindinis veiksnys, lemiantis šį parametą yra aplinkos užterštumas, dirvožemio mikroartropodų rūšinė įvairovė gali būti tinkamas bioindikacinis rodiklis ankstyvajai aplinkos užterštumo poveikio diagnostikai.

Nuo aplinkos užterštumo nevienareikšmiškai priklauso mikroartropodų rūšinė įvairovė ir gausumas. Literatūroje nurodomi gana prieštaringi duomenys apie cheminių teršalų, ypač sunkiųjų metalų, poveikį dirvožemio mikroartropodams. Dažnai nenustatomas jų neigiamas poveikis bendram gausumui (Hägvar, Abraham-

sen, 1990; Bruus 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 mitybos grandinę, sutrinka augalinių liekanų destrukcijos procesai ir pakinta humuso forma iš *mull* į *mor* (Bengtsson et al., 1988; Gillet, Ponge, 2003). Tačiau sunkiųjų metalų kiekiai dirvožemyje bei jo vandenyje 20 cm ir 40 cm gylyje, kurie per 10 metų laikotarpį turėjo tendenciją didėti, nedarė statistiškai reikšmingos įtakos mikroartropodų rūšinei įvairovei ir gausumui.

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

Nors eutrofikuotoje 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, tuo tarpu Aukštaitijos ir Dzūkijos KMS azoto iškritos sudaro 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 bei gausumo.

Mineralizuojančių ir humifikuojančių bakterijų struktūrinio-funkcinio santykio kaitą (M/H) nuo humifikuojančių bakterijų mažėjimo iki mineralizuojančių bakterijų didėjimo lėmė didesnis vandenilio jonų srautas su krituliais ar kritulių pH bei didesnis oro užterštumas sulfatais ir praėjusiais, ir einamaisiais metais ($r > 0,4$, kai $p < 0,05$). Būtent neigiamą rūgščiųjų kritulių poveikį nuokritų destrukcijos intensyvumui yra nustatę daugelis šios srities specialistų (Persson et al., 1989).

Šio santykio mažėjimui dėl humifikuojančių bakterijų gausėjimo didesnės įtakos turėjo tik oro užterštumas azoto junginiais, ypač nitratais, bei jų srautai per kelerių metų laikotarpį. Tačiau šis poveikis buvo nereikšmingas. Mineralizacijos procesams didesnę įtaką turėjo aerolinių sulfatų koncentracija ore ir H^+ jonų srautas su krituliais (kritulių pH).

Aukštaitijos ir Dzūkijos KMS pušynų, o Žemaitijos KMS eglynų dirvožemiuose 1993–2001 m. laikotarpiu gausėjo miškų dirvožemių biota (zoocenozių ir mikroorganizmų) ir didėjo jų rūšinė įvairovė. Iš esmės keitėsi mineralizuojančių ir humifikuojančių bakterijų struktūrinis-funkcinis santykis (M/H). Iki 1998–1999 m. mineralizuojančių bakterijų skaičius mažėjo, o humifikuojančių bakterijų skai-

čius didėjo, tuo tarpu 1999–2001 m. laikotarpiu vyko priešingas procesas – didėjo mineralizuojančių bakterijų skaičius.

Kritulių kiekis ir temperatūra vegetacijos laikotarpiu reikšmingos įtakos turėjo tik dirvožemio mikroartropodų gausumui, tačiau atskiros jų grupės nevienodai jautrios šiems veiksniams. Karštos ir sausos vasaros ypač sumažina kolembolų gausumą. Todėl šis parametras gali būti naudojamas bioindikatoriniams tikslams, tiriant dirvožemio drėgmės ir temperatūros režimą, pagal kurį kerpšiliniai pušynai yra jautresni klimato veiksniams ir labiau pažeidžiami negu brukniniai-mėlyniniai.

Atskiros mikroartropodų grupės yra patikimi bioindikatoriai, atspindintys atskirų metų aplinkos užterštumo poveikį dirvožemio biologiniams procesams. Jautriausiai į aplinkos oro užterštumą SO_2 , NO_3^- srautą su krituliais bei kritulių pH reagavo oribatidų ir kolembolų rūšinė įvairovė. Tačiau tik didėjantis NO_3^- srautas su krituliais praėjusiais ir einamaisiais metais lėmė gausesnes ir turtingesnes mikroartropodų kompleksų struktūras dirvožemyje. Dėl šio poveikio gausėjo humifikuojančių bakterijų, lemiančių aukščiausios kokybės mull tipo humuso susidarymą. Kitų užterštumo rodiklių poveikis neigiamas, ypač einamųjų metų sieros junginių ore ir H^+ srauto su krituliais.

4.2.2. Upelių bentofaunos monitoringas

Kęstutis Arbačiauskas

Upelių dugno gyvūnų bendrijos įvairovė ir gausumas priklauso nuo upelio geomorfologinių, limnologinių ir hidrocheminių ypatybių, taip pat nuo klimato veiksnių ir vandens užterštumo. Tyrimų tikslas – stebėti upelių makrozoobentos taksonominę sudėtį, gausumą ir įvairovę, galimiems upelių ekologinės būklės ilgalaikiams pokyčiams dėl globalios aplinkos kaitos (klimato atšilimo ir antropogeninės taršos pokyčių) nustatyti.

Upelių bentofaunos, kurios pagrindą dažnai sudaro vabzdžių lervinės stadijos, didžiausia įvairovė būna vegetacijos sezono pradžioje ir pabaigoje, kai dauguma vabzdžių dar „neišskridę“ ar jau pasidauginę, o jų lervos jau užtelėjusios ir jas galima tiksliai apibūdinti. Siekiant daugiausiai informacijos apie upelio eko-

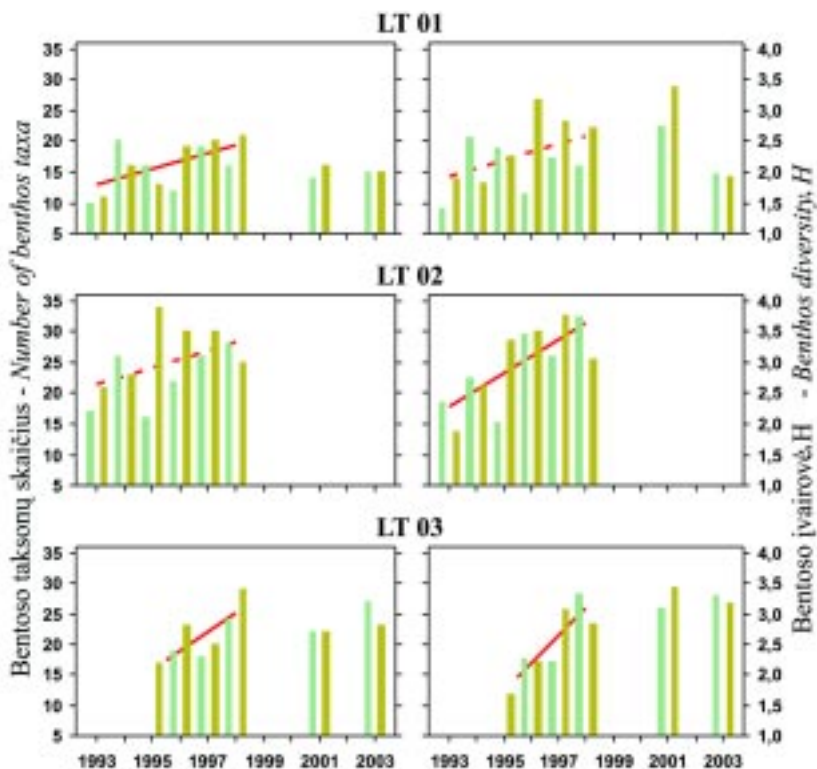


loginę būklę mažiausiomis darbo sąnaudomis, makrozoobentos mėginiai pagal standartinę upelių monitoringo metodiką yra renkami vegetacijos sezono pradžioje ir pabaigoje, t. y. beveik visada gegužės ir spalio mėn.

Nuo tyrimų pradžios Aukštaitijos ir Dzūkijos KMS upeliuose 1993 m., o Žemaitijos KMS – nuo 1996 m. rudens iki 1998 m. tyrimai buvo atliekami kasmet. Vėliau Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS jie kartoti 2001 m. ir 2003 m. Tirta dugno gyvūnų taksonominė sudėtis, gausumas ir biomasė. Bendrijų struktūra vertinta pagal *Shannon-Wiener'io* įvairovės indeksą, o vandens kokybė – pagal *Trent'o* ir vidutinį *Chandler'io* biotinius indeksus. Bentofaunos rodiklių pokyčių tiesinių tendų ir sezoninių svyravimų reikšmingumas vertintas regresinės analizės metodu (Sakalauskas, 1998).

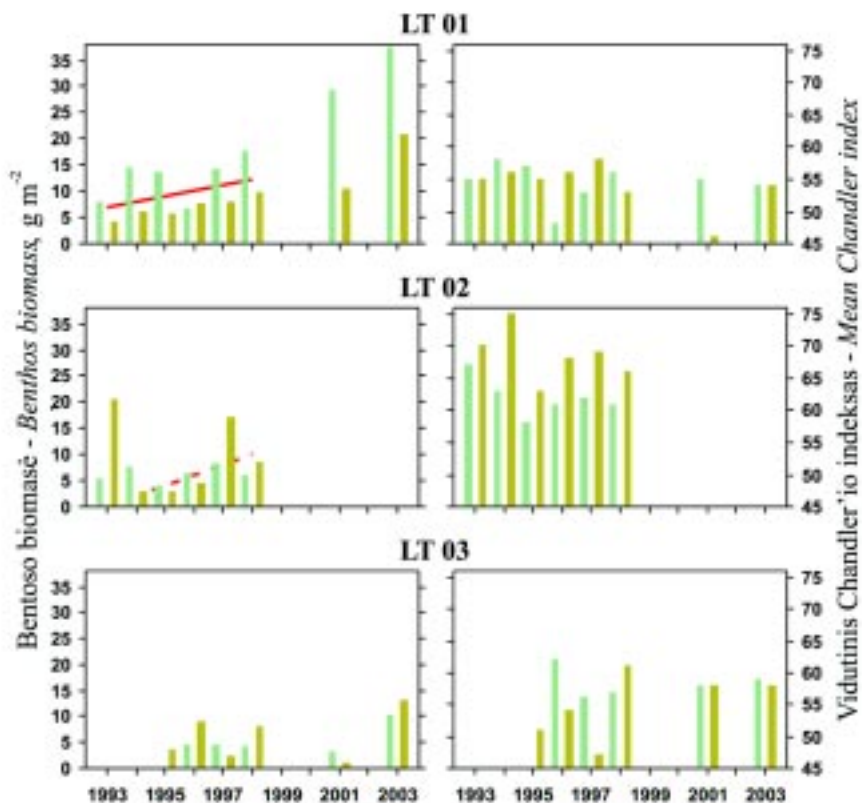
Aukštaitijos KMS Versminio upelyje pagal gausumą vyrauja ankstyvės (Plecoptera), o pagal biomasę – apsiuvos (Trichoptera). Dzūkijos KMS Duburių upelyje dažniausiai aptinkami lašalai (Ephemeroptera), o didžiausią dalį biomasės sudaro apsiuvų lervos. Žemaitijos KMS Juodupio upelyje ir pagal gausumą, ir pagal biomasę pakaitomis skirtingais metais vyrauja lašalai arba šoniplaukos (Amphipoda: *Gammarus pulex*). Didžiausia rūšinė įvairovė visuose KMS upeliuose dėl uodų trūklių (Chironomidae) rūšių gausos būdinga dvisparniams (Diptera). Aukštaitijos, Dzūkijos ir Žemaitijos KMS upeliuose per sezoną nustatoma atitinkamai po 18–28, 32–39 ar 27–34 vnt. skirtingų taksonų. Bentofaunos rūšinė įvairovė atitinka stebimų upelių buveinių ypatybes. Dėl didesnės nišų įvairovės Dzūkijos ir Žemaitijos KMS upeliuose, kur tyrimai atliekami akmenuotame dugne, gyvena daugiau rūšių nei Aukštaitijos KMS upelyje, kurio dugnas sudarytas iš durpių ir smėlio.

Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS upeliuose per 1993–1998 m. užregistruotas skirtingu vegetacijos sezono metu nustatomų taksonų skaičiaus didėjimo trendas ($p < 0,05$) (4.11. pav.). Taksonų didėjo tendencija nustatyta ir Dzūkijos KMS ($p = 0,10$). Per šį laikotarpį pastebėtas ir dugno gyvūnų bendrijos įvairovės didėjimas. Dzūkijos ir Žemaitijos KMS upeliuose nustatyti reikšmingi įvairovės pokyčiai ($p < 0,03$), o Aukštaitijos KMS – didėjimo tendencija ($p = 0,10$). Lyginant vėlesnių 2001 m. ir 2003 m. tyrimų duomenis su 1997–1998 m. duomenimis, taksonominė įvairovė sumažėjo Aukštaitijos KMS upelyje (dvifaktoriškas dispersinis analizė, $p = 0,03$), bet bendrijos įvairovė išliko ta pati, o Žemaitijos KMS upelyje šie bioįvairovės rodikliai nepakito.



4.11. pav. Upelių makrozoobentos taksonų skaičius ir *Shannon-Wiener'io* įvairovės indeksas vegetacijos sezono pradžioje (■) ir pabaigoje (■) Aukštaitijos KMS (LT 01); Dzūkijos KMS (LT 02); Žemaitijos KMS (LT 03) (— – trendas, $p < 0,05$; – tendencija, $p < 0,10$)

Monitoringo upelių bentofaunos biomasės daugiamečiai duomenys parodė statistškai reikšmingą bendros biomasės didėjimą Aukštaitijos KMS per visą stebėjimų laikotarpį – tiek per 1993–1998 m. ($p=0,03$), tiek ir lyginant ankstesnį laikotarpį su 2001 m. ir 2003 m. (dispersinė analizė, $p=0,03$) (4.11. pav.). Dzūkijos KMS upelyje 1993 m. dėl, lyginant su kitais tyrimų metais, išskirtinai didelės mašalų (*Simulidae*) ir apsiuvų gausos, nustatytos didelės bentoso biomasės. 1994 m. šiame upelyje dugno gyvūnų biomasė sumažėjo, vėliau iki 1998 m. stebėta šio rodiklio didėjimo tendencija ($p=0,10$). Žemaitijos KMS upelyje bentoso biomasės 1995–1998 m. kryptingai nekito. 2001 m. šiame upelyje nustatytos mažiausios, o 2003 m. – didžiausios per stebėjimų laiką bentoso biomasės.



4.12. pav. Upelių makrozoobentos biomasė ir vandens kokybę pagal vidutinį *Chandler'io* biotinį indeksą vegetacijos sezono pradžioje (■) ir pabaigoje (■) Aukštaitijos KMS (LT 01); Dzūkijos KMS (LT 02); žemaitijos KMS (LT 03) (— – trendas, $p < 0,05$; – tendencija, $p < 0,10$)

Aukštaitijos, Dzūkijos ir Žemaitijos KMS upelių vandens kokybė pagal *Chandler'io* biotinį indeksą kito – atitinkamai 46–58, 58–75 ir 47–62 balų, bet kryptingų pokyčių per tyrimų metus nepastebėta (4.12. pav.). Vandens kokybė pagal *Trent'io* biotinį indeksą Aukštaitijos KMS buvo 8–9 balų, o Dzūkijos ir Žemaitijos KMS – 9–10 balų. Taigi visi KMS upeliai priskirtini prie švarių aukštos kokybės vandenų. Skirtumus tarp upelių pagal biotinius indeksus lemia nevienodos upelių buveinių įvairovės.

Analizuojant KMS upelius bendrai, ir taksonominės, ir bendrijų įvairovės didėjimo tendų per 1993–1998 m. laikotarpį reikšmingumo lygmuo buvo aukštas ($p < 0,002$). Tai leidžia teigti, kad stebėtą kaitą lėmė globalių aplinkos veiksnių po-

kyčiai. Šie veiksniai galėjo turėti įtakos ir biomasės pokyčiams, nes analogiška bentofaunos biomasių analizė, įtraukiant 2001 m. ir 2003 m. duomenis (didžiausios per tyrimų laikotarpį biomasės vertės Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS upeliuose gautos 2003 m.), parodė, kad bentoso gausumo didėjimo trendas buvo taip pat reikšmingas ($p < 0,001$) ir bendras visiems KMS upeliams. Absoliučias bentofaunos rodiklių vertes, be abejonės, sąlygojo KMS upelių individualios ypatybės ($p < 0,001$), tuo tarpu bendras visiems upeliams sezoniškumo poveikis nenustatytas. Vis dėlto atskiruose upeliuose stebėta kai kurių rodiklių sezoninė kaita. Aukštaitijos KMS vegetacijos sezono pradžioje registruojamos bentoso biomasės buvo gerokai didesnės nei rudenį ($p < 0,001$), o Dzūkijos KMS upelyje šiuo sezono metu dėl skirtingos taksonominės sudėties vandens kokybė pagal vidutinį *Chandler'io* indeksą buvo mažesnė ($p = 0,006$) (4.12. pav.).

Apibendrinus stebėjimų rezultatus nustatyta, kad taksonominės įvairovės ir bendrijos įvairovės, kuri priklauso ne tik nuo rūšių skaičiaus, bet ir nuo jų gausumo vienodumo, pokyčiai monitoringo upeliuose buvo susiję ($r = 0,61$). Tuo tarpu biologinė įvairovė nepriklausė nuo bentoso biomasės. Tai rodo, kad stebėti bentoso biomasės pokyčiai labiausiai priklausė ne nuo bendro visų, o nuo atskirų rūšių gausumo ir biomasės svyravimų.

Upelių makrobentoso įvairovės ir gausumo kaitą sąlygojantys veiksniai

KM stacionaruose nustatyti teigiami upelių makrobentoso rodiklių ilgalaikiai



Žemaitijos KMS Juodupio upelis



Dzūkijos KMS Duburių upelis

pokyčiai – biologinės įvairovės didėjimas per 1993–1998 m. ir bentofaunos biomasės didėjimas per visą tyrimų laiką – leido iškelti hipotezę, kad stebėtus trendus lėmė aplinkos veiksniai. Siekiant nustatyti, kokių aplinkos veiksnių pokyčiai, o ne jų absoliučios vertės, turėjo įtakos bentofaunos rodiklių kaitai, surinkti duomenys kiekvienam tyrimų stacionarui buvo standartizuoti. Ši duomenų transformacija panaikino KMS upelių individualių ypatybių poveikį išmatuotiems rodikliams ir tai leido atlikti bendrą jų analizę.

Nors tarp kai kurių cheminių rodiklių pokyčių (pH, SO_4^{2-} , NO_3^-) ir bentoso bendrijų įvairovės buvo nustatyta reikšminga koreliacija, vis dėlto atmosferos teršalų poveikio upelių bentofaunos įvairovei ir gausumui mechanizmas lieka neaiškus, nes patikimų priežastinių ryšių tarp atmosferos teršalų ir upelių vidutinių metinių hidrocheminių rodiklių bei tarp vandens cheminių charakteristikų ir bentoso rodiklių nerasta. Apskritai manoma, kad upelių bentofaunos įvairovė ir gausumas daug labiau priklauso nuo vandens cheminės sudėties rūgščiuose vandenyse negu neutraliuose ar šarminiuose (pH>7,0) vandenyse, kuriems priskirtini ir KMS upeliai (Giller and Malmqvist, 1998).

Aukštaitijos, Dzūkijos ir Žemaitijos KMS upeliuose nustatyti bentofaunos įvairovės didėjimo per 1993–1998 m. ir biomasės didėjimo per visą tyrimų laikotarpį trendai, o tos pačios kitimo kryptys skirtingose stebėjimo vietose rodo, kad pokyčiai vyko dėl globalių aplinkos veiksnių pokyčių. 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 lygių, kuriuos viršijus miško ekosistemose pasireikštų reikšmingi neigiami pokyčiai. Tačiau gauti rezultatai leidžia teigti, kad ir mažesnės koncentracijos nei kritinės daro neabejotiną poveikį ne tik sumedėjusios augalijos, bet ir visos miško ekosistemų biotos būklei, t. y. atskirų ekosistemos 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 stebėtiems bentofaunos įvairovės didėjimo per 1993–1998 m. ir biomasės didėjimo per visą tyrimų laikotarpį trendams įtakos galėjo turėti mažėjantis kritulių užterštumas antropogeninės kilmės teršalais.

4.2.3. Smulkiųjų žinduolių monitoringas

Reda Mažeikytė, Linas Balčiauskas, Kazimieras Baranauskas, Alius Ulevičius

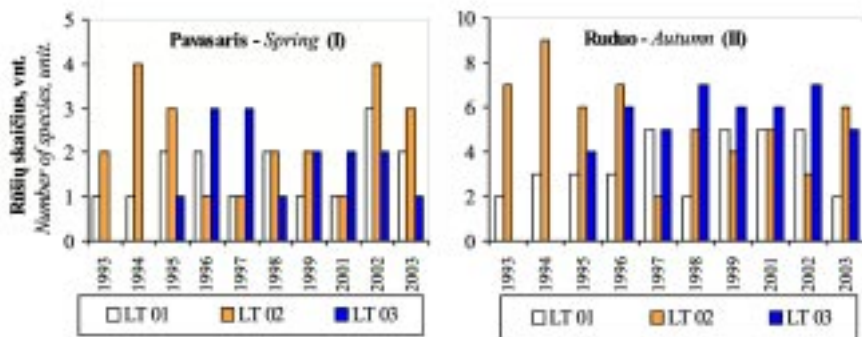
Sausumos gyvūnijos būklės ir jos dinamikos stebėjimas yra svarbi KM dalis, leidžianti įvertinti sąlygiškai natūralių ekosistemų pokyčius. Viena iš ekosistemas sudarančių grandžių yra smulkieji žinduoliai (vabzdžiaėdžiai ir peliniai graužikai), kurie dėl jų biologinių savybių yra geras bioindikatorius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

Tyrimų tikslas – įvertinti smulkiųjų žinduolių bendrijų rūšinės struktūros būklę ir jos kaitą tipinguose KMS teritorijų biotopuose.

Tyrimai atlikti 1993 (1995)–1999 m. ir 2001–2003 m., žvėrelius gaudant du kartus per metus (pavasariį ir rudenį), kiekvienoje teritorijoje pastatant po 150 mušamųjų spąstų ir juos laikant tris paras, pagal standartizuotą tarptautinę smulkiųjų žinduolių monitoringo programą (Manual..., 1993).

Smulkieji žinduoliai Aukštaitijos KMS teritorijoje tirti mėlynšilyje ir nemoraliniame pelkiniame eglyne, kuriame gausu virtuolių, Dzūkijos KMS – kerpšilyje, mezoetrofiniame juodalksnyne ir užliejamoje ganamoje pievoje, o Žemaitijos KMS – eglyngiryje ir ganamoje pievoje. Smulkiųjų žinduolių bendrųjų rūšinė struktūra teritorijose įvertinta rūšių skaičiumi, atskirų rūšių individų santykiniu gausumu (%), rūšių įvairovės rodikliu (H) ir bendru smulkiųjų žinduolių gausumu (ind./ha).

Per 10 metų tirtose teritorijose užregistruota 15 rūšių: kurtis (*Talpa europaea* Linnaeus, 1758), kirstukas nykštukas (*Sorex minutus* Linnaeus, 1766), paprastasis kirstukas (*S. araneus* Linnaeus, 1758), vandeninis kirstukas (*Neomys fodiens* Pennat, 1771), beržinė sicista (*Sicista betulina* Pallas, 1779), rudasis pelėnas (*Clethrionomys glareolus* Schreber, 1780), pelkinis pelėnas (*Microtus oeconomus* Pallas, 1776), pievinis pelėnas (*M. agrestis* Linnaeus, 1761), pelėnas dvynys (*M. rossiaemeridionalis* Ognev, 1924), dirvinė pelė (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771), mažoji miškinė pelė (*Apodemus (Sylvaemus) uralensis* Pallas, 1811), miškinė pelė (*A. (S.) sylvaticus* Linnaeus, 1758), geltonkaklė pelė (*A. (S.) flavicollis* Melchior, 1834), pelė mažylė (*Micromys minutus* Pallas, 1771) bei naminė pelė (*Mus musculus* Linnaeus, 1758). Sugauti 1 646 žvėreliai, tarp jų pavasarį – 180 individų (9 rūšys), o rudenį – 1 466 individai (14 rūšių).



4.13. pav. Smulkiųjų žinduolių rūšių skaičiaus kaita Aukštaitijos (LT 01), Dzūkijos (LT 02) ir Žemaitijos (LT 03) KMS teritorijose pavasarį ir rudenį

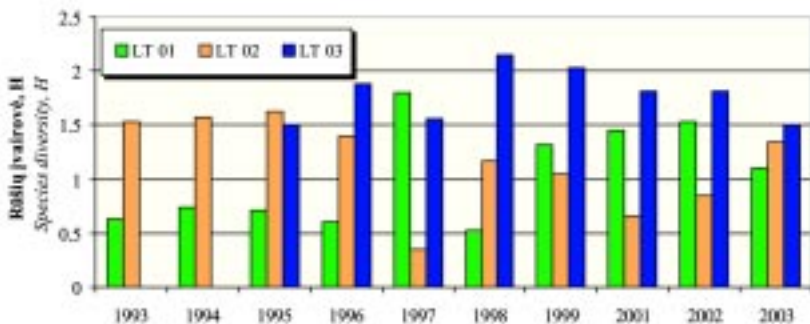
Visose teritorijose įprastos rūšys buvo kirstukas nykštukas (*Sorex minutus*), paprastasis kirstukas (*S. araneus*), rudasis pelėnas (*Clethrionomys glareolus*) ir geltonkaklė pelė (*Apodemus (Sylvaemus) flavicollis*). Visur vyravo rudasis pelėnas. Kitų rūšių individų buvo nedaug arba jie buvo migruojantys.



Paprastasis kirstukas

Daugiausia rūšių užregistruota Dzūkijos KMS teritorijoje, mažiau – Žemaitijos KMS ir mažiausiai Aukštaitijos KMS (atitinkamai – 13, 10 ir 9 rūšys). Daugiamečiai rezultatai rodo, kad rūšių skaičiaus kaita tirtose teritorijose buvo skirtinga (4.13. pav.). Rūšių įvairovės indekso (H) statistiškai reikšmingas pastovus didėjimas buvo registruojamas tik Aukštaitijos KMS tirtose biotopuose (4.14. pav.), 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.) smulkiųjų žinduolių rūšinės įvairovės indeksas statistiškai reikšmingai mažėja. Polidominantiškiausia bendrija rasta Žemaitijos KMS (pavasarij $H=1,26$, rudenį $H=2,04$), o skurdžiausia – Aukštaitijos KMS (pavasarij $H=1,05$, rudenį $H=1,29$).

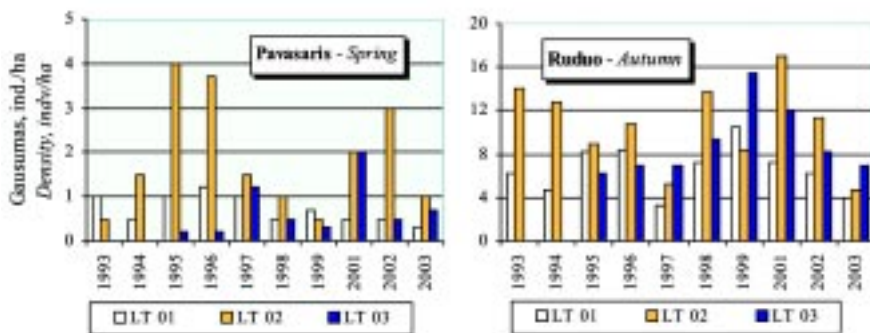


4.14. pav. Smulkiųjų žinduolių rūšių įvairovės kaita KMS teritorijose 1993–2003 m. rudenį

Labai svarbus ekologinių sąlygų tinkamumo smulkiesiems žinduoliams įvertinimo rodiklis yra jų gausumas tiriamoje teritorijoje. Daugiamečiai smulkiųjų žinduolių bendrijos gausumo tyrimo rezultatai rodo (4.15. pav.), kad pavasarį bendras smulkiųjų žinduolių gausumas yra nedidelis. Aukštaitijos KMS teritorijoje jis kito vidutiniškai nuo 0,3 iki 1,2 ind./ha, Dzūkijos KMS – nuo 0,5 iki 4 ind./ha, o Žemaitijos KMS – nuo 0,2 iki 1,2 ind./ha. Paprastai pavasario sulaukia nedidelė dalis žiemojančios populiacijos. Tik atskirais metais, esant palankesnėms žiemojimo sąlygoms (daug sniego, pakankamai maisto ir slėptuvių, mažesnė plėšrūnų įtaka) bei susidarant pastoviai sniego dangai rudenį ir jai nutirpstant pavasarį, 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 praėjusios

metų rudeninės smulkiųjų žinduolių populiacijos. Šiems žvėreliams palankiausios žiemos buvo: Dzūkijoje – 1994/95 m, 1995/96 m. ir 2001/02 m., 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 didėjimas buvo užregistruotas Dzūkijos KMS teritorijoje 1993 m. ir Žemaitijos KMS teritorijose 1995 m., 1996 m. ir 1999 m. Tokie dideli žvėrelių gausumo didėjimo tempai Dzūkijoje buvo susiję su rudojo pelėno, o Žemaitijoje – dar ir su paprastojo kirstuko bei kirstuko nykštuko populiacijų didėjimu.

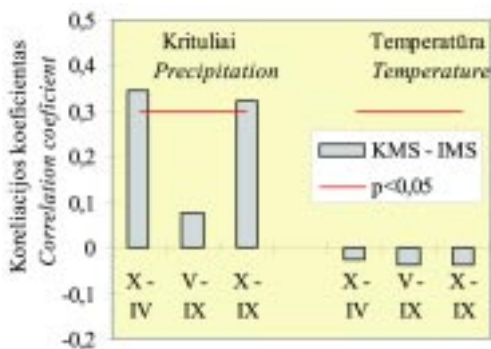


4.15. pav. Smulkiųjų žinduolių bendrijos gausumo kaita KMS teritorijose 1993–2003 m. pavasarį ir rudenį

Rudeniniai tyrimai rodo 5 metų (1997–2003 m.) gausumo svyravimo ciklus Aukštaitijos ir ypač Dzūkijos KMS teritorijose (4.15. pav.). Žemaitijos KMS teritorijoje gausumas didėjo iki 1999 m. ir pradėjo mažėti per pastaruosius 4 metus. Didžiausią įtaką smulkiųjų žinduolių bendrijos gausumui turėjo vyraujančios 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 labai pagausėjo kirstukų. Žinoma, kad rudajam pelėnui Pabaltijo–Polesės miškų ir pievų zonoje yra būdingi 2–5 metų gausumo ciklai (Башенина и др. 1981). Iš esmės nuo jo gausumo kitimo atskirais sezonais ir metais tirtuose biotopuose priklauso ir visos smulkiųjų žinduolių bendrijos gausumo dinamiškumas.

Aplinkos veiksnių poveikis smulkiųjų žinduolių rūšinei įvairovei ir gausumui

Smulkiųjų žinduolių kaitos nustatytoms tendencijoms ir priežastims įvertinti išanalizuoti koreliaciniai ryšiai tarp bendrijų rūšinės struktūros rodiklių ir kritulių kiekio bei oro temperatūros. Kritulių kiekis turėjo didesnės įtakos smulkiųjų graužikų rūšinei įvairovei ir gausumui nei vidutinė temperatūra. Tirtose KMS teritorijose rūšių



4.16. pav. Smulkiųjų žinduolių gausumo priklausomybė nuo meteorologinių veiksnių

Apibendrinus visų KMS smulkiųjų žinduolių tyrimų rezultatus išsiaiškinta, kad meteorologiniai parametrai didesnę įtaką daro žinduolių gausumui nei rūšinei įvairovei, ypač kritulių kiekis šaltuoju metų laikotarpiu. O juk palankios meteorologinės sąlygos (didesnis kritulių kiekis, storesnė ir pastovesnė sniego danga), užtikrinančios mažesnę plėšrūnų įtaką, sąlygoja šių smulkiųjų žinduolių išgyvenimą žiemos mėnesiais ir didesnį gausumą pavasarį.

Aukštaitijos KMS teritorijoje buvo užregistruotas smulkiųjų žinduolių rūšių skaičiaus ir statistiškai patikimas įvairovės (H) didėjimas. Žemaitijos KMS smulkiųjų žinduolių įvairovė rudenį iki 1998 m. didėjo, o per paskutinių 5 metų laikotarpį reikšmingai sumažėjo. Dzūkijos KMS teritorijoje smulkiųjų žinduolių rūšių skaičius pavasarį buvo nestabilus, o rudenį iki 1998 m. tendencingai mažėjo. Analizuojant gausumo pokyčius, aiškios, vienareikšmės tendencijos nustatyti nepavyko, nors paskutinių 3 metų laikotarpiu smulkiųjų žinduolių gausumas sumažėjo apie 4 kartus Dzūkijos ir apie 2 kartus Aukštaitijos bei Žemaitijos KMS teritorijose.

Kritulių poveikis smulkiųjų žinduolių rūšinei įvairovei ir gausumui buvo reikšmingesnis negu temperatūrų. Palankios meteorologinės sąlygos šaltuoju metų laiku (didesnis kritulių kiekis, storesnė bei pastovesnė sniego danga), užtikrinančios mažesnę plėšrūnų įtaką, sąlygoja šių smulkiųjų žinduolių išgyvenimą žiemos mėnesiais ir didesnį gausumą visu šiltuoju laikotarpiu.

Biotos regioniniai pokyčiai ir juos sąlygojantys aplinkos veiksniai

Apibendrinus augalijos ir gyvūnijos būklės, gausumo bei įvairovės pokyčių rezultatus nustatyta, kad 1996 m. tirtų medžių vidutinė defoliacija buvo didžiausia visose KMS teritorijose. Nuo šio laikotarpio iki 2001 m. užregistruota medžių lajų defoliacijos laipsnio mažėjimo tendencija. Ir tik pastarųjų 3 metų laikotarpiu medžių būklė vėl pradėjo blogėti.

Iki 1999 m. medžių būklę sąlygojo po sausrų ir gausių vėjalaučų susiformavę liemenų kenkėjų židiniai Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS teritorijose bei spyglius graužiančių vabzdžių židiny – Dzūkijos KMS teritorijoje. Pasibaigus jų neigiamam poveikiui, iš vizualiai identifikuojamų medžių būklės pablogėjimo priežasčių dažniausi buvo elninių žvėrių pažeisti eglių kamienai ir dėl to plintančios ligos (Aukštaitijos KMS) bei medžių viršūnės ar visos lajos netekimas dėl snieglaužos (Žemaitijos KMS).

Žolių ir samanų arde per pirmąjį 5 metų laikotarpį visuose KMS intensyvaus tyrimo stacionaruose (ITS) nuolat didėjo dažnumas rūšių, būdingų tiriamam bendrijos tipui, tačiau paskutiniu laikotarpiu pradėtas registruoti bendras samanų gausumo mažėjimas.

Epifitinių kerpių įvairovės ir gausos bei eglių spyglių padengimo žaliadumbliais tyrimų rezultatai, naudojant tradicines KM programos metodikas, neatkleidė bendrų aplinkos užterštumo sieros ir azoto junginiais pokyčių.

Aukštaitijos KMS teritorijoje buvo užregistruotas smulkiųjų žinduolių rūšių skaičiaus ir statistiškai patikimas įvairovės (H) didėjimas. Žemaitijos KMS jų įvairovė iki 1998 m. didėjo, o paskutinių 5 metų laikotarpiu reikšmingai sumažėjo. Tik Dzūkijos KMS teritorijoje įvairovę iš esmės būtų galima vertinti kaip stabilią. Analizuojant gausumo pokyčius, aiškios, vienareikšmės tendencijos nustatyti nepavyko, nors paskutinių 3 metų laikotarpiu smulkiųjų žinduolių gausumas sumažėjo apie 4 kartus Dzūkijos ir apie 2 kartus Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS teritorijose.

Aukštaitijos, Dzūkijos ir Žemaitijos KMS upeliuose nustatyti bentofaunos įvairovės didėjimo 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.

Miškų dirvožemių biota (zoocenozių ir mikroorganizmų) KMS teritorijose gausėjo, didėjo jų rūšinė įvairovė. Iš esmės keitėsi mineralizuojančių ir humifikuojančių bakterijų struktūrinis-funkcinis santykis (M/H), rodantis humifikuojančių bakterijų skaičiaus didėjimą, kuris lemia geriausios kokybės mull tipo humuso susidarymą. Tačiau paskutiniu laikotarpiu vėl pradėjo didėti mineralizuojančių bakterijų skaičius humifikuojančių bakterijų skaičiaus atžvilgiu.

Aplinkos veiksniai, turintys reikšmingos įtakos vienu miško ekosistemų komponentų būklei, paprastai reikšmingai sąlygoja ir kitų ekosistemų komponentų būklę. Taip mažėjanti sieros oksidų ir amonio jonų koncentracija ore bei jų srautai kartu su H^+ jonų srautu lėmė miško komponentų būklės gerėjimą, mažindama medžių lapų defoliaciją. Tik NO_3^- koncentracija ore kartu su šio komponento srautu turėjo teigiamos įtakos ekosistemų būklei, nors šis poveikis dažniausiai buvo statistiškai nereikšmingas.

Meteorologinių veiksnių poveikis labiau pasireiškė biotos gausumo kaitai negu įvairovės pokyčiams per trumpą laiko tarpą. Didesnis kritulių kiekis vegetacijos laikotarpiu turėjo įtakos ne tik geresnei medžių lapų būklei, bet ir gausesnėms smulkiųjų žinduolių bei dirvožemio mikroartropodų bendrijoms. Vasaros mėnesių sausros, lydimos aukštų temperatūrų, turi įtakos ne tik medžių lapų defoliacijos padidėjimui einamaisiais ir ateinančiais metais, bet ir dirvožemio pedobiontų gausumui, o kartu ir nuokritų destrukcijos greičio mažėjimui.

Temperatūros poveikis medžių lapų defoliacijai ir tirtos faunos gausumui bei įvairovei silpnesnis nei kritulių, tačiau aukštesnė žiemos ir pavasario mėnesių oro temperatūra darė teigiamą įtaką miško ekosistemų būklei.

Tokiu būdu numatomo aplinkos užterštumo didėjimo ir klimato atšilimo atveju sąlygiškai natūraliose miško ekosistemose turėtų vykti du skirtingi procesai: 1) dėl didėjančių sieros oksidų ir ozono koncentracijų ore bei didėjančio kritulių rūgštingumo turėtų blogėti medžių lapų būklė, didėti dirvožemio mikroartropodų struktūrinis santykis (M/H), mažėti smulkiųjų žinduolių ir upelio makrobentos rūšinė įvairovė ir gausumas; 2) dėl didėjančio kritulių kiekio ir oro temperatūros turėtų didėti šių biotos komponentų atsparumas teršalams, pasireikšdamas rūšine įvairove gausesnėmis ir didesnę individų skaičių turinčiomis bendrijomis.

Baigiamasis žodis

Aštuntajame dešimtmetyje vis didėjantis aplinkos užteršimas 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 iš pagrindinių įrankių, saugant ekosistemas nuo oro teršalų Europoje bei Šiaurės Amerikoje. Konvencijos pagrindu 1988 m. inicijuotos 6 tarptautinio bendradarbiavimo programos, tarp kurių ir Sąlygiškai natūralių ekosistemų kompleksiško monitoringo programa („International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems“ – ICP IM). Visų šių programų tikslas – oro teršalų monitoringas bei poveikio aplinkai mažinimas Europoje ir Šiaurės Amerikoje.

Šiaurės šalių Ministrų Tarybai suteikus finansinę ir metodinę paramą, Lietuva su kitomis Baltijos šalimis Kompleksiško monitoringo (KM) programoje dalyvauja nuo 1993 m. Šiam tikslui pagrindiniuose Lietuvos kraštovaizdžiuose, minimalaus antropogeninio poveikio vietose, trijų nacionalinių parkų rezervatinėse zonose buvo įsteigtos sąlygiškai natūralių ekosistemų kompleksiško monitoringo stotys (KMS). Aukštaitijos KMS – Aukštaitijos NP Ažvinčių sengirės rezervato Versminio upelio uždaramo baseine; Dzūkijos KMS – Dzūkijos NP Skroblaus rezervato Duburių upelio baseine ir Žemaitijos KMS – Žemaitijos NP Plokštinės rezervato Uošnos upelio baseine.

Programos tikslas – nustatyti, vertinti ir prognozuoti sąlygiškai natūralių ekosistemų būklę bei jos ilgalaikius pokyčius, įvertinus tolimų 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.

KM programos aplinkosaugos politikos tikslas – sudaryti sąlygas kompleksiskai vertinti tarptautinį tolimų oro teršalų pernašų poveikį ekosistemoms ir tuo remiantis teikti informaciją apie aplinkos pokyčių priežastis, stebėti teršalų apkrovą miško ekosistemoms, tikslinant jų kritines vertes, bei sudaryti mokslinį pagrindą emisijoms kontroliuoti.

Programos nenutrūkstamą vykdymą užtikrina 1998 m. priimta ir 2005 m. pakartotinai patvirtinta Valstybinė aplinkos monitoringo programa. Pradiniame KMS programos įgyvendinimo etape 1993–2004 m. pagrindiniai uždaviniai buvo teikti informaciją apie aplinkos veiksmų pokyčius, vertinti teršiančių veiksnių šrautus bei biotos pokyčius, siekiant įvertinti jų priežastinius ryšius, taip sudarant mokslinį pagrindą emisijoms kontroliuoti. Naujojoje sąlygiškai natūralių ekosistemų Valsty-

binėje aplinkos monitoringo programoje 2005–2010 metams iškelti uždaviniai iš esmės nepakeisti, tik labiau susieti su šios programos 3 pagrindinėmis paprogramėmis: oro ir kritulių, dirvožemio ir dirvožemio, gruntinio ir paviršinio vandens, taip pat augalijos monitoringo paprogramėmis. Pagrindiniai KM programos uždaviniai yra:

– nustatyti ir vertinti tolimas oro teršalų pernašas iš Vakarų ir Vidurio Europos valstybių, išsklaidytą taršą iš nacionalinių šaltinių ir jų srautus bei kaitą pagrindiniuose Lietuvos kraštovaizdžio tipuose;

– nustatyti ir vertinti teršiančių medžiagų poveikį miško dirvožemių ir vandenų kokybei;

– vertinti teršiančių medžiagų poveikį miško ekosistemų komponentų būklei atskiriant antropogeniškai sąlygotų pokyčių nuo natūralių ekosistemų pokyčių besikeičiančio klimato sąlygomis.

Naujoje KM programoje, kaip ir ankstesnėje, taip pat daugiau dėmesio skiriama azoto, sieros ir ozono poveikio ekosistemoms tirti. Ateityje numatoma iš esmės įsigilinti į rūgščiųjų iškritų tiesioginį poveikį augalams – pradėdant vykdyti lapijos cheminių matavimų paprogramę ir netiesioginį poveikį per dirvožemį, pradėdant stebėti laisvojo aliuminio koncentracijas. Dėl pastaruoju metu registruojamų sunkiųjų metalų kiekių biotoje padidėjimo KM programą numatyta papildyti sunkiųjų metalų poveikio aplinkai vertinimu, pradėdant vykdyti sunkiųjų metalų srautų atviroje vietovėje, koncentracijų lapijoje ir samanose tyrimų paprogrames.

KMS įsteigtos šiuose regionuose vyraujančiuose miško tipuose ir būdingiausiuose geomorfologinės struktūros augavietėse, todėl gauti rezultatai turėtų gerai atspindėti Lietuvos pagrindinius regionus. Mažų upelių baseinų koncepcija leido stebėti beveik visus gamtinės aplinkos komponentus, juos jungiančius teršiančių ir maistinių medžiagų srautus, kontroliuoti jų balansą ir stebėti bei vertinti jų sąlygojamus biotos pokyčius. Stebėjimų metodika ir stebimi parametrai sudarė galimybę panaudoti visą kaupiamą informaciją regioninių ir globalinių procesų pasekmėms vertinti bei modeliuoti, taip nustatant tolimų oro teršalų pernašų poveikį ekosistemoms. Išaiškintos aplinkos pokyčių priežastys leidžia stebėti teršalų apkrovas miško ekosistemoms, tikslinti jų kritines vertes bei sudaryti mokslinį pagrindą emisijoms kontroliuoti.

10 metų sąlygiškai natūralių ekosistemų KM rezultatai gerai atspindėjo globalius pokyčius, vykstančius aplinkoje.

Aplinkos užterštumo kaitai regioniniu lygmeniu reikšmingiausios įtakos turėjo Europos sandraugos valstybių pasirašytos Konvencijos dėl tolimų atmosferos teršalų pernašų reikalavimų įgyvendinimas. Ši Konvencija sujungė skirtingas politines sistemas bendram siekiui jų politinės orientacijos pasikeitimo laikotarpiu – mažinti oro teršalų tolimų pernašų sukeltą žmonių sveikatos ir aplinkos pokyčius. Tokio tarpvalstybinio bendradarbiavimo rezultatas – iki 80 % sumažėjusi sieros ir redukuoto azoto emisija daugelyje Europos valstybių.

1993 m. pradėta KM programa padėjo užfiksuoti šiuos teigiamus užterštumo mažėjimo procesus. Per 1994–1999 m. laikotarpį KMS teritorijose SO_2 , aerozolinio SO_4^{2-} ir ΣNH_4^+ koncentracijos sumažėjo nuo 60 iki 73 %. Panašiai sumažėjo ir šių komponentų koncentracija krituliuose, o tai turėjo reikšmingos įtakos ir siera, ir redukuoto azoto šlapiųjų srautų sumažėjimui maždaug nuo 7 iki 3 kgS/ha bei nuo 6 iki 2 kgN/ha. Tik ΣNO_3^- ir NO_2 koncentracijų ore bei NO_3^- srautų kaita pagrindiniuose Lietuvos regionuose aiškesnės tendencijos neturėjo.

Dėl sulfatų, kurie krituliuose iki 1996 m. buvo vyraujanti rūgštinanti komponentė, mažėjimo, krituliai iš rūgščių (pH didėjo nuo 4,4 iki 4,8) 1997–2000 m. laikotarpiu pasidarė beveik neutralūs (pH kito nuo 5,2 iki 5,7 intervalu). Tačiau nuo 2000 m., gerokai sumažėjus sulfatų ir amonio koncentracijoms, nitratai tapo vyraujančia rūgštinančia komponente, turėjusia reikšmingos įtakos kritulių rūgštingumo padidėjimui. 2002–2003 m. pH vertės beveik vėl susilygino su 1994–96 m. rūgštingumo vertėmis (pH 4,6–4,8). Tokį kritulių rūgštingumo padidėjimą galėjo sustiprinti ir SO_4^{2-} srautų nežymus padidėjimas, ir Ca^+ koncentracijų krituliuose sumažėjimas.

Kritulių rūgštingumo kaita atsispindėjo dirvožemio, gruntinio ir upelio vandens cheminėje sudėtyje. 1994–2000 m. rūgštėjimo procesai šiuose vandenyse slopo, o 2001–2003 m. jie vėl pradėjo labiau reikštis. Šie neigiami pokyčiai, viršijantys tirtų parametrų vertes stebėjimo laikotarpio pradžioje, Žemaitijos KMS buvo reikšmingesni negu Aukštaitijos KMS.

Daugelį metų didėjanti pažemio ozono koncentracija pastaruoju laikotarpiu tapo įvairių sričių specialistų tyrimo objektu. Potenciali galimybė sukelti neigiamus biotos pokyčius lėmė šio aplinkos toksino koncentracijos ore ir jo poveikio aplinkai tyrimą KMS teritorijose. 10 metų tyrimo rezultatai nepatvirtino išaiškintų ozono vidutinių koncentracijų didėjimo tendencijų Europoje. Analizuojant ozono vidutinių koncentracijų kaitą, nepastebėta aiškesnės didėjimo tendencijos, o per pastarųjų 5 metų laikotarpį išryškėjo nors ir nereikšminga, bet mažėjimo tendencija. Didžiausių ozono koncentracijų mažėjimas jau registruojamas kaimyninėse valstybėse. KMS teritorijose nustatytos maksimalių ozono koncentracijų kaitos tendencijos patvirtino šiuos duomenis. Per tyrimo laikotarpį ozono maksimalios koncentracijos mažėjo vidutiniškai po 0,3 % per metus ir po 0,4 % šiltuoju metų laikotarpiu. Tačiau ir šios, nors ir palankios aplinkai tendencijos yra dar statistiškai nereikšmingos.

Aplinkos užterštumo sunkiaisiais metalais tyrimus per pradinį KM programos įgyvendinimo etapą riboja tai, kad nebuvo vykdomos jų koncentracijų ore ir krituliuose paprogramės. Todėl nustatytos Cd mažėjimo, o Pb, Zn, Cu ir Cr koncentracijų didėjimo tendencijos nuokritose, dirvožemyje, jo vandenyse, gruntiniame ir upelio vandenyje bei smulkiuosiuose žinduoliuose iškėlė hipotezę, kad šių elementų pokyčius sąlygiškai natūraliose miško ekosistemose galėjo sąlygoti jų srautai su krituliais. Šią hipotezę planuojama patikrinti per kitą KMS programos etapą 2005–2010 m.

Atskleisti natūralių ir antropogeninių veiksnių kaitos ypatumai per 10 metų laikotarpį padėjo nustatyti, kad nepalankiausi miško ekosistemoms turėjo būti 1996 m., 1999 m. ir 2002 m., kuriais vegetacijos laikotarpiu buvo registruojamos sausros. Neigiama šių sausrų poveikį sustiprino mažėjantis gruntinio vandens lygis ir 1996 m. žemiausia vidutinė metinė temperatūra. Šiais metais papildomu neigiamu veiksniu tapo – didesnės pažemio ozono koncentracijos, ypač 1996 m. Aukštaitijos ir Dzūkijos KMS bei 1999 m. Žemaitijos KMS, taip pat rūgštesni lietūs 1996 m. ir 2002 m.

Sumedėjusios augmenijos būklės tyrimo rezultatai parodė, kad būtent 1996 m. medžių vidutinė defoliacija buvo didžiausia visose KMS teritorijose. Nuo šio laikotarpio iki 2001 m. medžių lajų defoliacija reikšmingai mažėjo ir tik pastarųjų 3 metų laikotarpiu vėl pradėjo reikšmingai didėti. Tokiai medžių defoliacijos kaitai didelę įtaką turėjo sieros ir redukuoto azoto metinės koncentracijos ore bei sieros ir redukuoto azoto srautai su krituliais. Neigiamą užterštumo poveikį stiprino sausros vegetacijos laikotarpio viduryje, lydimos aukštų temperatūrų, o atsparumą teršalams didino aukštesnės temperatūros rudens, žiemos ir pavasario mėnesiais bei didesni kritulių kiekiai rudens, žiemos ir vasaros mėnesiais.

Žolių ir samanų ardy gausiausių komponentų analizė rodo, kad per pirmąjį 5 metų laikotarpį visose KMS nuolat didėjo dažnumas rūšių, būdingų tiriamam bendrijos tipui, ir tik paskutiniu laikotarpiu bendras samanų gausumas pradėjo mažėti. Šiems pokyčiams įtakos galėjo turėti sausros ir augavietės drėgmės režimas, nes po sausrų didėjo indučių gausumas drėgnesnėse augavietėse (AITS-03 ir ŽITS-01), o mažėjo – natūraliai drėkinamose augavietėse (AITS-01 ir DITS-01). Įtakos samanų bendro padengimo intensyvumo sumažėjimui galėjo turėti ir gausėjantys induočiai, kurie užstelbia samanas, bei didėjantis samanų apšviestumas dėl intensyvesnio medžių žuvimo. Tačiau šių žolių ir samanų ardy parametrų svyravimai neviršijo gamtiniams procesams būdingų fluktuacijų. Todėl, remiantis atliktais KMS intensyvaus tyrimo stacionaruose (ITS) žolių ir krūmokšnių bei samanų ir kerpių gausumo matavimais, galima teigti, kad stebėtos bendrijos išliko stabilios. Rūgščiųjų iškritų ir ozono poveikiui žolių ir samanų gausumui bei įvairovei nustatyti šiuos tyrimus numatoma praplėsti bioįvairovės indeksų kaitos analizėmis.

Miškų dirvožemių biota (zoocenozių ir mikroorganizmų) KMS teritorijose gausėjo ir didėjo jų rūšinė įvairovė. Iš esmės keitėsi mineralizuojančių ir humifikuojančių bakterijų struktūrinis-funkcinis santykis (M/H), rodantis humifikuojančių bakterijų skaičiaus didėjimą, kuris lemia geriausios kokybės *mull* tipo humuso susidarymą. Tik paskutiniu laikotarpiu vėl pradėjęs didėti mineralizuojančių bakterijų skaičius humifikuojančių bakterijų skaičiaus atžvilgiu sutapo su medžių lajų būklės pablogėjimu. Taip nustatytos bendros medžių lajų vidutinės defoliacijos ir dirvožemio mikroartropodų kompleksų struktūrinių-funkcinių santykių bei jų gausumo ir rūšinės įvairovės kaitos tendencijos padėjo išaiškinti ne tik jų kaitą sąlygojančius tuos pačius aplinkos veiksnius, bet ir egzistuojantį priežastinį tarpusavio ryšį, kuris galėjo pasireikšti per pagrindinių maistinių elementų kiekį ir prieinamumą dirvožemyje.

Miško dirvožemių pedobiontų gausumui, struktūriniam-funkciniam santykiui ir ypač rūšinei įvairovei įtakos turėjo sieros komponentų koncentracija ore bei vandenilio jonų srautas su krituliais, ir tik pedobiontų gausumui reikšmingesni buvo meteorologiniai veiksniai.

Upelių bentofaunos tyrimo rezultatai parodė įvairovės didėjimo 1993–1998 m. ir biomasės didėjimo per visą tyrimų laiką trendus. Tos pačios bentofaunos įvairovės ir biomasės kitimo kryptys skirtingose stebėjimo vietose, tikėtina, rodė globalių aplinkos veiksnių priežastinį ryšį.

Smulkiųjų žinduolių rūšių skaičiaus ir gausumo tyrimai parodė, kad Aukštaitijos KMS teritorijoje vyko reikšmingas įvairovės didėjimas, išreikštas (H) indeksu. Žemaitijos KMS teritorijoje jų įvairovė iki 1998 m. didėjo ir tik paskutinių 5 metų laikotarpiu reikšmingai sumažėjo. Dzūkijos KMS teritorijoje smulkiųjų žinduolių įvairovę iš esmės būtų galima vertinti kaip stabilią.

Galima teigti, kad aplinkos užterštumas sieros junginiais galėjo daryti neigiamą įtaką tirtų miško ekosistemų komponentų būklei. Kiek silpnesnį poveikį turėjo redukuoto azoto ir tik oksiduoto azoto koncentracija ore bei jo srautai, kurie teigiamai veikė atskirų ekosistemos komponentų gausumo kaitą, nors šis poveikis dažniausiai buvo nereikšmingas.

Taigi sąlygiškai natūralių ekosistemų būklės stebėjimai nacionaliniu lygiu suteikė informaciją, sprendžiant tolimų oro pernašų iš Vakarų ir Vidurio Europos valstybių į Lietuvą atnešamų teršiančių medžiagų grėsmės ir klimato pokyčių įtakos problemą silpnai antropogenuotų teritorijų vandenių ir dirvožemio kokybei, biologinei įvairovei ir miško būklei. Tačiau, be naujų metodinių principų paieškos, vien vadovaujantis tarptautinės KM programos reikalavimais, KM programos tikslus būtų sunku įgyvendinti nacionaliniu lygmeniu. 10 metų atliekamų tyrimų patirtis rodo, kad kai kurių tyrimų metodikos labiau orientuotos į duomenų analizę globaliu mastu, t. y. į nustatomų rodiklių erdvinę kaitą. Nacionaliniu lygmeniu tiriant rodiklių kaitą laiko atžvilgiu, dažnai aplinkos kaitos poveikiui įvertinti neužtenka standartinių ir siūlomo intensyvumo tyrimų. Epifitinių kerpių indikacinių tyrimų rezultatų patikimumą tikimasi padidinti, jų įvairovės ir gausumo ekstensyvius tyrimus visoje baseino teritorijoje derinant su specialiai atrinktų bendrijų vystymosi intensyviais tyrimais. Atliekant medžių lajų būklės, medynų struktūros ir biomasės tyrimus, siūloma pradėti naudoti pastaruoju laikotarpiu miškotvarkos darbuose plačiai taikomas spektrines zonines aerofotografijas, o tyrimus organizuoti GIS duomenų bazės pagrindu. Tačiau iki šiol papildomų tyrimų reikia žolinės augalijos bioįvairovės indeksų ir upelių makrobentos reakcijos į besikeičiančią aplinką vertinimams. Išsamesnei aplinkos užterštumo poveikio miško ekosistemoms analizei atlikti pasigendama magnio srautų nustatymo, nes būtent Mg trūkumas dirvožemyje dėl rūgščiųjų iškritų gali sukelti reikšmingus miškų būklės pokyčius (Miškų pažeidimo dėl Mg trūkumo hipotezė). Klimato atšilimo metu papildomą poveikį biotai daro ir didėjantis CO₂ kiekis ore, tačiau šis aplinkos kokybės parametras vis dar nebus nustatomas.

KMS veiklos pilnas įgyvendinimas užtikrintų Lietuvoje sąlygas registruoti ne tik tolimų pernašų, bet ir iš nacionalinių taršos šaltinių į aplinką patenkančią išsklaidytą taršą, jos poveikį dirvožemio, jo vandens ir gruntinio vandens cheminei sudėčiai, taip pat pagrindinių maistinių ir toksiškų elementų balansą ir srautus, taip operatyviai įvertinant būdingiausių miško ekosistemų pokyčius pagrindiniuose Lietuvos kraštovaizdžio tipuose. Atsižvelgiant į tai, kad šios programos tikslų įgyvendinimas glaudžiai susijęs ne tik su Tolimų oro teršalų pernašų konvencijos ir jos protokolų reikalavimais, bet ir Tarptautinių 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, sąlygiškai natūralių ekosistemų KM vykdymui pagrindiniuose Lietuvos Respublikos kraštovaizdžio tipuose ateityje turėtų išlikti išskirtinis dėmesys.

dr. Algirdas Augustaitis
Valstybinės aplinkos monitoringo programos
Sąlygiškai natūralių ekosistemų
KM paprogramės koordinatorius

Santrumpos

AITS	Aukštaitijos kompleksiško monitoringo stoties intensyvaus tyrimo stacionaras
AOT40	Suma skirtumų tarp ozono koncentracijų, didesnių už $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ir $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per nustatytą laikotarpį
DITS	Dzūkijos kompleksiško monitoringo stoties intensyvaus tyrimo stacionaras
DLK	Didžiausia leidžiama koncentracija
EMEP	Europinė tolimų atmosferos teršalų pernašų monitoringo programa <i>European Monitoring and Evaluation Programme for the Long-range Transmission of Air Pollutant in Europe</i>
FAS	Fotosintetiškai aktyvi Saulės spinduliuotė
GIS	Geoinformacinės sistemos
IT	Intensyvaus tyrimas
ITS	Intensyvaus tyrimo stacionaras
KM	Kompleksiškas monitoringas
KMP	Kompleksiško monitoringo programa
KMS	Kompleksiško monitoringo stotis
LKS	Lietuvos koordinacinė sistema
LT01	Aukštaitijos kompleksiško monitoringo stotis
LT02	Dzūkijos kompleksiško monitoringo stotis
LT03	Žemaitijos kompleksiško monitoringo stotis
Lcl	Laikiniai užmirkusi vidutinio derlingumo miško augavietės
M/H	Dirvožemio mineralizuojančių ir humifikuojančių bakterijų struktūrinis-funkcinis santykis
MS	Meteorologinė stotis
Nal	Natūraliai drėkinama labai skurdi miško augavietės
Nbl	Natūraliai drėkinama skurdi miško augavietės
Ncl	Natūraliai drėkinama vidutinio derlingumo miško augavietės
NP	Nacionalinis parkas
Pcn	Pelkinės vidutinio derlingumo nusausinta miško augavietės
PK	Metalų praturtinimo koeficientas
Σg	Medžių skersmenų 1,3 m aukštyje skersplokščių suma 1 ha plote
ΣNH₄⁺	Suminė aerozolinio amonio ir amoniako koncentracija ore (NH ₄ ⁺ + NH ₃)
ΣNO₃⁻	Suminė aerozolinio nitrato ir azoto rūgšties koncentracija ore (NO ₃ ⁻ HNO ₃)
ŽITS	Žemaitijos kompleksiško monitoringo stotis
UNECE	Jungtinių tautų Europos ekonominė komisija

Literatūra

Aplinkos būklė 2001. 2002. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. V. – P. 188.

Auclair A. N. D., Worrest R. C., Lachance D., Martin H. C. 1992 Climatic perturbation as a general mechanism of forest dieback. *In: Forest decline concepts. Edited by P. D. Manion and D. Lachance.* St. Paul, Minnesota, pp. 38–58.

Barker J. and Tingley D. 1992. Air pollution effect on biodiversity. Van Nostrand Rheingold, New York.

Bauer F. 1982. Kommt es forstlich zur Katastrophe? Allgemeine Forstzeitschrift. 29: 865–867.

Bengtsson G., Berden M., Rundgren S. 1988. Influence of soil animals and metals on decomposition processes: a microcosm experiment. *J. Environ. Qual.* 17: 113–119.

Berg B., Kniese P. P., Roomer R. and Verhoef H. A. 1998. Long-term decomposition of successive organic substrate in a nitrogen-saturated Scots pine forest soil. *Forest Ecology and Management.* 107: 159–172.

Boxman A. W., van Dam D., van Dijk H. F. G., Hogevoorst R. F., 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.

Bräkenhielm S. 1992. Field Manual for Vegetation Monitoring in the Swedish National Environmental Monitoring Programme (PMK). Draft version April 1992. Uppsala, 1992. – 68 p.

Bruus Pedersen M., Axelsen J. A., Strandberg B., Jensen J., Attrill M. J. 1999. The impact of a copper gradient on a microarthropod field community. *Ecotoxicology* 8: 467–483.

Bytnerowicz A., Fenn M. E. 1996. Nitrogen deposition in California forest: a review. *Environment Pollution,* 92 (2). 127–146.

Callaert G., Scheirlink H. 1996. Influence of weather conditions on the vitality of beech and Scots pine. Annex 5 to Minutes „Meteo-Level II“, Freising, Germany, 11–12 November, 12 p.

Chappelka A. H., Freer-Smith P. H. 1995. Predisposition of trees by air pollutants to low temperatures and moisture stress. *Environmental Pollution,* 87: 105–117.

Coyle M., Fowler D., Ashmore M. 2003, *New directions: Implications of increasing tropospheric background ozone concentrations for vegetation,* *Atmospheric Environment,* 37,1, 153–154.

Crommentuijn T., Doornekamp A., Van Gestel C. A. M. 1997. Bioavailability and ecological effects of cadmium on *Folsomia candida* (Willem) in an artificial soil substrate as influenced by pH and organic matter. *Appl. Soil Ecol.* 5: 261–271

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.

Denneman W. D. 1990. A comparison of the diet of two *Sorex araneus* populations under different heavy metal stress. *Acta Theriologica* 35 (1–2): 25–38.

De Vries W., Klap J., 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.

Directive 2002/3/EC of the European Parliament and of the Council of 12 February 2002 relating to ozone in ambient air. (http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2002/l_067/l_06720020309en_00140030.pdf)

Dueck T., A., Zuin A., Elderson J. 1998. Influence of ammonia and ozone on growth and drought sensitivity of *Pinus sylvestris*. *Atmospheric Environment*, 32: 545–550.

Eisman J. W., de Vries W. 2000. Nitrogen deposition and effects on European forests. *Environmental Reviews*, 8 (2). P. 65–93.

Itminavičiūtė I., Bagdanavičienė Z., Budavičienė I., Strazdienė V. 1995. Dirvožemių biotos reakcija į technogeninę taršą ir priemonės jų sąlyginiam stabilumui užtikrinti. Regiono vystymosi ekologinis tvarumas istoriniame kontekste Lietuvos pavyzdžiu: 53.

EMEP, 2004. EMEP Assessment, Part II, National Contributions, ed. by J. Bartnicki and G. Lovbländ, Oslo. (<http://www.emep.int>)

Falkengren-Grerup U. 1987. Long-term changes in pH of forest soil in southern Sweden. *Environmental Pollution*, 43: 79–90.

Fog K. 1988. The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter. *Biol. Rev.*, 63: 433–462.

Gebczynska Z. 1983. Ecology of the bank vole. Feeding habits. *Acta theriologica*, 28 (Supplement 1): 40–49.

Gehrke C. 1999. Impact of enhanced ultraviolet-B radiation on mosses in a subarctic heath ecosystem. *Ecology*, 80: 1844–1851.

Giller P. S. and Malmqvist B., 1998. *The Biology of Streams and Rivers*. Oxford University Press, pp. 295.

Gillet S., Ponge J. F. 2003. Changes in species assemblages and diets of *Collembola* along a gradient of metal pollution. *Apl. Soil. Ecol.* 22: 127–138.

Grodzki W., McManus M., Kniežek M., Novotny J., Meshkova V., Michailciuc V., Turčani M., Slobodyan Y. 2002. In: R.C. Szoro, A. Bytnerowicz and J. Oszlanyi. Effect of air pollution on forest health and biodiversity in forests of the Carpathian Mountains, pp. 236–249.

Hägvar S., Abrahamsen G. 1990. Microarthropods and Enchytraeidae (Oligochaeta) in naturally lead-contaminated soil: a gradient study. *Environ. Entomol.* 19: 1263–1277.

Hilton G. M., Packham J. R. 1997. *Forestry*, 70:7–16.

Hutchinson T. C., Bozic L., Munoz-Vega G. 1986. Responses to five species of conifer seedlings to aluminum stress. *Water, Air and Soil Pollution*. 31: 283–294.

Innes J. L. 1994. Climate sensitivity of temperate forests. *Environmental pollution*, 83: 237–243.

Įsakymas V-114, 2004. Lietuvos Respublikos Sveikatos apsaugos ministro įsakymas Dėl Lietuvos higienos normos HN 60:2004 „Pavojingų cheminių medžiagų didžiausios leidžiamos koncentracijos dirvožemyje“ patvirtinimo. Valstybės žinios, 2004, 41–1357.

Įsakymas 267, 2002. Lietuvos Respublikos Sveikatos apsaugos ministro įsakymas Dėl kai kurių aplinkos ministro įsakymų, reglamentuojančių nuotekų tvarkymą, dalinio pakeitimo. Valstybės žinios, 62–2533.

Juknys R. 1999. Kompleksinis ekosistemų monitoringas. Monografijoje: Lietuvos miškų būklė ir ją sąlygojantys veiksniai. Kaunas. – P. 168–170.

Kairiūkštis L. 1963. Medžių augimas vegetacijos metu // Lietuvos miškų ūkio moksl. tyr. Instituto darbai. T. 7: 3–38.

Kandler O., Innes J. L. 1995. Air pollution and forest decline in Central Europe. Environmental pollution, Vol. 90, 2: 171–180.

Karenlampi I. and Skarby L. (eds.) 1996. Critical levels for ozone in Europe: Testing and finalizing the Concepts.

Klap J., Voshaar J. O., Vries W. D., Erisman J. W. 1997. Relation between crown condition and stress factors. In Ten Year of Monitoring Forest Condition in Europe. Studies on Temporal Development, Spatial Distribution and Impact of Natural and Anthropogenic Stress Factors. Edited by Ch. Muller-Edzards, W. de Vries, J.W. Erisman. P. 277–298.

Klap J. M., Oude Voshaar J. H., de Vries W. and Erisman J. W. 2000. Effects of Environmental Stress on Forest Crown Condition in Europe. Part IV: Statistical Analyses of Relationships. Water, Air, and Soil Pollution, 119, 387–420.

Knabe W. 1981. Immissionsökologische waldzustandserfassung in Nordrhein-Westfalen. Allgemeine Forstzeitschrift. 26: 641–643.

Kormondy E. J. 1992. Ekologijos sąvokos. Litera Universitai Vytauti Magni. – 320 p.

Krupa S., Nosal M. 2001. Relationships between passive sampler and continuous ozone (O₃) measurement data in ecological effects research. Scientific World Journal. P. 593–601.

Lietuvos gamtinė aplinka. Būklė, procesai, tendencijos. 1994. Aplinkos apsaugos ministerija. Vilnius. – 116 p.

Lietuvos geocheminis atlasas. 1999. Lietuvos geologijos tarnyba. Geologijos institutas.

Likens G. E., Driscoll C. T., Buso D. C. 1996. Long-term effects of acid rain: response and recovery of a forest ecosystem. Science, 272: 244–246.

Manual for Integrated Monitoring Programme Phase 1993–1996. 1993. Environmental Report 5. Helsinki: Environmental Data Centre. National Board of Waters and the Environment, 1993. – 114 p.

Manual for Integrated monitoring. 1997. Helsinki, 192 p.

Mayerhofer P., Alcamo J., Posch M., Van Minnen J. G. 2001. Regional air pollution and climate change in Europe: An integrated assessment (Air-Clim). Water, Air, and Soil Pollution, 130: 1151–1156.

Niemi R., Martikainen P.J., Silvola J., Wulff A., Holopainen T. 2002. Responses of two Sphagnum moss species and Eriophorum vaginatum to enhanced UV-B in a summer of low intensity. *New Phytologist*, 156: 509–515.

Ozolinčius R. 1998. Lietuvos spygliuočiai: morfologinės struktūros transformacijos bei jas indikuojantys veiksniai. Kaunas: Lututė. – 241–251 p.

Pankakoski E., Koivisto I. and Hyvärinen H. 1992. Reduced developmental stability as an indicator of heavy metal pollution in the common shrew *Sorex araneus*. *Acta zoologica Fennica* 191: 137–144.

Pauliukevičius G., Kenstavičius J. 1995. Ekologiniai miškų teritorinio išdėstymo pagrindai, Vilnius. – 289 p.

Percy K.E. 2002. Is air pollution important factor in forest health? In: R.C. Szoro, A. Bytnerowicz and J. Oszlanyi. Effect of air pollution on forest health and biodiversity in forests of the Carpathian Mountains. pp. 23–42.

Persson T., Lundkvist H., Wären A., Hyvonen R., Wesse B., 1989. Effects of acidification and liming on carbon and nitrogen mineralization and soil organisms in moor mums. *Water, Air and Soil Pollution*, 45: 77–96.

Prinz B., Krause G. H. M., Jung K. D. 1987. Development and causes of novel forest decline in Germany. In Effect of Atmospheric pollutants on forests, wetlands and agricultural ecosystems. Hutchinson T.C. and Meena K.M. (eds). Springer verlag, New York, pp. 1–24.

Ratio H. 2000. Weather conditions during 1980–95 and tree damage directly attributable to weather. In : Mälkönen E (ed) Forest condition in a changing environment – the Finnish case. Kluwer Academic, Dordrecht, pp. 41–48.

Roemer M. 2001. *Trends of ozone and precursors in Europe. Status report TOR-2, Task Group 1.* Apeldoorn, TNO Environmental, Energy and Process Innovation (TNO-report R 2001/244), 37 p.

Sawicka-Kapusta K., Zakarzewska M. and Orzechowski T. 1999. Seasonal changes of metal concentration in small mammals' populations from different contaminated areas. *SECOTOX 99, Fifth European Conference on Ecotoxicology and Environmental Safety. GSF-National Research Center, Neuherberg/Munich, Germany, March 15–17.*

Sakalauskas V. 1998. Statistika su *Statistica*. Vilnius: Margi raštai. – 227 p.

Schrock H.W. 1995. Zusammenwirken natürlichen and anthropogener Streäffaktoren. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 50: 91–94.

Schulze E. D. 1989. Air pollution and forest decline in a spruce (*Picea abies*) forest. *Science*, 244: 776–783.

Scott-Fordsmand J. J., Krogh P. H., Hopkin S. P. 1999. Toxicity of nickel to a soil-dwelling springtail, *Folsomia fimetaria* (Collembola: Isotomidae). *Ecotox. Environ. Safety* 43 B: 57–61.

Searles P. S., Flint S. D., Diaz S. B., Rousseaux M. C., Ballare C. L., Caldwell M. M. 2002. Plant response to solar ultraviolet-B radiation in a southern South American Sphagnum pealand. *Journal of Ecology*, 90: 704–710.

- Shukla S., Leland H.** 1973. Heavy metals: a review of lead. *Water Pollution Control Federation Journal*. 43, 6, 1319–1345.
- Siepel H.** 1995. Are some mites more ecologically exposed to pollution with lead than others? *Exp. Appl. Acarol.* 19: 391–398.
- Skelly J.M. and Innes J.L.** 1994. Waldsterben in the forests of central Europe and eastern North America: fantasy or reality? *Plant Disease*. 78: 1021–1032.
- Solberg S., Bergstrom R., Langner J., Laurila T., Sjöberg K., Lindskog A.** 2002. *Changes in ozone episodes due to emission reductions. A Nordic study.* EMEP/CCC–Report 10/2002, 72 p.
- Solberg S., Simpson D., Jonson J. E., Hjellbrekke A. G., Derwent R.** 2004. *Ozone.* EMEP Assessment Report – Part I, 77–106.
- Spiecker H., Mielikäinen K., Köhl M., Skovsgaard J.P. (eds).** 1996. *Growth trend in European forest.* Springer, Berlin Heidelberg New York.
- Stakėnas V., Ozolinčius R.** 1999. Lietuvos miškų būklę sąlygojantys veiksniai. Monografijoje: Lietuvos miškų būklė ir ją sąlygojantys veiksniai. Red. R. Ozolinčius. Kaunas: Lututė. – P. 209–222.
- Strand G. H.** 1997. Effects of early summer drought on the crown density of Norway spruce. *Forestry*, vol. 70, 2:157–160.
- Szaro R.** 1993. Research needs and Opportunities: the response of forest biodiversity to global change. In: T.J.B. Boyle and C.E.B. Boyle (Eds.), *Biodiversity, Temperate Ecosystems and Global Change*, Springer Verlag, Berlin, pp. 399–416.
- Šopauskienė D. and D. Jasinevičienė.** 2004. Time series and trends in atmospheric concentrations of sulphur and nitrogen dioxides in Lithuania in 1981–2001. *Environmental and chemical Physics (Vilnius)*, 26, 3, 100–108.
- Tamm C. O.** 1989. Comparative and experimental approaches to the study of acid deposition effects on soils as substrate for forest growth. *Ambio*, 18:184–191.
- Tranvik L., Bengtsson G., Rundgren S.** 1993. Relative abundance and resistance traits of two Collembola species under metal stress. *J. Appl. Ecol.* 30: 43–52.
- Ulrich B.** 1981. Zur Stabilität von Waldökosystemen. *Forstarchiv*. 52:165–170.
- UN-ECE.** 1994. *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests.* 1994. ICP, pp. 178.
- UN-ECE.** 2002. *Forest Condition in Europe. Results of the 2001 Survey.* ICP.
- UN-ECE.** 2003. *Forest Condition in Europe. Results of the 2002 Survey.* ICP.
- Vaičys M., Armolaitis K., Raguotis A., Eitminavičiūtė I.** 1998. Pedobiontai natūralių ir agrolandšaftų dirvožemiuose ir jų reakcija į technogeninę taršą. Regiono ekologinis tvarumas istoriniame kontekste: 47–48.
- Verhoef H. A., Brussaard L.** 1990. Decomposition and nitrogen mineralisation in natural and agro-ecosystems: the contribution of soil animals. *Biogeochemistry*, 11: 175–211.
- Włostowski T., Chetnicki W., Gierłachowska-Bałdyga W. and Chycał B.** 1988. Zinc, iron, copper, manganese, calcium and magnesium supply status of free-living bank voles. *Acta Theriologica* 33 (26–43): 555–573.

Аугустайтис А. 1989. Особенности формирования нфдземной фитомассы сосновых молодняков в условиях загрязнения природной среды. Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. Л. 12. 33–48.

Аугустайтис А. 1992. Закономерности роста сосновых древостоев при различном уровне загрязнения промышленной среды. Диссертация на соискания научной степени кандидата биологических наук. М. – 268 с.

Башенина Н. В., Бернштейн А. Д., Воронов Г. А., Зейда Я. Э., Заблоцкая Л. В., Ивантер Э. В., Крыжановская В. В., Кудряшова Л. М., Ликявичене Н. М., Михолап О. Н., Москвитина Н. С., Окулова Н. М., Соколов Г. А., Турьева В. В., Ушаков В. П. 1981. Динамика численности. В кн.: Европейская рыжая полевка. Москва. 245–267.

Безель В. С. 1987. Популяционная экотоксикология млекопитающих. Москва: Наука.

Кветкус К. К., Шакалис Й. А. 1979. Исследования фоновых концентраций металлов в воздушном бассейне республики. Защита атмосферы от загрязнений, Вилнюс, Мокслас, 5, 117–124.

Молчанов А. А. 1961. Лес и климат. М. : Изд-во АН СССР.

Мухачева С. В., Безель В. С. 1995. Уровни токсических элементов и функциональная структура популяций мелких млекопитающих в условиях техногенного загрязнения (на примере рыжей полевки). Экология 3: 237–240.

SĄLYGIŠKAI NATŪRALIŲ EKOSISTEMŲ KOMPLEKSIŠKAS MONITORINGAS

Spaudai parengė leidykla „Lututė“, 2006

Kęstučio 60-1, 44248 Kaunas

Tel. (8~37) 22 30 72, mob. tel. (8~698) 73 508

El. paštas *lutute@takas.lt*