

LATVIJAS UNIVERSITĀTE

***Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G. kā viena
no biogeoķīmiskā cikla komponentēm priežu
mežos**

Promocijas darbs

Bioloģijas doktora zinātniskā grāda iegūšanai

Bioloģijas apakšnozare – ekoloģija

Autors: Guntis TABORS

Darba vadītājs: Dr.biol., prof.
Guntis BRŪMELIS

Rīga 2007

SATURS

KOPSAVILKUMS	6
ABSTRACT	8
IEVADS	10
1. LITERATŪRAS APSKATS	12
1.1. Spalvu sūnu nozīme vielu aprītē dabā	12
1.2. <i>Hylocomium splendens</i> uzbūve un attīstība	14
1.3. <i>Hylocomium splendens</i> augšanas dinamika	16
1.4. Ķīmisko elementu uzņemšana un zudumi sūnās	20
1.4.1. Atmosfēras nosēdumi.....	22
1.4.2. Noskalojumi no koku vanagiem	23
1.4.3. Ķīmisko elementu uzņemšana sūnās no substrāta	24
1.5. Ķīmisko elementu jonu lokalizācija un kustība starp dažādām šūnu frakcijām.....	25
1.5.1. Ķīmisko elementu jonu lokalizācija uz šūnapvalka un katjonu apmaiņas vietas	27
1.5.2. Ķīmisko elementu joni iekššūnas frakcijā	28
1.5.3. Ķīmisko elementu koncentrāciju atšķirības starp segmentu vecumiem	30
1.5.4. Ķīmisko elementu jonu kustība starp sūnas segmentiem	31
1.6. Sūnu izmantošana monitoringa pētījumos	33
2. <i>Hylocomium splendens</i> augšanas dinamika	37
IEVADS	37
2.1. MATERIĀLS UN METODEDES	38
2.1.1. Pētījuma vietas apraksts.....	38
2.1.2. Sūnu paraugu ievākšana.....	38
2.1.3. Sūnu paraugu laboratoriskā apstrāde	38
2.2. REZULTĀTI.....	40
2.2.1. Sūnas segmentu stumbra garums	40
2.2.2. Zaru skaits segmentā.....	41
2.2.3. Segmentu zaru garumi	41
2.2.4. Mērīto sūnu segmentu svāri	43
2.2.5. Segmentu virsmas laukumi	44
2.2.6. Vai vecāko segmentu lielums ietekmē jaunāko segmentu lielumu?.....	45
2.2.7. Ķīmisko elementu koncentrācijas	47
2.3. DISKUSIJA	53
2.4. SECINĀJUMI.....	57
3. Kālija jona transports uz <i>Hylocomium splendens</i> jaunākiem segmentiem laboratorijas apstākļos	58
IEVADS	58
3.1. MATERIĀLS UN METODEDES	59

3.1.1. K, Mg un Ca izskalošanas efektivitāte no atdalītiem <i>Hylocomium splendens</i> segmentu stumbriem	59
3.1.2. Pētījuma eksperimentālās daļas ķīmiskā apstrāde	59
3.2. REZULTĀTI.....	61
3.2.1. Katjonu ekstrahēšanas efektivitāte no segmentu zariem un no stumbriem.....	61
3.2.2. Sūnas sausais svars	63
3.2.3. Kālija jonu transports starp <i>Hylocomium splendens</i> pieauguma gadu segmentiem	63
3.3. DISKUSIJA	66
3.4. SECINĀJUMI.....	69
4. Ca, Mg un K uzņemšana <i>Hylocomium splendens</i> pieauguma gadu segmentos to augšanas laikā lauka apstākļos	70
IEVADS	70
4.1. MATERIĀLS UN METODES	71
4.1.1. Eksperimentālie lauku darbi	71
4.1.2. Paraugu ievākšana un to laboratoriskā analizēšana	72
4.2. REZULTĀTI.....	74
4.2.1. Meteoroloģiskie dati	74
4.2.2. Substrāta apraksts.....	74
4.2.3. <i>Hylocomium splendens</i> attīstība.....	75
4.2.4. Ca, Mg un K koncentrācijas.....	76
4.2.5. K, Mg un Ca daudzumi.....	81
4.3. DISKUSIJA	84
4.4. SECINĀJUMI.....	86
5. Spalvu sūnu nozīme priežu mežu ekosistēmā.....	87
IEVADS	87
5.1. MATERIĀLS UN METODES	88
5.1.1. Parauglaukumu ierīkošana un paraugu ievākšana	88
5.1.2. Ievākto paraugu laboratoriskā apstrāde	89
5.2. REZULTĀTI.....	90
5.2.1. Ķīmisko elementu koncentrācijas sūnās un augsnes nedzīvā zemsegā	90
5.2.2. Ķīmisko elementu daudzumi sūnās un augsnes nedzīvā zemsegā.....	94
5.2.3. Ķīmisko elementu procentuālais absorbcijas daudzums sūnās.....	99
5.2.4. Ķīmisko elementu koncentrāciju izmaiņas <i>Vaccinium myrtillus</i> lapās un <i>Picea abies</i> skuļās	101
5.2.4.1. <i>Vaccinium myrtillus</i> lapas	101
5.2.4.2. <i>Picea abies</i> skuļas	104
5.3. DISKUSIJA	108
5.4. SECINĀJUMI.....	112
6. Ķīmisko elementu koncentrāciju izmaiņas <i>Hylocomium splendens</i> segmentos pēc pārstādīšanas starp piesārņotu un nepiesārņotu vietu	113
IEVADS	113

6.1. MATERIĀLS UN METODEDES	114
6.1.1. Parauglaukumu ierīkošana	114
6.1.2. Paraugu ievākšana.....	114
6.1.3. Sūnu paraugu ķīmiskā apstrāde	114
6.2. REZULTĀTI.....	116
6.3. DISKUSIJA	122
6.4. SECINĀJUMI.....	125
7. Atmosfēras gaisa piesārņojuma monitorings Latvijā no 1990. līdz 2000.gadam, izmantojot sūnas kā smago metālu akumulētāju	126
IEVADS	126
7.1. MATERIĀLS UN METODEDES	127
7.1.1. Sūnu paraugu ievākšana.....	127
7.1.2. Sūnu paraugu laboratoriskā sagatavošana	128
7.1.3. Sūnu paraugu ķīmiskās analīzes	128
7.1.3.1. Paraugu sagatavošana	128
7.1.3.2. Paraugu analizēšana, nosakot smagos metālus	129
7.1.4. Kartēšana.....	129
7.2. REZULTĀTI.....	130
7.2.1. Smago metālu saturs sūnās 2000.gadā.....	130
7.2.1.1. Kadmījs	130
7.2.1.2. Hroms.....	130
7.2.1.3. Varš	133
7.2.1.4. Niķelis	133
7.2.1.5. Svins.....	134
7.2.1.6. Vanādijs	134
7.2.1.7. Cinks	134
7.2.2. Smago metālu koncentrācijas sūnā retrospektīvā analīze.....	135
7.3. DISKUSIJA	139
7.4. SECINĀJUMI.....	142
PATEICĪBAS	143
LITERATŪRAS SARAKSTS	144
PIELIKUMS.....	150

KOPSAVILKUMS

Jau iepriekš ir bijuši eksperimentālie pētījumi, kuros tika mērītas sūnas un novērtēts to pieaugums, tomēr savā promocijas darbā realizēju sūnu skenēšanas metodes aprobāciju. Sūnu skenēšanas metode tika veikta tāpēc, lai turpmākos pētījumos nevajadzētu veikt katra sūnas segmenta atsevišķu parametru (segmenta stumbra un zaru) mērīšanu, kas ir laika un darba ietilpīgs process. Veicot *Hylocomium splendens* skenēšanas efektivitātes novērtēšanu secināts, ka segmenta virsmas laukums būtiski korelēja ar segmentu svaru un arī ar zaru garumu, bet nebūtiska korelācija bija ar sūnas segmentu stumbra mērījumiem. Pēc sūnas dinamikas pētījuma rezultātiem acīmredzot varētu ieteikt sūnu bioindikācijai ņemt tikai trīs jaunākos *H. splendens* pieauguma gada segmentus.

Zinot to, ka sūnas stumbram ir vairāki šūnu slāņi nekā sūnas lapā, tad tāpēc tika veikts laboratorijas eksperiments, kurā pārbaudījām seriālās ekstrahēšanas efektivitāti, nosakot ķīmisko elementu koncentrācijas dažādās sūnu šūnu frakcijās un sūnas daļās. No šī eksperimenta secināts, ka šī metode ir nepiemērota Ca un Mg daudzuma novērtēšanai stumbra audos atsevišķās sūnu šūnu frakcijas daļās, kā arī to, ka sūnas stumbrs var būt tikai kā ūdens un barības vielu rezervuārs, un stumbrs ir tikai kā ceļš K^+ jonu kustībai un nevis kā kālija avots priekš šīs kustības. Stumbram, salīdzinot ar sūnas zariem, lielāka ir arī rezistence pret izkalšanu, kas var nodrošināt mazākus elementu zudumus.

Promocijas darba mērķis bija noskaidrot *Hylocomium splendens* nozīmi, kas ir kā viena no priežu meža ekosistēmas komponenta sastāvdaļām un, izmantojot sūnas, novērtēt vides piesārņojuma līmeni visā Latvijas teritorijā.

Veicot mākslīgus traucējumus ekosistēmā novērojām, ka pat pēc 4,5 gadiem sūnu stāva traucētajos parauglaukumos, kur noņēma sūnu stāvu, pilnībā nerasniedza sākotnējos biomasas apjomus, kā arī to, ka sūnu stāva transformācija būtiski neietekmēja ķīmisko elementu koncentrāciju izmaiņas *Vaccinium myrtillus* lapās un *Picea abies* skuujās.

Sūnu pārstādīšanas eksperiments starp dažādas pakāpes piesārņojuma vietām (piesārņoto un nepiesārņoto) parādīja, ka notiek ķīmisko elementu izlīdzināšanās ar jaunajiem vides apstākļiem, tas ir, liela ir elementu absorbcijas kapacitāte, kā arī to, ka sūnās esošo ķīmisko elementu koncentrāciju neietekmē zem tā esošais substrāts.

Bez tam arī šie eksperimenti parādīja, ka pārstādīšanas procesā radītais stress neietekmē sūnas augšanas intensitāti.

Novērtējot atmosfēras vides piesārņojumu visā Latvijas teritorijā secināts, ka nedaudz paaugstinātas smago metālu koncentrācijas sūnās konstatētas ap Liepāju (Zn, Pb, Cd, Cr), Brocēniem (Cu, V, Zn), Olaini (V, Cd), Rīgu (Cd), Daugavpili (V), tomēr vidējās ķīmisko elementu koncentrācijas sūnās Latvijā atbilst Ziemeļeiropas nepiesārņoto reģionu līmenim.

Retrospektīvi analizējot smago metālu daudzumu sūnā novērots, ka Latvijā samazinās smago metālu, izņemot Cd, Zn un Cu, izsēšanās no atmosfēras. Smago metālu koncentrāciju izmaiņas Latvijā galvenokārt ir izskaidrojamas arī ar ekonomiskajām izmaiņām, un tas ir tāpēc, ka lielās ražotnes tika slēgtas vai nu vispār, vai arī tās ir samazinājušas savu ražošanas jaudu.

ABSTRACT

Though earlier experimental studies including measuring mosses and estimating their growth have been made already, still I exercised approbation of moss scanning methods during my own promotion work. Moss scanning method was applied with a view to avoid measuring of separate parameters of each moss segment (stem and branches of a segment) that would comprise time-consuming and labour-intensive works in further studies. Through assessment of scanning effectiveness of *Hylocomium splendens* mosses it was concluded that surface area of a segment strongly correlated with weight of the segment and also length of branches, but there was insignificant correlation with stem measurements of moss segments. Based on results of moss dynamics study it could be advised to take only three younger annual segments of *H. splendens* moss growth for moss bioindication evidently.

Knowledge of the fact that moss stem consists of more cell layers than a moss leaf was the reason why we carried out laboratory experiment during which we tested effectiveness of serial extraction by determining concentration of chemical elements in different fractions of moss cells and parts. It was concluded from this experiment that this method was not appropriate for estimating content of Ca and Mg in stem cells within separate fraction parts of moss cells, and moss stem might serve only as a reservoir of water and nutrients and the stem was just a pathway for K ions movement instead of being K source for this movement. Compared to sprigs the stem is more resistant to desiccation thus being able to ensure less element losses.

The aim of the promotion work was to determine significance of *Hylocomium splendens* moss which was one of the components within pine forest ecosystem, and by using the mosses to assess environmental pollution degree on the entire territory of Latvia.

Having made artificial disturbances within the ecosystem we observed that mosses did not reach the absolute previous amounts of biomass even in 4,5 years within disturbed sample plots where the moss cover was removed, as well as transformation of the moss cover had weak influence on changes in concentration of chemical elements in spruce needles and bilberry bushes.

The experiment of transplanting mosses among places with different pollution degree (polluted and non-polluted) showed that evening out of chemical elements

with the new habitat conditions was taking place, i.e., capacity of element absorption was great, and that content of chemical elements present in mosses was not affected by the substrate underneath them. Moreover, these experiments also showed that the stress caused by transplanting process did not affect intensity of moss growth.

By studying atmospheric environmental pollution on the entire territory of Latvia it was concluded that slightly increased concentration of heavy metals in mosses were detected around Liepaja (Zn, Pb, Cd, Cr), Broceni (Cu, V, Zn), Olaine (V, Cd), Riga (Cd), Daugavpils (V), still the average concentration of chemical elements in mosses in Latvia corresponded to the degree of non-polluted regions in Northern Europe.

Through retrospective analysis of amount of heavy metals in mosses it was observed that deposition of heavy metals from the atmosphere in Latvia decreased, except Cd, Zn and Cu. Changes in concentrations of heavy metals in Latvia are generally explained by economic changes, and this is due to complete closing of large manufactures or decreased production volume there.

IEVADS

Spalvu sūna spīdīgā stāvaine *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G. ir viena no izplatītākajām zemsedzes spalvu sūnām (Rydgren *et al.*, 1998) un tai ir būtiska loma daudzās ekosistēmās (During, 1990). *H. splendens* sastopama boreālajos mežos, un tādēļ šajā reģionā šī sūna tiek izmantota bioindikatīvos pētījumos (Rühling *et al.*, 1992; Brūmelis, Nikodemus, 1995; Økland, 1995), lai novērtētu vides piesārņojumu.

Hylocomium splendens ir pētīta morfoloģija (Tamm, 1953; Økland, 1995), fizioloģija (Callaghan *et al.*, 1978; Skre *et al.*, 1983; Bates, 1992; Økland *et al.*, 1997), populācija un demogrāfija (Økland, 1995, 1997; Økland, Økland, 1996), autekoloģija (Tamm, 1953; Skre *et al.*, 1983). Pētīta ir arī *H. splendens* populācijas atjaunošanās iespējas pēc traucējumiem biotopā (Rydgren *et al.*, 1998), un tā var būt kā viena no pioniersugām primārajā sukcesijā (Callaghan *et al.*, 1978).

Sūnas var samazināt augsnes temperatūru un barības vielu sadalīšanās tempus, kas var izmainīt sukcesijas procesa intensitāti (Skre, Oechel, 1979). Pētījumos arī konstatēts, ka sūnām ir būtiska nozīme barības vielu apritē, jo tās var aizkavēt barības vielu pieplūdumu kokiem (Bates, 1989).

Lai arī sūnas ir izmantotas daudzos pētījumos, tomēr kopumā ir nepietiekoša informācija par sūnu nozīmi boreālo mežu biogeoķīmiskajos ciklos (Tamm, 1953; Weetman, 1968; Skre, Oechel, 1979; Binkley, Graham, 1981; Weber, Van Cleve, 1984; Eckstein, 2000).

H. splendens ir piemērota visiem iepriekš minētajiem pētījumu virzieniem tāpēc, ka tai ir viegli nosakāmi un atdalāmi pieauguma gadu segmenti, kā arī tas, ka sūnai galvenie barības vielu piegādātāji ir atmosfēras sausie (putekļi) un mitrie (nokrišņi) nosēdumi. Atsevišķi pētījumi (Bates, 1982; Bates, Farmer, 1990) parāda, ka arī substrātam var būt zināma ietekme uz ķīmisko elementu koncentrāciju izmaiņām sūnā. Savukārt citi autori uzskata, ka substrāts būtiski neietekmē ne sūnas augšanu, ne arī ķīmisko elementu koncentrācijas sūnās (Gjengedal, Steinnes, 1990; Rühling, Tyler, 1973).

Promocijas darba mērķis ir noskaidrot *Hylocomium splendens* nozīmi priežu meža ekosistēmā un novērtēt tās pielietojumu bioindikācijā.

Lai realizētu izvirzīto mērķi, tika izvirzīti šādi uzdevumi:

1. noteikt ķīmisko elementu uzņemšanas sezonālo dinamiku *Hylocomium splendens* atkarībā no tās augšanas intensitātes (2.nodaļa);
2. novērtēt un aprobēt skenēšanas metodi, korelācijas novērtēšanai starp sūnu virsmas laukumu un biomasu, zaru skaitu un zaru garumu (2.nodaļa);
3. novērtēt jonu kustību starp *Hylocomium splendens* pieauguma gadu segmentiem un to mehānismu gan lauka, gan laboratorijas apstākļos (3.nodaļa un 4.nodaļa);
4. noteikt *Hylocomium splendens* nozīmi barības vielu apritē priežu meža ekosistēmā, un novērtēt sūnu stāva ietekmes nozīmi uz ķīmisko elementu uzņemšanu *Vaccinium myrtillus* lapās un *Picea abies* skuujās (5.nodaļa);
5. noteikt ķīmisko elementu absorbcijas efektivitātes novērtēšanu, veicot sūnu pārstādīšanu starp piesārņotu un nepiesārņotu vietu (6.nodaļa);
6. novērtēt *Hylocomium splendens* izmantošanas iespējas bioindikatīvos monitoringa pētījumos (7.nodaļa).

Lai varētu izpildīt visus promocijas darbā izvirzītos uzdevumus, atsevišķi parauglaukumi tika ierīkoti dažādos priežu mežu augšanas apstākļu tipos. Parauglaukumi atradās Saulkalnē, pie Daugavpils, Ikšķilē ar lauku teritoriju, Mazsalacā, Taurenes integrālajā monitoringā un pie TEC-2 Rīgas rajonā, kā arī visā Latvijas teritorijā, lai varētu veikt atmosfēras vides piesārņojuma stāvokļa novērtēšanu.

Visi lauka un laboratorijas pētījuma dati, kuri bija nepieciešami promocijas darba izstrādei, tika iegūti laika posmā no 1995.gada līdz 2005.gadam.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Spalvu sūnu nozīme vielu apritē dabā

Zemsedzes sūna *Hylocomium splendens* (spīdīgā stāvaine) ir ar plašu ģeogrāfisko izplatību un to novēro dažādos biotopos vairākos biomos, ieskaitot alpīno, subalpīno, boreālo un arktisko (Busby *et al.*, 1978). *H. splendens* ir viena no trim Latvijā visbiežāk sastopamajām (*Pleurozium schreberi* (Šrēbera rūsaine) un *Ptilium crista-castrensis* (parastā straussūna)) spalvu sūnām (no angļu val. feather moss). Briofīti galvenokārt dominē boreālo mežu zemsedzē (Rydgren *et al.*, 1998), un tieši *H. splendens* ir visbiežāk sastopamā sūna skuju koku mežos (Bengtson *et al.*, 1982).

Sūnām ir būtiska loma ekosistēmas funkcionēšanā (Binkley, Graham, 1981; During, 1990), kā arī barības vielu apritē (Weber, Van Cleve, 1984; Brown, Bates, 1990; Rydgren *et al.*, 1998). Meža zemsedzes sūnas kontrolē ekosistēmā vielu plūsmu, uzņemot elementus no vainagu noteces, absorbē un recirkulē sevī vairākus gadus. Pēc tam barības vielas lēni tiek atbrīvotas caur sūnu sadalīšanās procesiem (Eckstein, 2000).

Zemsedzes sūnas satur no 23% līdz 53% no tā slāpekļa, fosfora, kālija un magnija daudzuma, kas tiek uzņemts kokos (Weetman, 1968). No 30% līdz pat 100% no kopējā slāpekļa (Eckstein, Karlsson, 1999) un apmēram puse no fosfora daudzuma (Chapin *et al.*, 1987), kas nokļūst uz sūnām ar nokrišņu ūdeņiem var tikt tajās uzņemti. Tātad *H. splendens* un citas sūnas samazina elementu zudumus, noturot tos ekosistēmā un nodrošinot to tālāku apriti.

Sūnas spēj arī absorbēt saules enerģiju, samazināt augsnes temperatūru, un to sadalīšanās tempi var ietekmēt un pat izmainīt sukcesijas attīstību mežu ekosistēmā (Skre, Oechel, 1979). R.Eksteins (Eckstein, 2000) atzīmē arī to, ka sūnas var negatīvi ietekmēt augsnes temperatūru. Piemēram, augstāka sūnu produkcija balteglu mežā nekā bērzu mežā ir izskaidrojama ar to, ka balteglu mežā zemāka gaismas intensitāte ir tieši sūnu stāvā, kura var samazināt augsnes temperatūru. Temperatūras starpība starp baltegles un biezu egļu audzes augsnes virsmu var sasniegt pat 10°C, bet atšķirības 10 cm dziļumā ir līdz 3°C (Skre, Oechel, 1979).

Izmaiņas augsnes temperatūrā ietekmē arī nobiru sadalīšanos (Bengtson *et al.*, 1982). Temperatūra un mitrums nosaka mikroorganismu aktivitāti meža zemsegā, kā arī barības vielu transformāciju un to ciklus (Weber, Van Cleve, 1984).

Lai arī daudzi pētījumi parāda to, cik būtiska loma ir sūnām elementu un vielu apritē un to aizturē, tomēr maz ir informācijas tieši par sūnu lomu primārajā produkcijā un to nozīmi boreālo mežu biogeoķīmiskajos ciklos.

Pie klimata straujām pārmaiņām novēro paātrinātu barības vielu apriti, pieaug minerālo barības vielu noplūde un izmainās sugu sastāvs, un tas viss acīmredzot nodrošina pareģojumu par globālo sasilšanu, it īpaši, boreālos un subarktiskos reģionos (Eckstein, 2000).

Lai gan zemsedzes sūnu biomasa uz hektāru ir neliela, tomēr tās būtiski ietekmē oglekļa apriti (Tamm, 1953). Ekosistēmā no virszemes neto primārās produkcijas un Ca un K uzņemšanas sūnās kopumā var sastādīt 5%, bet 10% - no visa N un P absorbētā daudzuma ekosistēmā (Binkley, Graham 1981).

Hylocomium splendens un *Pleurozium schreberi* zemsegai ir būtiska loma N apritē. Slāpeklis ātri var tikt uzņemts sūnas slāņa zaļajā un brūnajā daļā, kur tas tiek arī aizturēts. Vēlāk N lēni atbrīvojas no sūnām un pēc tam nokļūst zem sūnām esošajā augsnes organiskajā slānī, no kura savukārt - augsnes šķīdumā (Weber, Van Cleve, 1984). Tādejādi arī pēc sadalīšanās spalvu sūnai ir būtiska nozīme N apritē tieši skuju koku mežos.

Atmirušo sūnu sadalīšanās periods var būt no 5 līdz 12 gadiem (Weetman, 1968), un nosakot N, P, K, Mg un Ca gadskārtējo uzņemšanu sūnās šis autors arī secināja, ka kokiem lielu daļu no nepieciešamo barības vielas daudzuma nodrošina tieši šīs sadalījušās spalvu sūnas.

H. splendens spēj ieņemt jaunas vietas, veidojot nelielas kolonijas, kas norāda uz to, ka *H. splendens* ir ekoloģiskās tolerances stratēģija un tā izplatās vēsās, mitrās un netraucētās vietās (Callaghan *et al.*, 1978). Arī C.Tamms (Tamm, 1953) raksta, ka *H. splendens* vispiemērotākie ir biotopi, kuros ir liels mitrums un zema temperatūra. Šādi apstākļi meža zemsedzē raksturīgi biotopos, kuros koku vainagi nodrošina ar ēnainu vidi, aizsargājot zemsedzi no tiešās saules staru ietekmes un nodrošinot zemu temperatūru, kā arī apgādājot sūnas ar barības vielām, kas izskalojas no koku vainaga.

1.2. *Hylocomium splendens* uzbūve un attīstība

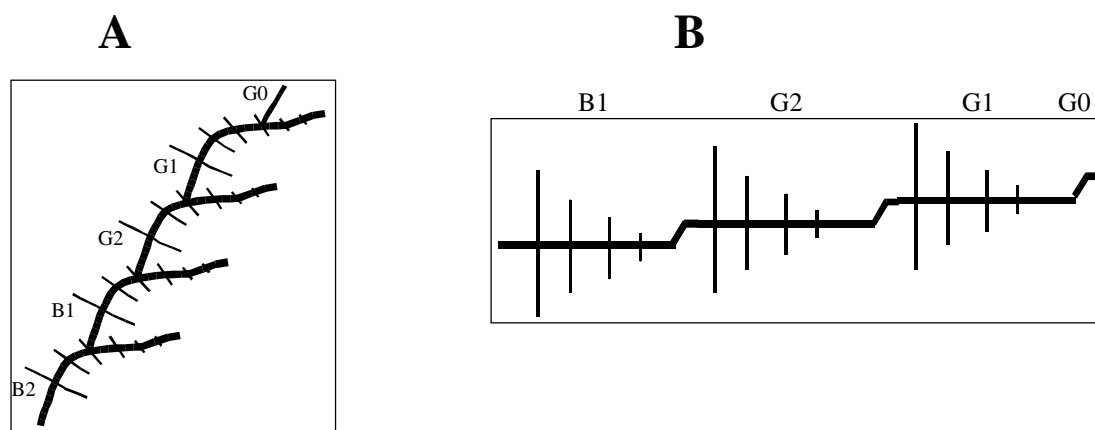
Zemsedzes spalvu sūna *Hylocomium splendens* sūnas pamata uzbūves vienība ir ramets (Eckstein, 2000), kas kopā veido šīs sūnu sugas klonālo augu (Økland, Økland, 1996), ko sauc par ģenetu. Katrs ramets ir viens pieauguma gada segments, kas netieši norāda uz sūnas vecumu. *H. splendens* katru gadu veido šos segmentus / rametus (Tamm, 1953; Callaghan *et al.*, 1978; Bengtson *et al.*, 1982; Økland, 1995; 1997), un pieņemts, ka katru no šiem rametiem apzīmē ar kādu no burta un cipara kombināciju – pirmo gadu ar G0 (no angļu valodas green – zaļš), otro - G1, trešo - G2, ceturto - B1 (no angļu valodas brown – brūns), piekto - B2, u.t.t. (Eckstein, Karlsson, 1999). Viss šis klonālais augs – ģenets ir kā viena fizioloģiski vienota sistēma (Økland, 1995).

H. splendens attīstības process sākas vēlā rudenī vai nākamā gada pavasarī, kad veidojas jaunais pieauguma gadu segmenta posms, kuru sauc par pumpuru. Šo pirmā gada segmentu apzīmē ar G0. Šis segments veidojas laterāli no sava vecāka segmenta viņa otrajā attīstības gadā (Callaghan *et al.*, 1978; Økland, 1995). G0 segments pavasara beigās var pat sasniegt apmēram 10% no sava vecāka segmenta masas (Tamm, 1953). Vasarā pirmajam attīstības gada segmentam G0 sāk attīstīties sānzari. Vecāki par trim gadiem segmenti iegūst brūnu nokrāsu (Økland, Økland, 1996; Rydgren *et al.*, 1998), un tas ir tāpēc, ka sūnas audi sāk pamazām atmirt, neveicot fotosintēzi.

Vecums, kad pieauguma gadu segmenti iegūst brūno nokrāsu, ir atkarīgs no augšanas apstākļiem. Piemēram, P.Pakarinen un R.Rinne (Pakarinen, Rinne, 1979) novērojuši, ka *Hylocomium splendens* zaļā daļa ir vidēji 2,1 gadus, bet *Pleurozium schreberi* – tikai 1,5 gadus. Zaļie audi bieži vien var būt atkarīgi no sūnu slāņa biezuma. Vēl mazāks zaļo segmentu vecums ir divām citām sūnu sugām – *Polytrichum commune* (parastais dzegužlins) – 1,4 gadi un *Sphagnum girgensohnii* (Girgenzona sfagns) – 0,7 gadi. Arī A.Rūlings un G.Tailers (Rühling, Tyler, 1973) un C.Tamms (Tamm, 1953) raksta, ka vienīgi pirmie divi jaunākie segmenti *H. splendens* sūnai parasti ir zaļi, bet trešais segments jau ir vairāk vai mazāk ar brūnganu nokrāsu. Šie dati ir iegūti veicot pētījumus Skandināvijas un Ziemeļvalstu teritorijās – Somijā, Norvēģijā un Zviedrijā, un iespējams, ka Latvijā šie novērojuma dati būs pavisam nedaudz atšķirīgi.

Vecums, kurā katrs segments / ramets var mainīt savu krāsu no zaļas uz brūnu, var atšķirties arī starp dažādiem biotopiem, kā arī tas var, mainoties augšanas (piemēram, mitruma) apstākļiem, mainīties no gada uz gadu vienā un tai pašā biotopā. Pat vienā biotopā vienā vietā sūna var sākt ātrāk atmirt nekā citā vietā. Piemēram, ēnainā vietā *Hylocomium* segmenti ir zaļi un dzīvos ilgāk nekā atklāto biotopu vietās (Tamm, 1953).

H. splendens ir raksturīga gan simpodiālā, gan monopodiālā augšanas forma (Ross *et al.*, 2001), ko galvenokārt nosaka tas, kādā vidē un kādā biotopā šī sūna ir augusi. Simpodiālā augšana novērota tad, kad galotnes (apikālā) meristēma pārtrauc ikgadējo augšanu, un attīstību var turpināt tikai ar laterālā pumpura meristēmu. Monopodiālo augšanu novēro tādā gadījumā, kad galotne turpina augt vairāk nekā vienu augšanas sezonu (1.1.attēls). Gadskārtējie segmenti monopodiālā sūnaugā var tikt noteikti pēc to atšķirīgā sānu zaru lieluma, to novietojuma un atstarpes.



1.1.attēls. *Hylocomium splendens* augšanas formas un pieauguma gadu segmenti.

A. – simpodiālā augšana (G0, G1, G2, B1 un B2 segmenti); B – monopodiālā augšana (G0, G1, G2 un B1 segmenti).

Bieži domā, ka atšķirības sūnas uzbūvē izraisa ģenētiskās atšķirības, tomēr galvenokārt tas ir vides ietekmes rezultāts (During, 1990). Ļoti daudz sūnas uzbūvi un zarošanās veidu ietekmē biotops. Tā, piemēram, simpodiālā augšanas forma dominē meža biotopos, kas ir no mērenās līdz vidus Arktiskiem apgabaliem, bet monopodiālā - tundrā, Arktika zonā un augstākos platuma grādos (Ross *et al.*, 2001). Pārstādīšanas eksperiments parāda, ka sūnas plastiski var reaģēt uz simpodiālo un monopodiālo augšanas formu izmaiņām, mainot savu augšanas formu citos vides apstākļos, un, ja ir liela barības vielu pieejamība, tad tas ir svarīgs vides faktors, kas veicina simpodiālās augšanas formas veidošanos (Ross *et al.*, 2001).

Sūnas ir poikilohidri organismi, kas raksturīgi ar to, ka, ja tie izzūst, tad samazinās gan augšanas intensitāte, gan arī fotosintēze. Tomēr sūnas varam saukt arī par ektohidriem organismiem, jo tie uzņem ūdeni, barības vielas ar visu auga virsmu (During, 1990). Tas ir tāpēc, ka tiem nav kutikulas, kas limitētu ūdens zudumus.

Sūnām, atšķirībā no augstākiem augiem, nav sakņu sistēmas un pamatā nav attīstītas vadaudu sistēmas (Busby *et al.*, 1978). *Hylocomium splendens* un zem tās esošā substrāta kontakts ir visai minimāls, kaut arī sūna pie substrāta piestiprinās ar rizoīdiem, tomēr šīs spalvu sūnas ir relatīvi neatkarīgas no sava substrāta (Rühling, Tyler, 1973).

Sūnu gametofīti ir arī ar zemu audu diferenciācijas pakāpi (During, 1990). Tāpēc visas sūnas ir potenciāli pakļautas izšķīdināšanai, kas atvieglo jonu uzņemšanas pētījumus (Bates, 1992). Būtiski var atšķirties sūnas sienas anatomiskā uzbūve jauniem un veciem segmentiem (Wells, Brown, 1987). Atšķirīgs ir arī sūnu kārtu daudzums katrā sūnas stumbrā un lapās. Tā, piemēram, sūnas lapās ir tikai viena sūnu kārtā (Gjengedal, Steinnes, 1990), bet stumbros sūnas var būt vairākos slāņos (Bates, 1990; 1992).

Tā kā sūnai nav kutikulas (Gjengedal, Steinnes, 1990) un ir atvieglota dažādu elementu uzņemšana, tad šo īpašību dēļ *Hylocomium splendens* (arī *Pleurozium schreberi*) izmanto biomonitoringā, novērtējot vides piesārņojumu (Rühling *et al.*, 1992; Rühling, 1994).

1.3. *Hylocomium splendens* augšanas dinamika

Hylocomium splendens ir labi piemērota demogrāfiskiem pētījumiem, jo tām ir modulārs augšanas veids (Tamm, 1953), un viss veģētācijas periods var ietekmēt sūnas augšanu, izkalšanu, sairšanu (Brown, Bates, 1990).

Vides apstākļi nosaka sūnu lielumu un augšanas ātrumu (Økland, 1997; Rydgren *et al.*, 1998), kā arī izraisa atšķirības starp gadiem (Økland, 1997), tomēr R.Øklands (Økland, 1997) uzskata, ka augšana vairāk variē starp gadiem un nevis starp biotopiem. Divu pēc kārtas augošo segmentu garums vienā ģenetā ir ar pozitīvu korelāciju, tātad “mātes” un “meitas” segmenti ir cieši saistīti (Bengtson *et al.*, 1982). Vēl citi pētījumu rezultāti (Wells, Brown, 1996) parāda, ka efektīva iekšēja barības vielu recirkulācija var nodrošināt un uzturēt sūnu augšanu un attīstību, jo īpaši apikālo augšanu.

Sūnu augšanas atšķirības starp gadiem ir atkarīga no pazeminātas temperatūras pavasarī, ilgstoša sausuma vasaras vidū un vēlā vasarā, maz gaismas rudenī, augstas temperatūras un lielas iztvaikošanas vasaras vidū (Hanslin, 1999). Segmentu lielums pieaug gados ar jūras klimatu (maigas ziemas, gara un mitra augšanas sezona), bet populācija samazinās un segmentu lielums mazāks ir tad, kad klimats ir vairāk kontinentāls (gara, sausa vasara, un gara, ar sniegu bagāta ziema) (Økland, 1997).

Ja barības vielu daudzums palielinās par 2-5 reizēm, tad palielinās arī augšana un fotosintēze *Sphagnum nemoreum*, savukārt negatīvs vai nenozīmīgs efekts ir *Hylocomium* un *Pleurozium* (Skre, Oechel, 1979). Tātad atšķirības novēro starp dažādām sugām un to augšanas biotopiem. Svarīgs ir arī biotops un tas, kur sūnas atrodas šajā konkrētajā biotopā - atklātā vietā starp koku vainagiem vai tieši zem vainaga. Šādos gadījumos atšķirsies sūnu iztvaikošanas intensitāte (Busby *et al.*, 1978). Barības vielu absorbcijas un augšanas līmenis lielāks būs tajā vietā, kur sūna ilgāk būs pakļauta labvēlīgam mitruma režīmam (Bates, 1987).

Gaisma var radīt atšķirības augšanā un attīstībā starp dažādām sūnu sugām, kā arī starp dažādiem biotopiem. Tā, piemēram, *H. splendens* blīvums samazināsies, ja samazināsies augsnes mitrums un, ja palielināsies koku vainaga biezums (Rydgren *et al.*, 1998). Sūnu produkcija pieaug, ja palielinās gaismas intensitāte un nokrišņu daudzums (Weetman, 1968). Tomēr ir autori (Skre, Oechel, 1981), kas uzskata, ka gaismas intensitātes mainīgums visas sezonas garumā maz ietekmē sūnas augšanu.

Ūdens ir pamata faktors, kas kontrolē sūnu augšanu un izplatību, un tādējādi nodrošinot sūnai optimālus augšanas apstākļus (Busby *et al.*, 1978). Tā kā ūdens ir lielākais limitējošais faktors priekš augšanas, tad arī sausos apstākļos bieži vien notiek sūnu atmiršana jeb terminācija (Callaghan *et al.*, 1978; Økland, 1997).

Temperatūra un nokrišņi vienmēr ir jāanalizē kopā, lai novērtētu radušās izmaiņas sūnas augšanā (Potter *et al.*, 1995). C.Tamms (Tamm, 1953) izpētījis, ka fotosintēze noris vienīgi tad, ja sūnas ir mitras. Jo sūna aug mitrākā vietā, jo tai ir zemāka rezistence pret izkalšanu, savukārt sausāku vietu sūnas ir izturīgākas pret ilgstošu sausumu.

Nenovēro korelāciju starp *H. splendens* augšanu un kopējo mēneša nokrišņu daudzumu, bet būtiskāka ir nokrišņu intensitāte un daļēji arī biežums (Hanslin, 1999). Būtiska ir korelācija starp to dienu skaitu, kad sūnas ir mitras un sūnas augšanas tempu. Vidējais segmentu lielums ir par 40% lielāks tajos reģionos, kur ir regulāri nokrišņi un nevis tur, kur nokrišņi ir nepastāvīgi (Økland, 1997).

Kad sūnas aug lielā blīvumā, garākie sūnaugi ir relatīvi priekšrocīgākā pozīcijā, lai saņemtu gaismu, noēnojot citas atvases. Toties garie vairāk pakļauti apgaismojumam, vējam, kas veicina transpirācijas tempus (During, 1990). Vārīgākie vienmēr dzīvos vidē, kur ir mazāk stresa, tādejādi pasargājot sevi no liekas konkurences. Toties reģenerācijas biežums samazinās pieaugot blīvumam (Økland, Økland, 1996), jo samazināta ir gaismas piekļūšana reģenerācijas vietām, turpretim mirstības tempi nav saistīti ar blīvumu.

Tāds faktors kā noēnojums, kas limitē attīstību pie palielināta sūnu stāva blīvuma, iespējams ir svarīgāks un būtiskāks priekš sūnu biomasas palielināšanas nekā potenciālais labums no esošā mitruma režīma (Hanslin, 1999).

G2 segmentā ir zemāks hlorofila daudzums nekā G1 segmentā, un to ietekmē galvenokārt gaismas spēja piekļūt G2 segmentam (Bengtson *et al.*, 1982). Savukārt novērots, ka fotosintēze kļūst negatīva pēc sūnas trešā attīstības gada (Callaghan *et al.*, 1978). Strauji samazinās fotosintēzes tempi ziemas periodā un pēc ilgstoša sausuma perioda (Skre, Oechel, 1981). Tomēr C.Tamms (Tamm, 1953) izvirza hipotēzi, ka sūnas iespējams ir metaboliski aktīvas arī ziemas periodā.

Temperatūra kontrolē metabolisko procesu un iztvaikošanas tempus un iztvaikošanas stresu, arī nokrišņi un vējš ietekmē ūdens bilanci sūnaugā (Busby *et al.*, 1978). J.Potters ar līdzautoriem (Potter *et al.*, 1995) raksta arī, ka, palielinoties atmosfēras gaisa temperatūrai, samazinās *H. splendens* augšanas intensitāte.

Traucējumiem, kas ir jebkurš faktors, kurš samazina sūnas augšanu vai arī nogalina daļēji vai pilnībā visu sūnaugu, bieži vien ir būtiski lielāka ietekme nekā konkurence. Traucējumi sūnu stāvā var izpausties visdažādākajos veidos gan cilvēku radītie, gan dabiskie - čiekuri, koku zari, skujas, kā arī lapu koku lapas (Økland, 1995).

Populācijas vidējais lielums ir tas parametrs, kurš būs kā indikators esošajai konkurences intensitātei (Økland, 1995). Sazarošanās tiek uzskatīta par svarīgāko priekš populācijas lieluma saglabāšanas, bet augstas reģenerācijas spējas veicina pielāgošanos un atjaunošanos pēc traucējumiem (Økland, 1995).

Visas augšanas sezonas garumā G0 un G1 segmentu sausā svara pieaugums ir diezgan būtisks, savukārt segmenti, kuri ir vecāki par vienu gadu (sākot no G2 segmenta), neparāda būtiskas izmaiņas sausajā svarā (Eckstein, 2000). Vasaras periodā jaunā segmenta (G0) svars strauji pieaug līdz pat 10 reizēm un attīsta laterālos sūnu zarus (Callaghan *et al.*, 1978), kamēr G1 segmenta – aptuveni tikai 2 reizes.

Savukārt vecākie zaļie segmenti sāk zaudēt sauso svaru, bet brūnie segmenti (B) ir konstanti savā svarā (Eckstein, Karlsson, 1999). Tomēr domājams, ka brūnie segmenti ar laiku zaudē savu svaru, jo notiek lapu un sīkāko zaru nolūšana.

Biomasa samazināšanās iespējams ir saistīta ar sūnu lapu vai citu sūnu struktūru, piemēram, zariem, atmiršanu un sekojošiem zudumiem (Hanslin, 1999), kas ir cēlonis izkalšanas stresam visā vasaras periodā vai arī ir sekas ilgstošam negatīvam oglekļa daudzumam, ko savukārt rada zemas gaismas intensitāte rudens periodā.

H. splendens jaunākā G0 segmenta straujais pieaugums no jūlija beigām līdz augustam iespējams ir saistīts ar apstākļiem, kad dominē apoplastisks barības vielu transports uz pumpuriem: optimāls sausuma - mitrums režīms priekš augšupejošas elementu plūsmas, lielas nobriedušo segmentu elementu uzņemšanas spējas no koku un lakstaugu vainaga noteces un lieli zudumi no atmirstošiem audiem. Barības vielu piegāde no apakšas var uzturēt apikālo augšanu vienīgi tad, ja ūdens nav limitējošs faktors (Brūmelis, Brown, 1997). Savukārt H.Hanslins (Hanslin, 1999) izsaka viedokli, ka vidēji vislielākie relatīvie augšanas tempi ir pavasarī un agrā vasarā, bet zemi vai negatīvi ir rudens periodā. Šo periodu dažādību iespējams var izskaidrot ar nokrišņu pārmaiņām, kā arī acīmredzot ar vides faktoriem, sevišķi pavasarī un rudenī. Šie segmentu augšanas tempi būs atšķirīgi no tā, kurā valstī, kuros biomas, un kuros meža augšanas apstākļu tipos notiek konkrētais eksperiments.

Lielākā biomasa *H. splendens* ir trešā un ceturta gadā, un tas norāda, ka segmentu attīstība turpinās vidēji līdz trīs gadu vecumam (Skre, Oechel, 1979). Viena gada vecie segmenti kopā ar vecākiem segmentiem uzrāda lielas svārstības sausajā svarā, tomēr tās ir paralēlas sezonāliem temperatūras, apgaismojuma un ūdens daudzuma trendiem. Šīs svara svārstības samazinās līdz ar segmentu vecumu, kad ceturta gada segments uzrāda sausā svara zudumus visas sezonas garumā (Callaghan *et al.*, 1978). Maksimālo savu svaru *H. splendens* sasniedz savā ceturtajā attīstības gadā, tas ir, 4.segmentā (B1 segments).

Pēc trešā gada *H. splendens* segmenti maina savu krāsojumu un ramets no zaļa kļūst par brūnu, tomēr tas uzreiz nenozīmē, ka šis brūnais segments ir miris (Eckstein, 2000). Lielas svārstības biomasā ir tieši zaļajos segmentos, bet brūnos – nav (Brown, Bates, 1990), jo acīmredzot zaļie, jaunākie segmenti, ir jutīgāki pret jebkurām vides apstākļu izmaiņām.

Iespējams, ka visas šīs izmaiņas krietni vien atšķirsies starp dažādām augšanas vietām, kur tika veikti konkrētie pētījumi. Pētījumi Skandināvijā var krietni vien atšķirties no Latvijas apstākļos iegūtajiem rezultātiem, kur sūnas aug citādākos tempos. Tā J.Potters (Potter *et al.*, 1995) raksta, ka augšanas rezultātus var ietekmēt tas, ka atšķirsies sūnu ģenētika, piemēram, starp Britu un Zviedrijas sūnu populācijām.

Novērots, ka pie piesārņojuma avotiem sūnas segmenti parasti ir tievāki (Bengtson *et al.*, 1982). Sūnās palielinoties Cu un Zn koncentrācijai attiecīgi par 10 un 8 reizēm vairāk nekā nepiesārņoto vietu (fona līmenis) koncentrāciju līmenim sūnās, tad sūnu garums un svars neizmainīsies. Toties, ja koncentrācijas pārsniedz šo fona līmeni attiecīgi 17 un 10 reizes, tad segmenti ir par 30-33% īsāki un par 50-65% gaišāki, kā arī biomasa samazinās par 54%. Arī laboratorijas pētījumi, kurā novērtēja Zn toksicitāti, parāda to, ka augšana var būt atkarīga no Zn koncentrācijām sūnas iekššūnā. Šī lineāra sakarība starp augšanu un metālu koncentrācijām iekššūnā ir nozīmīga tieši jaunajos segmentos (Sidhu, Brown, 1996).

Problēmas var būt laboratorijas un lauku pētījumos, kad, veicot pārstādīšanu jaunā mikrovīdē, vides apstākļi iespējams ir atšķirīgāki nekā iepriekšējā sūnas augšanas vietā. Tas arī var ietekmēt sūnas augšanu jaunos vides apstākļos (Brown, Bates, 1990). Sūnu pārstādīšanas procesā esošais stress arī var dot būtiskas izmaiņas datu interpretācijā.

1.4. Ķīmisko elementu uzņemšana un zudumi sūnās

Sūnas ir daudz efektīvāki ķīmisko elementu nosēdumu akumulētāji nekā, piemēram, vaskulāro augu lapas, zari un mizas (Brown, Bates, 1990). Sūnaugi, salīdzinot ar citiem augiem, ir ar samērā vienkāršu jonu uzņemšanas mehānismu. Tas ir tādēļ, ka sūnu gametofīti ir ar zemu audu diferenciācijas līmeni, kā arī limitēta ir kutikulas attīstība (Gjengedal, Steinnes, 1990). Sūnas var uzņemt elementu jonus no šķīdumiem, piemēram, no nokrišņiem, un elementu jonu uzņemšanas mehānisms sūnās ir selektīvi aktīvs process (Rühling, Tyler, 1970).

Efektīvāka elementu uzņemšana un saglabāšana sūnās notiek mežā, kur izkalšanas stress ir daudz mazāks un tāpēc mazāk traucēta ir to augšana (Bates, 1987; 1989; 1992). Palielināts mitruma daudzums nodrošina lielāku dažādu elementu uzņemšanu sūnās. Ķīmisko elementu uzņemšana sūnās notiek tikai tajos gadījumos, kad gametofīti ir mitri (Brown, Brūmelis, 1996).

Novērots, ka laboratorijas apstākļos ķīmisko elementu joni tiek ātrāk uzņemti, un lēnāk izskalojas nekā tas ir lauka apstākļos (Bates, 1989). Tomēr šie laboratorijas pētījumi nevar tikt salīdzināti ar lauku pētījumiem, jo tajos ir daudz specifisku blakus apstākļu – temperatūra, kontakta laiks un vides apstākļi, šķīdumu ķīmiskais sastāvs (nokrišņi, noskalojumi no kokiem, krūmiem un lakstaugiem).

Kopumā sūnas ķīmiskos elementus var uzņemt vairākos veidos (Tamm, 1953; Weetman, 1968; Rühling, Tyler, 1970; Bengtson *et al.*, 1982; Bates, 1987; 1989; 1990; 1992; Brown, Bates, 1990; Gjengedal, Steinne, 1990; Ross, 1990; Brūmelis, Nikodemus, 1995):

1. ar atmosfēras nosēdumiem divos veidos – mitrā nokrišņu veidā, tai skaitā migla un emisijas nosēdumi no jūras vides, un sausā veidā ar putekļiem (vēja pūstās minerālās daļiņas) un gāzes;
2. izskalojoties no koku vainaga (saistīts ar nokrišņiem), kur šie elementi ir uzkrājušies;
3. nobirstot koku lapām, skujām, tām sadaloties, barības vielas nonāk sūnu stāvā;
4. sadaloties augstāko augu veģetācijai (lakstaugiem);
5. no substrāta;
6. no sniega kušanas ūdeņiem;
7. no miglas un no rasas.

Ķīmisko elementu uzņemšana sūnās var atšķirties atkarībā no gadalaika. To būtiski var ietekmēt vaskulāro augu fenoloģiskais cikls (Brown, Bates, 1990), kurš katru gadu var būt citādāks. Elementu uzņemšanu *Hylocomium splendens* segmentos var būtiski ietekmēt arī tas, cik liels jau ir kāda konkrētā pētāmā elementa daudzums segmentā, kā arī cik liela ir katra pieauguma gada segmenta masa. Bez tam uzņemšanu var ietekmēt arī tas vai segments ir nezarots, vai arī zarots un cik daudz šis sūnas ramets ir sazarots (Tamm 1953).

Parastās spuraines *Rhitiadelphus squarrosus* stumbri lēnāk uzņem šķīdumus nekā lapas. Tas ir tāpēc, ka lapās ir tikai viens šūnu slāņa biezums, bet stumbrā vairāki slāņi, turklāt arī lapu klātbūtne traucē uzņemt elementus ar stumbru (Bates, 1990).

Ķīmisko elementu zuduma iespējas no sūnām notiek tiem izskalojoties vai arī sūnām sadaloties, kad atmirst vecāko (parasti sākot ar trešā gada segmentu) pieauguma gadu brūnie segmenti (Brown, Bates, 1990).

1.4.1. Atmosfēras nosēdumi

Atmosfēras nosēdumi sevī ietver gan mitros (sniegs, lietus), gan sausus nosēdumus, tanī skaitā, sīkāko putekļu daļiņu nogulsnešanos un aerosolu izsēšanos. Ja mitros nosēdumus var noteikt, ievācot lietus ūdeņu paraugus dažādos savācējos, kolektoros, tad novērtēt sauso nosēdumu daļiņu izsēšanos ir daudz grūtāk, jo to ietekmē dažādi faktori (Ross, 1990). Ķīmisko elementu teritoriālo izplatību ietekmē putekļu daļiņu lielums, vēja ātrums, reljefa virsmas nelīdzenums un augāja struktūra.

Sūnas efektīvāk ķīmiskos elementus var uzņemt, pirmkārt, ja tie ir izšķīdušā veidā un, otrkārt, ja sūnām ir liela absorbējošā virsma. Šādas lielas absorbējošās virsmas ir vairākām sūnu sugām - *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Ptilium crista – castrensis*, *Dicranum undulatum* (viļņainā divzobe), *Rhytidiadelphus triquetrus* (lielā spuraine). C.Tamms (Tamm, 1953) savā publikācijā izsakās, ka sūnās var būt dažādi orgāni, kuriem ir ekoloģiskā loma dažādu ķīmisko elementu uzņemšanā sūnās, piemēram, *Hylocomium* ir parafillas, bet *Dicranum* – rizoīdi, kuri tad arī palielina šo absorbējošo virsmu.

Apikālie segmenti vienmēr vairāk būs pakļauti dažādu minerālvielu nosēdumiem no atmosfēras (Bates, 1990). Analizējot barības vielas novērots, ka N, P, K, Mg akumulējas *Hylocomium splendens* jaunajās lapās tās augšanas periodā, turpretī Ca akumulējas tās pašas sugas vecajās nobriedušajās lapās. Barības vielas sūnās var tikt transportētas no veciem uz jauniem audiem visā sūnas augšanas procesā (Skre, Oechel, 1979). Principā jaunajiem segmentiem nav nepieciešams saņemt barības elementus no ārējās vides, jo tos tie var saņemt no vecajiem segmentiem ar iekšējo recirkulāciju (Bates, 1992).

Liela daļa elementu, kuri ir konstatējami nokrišņos, nonāk sūnās, kur notiek to uzkrāšanās. Pētījumi rāda, ja N nokrišņos gada laikā var sastādīt 7,3 kg / ha, tad sūnas N satur 5,0 kg / ha (Tamm, 1953). Kā redzams, tad vairāk kā 50% slāpekļa tiek absorbēts sūnās un tas nodrošina turpmāko slāpekļa apriti ekosistēmā. Tomēr pētījuma autors nav apskatījis tādu faktoru kā elementu recirkulāciju starp segmentiem (Bates, 1992).

Jūras sāļu ietekmē piejūras teritorijās nokrišņos ir paaugstināta Na^+ , Mg^{2+} un Cl^- jonu koncentrācija, savukārt iekšzemē, kur ir kontinentālāks klimats, šo trīs jonu koncentrācija nokrišņos ir zemāka nekā piejūras teritorijā. Nokrišņos esošo katjonu, kā, piemēram, Na^+ un Mg^{2+} , uzņemšanu sūnās ietekmē citu jonu klātbūtne. Arī Cl^- jonu uzņemšanu ietekmē citi joni, kas var radīt kompleksas reakcijas (Gjengedal,

Steinnes, 1990). Tātad šeit mēs varam runāt arī par dažādu elementu savstarpējo mijiedarbību.

Cd uzņemšana uz ārpusšūnas apmaiņas vietām nedaudz palielinās, ja pieaug nokrišņu pH (Wells, Brown, 1990). Tātad, jo nokrišņu lietuss ūdens pH būs augstāks, neitrālāks, jo Cd koncentrācija sūnas šūnu apmaiņas vietās būs lielāka.

1.4.2. Noskalojumi no koku vainagiem

Vispirms putekļi sakrājas uz koku vainaga un pēc tam ar lietuss ūdeņiem tie tiek noskaloti uz sūnām. Ķīmisko elementu joni var izskaloties arī no koku lapām un skujujām, kas ir nobirušas un atrodas uz sūnu paklāja (Tamm, 1953).

Ķīmisko elementu koncentrācijas sūnās atšķiras starp dažādiem meža augšanas apstākļu tipiem (Brown, Buck, 1979; Brūmelis, 1992; Brūmelis, Nikodemus, 1995), kā arī viena biotopa dažādās vietās, tas ir, sūnas atrašanās vietas attiecībā pret koku vainagu. Tieši zem vainagiem un pie koku stumbriem ķīmisko elementu koncentrācija sūnās būs daudz lielāka nekā atklātās vietās starp kokiem, kur noskalojumi no koku vainaga un stumbra uz sūnām nenokļūst (Carleton, Kavanagh, 1990). Augstākas ķīmisko elementu koncentrācijas ēnainās vietās būs tāpēc, ka tur ir ilgāks mitruma periods un paildzinās jonu absorbcijas laiks, nodrošinot ar barības vielām priekš metabolisma vajadzībām (Bates, 1989). Īpaši elementu saistīšanās uz sūnapvalka būs atkarīga no konkrētās vietas vides apstākļiem (Brown, Wells, 1988).

Ķīmisko elementu koncentrācija sūnās ietekmēs dažāda sugu (koku, krūmu un lakstaugu) sastāvs, zem kura augs pētāmās un analizējamās sūnas. Zem skuju koku audzes vainaga noskalojumu ūdens pH ir ievērojami zemāks, tas ir, skābāks, nekā zem lapu kokiem. Toties N koncentrācijas samazinās vainaga noskalotajos nokrišņu ūdeņos, bet K, Mg, S, un, jo īpaši, Na koncentrācija parasti palielinās, ja salīdzinām ar nokrišņu ūdeņiem (Brown, Bates, 1990). Augu sugu sastāvs, piemēram, ozolu mežā Velsā, vairāk nosaka tieši tos elementus, kas saistās uz sūnu ārpusšūnu apmaiņas vietām nekā tos elementus, kuri atrodas sūnas iekšienē. Arī laboratorijas pētījumi parāda to, ka metālu uzņemšana sūnās var būt saistīta ar ūdens pH. Piemēram, ja ūdens pH ir < 4, tad sūnās strauji samazinās akumulētais Zn un Cd daudzums (Gjengedal, Steinne, 1990; Wells, Brown, 1990).

1.4.3. Ķīmisko elementu uzņemšana sūnās no substrāta

Sūnas ķīmisko elementu uzņemšanā var būt neatkarīgas no sava substrāta, uz kuras tās aug (Weetman, 1968). Barības vielu uzņemšana spalvu sūnās no substrāta ir samērā limitēta, tomēr novēro nelielu kapilāro elementu kustību starp sūnām un substrātu, pie kura tās ir piestiprinātas ar rizoīdiem (Weber, Van Cleve, 1984).

Augstāk minēto atzīmē arī citi autori (Rühling, Tyler 1973; Gjengedal, Steinne, 1990), kuri raksta, ka sūnas kontakts ar zem tās esošo augsnes slāni ir visai niecīgs un to spēja uzņemt smago metālu piesārņojumu no substrāta ir nenozīmīga. Iespējams, ka augsnes ķīmiskais sastāvs spalvu sūnas var ietekmēt netieši, kas notiek caur lapu noskalojumiem vai putekļiem (Bates, 1993).

Rhizidiadelphus triquetrus katjonu līmeni maz ietekmē augsne, bet gan vides ķīmiskais sastāvs. Tas norāda uz to, ka sūnās barības vielu daudzums (sastāvs) galvenokārt ir ietekmējams ar nokrišņiem un noskalotajiem minerāļiem (Bates, 1993). Turpretī C.Tamms (Tamm, 1953) izsaka hipotēzi par to, ka, iespējams, *Hylocomium splendens* mežos ķīmiskos elementus uzņem no augsnes. Vēl ir arī citi pētījuma rezultāti, kuri parāda, ka sūnas, kas aug uz kalcifīliem substrātiem, satur pat līdz 16 līdz 17 reizēm lielāku Ca koncentrāciju nekā tajās, kuras aug uz kalcifobajiem substrātiem (Bates, 1982). Arī J.Bates un A.Farmers (Bates, Farmers 1990) savā pētījumā apskata substrāta ietekmi uz *Pleurozium schreberi*, kur konstatē, ka sūnai atrodoties uz kalcija bagāta substrāta, sūnas vecākajā daļā palielinās Ca^{2+} jonu koncentrācija. To autors skaidro ar kalcifobo sūnu zemo apmaiņas kapacitāti, kas nodrošina minimālu Ca^{2+} jonu akumulāciju audu iekšienē (Bates, 1982). Kalcifobo sūnu prasība pēc Ca^{2+} ir mazāka nekā kalcifilajām, un arī Ca^{2+} aizture ir vairāk efektīva (Brown, Bates, 1990). Savukārt kalcifilām sūnām augstā apmaiņas Ca koncentrācija nepieciešama, lai uzturētu plazmolemmas viengabalainību (Bates, 1982).

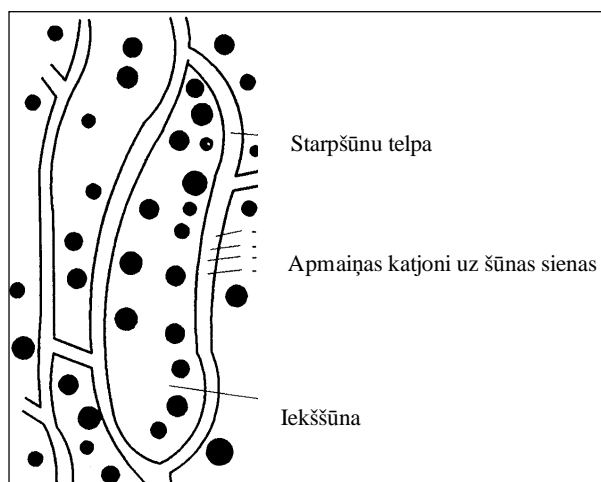
Laboratorijā sūnas mākslīgi apgādājot ar Ca^{2+} novēroja, ka apmaiņas Ca^{2+} koncentrācija kalcifilajās sūnās būtiski nepalielinājās virs dabiskā līmeņa, kamēr kalcifobajās sūnās nedaudz tika uzņemts šis pievienotais Ca^{2+} . Acīmredzot svarīga ir substrāta specifiskā ietekme gan uz kalcifilajām, gan uz kalcifobajām sūnām (Brown, Buck, 1978).

Metālu kustību labi varētu novērot, veicot sūnas pārstādīšanu, piemēram, no viena substrāta (ar sārmainu pH) uz citu (ar skābu pH). Tādā veidā konstatē, ka pēc viena gada *Rhizidiadelphus triquetrus* apmaiņas Ca samazinājās tajās sūnās, kuras

tika pārstādītas uz skābas augsnes substrātu. Tas norādīja uz to, ka kalcifilās augsnes darbība veicināja apmaiņas Ca uzkrāšanos šajā sūnas sugā. Tomēr netika novērotas nekādas izmaiņas ar K iekšsūnā, pārstādot sūnu uz skābo augsnes substrātu, savukārt Mg iekšsūnā būtiski palielinājās. Tātad šis skābais substrāts neietekmē K, kurš galvenokārt atrodas iekšsūnā (Bates, 1992), bet gan tikai Ca un Mg. Citā rakstā (Bates, 1993) aprakstot sūnu pārstādīšanu uz skābu māla augsnes substrātu no kaļķaina rendzīna augsnes novēro, ka apmaiņas Mg un K strauji palielinās, kamēr apmaiņas Ca būtiski samazinās vienīgi pēc viena gada novērojumiem. Tomēr iekšsūnās esošais K šīs sūnu pārstādīšanas izmaiņas neskar. Tātad cik pētījumu, tik arī rezultātu, jo katrā reizē atšķirīgi ir vietas pētījuma apstākļi.

1.5. Ķīmisko elementu jonu lokalizācija un kustība starp dažādām šūnu frakcijām

Bez zināšanām par katra elementa daudzumu atsevišķās sūnu šūnu lokalizācijas vietās, ir grūti pielietot šīs sūnas kā vides piesārņojuma monitoringu novērtētāju (Brūmelis *et al.*, 1999) vai arī noskaidrot bioloģisko jutību pret dažādiem vides ķīmiskiem apstākļiem (Brown, Wells, 1988), kā arī, lai novērtētu potenciāli toksisko smago metālu koncentrācijas (Brown, Bates, 1990).



1.2.attēls. *Hylocomium splendens* šūnas lokalizācijas trīs frakcijas – apmaiņas katjonu vieta uz šūnas sienas, starpšūnas telpa un iekššūna (zīmējums no Bates, 1992).

Ķīmisko elementu koncentrāciju atšķirības var būt gan starp atsevišķiem pieauguma gadu segmentiem, gan arī starp dažādām sūnu šūnu frakcijām (1.2.attēls), kuras ir sekojošas – saistītās putekļu daļiņas, uz šūnapvalka, kuras ir saistītas pie šūnas sienas uz uzlādētām apmaiņas vietām (cieši saistīts ar fizikāli ķīmiskiem

procesiem), starpšūnas telpa, kā arī iekššūna (saistīts ar bioloģiski selektīvām sistēmām šūnas iekšienē) (Brown, Wells, 1988; Brown, Bates, 1990).

Lai precīzāk varētu noteikt katra ķīmiskā elementa atrašanās vietu kādā no šūnas šūnas daļām, tad šim nolūkam tiek izmantota seriālā ekstrahēšanas metode (Brown, Wells, 1988). Lai noteiktu elementu daudzumu un koncentrācijas starpšūnas telpā, tad šūnas segments tiek ekstrahēts 40 un pēc tam vēl 30 minūtes destilētā ūdenī, lai noteiktu uz šūnapvalka – ekstrahē 40 un pēc tam vēl 30 minūtes 20 mM NiCl₂ šķīdumā, iekššūnā – 60 minūtes 1 M HNO₃ šķīdumā, bet putekļu frakcijās, - tad sadedzina un izšķīdina koncentrētā HNO₃ šķīdumā.

Šī seriālā ekstrahēšanas metode ir jau tikusi vairākkārtīgi izmantota visdažādākajos pētījumos – gan fizioloģiskajos, gan monitoringa novērojumos (Brown, Buck, 1979; Brown, Bates, 1990; Brown, Sidhu, 1992; Brown, Brūmelis, 1996; Brūmelis, Brown, 1997; Brūmelis *et al.*, 1999).

Paraugu svēršana pēc šūnas apstrādes pēc abām niķeļa hlorīda un slāpekļskābes apstrādēm dod iespēju iegūt gan kopējo sauso svaru (pēc apstrādes ar niķeļa hlorīdu), gan šūnas sienas sauso svaru (pēc apstrādes ar slāpekļskābi), kā arī aprēķināt citoplazmas svaru, kas ir kā starpība starp iepriekšējiem diviem iegūtajiem svāriem. Elektronu mikroskops parāda, ka pēc šūnas apstrādes ar skābi pie šūnas sienas ir gandrīz nenosakāmi citoplazmas pārpalikumi (Brown, Wells, 1988).

Attiecības starp šūnu sienu un protoplasta svaru var variēt atkarībā no sugas, vides apstākļiem, kuros aug šūna un attīstās tās audi (Brown, Bates, 1990). Šūnas sienas attīstība atspoguļo elementu proporcijas, kas atrodas uz šūnas sienas un iekššūnas vietās (Brown, Sidhu, 1992).

Ķīmisko elementu jonu daudzums šūnas frakcijās mainās atkarībā no segmentu vecuma un populācijas, to ietekmē arī lokālās atšķirības mikrobiotopu līmenī, kā arī jonu koncentrācijas var mainīties atkarībā no šūnas zarošanās veida (Økland *et al.*, 1997). Bez tam arī dažādi elementi atrodas dažādās šūnu šūnu frakcijas daļās. Tā, piemēram, K galvenokārt saistīts iekššūnā, savukārt Ca galvenokārt ir saistīts uz šūnapvalka vietām un iegūstams tikai NiCl₂ izskalotajā frakcijā (Brown, Buck, 1978; Brown, Bates, 1990). Arī citā rakstā (Bates, 1987) teikts, ka K pārsvarā (pat līdz 70-80%) atrodas iekššūnas frakcijā, Ca gandrīz 90% ir saistīts ar šūnas apmaiņas frakciju, savukārt gandrīz 60% no kopējā Mg daudzuma atrodas apmaiņas vietās uz šūnapvalka un 35% iekššūnā.

Liela daļa no visa K daudzuma lokalizējas tieši sūnas stumbrā (Brūmelis, Brown, 1997), savukārt izžāvēšana būtiski palielina K izskalošanos destilētā ūdens skalošanas frakcijā (Brown, Buck, 1978). Tādēļ acīmredzot veicot kādus pētījumus svarīgi būtu nepieļaut sūnas izkalšanu, un pēc iespējas mazāk radīt stresu pirms eksperimentā paredzētās ķīmiskās apstrādes. To pierāda arī tas, ka starpšūnas elementus varam iegūt vienkāršā ūdens skalošanas izvilkumā. Šīs frakcijas joni plūst no dzīvām šūnām, ja vien augs nav izžuvis sauss pirms skalošanas procedūras (Brown, Buck, 1979).

Tie elementi, kas atrodas kā nešķīstošās putekļu daļiņas, iespējams var reprezentēt gan augsnes daļiņas, kuras var korelēt ar tādiem relatīvi nešķīstošiem elementiem kā Fe, Ti, Sc un Al, gan arī tādas elementus, kas emitē no antropogēnas izcelsmes avotiem, piemēram, Pb no automašīnu izplūdes gāzēm vai Zn, Cd, Cu, Pb un citi ķīmiskie elementi no industriālām ražotnēm (Brown, Sidhu, 1992). Novērots, ka putekļu frakcijas uzrāda nemanāmu augšupejošu kustību jaunajās segmenta daļās, un tas pierāda to, ka šī putekļu frakcija uzrāda relatīvi nekustīgu daļiņu ķīmisko sastāvu (Brūmelis, Brown, 1997).

1.5.1. Ķīmisko elementu jonu lokalizācija uz šūnapvalka un katjonu apmaiņas vietas

Sūnām šūnas sienu ir nozīmīga katjonu apmaiņas kapacitātes vieta, kura var ietekmēt un nodrošināt atsevišķu jonu absorbciju (Brown, Bates, 1990).

Vairāki pētījumi par katjoniem sūnās parāda, ka polivalentie (daudzvērtīgie) katjoni ir apmaiņas formā un ir vairāk saistīti ar šūnas sienu (Rühling, Tyler, 1970), bet divvērtīgo jonu elementu (Ca, Mg un Zn) lielākās koncentrācijas ir uz šūnas sienas apmaiņas vietās (Brown, Brūmelis, 1996). Vienam katjonam saistoties uz šūnapvalka anjonu vietas notiek konkurence ar citiem katjoniem (Brown, Wells, 1988). Uz šūnapvalka saistītiem elementiem nav tieša kontakta ar citoplazmu, tādēļ arī tiem nav tiešas ietekmes uz metabolismu un sūnas attīstību (Sidhu, Brown, 1996).

Apmaiņas katjoni ir pozitīvi lādēti joni, kas satver dažādas intensitātes fiksētus negatīvus lādiņus šūnu sienas matricē. Pie apmaiņas katjoniem pieder protoni, metāli, NH_4^+ , organiskie radikāli. Normāls apmaiņas katjonu (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) daudzums var tikt pārvietots un noteikts, izmantojot augstas koncentrācijas spēcīgus robežkatjonus, kā, piemēram, Cr^{2+} vai Ni^{2+} (Bates, 1992).

Saistība ir pakļauta strikti fizikāli - ķīmiskiem likumiem (Nieboer, Richardson, 1980; Brown, Sidhu, 1992), tas ir, vienvērtīgie katjoni (K^+ un Na^+)

mazāk efektīvi saglabājas šūnās, salīdzinot ar divvērtīgajiem katjoniem (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} u.c.). Tas atspoguļo to, kāds ir līdzsvars starp pievienoto elementu koncentrāciju un apmaiņas vietām uz šūnas sienas (Brown, Bates, 1990). J.Bates (Bates, 1992) raksta, ka, piemēram, tādām elementam kā Mg apmaiņas vieta ir kā rezerves uzkrāšanās vieta šūnā.

Izkalšana palielina plazmatiskās membrānas caurlaidību un tai var būt būtiska loma jonu transportā (Brown, Bates, 1990) starp dažādām šūnu frakcijām. No šūnas caur membrānu joni ieiet starpšūnas telpā un pēc tam var notikt augšupejoša vai lejupejoša kustība.

Elementu koncentrācija apmaiņas vietās ir stipri vien atkarīga no vides apstākļiem. Apmaiņas vietu lielums un tās raksturs ir atkarīgs no sugas, segmentu vecuma un augšanas apstākļiem (Brown, Bates, 1990). Tas nozīmē, ka katram pētījamam vispirms ir jāpārbauda sava eksperimenta konkrētās vietas esošie apstākļi, jo tos grūti salīdzināt ar citiem pētījumiem, kurās var būt atšķirīgi eksperimentā esošie vides apstākļi. Ca^{2+} daudzums apmaiņas vietās kalcifīlo sūnu šūnās ir 3-4 reizes lielāka nekā tas ir kalcifobās sūnās. Tā kā kalcifobām sūnām ir zema prasība pēc Ca^{2+} , tad arī aizture ir efektīvāka nekā kalcifilajām sūnām (Bates, 1982). Tas domājams ir tāpēc, ka kalcifilām sūnām ir lielāks šūnu tilpums un plānākas šūnu sienas.

1.5.2. Ķīmisko elementu joni iekššūnas frakcijā

Uzņemšanas tempi iekššūnā ir ievērojami lēnāki nekā elementiem saistoties ārpusšūnas vietās uz šūnapvalka, un iespējama atkarība no tās enerģijas, kura nodrošina jonu transporta procesus (Brown, Bates, 1990). Uzņemšanu iekššūnā limitē šūnas plazmatiskā membrāna, kura nodrošina selektivitātes funkciju (Wells, Brown, 1987). Pētījuma vietas ķīmiskā sastāva izmaiņas atspoguļosies uz šūnas sienas, bet tās netiks novērotas šūnas iekšienē.

Iekššūnu elementi var tikt atbrīvoti, sagraujot plazmatisko membrānu ar izšķīdināšanu vai ar spēcīgu ķīmisku sagraušanas procedūru, piemēram, tās vārot (Bates, 1992). Elementi, kas atrodas šūnā, potenciāli tieši var ietekmēt metabolismu (Brown, Brūmelis, 1996) un tiem ir lielāka bioloģiskā nozīme sūnās nekā elementiem, kuri atrodas uz šūnapvalka ārējās virsmas (Brown, Bates, 1990).

Kālijs ir tas ķīmiskais elements, kurš ir veselīgā sūnā un vienmēr galvenokārt lokalizējies iekššūnā (Brūmelis, Brown, 1997), un parāda to, cik aktīvi ir metaboliskie procesi, kā arī parāda sūnas veselības stāvokli kopumā. Ja salīdzina kālija

koncentrācijas jaunajos un vecajos sūnas segmentos, tad daudz lielākās koncentrācijās tas ir jaunajos segmentos, kuriem, pirmkārt, vēl nav tik nobriedušas šūnu sienas, un, otrkārt, mazāka ir segmenta biomasa.

Kālija līmenis lielāks ir tieši rudens periodā (Bates, 1989), un iekššūnā kālija savu maksimumu sasniedz oktobrī, kas reprezentē izskalošanos no koku vainaga. Kā redzams, tad atšķirības novērojamas arī dažādos veģetācijas perioda posmos.

Pēc iekššūnu jonu zudumiem var ļoti labi novērtēt šūnas membrānas bojājumus. Daļa iekššūnās esošais kālija izzūd pēc izkalšanas stresa. Dažas sūnu sugas ir ļoti ekstremāli jutīgas pret izkalšanu, kā, piemēram, avotu sūna *Fontinalis antipyretica* (parastā avotsūna), bet sauso vietu sūna *Racomitrium lanuginosum* (viļņainā sarmenīte) ir ļoti rezistenta suga pret izkalšanu. Sūnas izkalšanas rezultātā magnija saglabāšanas tendence iekššūnās būs tāda pati kā kālijam, tomēr magnijs ir daudz mazāk mobils elements nekā kālijs (Brown, Buck, 1979). Tātad vienmēr pētījumos jāņem vērā tas, kāda ir konkrētās sugas izturība pret izkalšanas stresu, kas var rasties transportēšanas rezultātā.

Tā ieliekot sausu izkaltētu jutīgu sūnu ūdenī laboratorijas apstākļos ir par pamatu būtiskiem K zudumiem šajā skalošanas šķīdumā. Turpretim citi šķīstošie iekššūnu elementi, piemēram, Mg, arī tiek atbrīvoti no iekššūnas, tomēr tie drīzāk saistās pie sūnas sienu apmaiņas vietām nekā atbrīvosies vidē. Laboratorijas pētījumi parāda, ka uzglabāšana pie augsta relatīvā mitruma, pirms novieto sauso augu šķīdumā, samazināsies iekššūnas katjonu zudumi (Brown, Buck, 1979). Tomēr nav zināms kā mitruma režīms pirms lietus ietekmē elementu aizturi lauka apstākļos (Brown, Bates, 1990).

Tomēr viens ir skaidrs, ka K, kas atrodas iekššūnā, būtiski nepārvietojas starp sūnu šūnu frakcijām, pat ja eksperimentāli notiek mākslīga vides maiņa. Vienīgais, kur notiek jonu kustība, ir starp starpšūnas telpu un apmaiņas vietām uz šūnapvalka.

Elementu koncentrācijas iekššūnā un ārpusšūnas vietās uz šūnapvalka samazinās, pieaugot segmentu lielumam. Tas iespējams ir tāpēc, ka jonu apmaiņas vietu skaits ir zemāks uz sausā svara vienību lielākos un nevis mazākos segmentos, jo ir zemākas virsmas un sausā svara attiecības (Økland *et al.*, 1997), un to sauc par dilūciju, kas norāda uz sūnas segmenta svara nelielām izmaiņām.

Sūnu sugas no mitrākām vietām ir vairāk sukulentas ar lielāku iekššūnas tilpumu un šūnas sienas attiecību, saturot vairāk šķīstošo jonu uz sausās masas bāzes vienību (Brown, Buck, 1979).

1.5.3. Ķīmisko elementu koncentrāciju atšķirības starp segmentu vecumiem

Ķīmisko elementu koncentrāciju sūnu galotnēs vairāk ietekmē nokrišņi (Brown, Buck, 1978). Tas tāpēc, ka, kā jau iepriekšējās nodaļās aprakstīts, nokrišņi ir galvenais ķīmisko elementu piegādātājs sūnām.

Polivalento jeb daudzvērtīgo katjonu koncentrācijām ir tendence palielināties līdz ar sūnu segmentu vecumu (Tamm, 1953; Rühling, Tyler, 1970), kā tas ir, piemēram, ar Ca, Mg un Zn elementu koncentrācijām, kad tās lielākas ir *Hylocomium splendens* vecākos segmentos (Brown, Brūmelis, 1996). Savukārt citā rakstā (Skre, Oechel, 1979) teikts, ka N, P, K, Mg akumulējas jauno segmentu *H. splendens* lapās, to augšanas periodā, kamēr Ca akumulējas šīs pat sugas vecajās lapās.

Vēl apskatot elementu izplatību pa atsevišķām sūnu šūnu frakcijām zināms, ka Ca un K daudzums vairāk ir veco *Rhytidiadelphus squarrosus* (parastā spuraine) daļās uz šūnapvalka, bet Mg vienmērīgāk sadalās starp visu sūnu segmentu šūnu daļām (Wells, Brown, 1996). Apikālās attīstošās šūnas ir bagātākas ar tādiem citoplazmas elementiem kā K (Bates, Farmer, 1990), turpretim Ca uz šūnas sienas pieaug līdz ar sūnas vecumu. Atmirušie audi var saistīt katjonus dēļ jonu apmaiņas (Brown, Bates, 1990), jo šie elementi galvenokārt atrodas uz šūnu sienu apmaiņas vietām. Un tas tāpēc, ka atšķirīga ir šūnas sienas uzbūve jauniem un veciem segmentiem (Wells, Brown, 1987; Brown, Brown, 1990). Arī laboratorijas eksperimenti parādīja, ka metālu celulārā šūnu lokalizācija izmainās līdz ar sūnas augšanu (Brown, Brown, 1990). Tomēr nevar salīdzināt lauku un laboratorijas pētījumus, jo lauku eksperimentos ir dažādi nezināmi un nekontrolējami kompleksi blakus apstākļi (Sidhu, Brown, 1996).

Atšķirīgs ķīmisko elementu sadalījums pa pieauguma gadiem var būt arī starp dažādām sūnu sugām. Tā, piemēram, *H. splendens* un *Pl. schreberi* Fe, Zn, Pb vairāk ir tieši brūnajos segmentos nekā zaļajos segmentos, savukārt Cu atšķirības starp brūno un zaļo daļu *Pl. schreberi* ir nebūtiskas (Pakarinen, Rinne, 1979).

Kālijs ir ļoti kustīgs elements, kas, it īpaši, izpaužas mainoties mitruma un sausuma režīmam. Kālijs var strauji pārvietoties no iekššūnas uz šūnapvalka virsmu, un otrādi. Tomēr, ja salīdzinām jaunāko G0 segmentu ar pirmo nobriedušo G1 segmentu, tad ir novērots, ka G1 segmentā pārmaiņas nenotiek tik būtiskos apmēros kā tas ir G0 segmentā. Tas ir saistīts ar jau minētiem nenobriedušajiem audiem jaunākajā sūnas segmentā (Brown, Brūmelis, 1996; Sidhu, Brown, 1996).

1.5.4. Ķīmisko elementu jonu kustība starp sūnas segmentiem

Zināms, ka ķīmisko elementu joni, tai skaitā gan minerālie barības vielu elementu joni, gan smago metālu joni, var pārvietoties starp spalvu sūnas pieauguma gadu segmentiem (Bates, 1992), kā arī tie var izskaloties izskalošanās rezultātā, ko var ietekmēt meteoroloģiskie apstākļi un ar to saistītā sezonālā sūnas augšana un attīstība (Skre, Oechel, 1979; Bates, Farmer, 1990; Brown, Brown, 1990; Bates, 1992).

Metālu jonu kustība var noritēt visdažādākajos virzienos: no jauniem uz veciem segmentiem (Brown, Brown, 1990; Wells, Brown, 1996), no veciem uz jauniem segmentiem (Bates, Farmer, 1990; Brown, Bates, 1990; Økland, 1995; Sidhu, Brown, 1996; Wells, Brown, 1996; Brūmelis, Brown, 1997; Eckstein, Karlsson, 1999; Eckstein, 2000), kā arī starp sūnu stāvu un zem sūnas esošo substrātu (Brown, Bates, 1990; Bates, 1992; Bates, Farmer, 1996). Vēl bez tam ir iespējama arī barības vielu recirkulācija starp sūnu pieauguma gadu segmentiem (Bates, 1987; Brown, Bates, 1990; Wells, Brown, 1996).

Ievērojami var atšķirties arī dažādu ķīmisko elementu mobilitāte sūnās. Piemēram, Pb un Cu ir mazāk kustīgi nekā Zn, Ca un Ni (Brown, Brown, 1990; Sidhu, Brown, 1996). Savukārt G.Brūmelis un D.Brauns (Brūmelis, Brown, 1997), pētot *Hylocomium splendens* raksta, ka elementu mobilitāte ir sarindojama sekojošā secībā: Zn<Ca<Mg<K. Līdzīgus rezultātus ieguva J.Wells un D.Brauns (Wells, Brown, 1996) *Rhytidiadelphus squarrosus*, kur K, Mg un Ca kustīgumu sarindoja sekojošā kārtībā: K>Mg>Ca, un šajā jau iepriekš minētajā sūnā Pb un Cu ir mazāk kustīgi nekā Zn un Ni (Sidhu, Brown, 1996).

Vecākie segmenti ir tie, kas uztur ūdens balansu un veic kapilāro ūdens transportu uz jaunajiem augošajiem punktiem (Eckstein, 2000). Laboratorijas apstākļos ir novērots arī tas, ka ir dažādu smago metālu (Cu, Pb un Zn) augšupejoša kustība uz *Rh. squarrosus* jaunām un tikko izaugušām daļām (Brown, Brown, 1990; Brown, Sidhu, 1992; Sidhu, Brown, 1996).

N, P, K un Mg akumulācija *Hylocomium splendens* jaunajos segmentos daļēji notiek intensīvas augšanas laikā, kas norāda uz to, ka šie elementi tomēr var pārvietoties no vecajiem segmentiem (Skre, Oechel, 1979). Piemēram, K apoplastiskā kustība uz augšu iespējams notiek tikai tad, kad šis elements dabisko procesu rezultātā iziet no vecāko audu protoplastiem (Wells, Brown, 1996).

Lauka pētījumos novērota ir Ca augšupejoša kustība uz jaunākām *Pleurozium schreberi* daļām (Bates, Farmer, 1990), kur sūna ir augusi uz kalcifila substrāta. Tomēr autori uzskata, ka apikālās *Pl. schreberi* daļas ir izolētas no augsnes ķīmiskās ietekmes.

Vēl ir arī bijuši tādi lauku pētījumi, kuri parāda, ka notiek arī slāpekļa akropetāla kustība no segmenta uz segmentu (Økland, 1995; Eckstein, Karlsson, 1999). Elementu transports galvenokārt ir iekšējs un tas pamatā var būt neatkarīgs no laika apstākļiem, kuri būtiski / ievērojami variē starp pētāmajiem gadiem (Eckstein, 2000). Barības vielas drīzāk uzņem nobriedušie segmenti, bet pēc tam, ar augšupejošu plūsmu, jaunie segmenti tās saņem no vecajiem segmentiem (Wells, Brown, 1996; Brūmelis, Brown, 1997; Eckstein, Karlsson, 1999), un nevis elementus saņem ar nokrišņiem. Tas, it īpaši, izpaužas rudens periodā, kad jaunais segments straujāk ir sācis savu attīstību.

Augšupejošo apoplastisko barības vielu plūsmu lauka apstākļos starp lietus periodiem var izskaidrot ar straujo zaru attīstību, kas parasti notiek ar *H. splendens* rudens periodā (Brūmelis, Brown, 1997). Šajos sausajos periodos, kas ir starp lietus periodiem, domājams, ka augšupejošā ūdens plūsma ir tieši uz vertikāli sakārtotajiem jaunajiem segmentiem un nevis uz horizontālā plaknē novietotajiem nobriedušajiem segmentiem.

Turpretim laboratorijas eksperimentā novēroja to, ka apikālā augšana var noritēt arī tad, ja *Rhytidiadelphus squarrosus* ir atdalīta no substrāta un tā no augšas tiek apgādāta vienīgi ar destilēto ūdeni. Tātad vienīgais iespējamais barības vielu avots priekš jaunākās sūnu daļas ir vecākās sūnas daļas (Brown, Bates, 1990, Brūmelis, Brown, 1997). Tomēr autori neuzskata, ka ir jonu transports no brūniem, bet joprojām dzīviem un metaboliski aktīviem, segmentiem. Šie eksperimenti pierādīja arī to, ka ir ķīmisko elementu jonu transports starp zaļajiem segmentiem, un ir iespējama arī iekšējā minerālvielu recirkulācija. Iekšēja vielu recirkulācija iespējams spēlē būtisku lomu barības vielu iegūšanā, kas nodrošina augošās *Rh. squarrosus* apikālās daļas attīstību (Wells, Brown, 1996).

Apskatot *Rh. squarrosus* ir novērots arī tas, ka Ni, Zn pārvietojas no apikālās daļas uz bazālajiem segmentiem, tas ir, notiek lejupejoša ķīmisko elementu plūsma, savukārt Pb lielākoties ir saistīts pie sūnas sienu apmaiņas vietām un ir nekustīgs, bet Cu ir ar vidēju kustības tendenci. Reizēm lejupejoša kustība ir saistīta arī ar lietus periodu (Brown, Brown, 1990).

Svarīgi ir zināt segmentu biomasu, lai labāk varētu iegūt informāciju par ķīmisko elementu daudzumu un nevis par koncentrācijām. Acīmredzot, segments ar zemu kopējo biomasu, bet ar lielu elementa koncentrāciju var potenciāli apgādāt jauno segmentu ar tādu pašu elementu daudzumu kā tāds segments, kuram ir liela biomasu, bet ir zemas koncentrācijas. Transportējamo elementu daudzums ir atkarīgs no kopīgā tā daudzuma (Brūmelis, Brown, 1997).

Lauku apstākļos novērtēt gan augšupejošo, gan lejupejošo elementu kustību ir visai sarežģīti (Brown, Brown, 1990), jo šo kustību un tās intensitāti var ietekmēt meteoroloģiskie apstākļi.

1.6. Sūnu izmantošana monitoringa pētījumos

Atmosfēras vides piesārņojuma kontrole pamatojās uz reģionālā un globālā monitoringa principiem, kad tiek izmantoti stacionārie un pārvietojamie piesārņojuma novērošanas punkti, tomēr tie ne vienmēr dod mums vispusīgu informāciju par piesārņojuma izplatības tendencēm un areāla lielumu. Tāpēc arvien lielāku nozīmi vides piesārņojuma novērtēšanā ieņem bioģeoķīmiskās metodes.

Lai novērtētu smago metālu nosēdumus dažādās ekosistēmās, tad šos rezultātus var iegūt gan izanalizējot ievāktos augus, kuri aug tajā vietā, kur gribam novērtēt vides piesārņojumu, gan arī veikt transplantēšanas jeb pārstādīšanas eksperimentu, par piesārņojuma uzkrājējiem izmantojot ķērpjus un / vai sūnas (Johnsen, 1981). Autors raksta arī, ka vajadzīgi ir septiņi mēneši, lai nepiesārņotais paraugs piesārņotajā parauglaukumā sasniegtu to līmeni, kāds ir piesārņotajā vidē augošais paraugs. Tomēr vai tas tā ir vai nav, vēl ir jāpierāda un ir diskutējams jautājums. Tas, iespējams, varētu būt krietni vien atkarīgs gan no sezonas nokrišņu daudzuma un vietas izvēles, gan arī no sūnu sugas īpatnībām un vecuma.

Sūnas ir tās, kuras ļoti plaši tiek izmantotas kā atmosfēras vides piesārņojuma nosēdumu bioindikātorus (Rühling, Tyler, 1970; Rühling, Tyler, 1973; Rinne, Mäkinen, 1988; Rühling *et al.*, 1992; 1996; Brūmelis, Nikodemus, 1995; Nikodemus, Brūmelis, 1998).

Smago metālu nosēdumu sūnu monitoringus izmanto, lai noteiktu lokālos piesārņojuma avotus (Brūmelis *et al.*, 1999), apskatītu reģionālās atšķirības atmosfēras nosēdumos (Rühling, Tyler, 1973) un novērtētu pārrobežu piesārņojuma pārneses apjomus un identificētu to izplatības areālus (Rühling *et al.*, 1992; 1996), kā

arī, lai novērtētu izmaiņas ilgstošā laika periodā, nosakot ilgtermiņa akumulāciju (Nikodemus, Brūmelis, 1998).

Lai noteiktu nokrišnos esošo elementu teritoriālo sadalījumu, izmanto gan jau iepriekš minētās sūnas, gan arī augsnes nedzīvās zemsegas slāni (Thöni *et al.* 1996; Nikodemus, Brūmelis, 1998).

Kāpēc sūnas izmanto monitoringa pētījumiem?

1. Sūnu paraugu ievākšanas process nav sarežģīts un ir samērā lēts (Brūmelis, 1992), un vēl bez tam šī sūnu bioindikatīvā metode ir samērā jutīga, lai noteiktu vides piesārņojuma līmeni (Rühling, Tyler, 1973).

2. Novērotas būtiskas ķīmisko elementu sezonālo variāciju atšķirības nokrišnos, bet to nekonstatē sūnās (piemēram, Al un Zn), kas norāda, ka sūnas dod drošu vidējo rezultātu ilgākā laika periodā un neseko nosēdumu izmaiņām (Thöni *et al.*, 1996).

3. Atšķirībā no O horizonta (augšnes nedzīvā zemsega), kurš uzrāda ilgstošu piesārņojuma akumulāciju (Nikodemus, Brūmelis, 1998), sūnās iegūtie ķīmisko elementu koncentrāciju dati reprezentēs pēdējo trīs līdz piecu gadu situāciju pētāmajā apkārtnē (Brūmelis, 1992).

4. Sūnu metode ir piemērota arī tādēļ, ka, pirmkārt, sūnas galvenokārt barības vielas var uzņemt no nokrišņiem, otrkārt, metāli sūnās tiek absorbēti un uzkrāti, un visbeidzot, treškārt, citu, piemēram, substrāta, ķīmisko elementu apgādes avotu ietekme ir visai minimāla (Tamm, 1953; Brūmelis, 1992; Brūmelis, Nikodemus, 1995; Rinne, Mäkinen, 1988; Rühling, Tyler, 1973; Schaug *et al.*, 1990). Tomēr citi autori (Pakarinen, Rinne, 1979) raksta, ka ķīmisko elementu koncentrāciju var ietekmēt arī klimats, augu nobiru daudzums un sastāvs, sajaukums ar atmirušām sūnas daļām un iespējamais minerālo augsnes daļiņu piejaukums.

5. Metālu piesārņojuma kartēšanai vispiemērotākās ir divas zemsedzes spalvu sūnas - *Hylocomium splendens* un *Pleurozium schreberi* (Rinne, Mäkinen, 1988), jo tās ir vienas no visizplatītākajām sugām boreālajā biotopā un, jo īpaši, *H. splendens*, mēs varam precīzi noteikt pieauguma gadu segmentus (Berg *et al.*, 1995a; Berg *et al.*, 1995b), kas ļauj objektīvāk novērtēt vides piesārņojuma līmeni katrā konkrētajā gadā.

6. Metālu koncentrāciju līmenis būtiski neatšķiras starp abām zemsedzes spalvu sūnām (*Hylocomium*, *Pleurozium*), un arī cita sauso vietu sūna *Dicranum majus* (lielā divzobe) uzrāda līdzīgas koncentrācijas, izņemot, iespējams, Fe (Pakarinen, Rinne, 1979). Salīdzinot abas šīs spalvu sūnu sugas konstatēts, ka tomēr ir

tikai dažas atšķirības starp atsevišķām elementu koncentrācijām. Tā, piemēram, Cu saturs vidēji par 22% augstāks ir *H. splendens*, bet Zn – aptuveni par 8% vairāk ir *Pl. schreberi*, savukārt vidēji Mn un Mg koncentrācijas ir aptuveni vienādas abās sugās. Tomēr šīs atšķirības ir mazas, salīdzinot ar reģionālajām atšķirībām visā Somijā (Rinne, Mäkinen, 1988). Cits pētnieks H.Ross (Ross, 1990) raksta, ka *H. splendens* un *Pl. schreberi* Cd, Mn, Zn un Cr koncentrācijas ir līdzīgas, bet Cu, Fe, Pb, Ni un V ir par 14-24% vairāk *H. splendens* nekā *Pl. schreberi*.

Tomēr domājams, ka šie dati var atšķirties citu valstu pētījumos, kur ir cits nokrišņu režīms un līdz ar to citi sūnu augšanas apstākļi, un dažādu metālu uzņemšanas un akumulācijas īpatnības.

Kādas var būt monitoringa pētījumu problēmas?

1. Tālu izplatošiem elementiem (V, Cu, Zn, Cd, Pb u.c.) ir būtiska korelācija starp sūnās esošo ķīmisko sastāvu un nokrišņu ķīmisko sastāvu, ko sūnas absorbē: 40 - 55 % V, 50 % Cu, 35 % Zn, 50 - 65 % Cd, bet Pb absorbē līdz pat 100 % (Berg *et al.*, 1995a). Toties nepastāv korelācijas starp Mn, Cr un Ni mitriem nosēdumiem un metālu koncentrācijām sūnās (Ross, 1990). Acīmredzot ir vēl kāds faktors bez nokrišņiem, kas ietekmē šo ķīmisko elementu koncentrāciju līmeni sūnās.

2. Svarīgi ir novērtēt nokrišņu daudzumu konkrētajā pētāmajā teritorijā, tas ir, jo vairāk būs nokrišņu, jo lielākas būs arī ķīmisko elementu koncentrācijas sūnās (Berg *et al.*, 1995a). Vēl bez tam kā iespējama papildus metālu avots sūnās var būt sniega segas ilgums (Rühling, Tyler, 1973).

3. Atsevišķi jāapskata piekrastes daļa un kontinentālā daļa, kur ir mazāka jūras sāļu ietekme un konkurence ar citiem elementiem (Berg *et al.*, 1995a), jo, piemēram, Cu un Zn koncentrāciju samazina jūras sāļu jonu (Na^+ , Mg^{2+} un Cl) klātbūtne (Gjengedal, Steinnes, 1990).

4. Dažādu ķīmisko elementu (Cu, Pb, Fe, Mn, Cr, Ni u.c.) koncentrācijas sūnās būtiski atšķiras starp dažādiem mežu augšanas apstākļu tipiem. Lielākās ķīmisko elementu koncentrācijas ir konstatētas tām sūnām, kuras augušas *Oxalidosa* tipā (vēris), kur dominē *Picea abies*, savukārt zemākās - ar barības vielām nabadzīgajā *Cladinosa – Callunosa* (sils) meža augšanas apstākļu tipā (Brūmelis, 1992; Brūmelis, Nikodemus, 1995). Tas tāpēc, ka silā, un arī mētrājā, ir raksturīgs neliels pirmā koku stāva vainaga blīvums un rets ir arī pamežs. Tādēļ visus

parauglaukumus bioindikatīviem pētījumiem būtu jāizvēlas vienādos meža augšanas apstākļu tipos (Brūmelis, 1992).

5. Augsne ir telpiski heterogēna un to var ietekmēt klimats, ģeoloģiskie un bioloģiskie procesi. Augsnei var būt nozīme laika vienībā, jo mainās metāla jonu daudzums, kas ir izšķīdis minerālā augsnē un ir pieejams augstākiem augiem, no kuriem savukārt elementi ar izskalojumiem nonāk sūnās. Piemēram, Fe ir viens no tiem ķīmiskiem elementiem, kurš vispirms ar sausiem nosēdumiem nonāk uz koku vainaga un tikai tad tas tiek noskalots nokrišņu laikā. Tādēļ būtiski ir veikt sūnu paraugšanu starp koku vainagiem (Rühling, Tyler, 1973; Ross, 1990).

6. Elementu uzņemšana sūnās parasti tiek attiecināta uz kopīgo metālu daudzumu (Gjengedal, Steines, 1990), tomēr ir viedoklis (Brown, Brūmelis, 1996), ka varētu iegūt papildus informāciju, ja noteiktu ķīmisko elementu koncentrācijas atsevišķās sūnu šūnu frakcijās (iekššūnas, starpšūnas telpas un ārpus šūnas apmaiņas vietas), kā arī putekļu frakcijas daļiņās. Tādēļ, lai noteiktu vides piesārņojumu, tiek ieteikts izmantot seriālo ekstrahēšanas metodi (Brown, Wells, 1988). Kā viens no tādiem pētījumiem bija eksperiments, kurā *Hylocomium splendens* tika ievāktas pie metalurģijas rūpnīcas Liepājas pilsētā un tās tuvākajā apkārtnē, un tajā apskatīja Zn koncentrācijas dažādās *H. splendens* segmentu šūnu frakcijās (Brūmelis *et al.*, 1999). Tomēr šī metode ir laika ietilpīga, finansiāli dārga un tādēļ monitoringā, kas aptver visu Latvijas teritoriju, tā nav realizējama.

7. Elementu koncentrācija ir atkarīga no sūnas sausā svara (augšanas temps) un no zarošanās veida, tādēļ acīmredzot būtu jāņem vērā reģionālās atšķirības, kas var ietekmēt sūnu slāņa produktivitāti (Rühling, Tyler, 1973).

8. Atšķirības rezultātos var dot analizēšanas darbs dažādu valstu laboratorijās (Steinnes *et al.*, 1997), kā arī tas, ka visās valstīs nebūs vienādi mežu augšanas apstākļu tipi, jo būs atšķirīgi biomi (Brūmelis, 1992), un tas, domājams, varētu dot vislielākās atšķirības starpvalstu pētījumos.

2. *Hylocomium splendens* augšanas dinamika

IEVADS

Vides apstākļi ir tie, kas var ietekmēt sūnas augšanu (Økland, 1997), un ir novērtēta dažādu abiotisko faktoru ietekme uz sūnas augšanu un attīstību, piemēram, ūdens (Busby *et al.*, 1978), temperatūras (Hanslin, 1999), gaismas intensitātes un nokrišņu daudzuma (Weetman, 1968). Jau iepriekš ir bijuši pētījumi, kuros ir veikti dažādu sūnu parametru mērījumi (Bengtson *et al.*, 1982; Økland, 1997), tomēr līdz šim nav ticis novērtēts segmentu virsmas laukums un tās korelācija ar dažādiem sūnas lieluma parametriem.

Zemsedzes spalvu sūnas *Hylocomium splendens* augšanas dinamikas noteikšana, izmantojot dažādu parametru (segmentu stumbra un zaru) mērīšanu, kā arī ķīmisko elementu (Ca, Mg un K) koncentrācijas noteikšana tika realizēta viena pilna veģetācijas perioda laika posmā. Šo pētījumu bija nepieciešams veikt arī tādēļ, lai pēc tā rezultātiem varētu novērtēt un ieteikt to, cik daudz pieauguma gadu segmentus būtu nepieciešams ievākt sūnu biomonitoringa vajadzībām.

Pētījuma mērķis bija noskaidrot to, kurš no sūnu segmentu parametriem visbūtiskāk korelē ar segmentu virsmas laukumu.

Pētījumā tika izvirzīti sekojoši uzdevumi:

1. novērtēt sūnas segmentu augšanas dinamiku visā veģetācijas periodā;
2. izmērīt katra segmenta stumbra un pirmās kārtas zaru garumu;
3. veikt virsmas laukuma aprēķināšanu un noteikt virsmas laukuma korelāciju ar citiem sūnu parametriem;
4. noteikt ķīmisko elementu (Ca, Mg, K) koncentrācijas katrās segmentā un katrā sūnas frakcijā.

2.1. MATERIĀLS UN METODES

2.1.1. Pētījuma vietas apraksts

Lai realizētu šo pētījumu, tika izveidots parauglaukums, no kura tad arī ievāca *Hylocomium splendens*. Parauglaukums atradās sausā priežu mežā apmēram 10 km uz ziemeļrietumiem no Ikšķiles pilsētas centra. Parauglaukums izvietots damakšņa mežu augšanas apstākļu tipā, kur auga *Vaccinium myrtillus*, *Oxalis acetosella* un citi augi. Zem sūnām esošais augsnes nedzīvās zemsegas O horizonta humusa sadalīšanās tips bija *mor*, kas ir vāji sadalījies humuss.

2.1.2. Sūnu paraugu ievākšana

Spalvu sūnu *Hylocomium splendens* ievāca Ikšķiles pilsētā ar lauku teritoriju katru nedēļu no 1999.gada 11.aprīļa līdz 2000.gada 22.maijam, izņemot no 1999.gada 13.decembra līdz 2000.gada 27.martam. Pavisam kopā bija 38 paraugu ievākšanas reizes.

Sūnu paraugus centāmiem ņemt tikai tādās vietās, kur nebūtu nokrišņu ūdeņu noskalojumu no koku vainaga ietekmes uz ķīmisko elementu koncentrācijām sūnās, jo tiek uzskatīts, ka ķīmisko elementu koncentrācijas sūnās izmainās atkarībā no tā, kur atrodas ievācamā sūna attiecībā pret koku un tā vainagu (Rühling *et al.*, 1992).

Katrs sūnas parauga lielums bija apmēram 20 x 20 cm liels. Pieauguma segmentu skaits *H. splendens* bija pieci, kas arī atspoguļo pēdējos piecus gadus no šīs spalvu sūnas dzīves, un tie tiek apzīmēti sekojoši – G0, G1, G2, B1 un B2 (Callaghan *et al.*, 1978).

Pēc sūnu paraugu ievākšanas tie polietilēna maisiņos pāris stundu laikā tika aizvesti uz laboratoriju, kas atrodas LU Bioloģijas fakultātes Botānikas un ekoloģijas katedrā.

2.1.3. Sūnu paraugu laboratoriskā apstrāde

Kad sūnas tika atvestas uz laboratoriju, tad vispirms tās 24 stundas aklimatizējām jaunajos vides apstākļos, kur bija istabas temperatūra. Izvēlējamies 20 nebojātus, veselus sūnu ģenetus (Callaghan *et al.*, 1978). Pēc tam no katra ģeneta tika atdalīti pieci segmenti jeb rameti, kurus ar līmlentu (Scotch) piestiprināja pie A4 formāta lapām un nopresēja. Katram segmentam izmērījām stumbra garumu, kura mērīšanas metode ir jau iepriekš aprakstīta (Bengtson *et al.*, 1982), kā arī vēl papildus katrā no segmentiem tika izmērīti katra pirmās kārtas zariņa garums.

Pēc mērīšanas visus šos segmentus 24 stundas žāvēja pie 80°C grādiem un pēc tam nosvēra. Pēc nosvēršanas segmenti atpakaļ tika pielikti pie lapas un skenēti (Hp Scanjet 7400c), lai veiktu laukuma virsmas aprēķināšanu (Scion Image for Windows datorprogramma).

Bez jau minētās sūnu segmentu parametru mērīšanas, vēl veicām ķīmisko elementu (Ca, Mg, K) koncentrāciju noteikšanu katrā no *Hylocomium splendens* segmentiem. Piecos atkārtojumos pa 2, 5, 10 vai 12 atsevišķiem sūnu segmentiem, atkarībā no tā, cik liels bija šis segments, tas ir, jo lielāks segments, jo mazāks to skaits, un otrādi, tie tika ekstrahēti izmantojot seriālo ekstrahēšanas metodi (Brown, Wells, 1988), kura detalizēti ir aprakstīta literatūras apskata 1.5.nodaļā. Elementu koncentrācijas tika noteiktas trijās sūnu šūnu frakcijās: starpsūnas telpā, ārpusšūnā un iekššūnā.

Ca, Mg un K absorbcijas ekstrakcijās tika noteiktas, izmantojot liesmas atomu absorbcijas spektrofotometru ar acetilēna pievadi (Varian – Techtron Models 1100/1200).

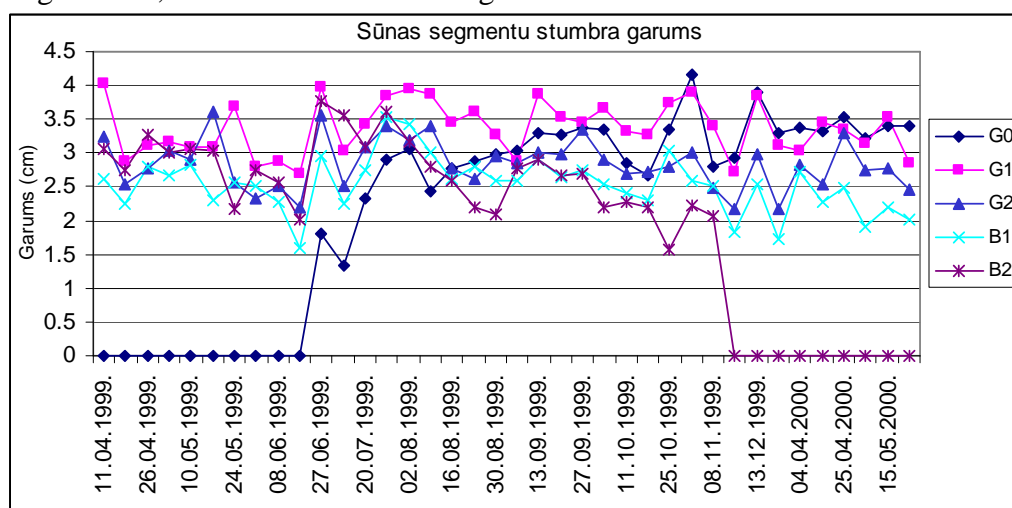
2.2. REZULTĀTI

Tā kā šis pētījums tika veikts vairāk nekā viena gada garumā un tas bija ne tikai vienu pilnu veģetācijas periodu, bet arī nedaudz no nākošā gada veģetācijas sezonas sākuma līdz pat jūnijam, tad jebkurš no segmentiem nākošajā gadā bija par vienu pieauguma segmenta gadu vecāks. Tātad, ja, piemēram, pētījuma sākumā segments bija savā pirmajā attīstības gadā un apzīmēja ar G0, tad nākamā gada pavasarī tas pats segments izauga kā G1 segments, bet turpināja saukt par G0 segmentu. Tas pats notika arī ar pārējiem vecākajiem segmentiem, kur G1 izauga par G2 segmentu, G2 - par B1 un B1 - par B2 pieauguma gada segmentu.

2.2.1. Sūnas segmentu stumbra garums

Visa pētījuma laikā tika novērotas segmentu stumbra garuma izmaiņas (2.1.attēls). Pirmā jaunākā pieauguma gada G0 segmenta stumbra garums strauji pieauga jūnija – jūlija periodā ($R^2 = 0,14$). Turpretim B1 un B2 segmentiem notika būtiska segmenta stumbra garuma samazināšanās, attiecīgi $R^2 = 0,12$ un $R^2 = 0,19$, savukārt G1 un G2 segmentu stumbra garums būtiski nemainījās - G1 ($R^2 = 0,01$) un G2 ($R^2 = 0,01$).

Vidējie segmentu stumbra garumi pa atsevišķiem segmentiem pēc aprēķināšanas bija sekojoši - G0 - 3,18 cm; G1 - 3,50 cm; G2 - 2,95 cm; B1 - 2,43 cm un B2 - 2,73 cm. Pēc šiem datiem redzam, ka visgarākie segmentu stumbri bija G1 segmentam, bet īsākie - B1 un B2 segmentiem.

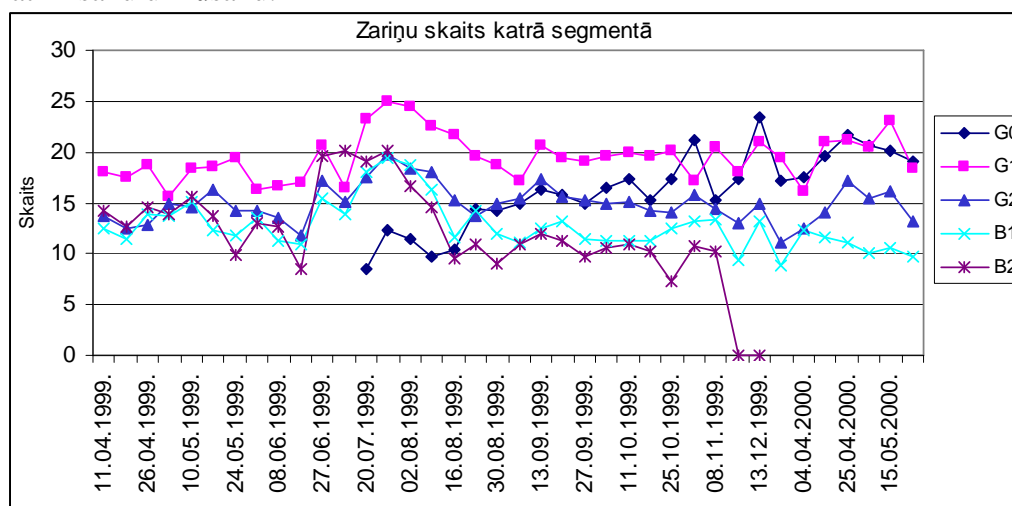


2.1.attēls. Stumbra garuma izmaiņas katrā *Hylocomium splendens* segmentā (G0, G1, G2, B1, B2) laika posmā no 1999.gada 11.aprīļa līdz 2000.gada 22.maijam.

2.2.2. Zaru skaits segmentā

G1 pieauguma gadu segments bija tas, kurā tika konstatēts vislielākais zaru skaits (19,05), bet vismazākais - B1 (12,35) un B2 (11,92) segmentiem. Attēlā (2.2.attēls), kurā ir parādīts zaru skaits segmentā, ir redzama tāda tendence, ka G0 zaru skaits attiecībā pret citiem pieauguma gada segmentiem nepārtraukti visa veģetācijas perioda laikā būtiski palielinājās ($R^2 = 0,50$), turpretim G1 ($R^2 = 0,06$) un G2 ($R^2 = 0,04$) segmentā zaru skaits būtiski nemainījās visa pētījuma laikā.

Savukārt abos vecākajos sūnas pieauguma gadu segmentos - B1 ($R^2 = 0,10$) un B2 ($R^2 = 0,22$) zaru skaits sāka strauju samazināties. Šī samazināšanās tendence bija novērojama sākot ar vasaras otro pusi (20. jūlijs), kas varēja būt saistīta ar zaru atmiršanu un lūšanu.

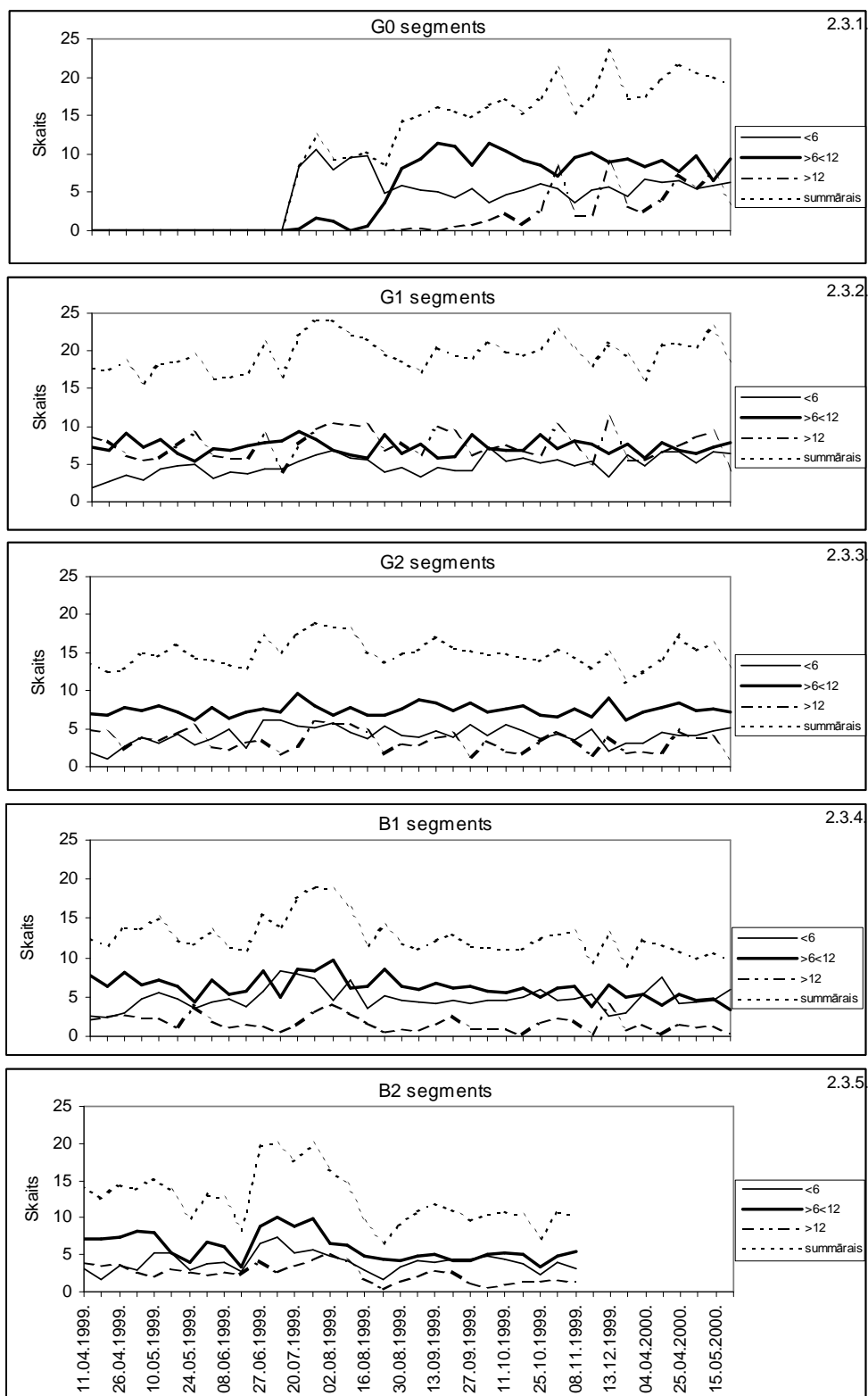


2.2.attēls. Zaru skaits katrā *Hylocomium splendens* segmentā (G0, G1, G2, B1, B2) laika posmā no 1999.gada 11.aprīļa līdz 2000.gada 22.maijam.

2.2.3. Segmentu zaru garumi

Segmentu zaru garuma attēli (2.3.1.-2.3.5.attēls) parāda to, kāds bija zaru skaits katrā pieauguma gada segmentā noteiktos garuma diapazonos, tas ir, līdz 6 mm, no 6 - 12 mm un garāki par 12 mm.

Apskatot G0 segmentu (2.3.1.attēls) redzam, ka zari šajā pieauguma gada segmentā sāka veidoties tikai sākot no 20.07.99.g. Tomēr jau pēc mēneša (30.08.99.g.) šī segmenta garuma klase (līdz 6 mm) pārgāja nākamajā klasē, kas ir no 6 līdz 12 mm, un tie turpināja pieaugt līdz pat oktobra mēnesim (11.10.99.g.).



2.3.1-2.3.5.attēls. Zaru skaits dažādos garuma diapazonos (<6 mm; 6-12 mm; >12 mm) katrā *Hylocomium splendens* segmentā (G0, G1, G2, B1, B2) laika posmā no 1999.gada 11.aprīļa līdz 2000.gada 22.maijam.

Pēc G1; G2; B1 un B2 gadu segmentiem (2.3.2. – 2.3.5.attēls) redzam, ka pētījuma sākumā, kas sakrīt ar veģetācijas perioda sākumu, pastiprināti auga īsākie

segmentu zari, kuri nebija garāki par 6 mm. Apskatot zarus, kuri bija garāki par 6 mm konstatējām, ka to garums sezonas sākumā būtiski neizmainījās.

Aprēķinājām, ka vidējais visgarākais zaru garums bija otrajam G1 pieauguma gada segmentam (21,50 mm), bet īsākais tika konstatēts abiem vecākajiem segmentiem, tas ir B1 un B2, attiecīgie vidējie zaru garumi bija 10,70 mm un 10,77 mm.

Apskatot visu gadu segmentus kopumā redzam, ka G0 (būtiski pieauga, $R^2 = 0,45$) un mazākā mērā G1 (pieaugums bija nebūtisks, $R^2 = 0,03$) gada segmentu zaru kopīgie garumi (2.3.1. un 2.3.2. attēls) bija vairāk dinamiski un mainīgāki nekā pārējos segmentos. Zaru garumi sezonas laikā intensīvi pārgāja no vienas garuma klases otrā, savukārt G2 segmenta zaru garumi (2.3.3.attēls) bija stabili un pieaugums nebija būtisks ($R^2 = 0,01$). Turpretim B2 segmentam (2.3.5.attēls) bija izteikta tāda tendence, ka zaru garums samazinājās sākot ar augusta mēnesi, kas varētu būt izskaidrojams ar to, ka B2 segmentu zari kļuva trausli, neizturīgi un sāka lūzt, kad arī notika segmenta atmiršana. Uz veģetācijas sezonas beigām arī B1 segmentu zaru (2.3.4.attēls) kopīgais garums būtiski samazinājās ($R^2 = 0,22$), tomēr tas bija mazāk izteikts nekā B2 ($R^2 = 0,40$) segmentam (2.3.5.attēls), kaut arī B2 segmenta, tāpat kā B1 segmenta, zaru garuma izmaiņas bija būtiskas.

2.2.4. Mērīto sūnu segmentu svāri

Pirmā pieauguma gada segmenta (G0) svārs būtiski ($R^2 = 0,72$) palielinājās visa pētījuma laikā (2.4.attēls). Jau nākamā gada (2000.gads) veģetācijas perioda sākumā šis pirmā gada segments, kurš nu jau bija kā otrais gads (G1), praktiski bija identisks iepriekšējā gada (1999.gads) eksperimenta sākumā esošajam sūnas otrajam gadam (G1).

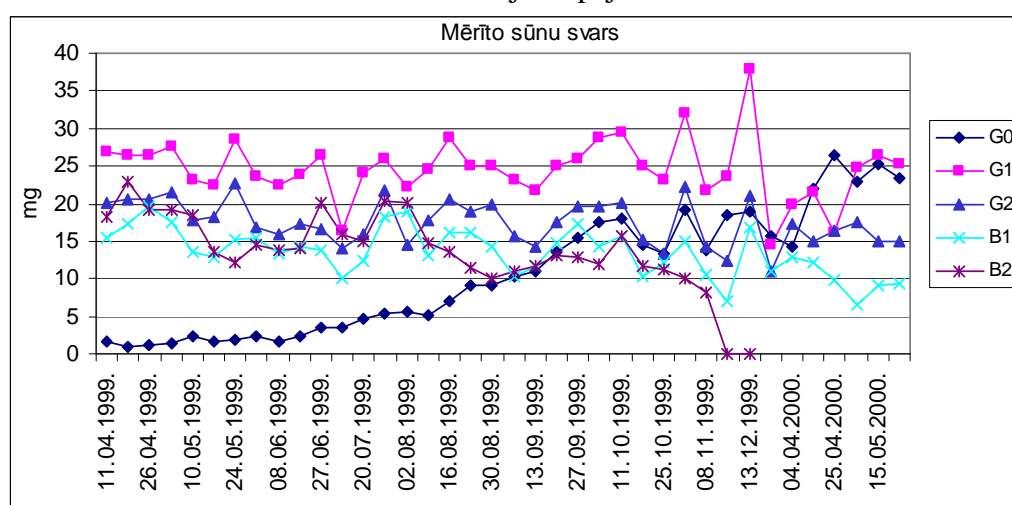
Netika novērotas G1 un G2 gadu segmentu svāra izmaiņas un tās bija nebūtiskas, attiecīgi, $R^2 = 0,057$ un $R^2 = 0,086$. Savukārt B1 un B2 segmentu svāri būtiski samazinājās, attiecīgi B1 ($R^2 = 0,38$) un B2 ($R^2 = 0,46$), kas saistīts ar šo segmentu atmiršanu.

Aprēķinot vidējo svāru pa gadiem novērojām, ka vissmagākais bija otrā gada segments G1 – 24,76 grāmi, bet visvieglākie bija ceturtā B1 un piektā B2 gada segmenti, attiecīgi 14,14 grāmi un 14,68 grāmi. Tas, ka G1 segmentam konstatēja vislielāko svāru, sakrīt arī ar to, ka šim segmentam bija arī vislielākais zaru skaits

(2.2.attēls), kā arī šī gada segmentam bija visvairāk tieši tādu zaru, kuru garums pārsniedza 12 mm (2.3.2.attēls).

Kā jau iepriekš šajā pētījuma apraksta rezultātu nodaļā minēts, tad B1 un B2 segmenti, ja salīdzinām tos ar visu pārējo pieauguma gadu segmentiem, bija visvieglākie, un to uzskatāmi parāda trends, kuru segmentu svaru līknes bija ar lejupslidošu tendenci (2.4.attēls). Tas nozīmē, ka pirmie trīs gadi bija tie, kuru laikā notiek sūnas augšana un nobriešana, tomēr jau sākot ar ceturto sezonu tās sāk pamazām atmirt un sadalīties.

Tā kā B2 segments sezonas beigās bija jau praktiski sadalījies, tādēļ arī no decembra mēneša sākuma to vairs nebija iespējams ievākt un arī izmērīt.



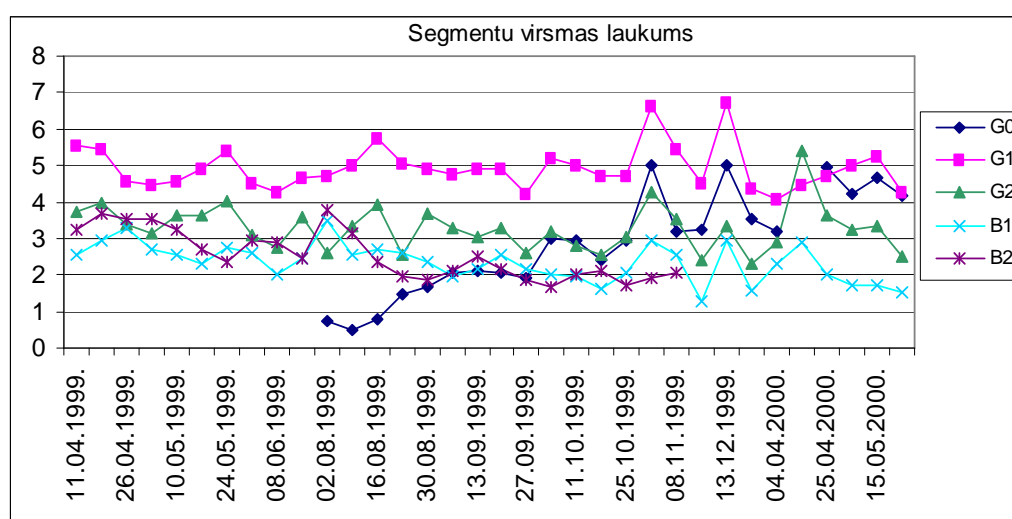
2.4.attēls. Mērīto sūnu svars katrā *Hylocomium splendens* segmentā (G0, G1, G2, B1, B2) laika posmā no 1999.gada 11.aprīļa līdz 2000.gada 22.maijam.

2.2.5. Segmentu virsmas laukumi

Viens no šī pētījuma uzdevumiem bija novērtēt *Hylocomium splendens* materiāla skenēšanas metodi, lai tādejādi turpmākos pētījumos nevajadzētu veikt katra sūnas segmenta atsevišķu parametru (segmenta stumbra un zaru) mērīšanu, kas ir laika un darba ietilpīgs process. Visticamāk, ka pēc skenēšanas sūna netiek arī būtiski bojāta un bez tam sūna var tikt nolikta atpakaļ dabā vai laboratorijā, atļaujot tai tālāk augt.

Segmentu pārklājuma virsmas laukumam var būt tāda nozīme, ka tas var ietekmēt ķīmisko elementu uzņemšanu gan savā segmentā, gan arī nākamajā. Segments var noēnot, tas ir, aizsegt nākamo segmentu, tādejādi tam nākamajam segmentam traucējot uzņemt ķīmiskos elementus no atmosfēras nokrišņiem.

Vislielākais vidējais segmentu virsmas laukums tika konstatēts G1 segmentam (2.5.attēls), bet vismazākais - pētījuma sākumā bija G0 segmentam, attiecīgi 4,93 cm² un 2,95 cm². Nākamā gada pavasarī, kad G0 segments bija jau izaudzis par G1 segmentu, tad tas ieguva tādu pat laukuma virsmu kā tas bija iepriekšējā gada G1 segmentam, kurš nu jau 2000.gada pavasarī bija G2 segments. Tikai G0 segmenta virsmas laukums būtiski ($R^2 = 0,57$) pieauga, savukārt B1 un B2 segmentu laukuma virsmas pētījuma laikā samazinājās, un šī bija būtiska samazināšanās tendence, attiecīgi $R^2 = 0,32$ un $R^2 = 0,59$. Otrā gada G1 un trešā gada G2 pieauguma segmenti bija ar visstabilāko laukuma virsmu visas sezonas garumā, un būtiski šo segmentu laukuma virsma arī nemainījās, attiecīgi, $R^2 = 0,03$ un $R^2 = 0,03$.



2.5.attēls. Katra *Hylocomium splendens* segmenta (G0, G1, G2, B1, B2) virsmas laukums (cm²) laika posmā no 1999.gada 11.aprīļa līdz 2000.gada 22.maijam.

2.2.6. Vai vecāko segmentu lielums ietekmē jaunāko segmentu lielumu?

Pīrsona korelācijas koeficients tika izrēķināts (2.1.tabula) starp segmentiem un to atsevišķiem parametriem - stumbra garumu, zaru skaitu segmentā, segmentu zaru garumus, segmentu svaru un segmentu virsmas laukumu.

Visciešākās korelācijas starp dažāda vecuma segmentiem bija segmentu svaram, segmentu virsmas laukumam un zaru kopīgā garumam, bet mazāk būtisko korelāciju bija tad, kad tika apskatīti zaru skaita un stumbra garums.

Gandrīz visos pētījumā noteiktajos parametros bija negatīvas korelācijas starp G0 un abiem vecākajiem B1 un B2 segmentiem, izņemot starp G0 un B2 segmentiem, kad tika apskatīts stumbra garums, kas gan tomēr varētu norādīt uz to, ka šiem abiem

vecākajiem segmentiem nebija ietekmes uz jaunākā pieauguma segmenta augšanas parametriem.

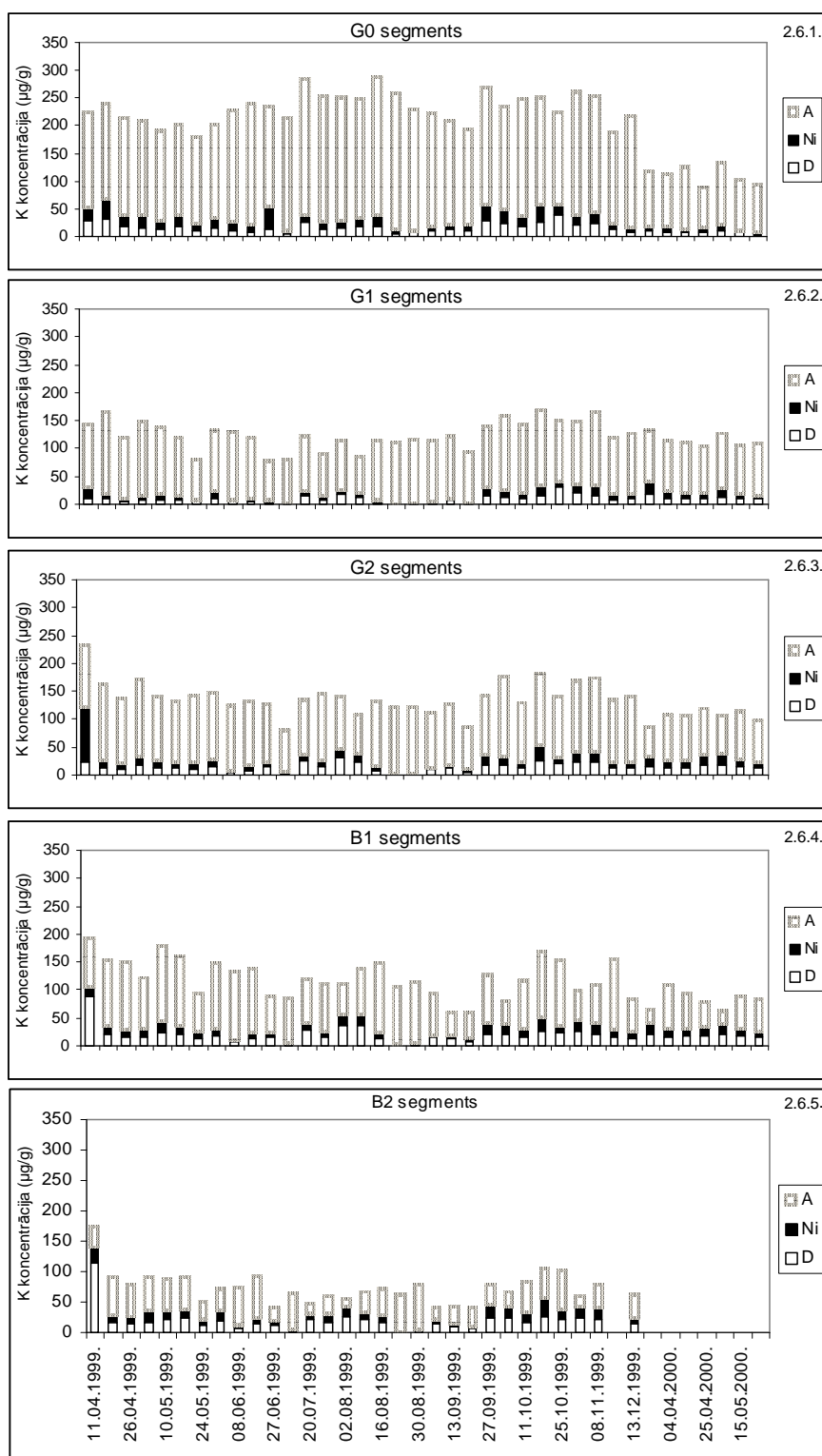
Pēc šiem Pīrsona korelācijas koeficienta datiem varam spriest par to, ka katra segmenta jebkurš no augšanas parametriem būs atkarīgs no sava “mātes” jeb vecāka segmenta, kā arī atsevišķos gadījumos, pārsvarā gan tikai G1 segmentam, novērojama ietekme no “vecvecāka” segmenta.

2.1.tabula

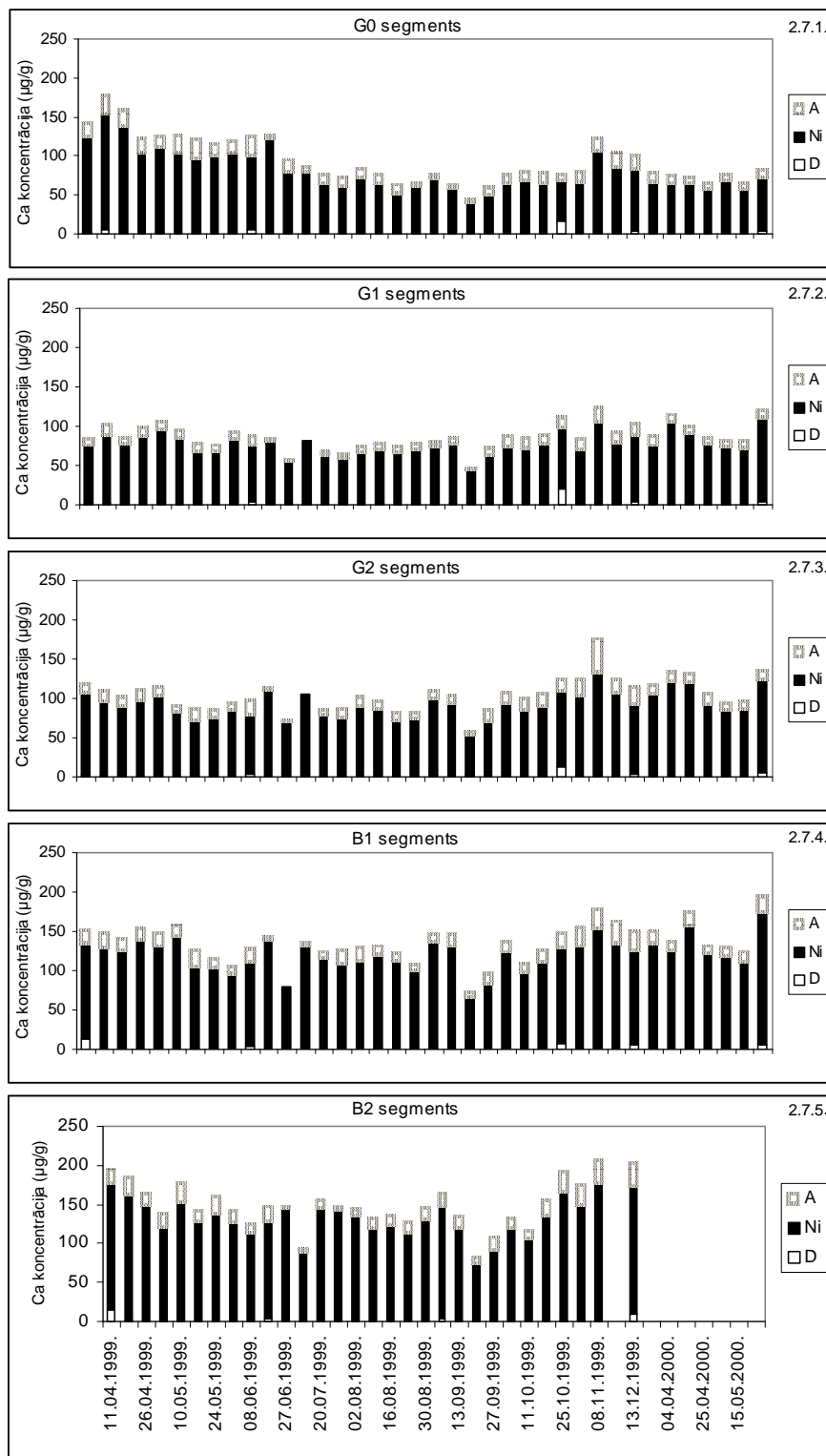
Segmentu zaru skaita, svara, virsmas laukuma, zaru un stubra garuma Pīrsona korelācijas koeficienti starp G0, G1, G2, B1 un B2 segmentiem (izceltie ir būtiski).

Zaru skaits (r)	G0	G1	G2	B1	B2
G0		0,048	-0,039	-0,186	-0,102
G1			0,163	0,061	0,025
G2				0,217	0,014
B1					0,185
B2					
Svars (r)	G0	G1	G2	B1	B2
G0		0,199	-0,006	-0,204	-0,155
G1			0,279	0,164	0,133
G2				0,411	0,125
B1					0,314
B2					
Virsmas laukums (r)	G0	G1	G2	B1	B2
G0		0,196	0,064	-0,165	-0,233
G1			0,185	0,12	0,052
G2				0,384	-0,017
B1					0,227
B2					
Zaru garums (r)	G0	G1	G2	B1	B2
G0		0,067	-0,065	-0,191	-0,232
G1			0,184	0,157	0,152
G2				0,325	0,091
B1					0,256
B2					
Stubra garums (r)	G0	G1	G2	B1	B2
G0		0,024	0,03	-0,039	0,002
G1			0,18	0,159	-0,082
G2				0,18	-0,055
B1					-0,067
B2					

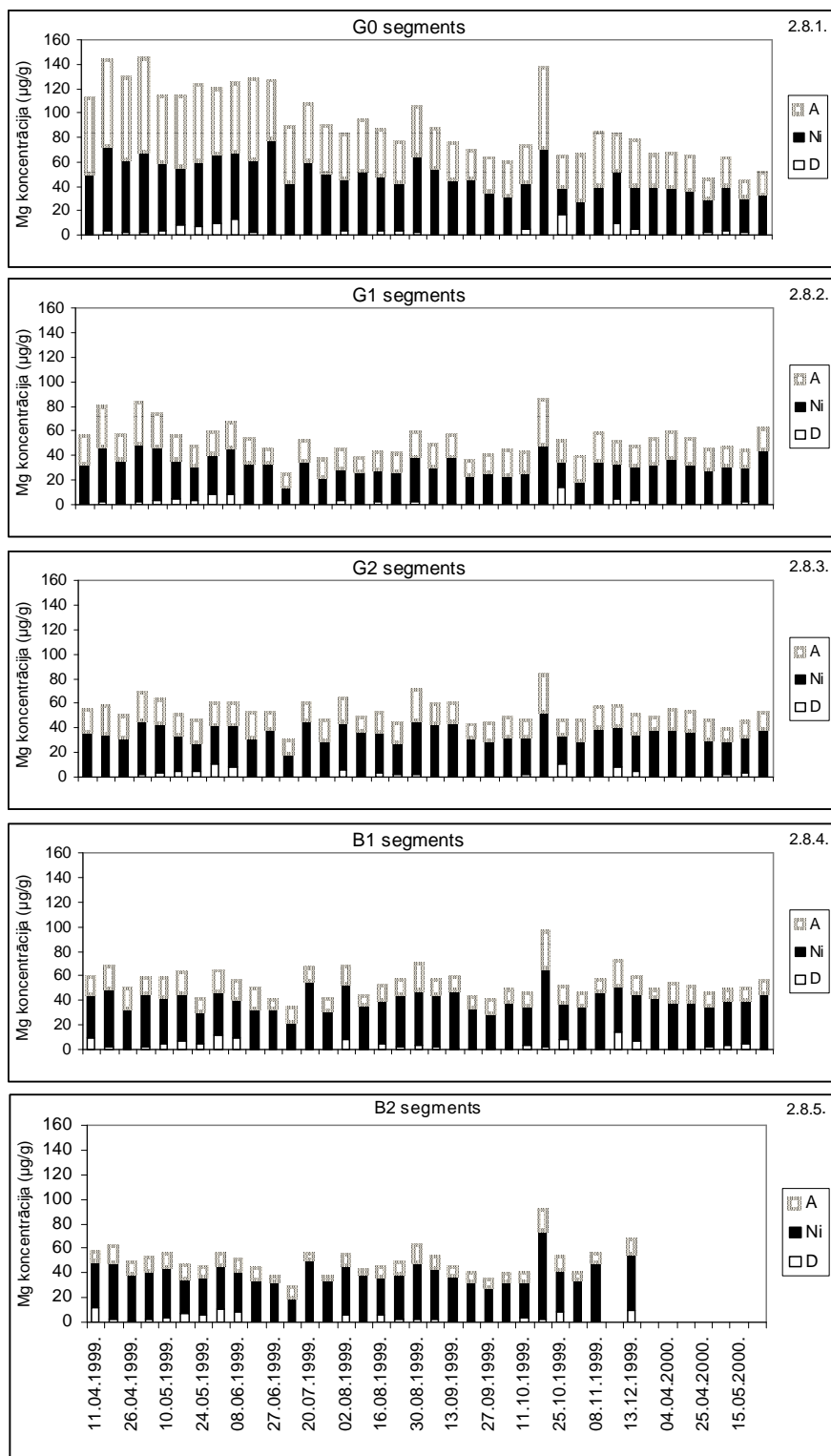
2.2.7. Ķīmisko elementu koncentrācijas



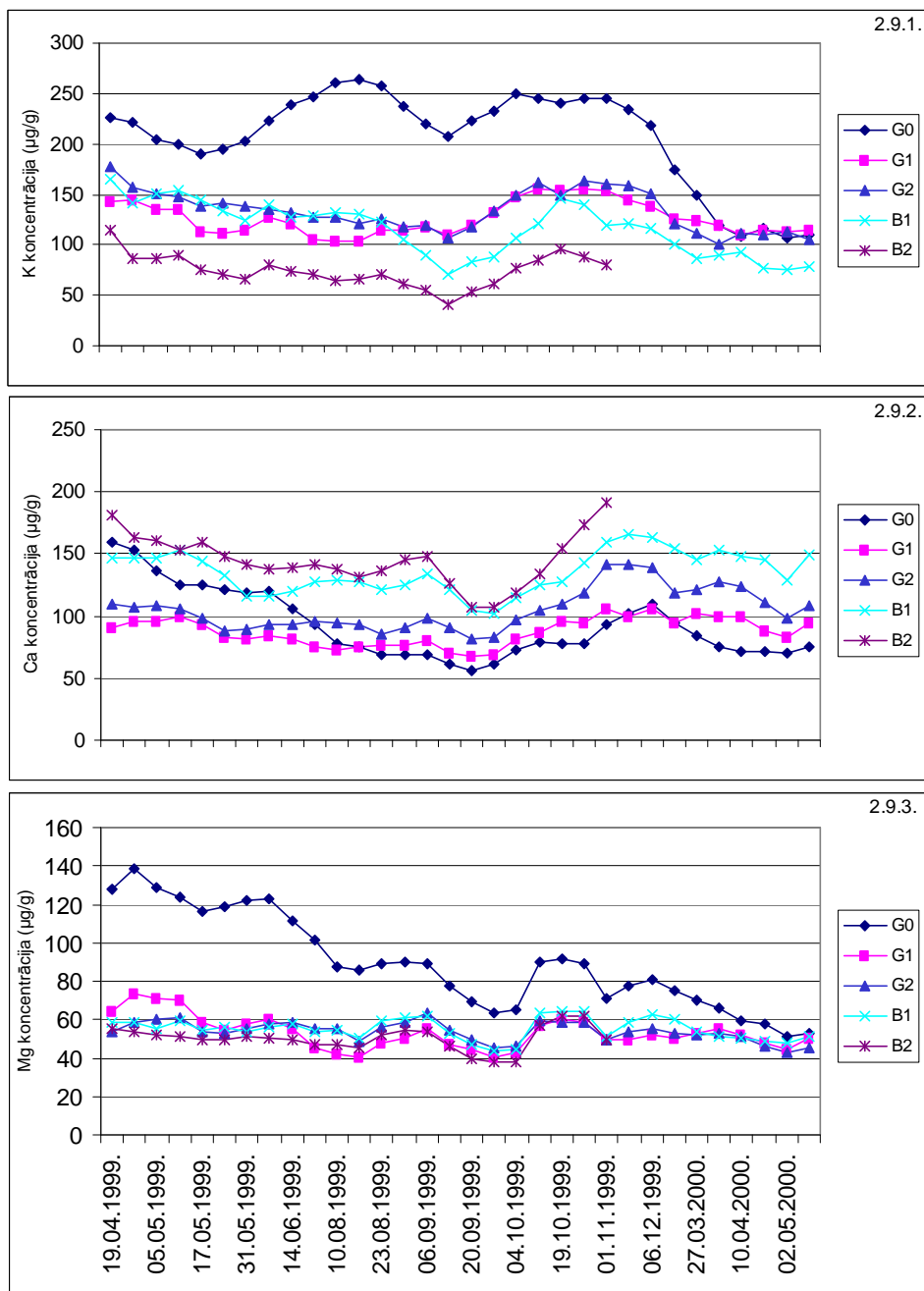
2.6.1.-2.6.5.attēls. K koncentrācijas dažādās šūnu frakcijās (A - iekššūnā, Ni - ārpusšūnā; D - starpšūnas telpā) katrā *Hylocomium splendens* segmentā (G0, G1, G2, B1, B2) laika posmā no 1999.gada 11.aprīļa līdz 2000.gada 22.maijam.



2.7.1.-2.7.5.attēls. Ca koncentrācijas dažādās šūnu frakcijās (A - iekššūnā, Ni - ārpusšūnā; D - starpšūnas telpā) katrā *Hylocomium splendens* segmentā (G0, G1, G2, B1, B2) laika posmā no 1999.gada 11.aprīļa līdz 2000.gada 22.maijam.



2.8.1.-2.8.5.attēls. Mg koncentrācijas dažādās šūnu frakcijās (A - iekššūnā, Ni - ārpusšūnā; D - starpšūnas telpā) katrā *Hylocomium splendens* segmentā (G0, G1, G2, B1, B2) laika posmā no 1999.gada 11.apriļa līdz 2000.gada 22.maijam.



2.9.1.-2.9.3.attēls. Vidējie izlīdzinātie ķīmisko elementu (K, Ca, Mg) summārās koncentrācijas atsevišķos *Hylocomium splendens* segmentos (G0, G1, G2, B1, B2) laika posmā no 1999.gada 11.aprīļa līdz 2000.gada 22.maijam.

Kālija koncentrācijas visu gadu pieauguma segmentu sūnās vairāk bija iekššūnā (2.6.1.-2.6.5.attēls), ko varējām novērot visa veģetācijas perioda laikā.

Aplūkojot summārās K koncentrācijas pa atsevišķiem segmentiem redzam, ka vislielākās K koncentrācijas bija G0 segmentā, bet proporcionāli, ja salīdzinām ar pārējo gadu segmentiem, viszemākās K koncentrācijas bija B2 segmentā. Pārējos

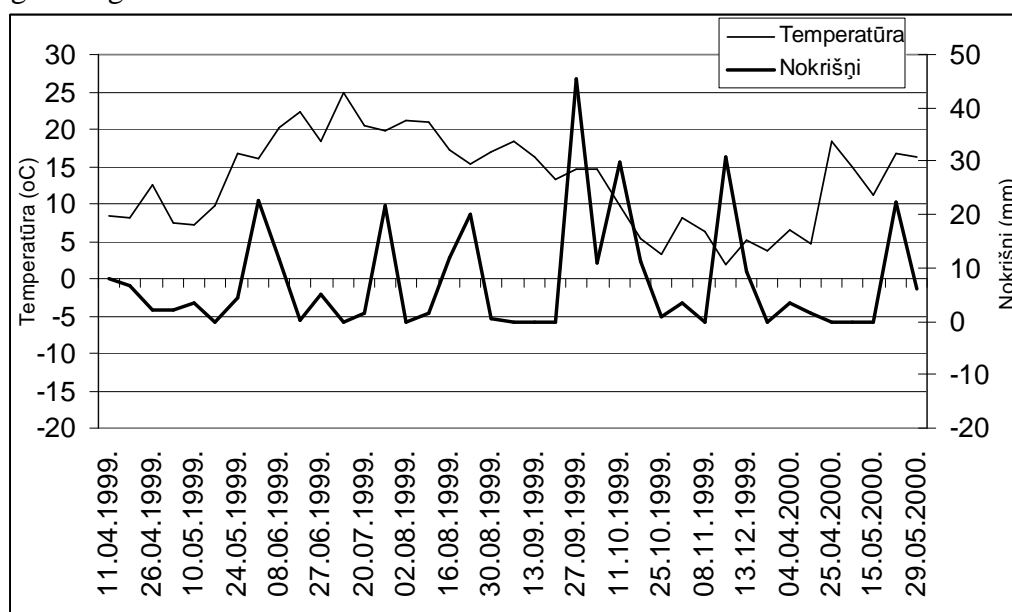
trijos segmentos (G1, G2 un B1) K koncentrācijas bija aptuveni vienādas, ko arī varam labi redzēt pēc 2.9.1.attēla līknēm.

Ca galvenokārt koncentrējas ārpusšūnā uz šūnapvalka, un ja salīdzinām ar K, tad Ca koncentrācijas iekššūnā bija ļoti zemas (2.7.attēls).

Ja vislielākās K koncentrācijas tika konstatētas pirmā gada G0 segmentā (2.9.1.attēls), tad šāda Ca koncentrācijas pārkuma nav izteikta kādā no pieauguma gada segmentiem (2.9.2.attēls). Tomēr B1 un B2 segmentos Ca koncentrācijas bija lielākas nekā pārējo gadu segmentos, savukārt G0 un G1 segmentos Ca koncentrācijas bija zemākas nekā citu gadu segmentos (2.7.attēls; 2.9.2.attēls).

Apskatot Mg koncentrāciju sadalījumu pa segmentiem redzam, ka ievērojami vairāk tas tika konstatēts G0 segmentā (2.8.1. un 2.9.3.attēls). Tāda pat situācija bija arī ar K, kad tā koncentrācijas lielākas bija tieši G0 segmentā (2.9.1.attēls). Magnijs visu pārējo gadu segmentos (no G1 līdz B2) bija aptuveni vienādās koncentrācijās (2.8.attēls; 2.9.3.attēls).

Magnija koncentrācijas sūnu šūnu frakcijās bija mainīgs gan visā veģetācijas periodā, kā tas novērots G0 segmentā (2.8.1.attēls), gan arī pa atsevišķiem pieauguma gadu segmentiem.



2.10.attēls. Meteoroloģiskie dati no Rīgas stacijas – vidējā temperatūra (°C) un summārie (5 dienas pirms paraugu ievākšanas) nokrišņi (mm) laika posmā no 1999.gada 11.aprīļa līdz 2000.gada 29.maijam.

Visa pētījuma laikā visos pieauguma gadu segmentos, izņemot G0, Mg koncentrācijas lielākas konstatētas ārpusšūnā nekā iekššūnā (2.8.2. – 2.8.5.attēls). Šīs attiecības starp Mg koncentrācijām ārpusšūnā un iekššūnā bija stabilākas vecākajos

segmentos nekā tas bija apskatot G0 segmentu. Taču B2 segmentā (2.8.5.attēls) Mg koncentrācija iekššūnā bija vēl mazāka, ja salīdzinām ar pārējo pieauguma gadu segmentiem. Tādejādi acīmredzot, jo sūnas kļūst vecākas, jo Mg koncentrācijas iekššūnā paliek zemākas.

Vēl viena būtiska izmaiņa tika novērota ap 25.oktobri, kad palielinājās kopējās Mg koncentrācijas, salīdzinot ar iepriekšējām sūnu paraugu ņemšanas reizēm. Ja G0 segmentam tas bija pārsvarā uz Mg palielināšanos iekššūnā, tad vecāko gadu segmentiem tas bija uz ārpusšūnas rēķina. Šajā laikā novēroja gan nelielu temperatūras palielināšanos, gan arī pavisam nelielu nokrišņu daudzuma palielināšanos, salīdzinot ar to, kas bija nedēļu iepriekš (2.10.attēls). Tomēr iespējams, ka šie dati no citos datumos iegūtajiem datiem atšķīrās dēļ kādas nejaušības – sūnu paraugs ievākts zem koka vainaga ietekmes, lielāks bija sūnas svars vai arī varbūt bija vēl kāds cits iemesls.

2.3. DISKUSIJA

Gan zaru skaits (2.2.attēls), gan zaru garums (2.3.1.-2.3.5.attēls) katrā pieauguma gada segmentā varētu norādīt uz katra konkrētā gada vides apstākļiem, kā arī uz to piemērotību sūnas augšanai (abiotisko un biotisko faktoru ietekme). Jau iepriekš ir pierādīts, ka segmentu lielums atšķiras gan pa gadiem, gan arī to lielumu ietekmē augšanas apstākļi konkrētā areālā, kā arī katra segmenta lielumu nosaka iepriekšējā segmenta lielums (Tamm, 1953; Økland, 1997; Rydgren *et al.*, 1998). Vēl bez tam arī R.Øklands (Økland, 1997) norāda uz to, ka vidējais segmentu lielums ir ciešā korelācijā ar klimatiskajiem apstākļiem, jo sausās vasarās ir lielāks risks sūnai apstāties augšanā.

Analogā situācija tika novērota arī mūsu veiktā pētījumā viena pilna veģetācija perioda laikā (2.3.attēls), it īpaši, labi tas bija redzams aplūkojot G0 segmenta pieaugumu (2.3.1.attēls), kad tajā zaru skaits, kuri kļūst garāki, palielinās līdz ar lietus perioda beigām, kas bija 30.08.1999.gadā (2.10.attēls). Šis straujais zaru pieaugums ir cieši saistīts arī ar to, ka ektohidriskā sūna *Hylocomium splendens* barības vielas saņem no atmosfēras ar nokrišņiem (Tamm, 1953; Rühling, Tyler, 1970; Callaghan *et al.*, 1978; Eckstein, 2000).

Sausuma periodā sūnu zaru garums būtiski nepalielinās. Tādejādi šis risks apstāties augšanā garumā lielāks ir sausā bez nokrišņu periodā nekā tas būtu nokrišņu periodā. Vienīgais, ja ir nelabvēlīgi apstākļi, tad pirmā gada G0 segmentam ir sliktas reģenerācijas spējas, bet vecākie segmenti (sākot ar otro gadu – G1) var labi atjaunoties (Økland, 1997), tomēr zarošanās un reģenerācija ir atkarīga arī no segmenta lieluma (Økland, 1995). Pirmā gada G0 segmenta zariem bija tendence ļoti strauji pieaugt, kas, it īpaši, tika novērots jūlija beigās un augustā (2.3.attēls). Analogu situāciju savā darbā atspoguļoja arī C.Tamms (Tamm, 1953).

Kādēļ vecāko segmentu zari ir ar lēnākiem pieauguma tempiem nekā jaunāko segmentu zari? Kā viens no iemesliem varētu būt gaisma. Gaismas pieejamības procents segmentiem samazinās virzienā no jaunākiem uz vecākiem pieauguma gadu segmentiem. Tāpēc arī esošajā pētījumā B2 segments praktiski arī nepieauga, ja salīdzinām to ar G0 segmentu, jo šis B2 segments saņem potenciāli nelielu gaismas spektra devu, uz ko norāda negatīvais Pīrsona korelācijas koeficients starp G0 un B2 ($r=-0,23$) segmentu laukuma virsmām (2.1.tabula). Tas arī saistīts ar to, ka šos vecākos segmentus noēno jaunākie pieauguma gadu segmenti, kur pēc

2.5.attēla redzam, ka G1 segments bija ar vislielāko segmentu virsmas laukumu. Šī negatīvā korelācija norāda arī uz to, ka tā nav tieša viena segmenta ietekme uz citu segmentu, jo tajā laikā, kad G0 segments vēl tikai auga, tikmēr B2 segments bija trausls un sāka lūzt.

Līdzīgu secinājumu savā darbā izteica arī R.Oklands (Økland, 1997), turpretī citā rakstā (Skre, Oechel, 1981) teikts, ka gaismas intensitātes mainīgums visas veģetācijas sezonas garumā samērā maz ietekmē sūnas augšanu. Citā publikācijā teikts, ka ēnainās vietās augošām sūnām segmenti ilgāk saglabā zaļo krāsu, bet pēc trešā pavasara sūnas pamazām sāk atmirt, uz ko norāda tas, ka segmentu krāsa mainās no zaļās uz brūno (Tamm, 1953).

Ja G0 segmentam vēl kaut nedaudz novēro pieaugumus nokrišņu periodā, tad vecākiem segmentiem pat nokrišņi vairs nevar nodrošināt zaru augšanu un zari šajos vecākajos segmentos sāka atmirt.

Zaru garuma izmaiņas iespējams radās paraugu ievākšanas procesā, kas, it īpaši, varēja notikt ziemas - pavasara periodā, jo šajā laikā augsnes virskārta bija vēl sasalusi, un tāpēc arī sūnas bija grūtāk ievākt. Acīmredzot segmentu zari šajā laikā bija trausli un, ņemot sūnas, šie zari vietām arī nolūza, kas, it īpaši, bija novērojams abiem vecākajiem segmentiem.

G. Brūmelis (Brūmelis *et al.*, 2000) savā rakstā apraksta K, kā arī Ca un Mg, kustību starp sūnu šūnu lokalizācijas frakcijām. Lietus periodā K kļūst kustīgāks starp sūnu šūnu frakcijām, un tas nosaka to, ka sausā periodā sūnām izžūstot, K iziet ārpus šūnas. Savukārt sūna ir dzīva un metaboliski aktīva tikai tad, kad apmēram 90% no visa K atrodas iekššūnā (Brūmelis *et al.*, 2004).

Nokrišņi ir tie, kuri sūnas apgādā gan ar K, Ca un Mg, gan arī ar smagiem metāliem – Cu, Pb, Ni, Co, Zn, Mn, Fe (Rühling, Tyler, 1970). Tas ir tāpēc, ka sūnas sev nepieciešamās barības vielas saņem tikai ar nokrišņiem, jo no substrāta sūnas nesaņem nekādus ķīmiskos elementus (Brūmelis *et al.*, 2000), un to var redzēt, kad augusta vidū un septembra beigās palielinājās K koncentrācija G0 segmentā (2.6.attēls), jo šajā laikā ir palielinājies nokrišņu daudzums (2.10.attēls). Arī P.Pakarinen un R.Rinne (Pakarinen, Rinne 1979) raksta, ka sūna ir relatīvi neatkarīga no substrāta, kaut gan ir arī citas sūnu sugas (*Pleurozium schreberi*), kuras ķīmiskos elementus (piemēram, Ca) uzņem arī no substrāta (Bates, Farmer, 1990).

Vislielākās K koncentrācijas konstatēja tieši G0 segmentā, kas norāda uz to, ka šis segments visstraujāk auga garumā un tas bija metaboliski aktīvākais segments.

Un iespējams, ka tad, kad atmirst vecākie segmenti (B2 segments), tad kāds labums tiek arī G0 segmentam, kas notiek dēļ iekšējās barības vielu recirkulācijas starp segmentiem.

Kālijs ir indikatora elements, kurš parāda to, cik konkrētā sūna ir veselīga (Brown, Brūmelis, 1996). Jaunie segmenti ir fizioloģiski aktīvāki nekā tas ir ar vecākiem segmentiem (During, 1990). Ja K visvairāk novēroja G0 segmentā, tad Ca visvairāk tika konstatēts abos vecākajos (B1 un B2) segmentos. Turpretim citi autori (Rühling, Tyler, 1970) raksta, ka Ca savu maksimumu sasniedz tikai sūnas ceturtajā dzīves gadā, kas arī mūsu pētījuma gadījumā bija šis B1 segments.

Katra segmenta lielumu nosaka nevis “vecāks”, bet gan “vecvecāks”, ja tiek apskatīti segmentu svara rezultāti (Tamm, 1953), tomēr šī pētījuma rezultāti parādīja, ka vecākam jeb “mātes” segmentam bija vislielākā ietekme uz meitas segmenta masu.

Sūnas segmentu garuma izmaiņas var neiet paralēli ar segmentu svara izmaiņām, tas ir, to var ietekmēt sūnas indivīdu blīvums, kas nozīmē, ka, jo zemāks būs blīvums, jo vairāk palielināsies sūnas segmentu svars (Hanslin, 1999). Tādēļ arī mūsu pētījumā bija svarīgi veikt segmenta virsmas laukuma aprēķinus.

Kurš tad bija labākais rādītājs, lai labāk varētu noskaidrot segmentu augšanu? Varam veikt dažādu sūnas parametru noteikšanu (zaru un stubra garums, svars, izskaitīt zarus), bet varam arī izmantot skenēšanas metodi, kas ir daudz ātrāka. To, ka katra sūnas segmenta virsmas laukums būtiski bija atkarīga no segmenta svara un pavisam nedaudz mazāk no zaru garuma, parādīja Pīrsona korelācijas koeficienti (2.2.tabula). Nebūtiska korelācija bija starp segmenta stubra garumu un virsmas laukumu.

Labākās korelācijas starp dažādiem izmērītajiem parametriem bija starp segmentu virsmas laukumu un zaru kopīgo garumu un arī ar segmentu svaru, nedaudz mazāka korelācija bija ar zaru skaitu, bet viszemākos koeficientus ar segmentu virsmas laukumu dod segmenta stubra garums (2.2.tabula). Apskatot segmentu virsmas laukuma korelācijas redzam, ka tās vislielākās bija tikai G0 segmentam, salīdzinot ar visiem pārējiem segmentiem.

Kā jau iepriekš minēts, tad segmentu virsmas laukumam varēja būt saistība ar zaru skaitu, kas gan vairāk izpaudās G0, B1 un B2 segmentiem, bet mazāk būtiski tie bija G1 un G2 segmentiem. Tas acīmredzot varētu norādīt uz to, ka otrā un trešā pieauguma gada segmentiem, attiecīgi G1 un G2, bija samērā stabils zaru skaits, kas arī nodrošināja pastāvīgu virsmas laukumu. Kaut gan tas varētu būt arī saistīts ar to,

ka skenējot notika zaru pārklāšanās, kas arī varēja radīt šo zemo korelāciju G1 un G2 sūnas segmentiem.

2.2.tabula

Segmentu virsmas laukuma, zaru skaita, stumbra garuma, kopīgā zaru garuma un segmentu svara savstarpējie Pīrsona korelācijas koeficienti G0, G1, G2, B1 un B2 segmentos.

1.gada segments (G0)	Segmentu virsmas laukums	Zaru skaits	Stumbra garums	Kopīgais zaru garums	Segmenta svars
Segmentu virsmas laukums		0,731	0,524	0,936	0,943
Zaru skaits			0,628	0,85	0,666
Stumbra garums				0,592	0,478
Kopīgais zaru garums					0,861
Segmenta svars					
2.gada segments (G1)	Segmentu virsmas laukums	Zaru skaits	Stumbra garums	Kopīgais zaru garums	Segmenta svars
Segmentu virsmas laukums		0,451	0,401	0,749	0,844
Zaru skaits			0,63	0,735	0,342
Stumbra garums				0,603	0,321
Kopīgais zaru garums					0,663
Segmenta svars					
3.gada segments (G2)	Segmentu virsmas laukums	Zaru skaits	Stumbra garums	Kopīgais zaru garums	Segmenta svars
Segmentu virsmas laukums		0,362	0,201	0,654	0,706
Zaru skaits			0,459	0,754	0,348
Stumbra garums				0,373	0,237
Kopīgais zaru garums					0,622
Segmenta svars					
4.gada segments (B1)	Segmentu virsmas laukums	Zaru skaits	Stumbra garums	Kopīgais zaru garums	Segmenta svars
Segmentu virsmas laukums		0,545	0,366	0,78	0,832
Zaru skaits			0,51	0,771	0,454
Stumbra garums				0,419	0,345
Kopīgais zaru garums					0,701
Segmenta svars					
5.gada segments (B2)	Segmentu virsmas laukums	Zaru skaits	Stumbra garums	Kopīgais zaru garums	Segmenta svars
Segmentu virsmas laukums		0,647	0,42	0,847	0,899
Zaru skaits			0,484	0,852	0,53
Stumbra garums				0,424	0,413
Kopīgais zaru garums					0,724
Segmenta svars					

Vēl novērojām arī to, ka G0 segmenta svars no jūnija līdz septembra mēneša beigām palielinājās 10,5 reizes, kas atbilst citu autoru (Eckstein, Karlson, 1999) pētījumu rezultātiem par segmenta svara palielināšanos (10 reizes). G0 segmenta svars strauji palielinājās augustā un septembrī, bet pēc C. Tamma (Tamm, 1953) pētījuma rezultātiem tas notiek jūlijā un augustā. Tomēr tā kā svara palielināšanos varēja ietekmēt gan nokrišņi, gan indivīdu blīvums, konkurence, tad acīmredzot pieļaujamas šādas pavisam nelielas laika perioda novirzes.

Tā kā B1 un B2 segmenta svars pamazām samazinājās, bet pirmie trīs pieauguma gadu segmenti vēl joprojām auga un nobrieda, tad acīmredzot tikai šos trīs jaunākos (G0, G1 un G2) segmentos varam izmantot vides bioindikācijas vajadzībām, lai varētu veikt vides piesārņojuma noteikšanu un novērtēšanu. Vēl bez tam vecākos segmentos notiek arī dažu ķīmisko elementu koncentrāciju samazināšanās (piemēram, Mg) tendences. Un šis ir otrs aspekts, kāpēc būtu nepieciešams izmantot tikai jaunākos *Hylocomium splendens* pieauguma gadu segmentus, respektīvi, G0, G1 un G2.

2.4.SECINĀJUMI

1. Pirmie trīs gadi ir tie, kuru laikā notiek sūnas augšana un nobriešana, bet sākot ar ceturto sezonu sūnas sāk pamazām atmirt un sadalīties.
2. K koncentrācijas lielākas bija jaunākajos segmentos, bet viszemākās koncentrācijas bija vecākajā B2 segmentā, savukārt Ca vislielākās – vecākajos segmentos, bet Mg – G0 segmentā.
3. Sūnām kļūstot vecākām samazinājās Mg koncentrācijas iekššūnā.
4. G1 segmentam bija vislielākais svars, visvairāk zaru, vislielākais segmenta virsmas laukums un visvairāk garo zaru.
5. Segmenta virsmas laukums būtiski korelē ar segmentu svaru un zaru garumu, bet nekorelē ar segmenta stumbra parametriem.
6. Visciešākās korelācijas starp dažāda vecuma segmentiem bija segmentu svaram, segmentu virsmas laukumam un zaru kopīgā garumā, bet mazāk būtisko korelāciju bija, apskatot zaru skaitu un stumbra garumu.
7. Tekošā gadā uz lielākiem G1 segmentiem izaug lielāki G0 segmenti, kas netieši norāda uz ķīmisko elementu recirkulāciju starp segmentiem.
8. Biomonitoringa pētījumiem būtu nepieciešams analizēt ievākt tikai trīs jaunākos *Hylocomium splendens* pieauguma gada segmentus.

3. Kālija jona transports uz *Hylocomium splendens* jaunākiem segmentiem laboratorijas apstākļos

IEVADS

Ķīmisko elementu, - kalcija, magnija, kālija (Bates, 1990; 1992; Brown, Bates, 1990), fosfora (Chapin *et al.*, 1987), slāpekļa (Eckstein, 2000) uzņemšana un absorbcija sūnās ir jau iepriekš pētīta, tomēr maz ir zināms par kālija un citu ķīmisko elementu transporta ceļiem un mehānismiem starp *Hylocomium splendens* segmentiem, jo īpaši, uz jaunāko segmentu. Bez tam pētījumos bieži vien tiek pielietota seriālā ekstrakcijas metode (Brown, Wells, 1988), kuru izmanto, lai visā segmentā noteiktu ķīmisko elementu koncentrācijas dažādās sūnu šūnu frakcijās, tomēr nav zināms kādas ir elementu jonu kustības un koncentrāciju atšķirības starp segmentu stubru un zariem. Zināms vienīgi tas, ka stubrs sastāv no vairākiem šūnu slāņiem (Bates, 1990), bet zaru lapas – no vienas (Gjengedal, Steinnes, 1990), kas arī var ietekmēt esošās seriālās ekstrakcijas efektivitāti.

Esošā pētījuma darba mērķis bija noskaidrot K jonu plūsmu starp pieauguma gadu segmentiem.

Darba uzdevumi ir sekojoši:

1. novērtēt seriālās ekstrakcijas efektivitāti *Hylocomium splendens* stubrā un zaros;
2. novērtēt kālija jonu recirkulācijas mehānismu starp dažādu segmentu zariem un stubru;
3. noteikt sūnas stubra nozīmi kālija jonu pārvietošanās mehānismā;
4. noteikt ķīmisko elementu jonu koncentrāciju izmaiņas, kad notiek sūnu izzūšana.

3.1. MATERIĀLS UN METODES

3.1.1. K, Mg un Ca izskalošanas efektivitāte no atdalītiem *Hylocomium splendens* segmentu stumbriem

Seriālā ekstrahēšanas metode (Brown, Wells, 1988) parāda, ka atšķirīgi ir dažādu jonu daudzumi atsevišķās sūnu šūnu frakcijās. Eksperimentā atsevišķi analizējām segmentu lapotos zarus, uz kuriem augošās lapas galvenokārt sastāv no vienas šūnu kārtas, un stumbrus, kuriem ir vairākas šūnu kārtas, un kuri ir mazāk caurlaidīgi pret skalošanas šķīdumiem. Tādejādi nepieciešams novērtēt K, Mg un Ca izskalošanās efektivitāti no stumbriem, salīdzinot to ar zariem.

2002.gada vēlā rudenī (18.oktobrī) ievācām simpodiāli zaroto *Hylocomium splendens*, kas augs sausā priežu mežā pie Daugavpils. Kad sūnas materiālu atveda uz laboratoriju, tad tās vispirms, trīs dienas pirms analizēšanas, mitruma režīmā tika uzglabātas paplātē. Vispirms analizējām svaigas, mitras sūnas, bet pēc tam sūnas 24 stundas tika žāvētas 80 °C temperatūrā, lai sagrautu šūnas membrānu. Tādejādi visiem trim ķīmiskiem elementiem (Ca, Mg un K) vajadzētu izskaloties NiCl₂ šķīdumā.

Eksperimenta sākumā vēl nebija attīstījies jaunākais G0 segments. Visi segmenti tika atdalīti viens no otra, kuri kopumā bija trīs pieauguma gadu segmenti, kā arī katrā no segmentiem atdalījām zarus no stumbra. Divu segmentu visi zari un divi stumbri no katra segmenta (astoņos atkārtojumos) tika apstrādāti, izmantojot seriālo ekstrahēšanas metodi (Brown, Wells, 1988), kura detāli ir aprakstīta literatūras apskata 1.5.nodaļā.

Pēc tam veica iegūto ķīmisko elementu koncentrāciju datu dispersijas statistisko biometrijas analīzi.

3.1.2. Pētījuma eksperimentālās daļas sūnas ķīmiskā apstrāde

Lai varētu realizēt šo eksperimentu, izvēlējamies parauglaukumu sausā priežu (*Pinus sylvestris*) mežā, kurš atrodas apmēram 10 km uz austrumiem no Rīgas netālu no Saulkalnes. Šie sūnu paraugi bija simpodiāli zaroti. *Hylocomium splendens* paraugu ievākšana notika 2002.gada 10.februārī, un pēc tam mēģinājām noskaidrot sūnas augšanu laboratorijas apstākļos pavasara periodā.

Kad paraugus atvedām uz laboratoriju polietilēna maisiņos, tad tie vispirms eksperimenta sākumā tika aklimatizēti un ielikti paplātē, kur bija samitrināts filtrpapīrs. Paplāte tika noslēgta ar vāku, tomēr katru dienu vismaz uz divām stundām noņēma vāku, lai sūnas tiktu vēdinātas. Pēc 9 dienām (2002.gada 19.februārī)

izvēlējāmos 100 aptuveni pēc lieluma līdzīgus ģenētus, kurus tad arī tālāk izmantoja eksperimenta vajadzībām.

Gandrīz vienu mēnesi (no 19.februāra līdz 18.martam, tas ir, 27 dienas) sūnas tika turētas sausos apstākļos, tas ir, tika ļauts pašām vienmērīgi izžūt, kam seko 2 mēneši miruma režīmā. Izkalšanas periodā ģeneti paplātēs tika izlikti uz filtrpapīra, savukārt mitros apstākļos katrs ģenets atsevišķi tika ielikts mazā 15ml tilpuma pudelītē, kuras atradās paplātē zem vāka, un šī eksperimenta daļa sākās 18.martā. Sākot no 18.marta līdz 2.aprīlim sūnas uzturētas 15 dienas mitrumā, līdz 15.aprīlim – 28 dienas un līdz 13.maijam – jau 56 dienas sūnas bija turētas mitrumā. Lai uzturētu mitruma režīmu, tad šim nolūkam ik pārdienas sūnu paraugus apsmidzinājām ar destilētu ūdeni, kā arī katru dienu uz divām stundām tika noņemts vāks, lai notiktu sūnas ventilēšanās. Viss eksperiments notika laboratorijā, kur telpas vidējā temperatūra bija ap 18°C.

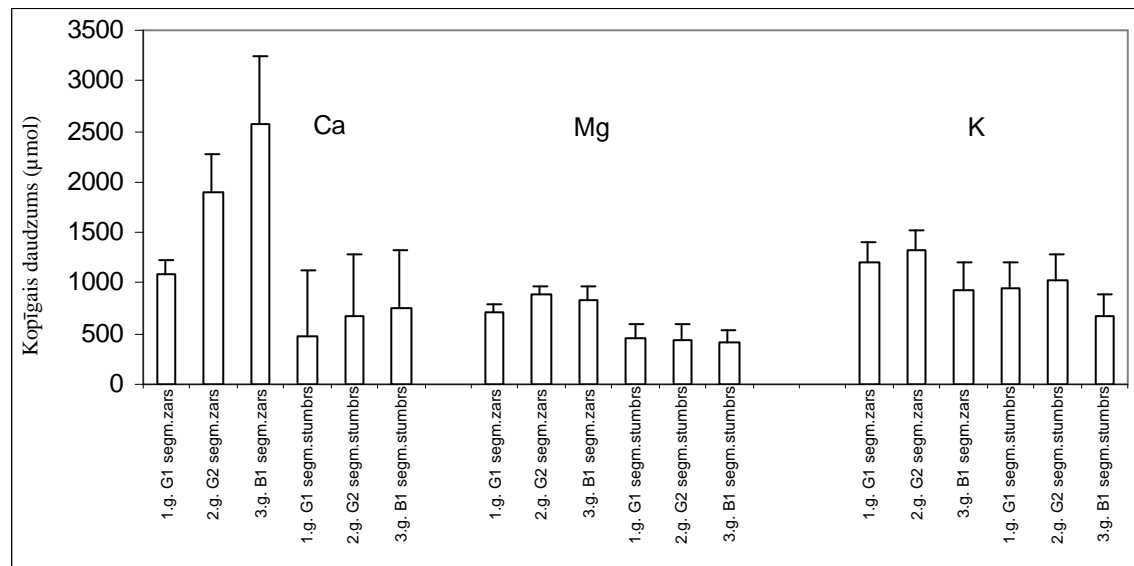
Kopumā eksperimentā izmantotajām pirmos trīs jaunākos segmentus, attiecīgi G1, G2 un B1, un vēl pašu jaunāko - pumpuru, kurš vēl līdz galam nebija izaudzis un attīstījies un tika apzīmēts ar G0 jeb tas segments, kurš bija sācis attīstīties iepriekšējā 2001.gada rudenī. Pavisam tika analizēti no diviem ģenetiņiem paņemtie katra segmenta visi zari un stubrs astoņos atkārtojumos, kas kopumā sastādīja 16 paraugus (2 pāri vienā pudelītē, un tā 8 atkārtojumos), izmantojot seriālo ekstrahēšanas metodi.

Iepriekšējais pētījums parādīja, ka ekstrahēšana NiCl₂ šķīdumā uzrāda līdzīgus rezultātus, ja arī ekstrahē sūnu gan destilētā ūdenī, gan niķeļa hlorīda šķīdumā. Tādēļ šajā eksperimenta daļā netika izmantota ekstrahēšana destilētajā ūdenī. Stumbra un zaru sausā masa tika noteikta tos nosverot pēc ekstrahēšanas NiCl₂ šķīdumā. Vēl pēc metodes var veikt sauso dedzināšanu (4 h pie 450°C) izšķīdinot sūnu 10 ml koncentrētā HNO₃ šķīdumā, tomēr iepriekšējie pētījumi parāda, ka pēc sūnas ekstrahēšanas koncentrētā HNO₃ šķīdumā Ca, Mg un K atlikums ir ļoti minimāls, un tāpēc ir neiespējams šo elementu jonu transports starp segmentiem. Tāpēc arī šī dedzināšana koncentrētā HNO₃ šķīdumā netika veikta. Ķīmisko elementu absorbcijas tika noteiktas, izmantojot liesmas 1100 Atomu absorbcijas spektrofotometru (Varian Techtron Pty Ltd, Australia) ar acetilēna pievadi. No iegūtajām absorbcijām izrēķinājām Ca, Mg un K koncentrācijas katra *H. splendens* segmenta zaros un stumbrā. Pēc tam tika veikta dispersijas datu analīze (ANOVA p<0,05).

3.2. REZULTĀTI

3.2.1. Katjonu ekstrahēšanas efektivitāte no segmentu zariem un no stumbriem

Kopīgo Ca, Mg un K daudzumu *Hylocomium splendens* segmentu zaros un stumbros, novērtējot summāros elementu daudzumus mitrā sūnu materiāla dažādās šūnu frakcijās (ārpusšūnā uz šūnapvalka, starpšūnas telpā, iekššūnā un putekļos), parāda 3.1.attēls. Ievērojams Ca (23-31%), Mg (33-38%) un, jo īpaši, K (42-44%) daudzums atrodās stumbrā, salīdzinot ar kopīgo elementu daudzumu pieauguma gadu segmentā (3.1.attēls). Acīmredzot, ja sūna ir dzīva, tad K zaros un stumbrā galvenokārt (>90%) atrodas iekššūnā, kas seriālās ekstrahēšanas procesā iegūts 1M HNO₃ frakcijā. Mazāks K daudzums tika konstatēts vecāku par trīs gadu segmentu zaru iekššūnā (ap 80%) (3.1.tabula). Izžāvēšana acīmredzot veicināja sūnas šūnu membrānas sagraušanu, kas var būt par cēloni gandrīz pilnīgai K pārvietošanai uz starpšūnas telpu un uz ārpusšūnas vietām, tādejādi sūnu segmentu zaros nodrošinot K atrašanos starpšūnas telpā. Līdzīgs balanss iekššūnā un ārpusšūnā bija novērojams arī stumbrā.



3.1.attēls. Kopīgais Ca, Mg un K daudzums (μmol) zaros un stumbros vienu (G1), divu (G2) un trīs (B1) gadu vecu pieauguma gadu segmentos *Hylocomium splendens*. Kopīgais daudzums tika noteikts summējot visas šūnu frakcijas daudzumus kopā, kuras noteiktas ar seriālo ekstrahēšanas metodi. Doti vidējie un standartnovirzes rādītāji.

3.1.tabula

Relatīvais Ca, Mg un K daudzums procentos trijos *Hylocomium splendens* segmentu (G1; G2; B1) zaros un stumbros, kuri ir apstrādāti ar seriālās ekstrahēšanas metodi – DŪ (destilēts ūdens, starpšūnas telpa), Ni (20mM NiCl₂, ārpusšūna), S (1 M HNO₃, iekššūna) un Sad (sadedzināts koncentrētā HNO₃, grūti sadalošās putekļu daļiņas).

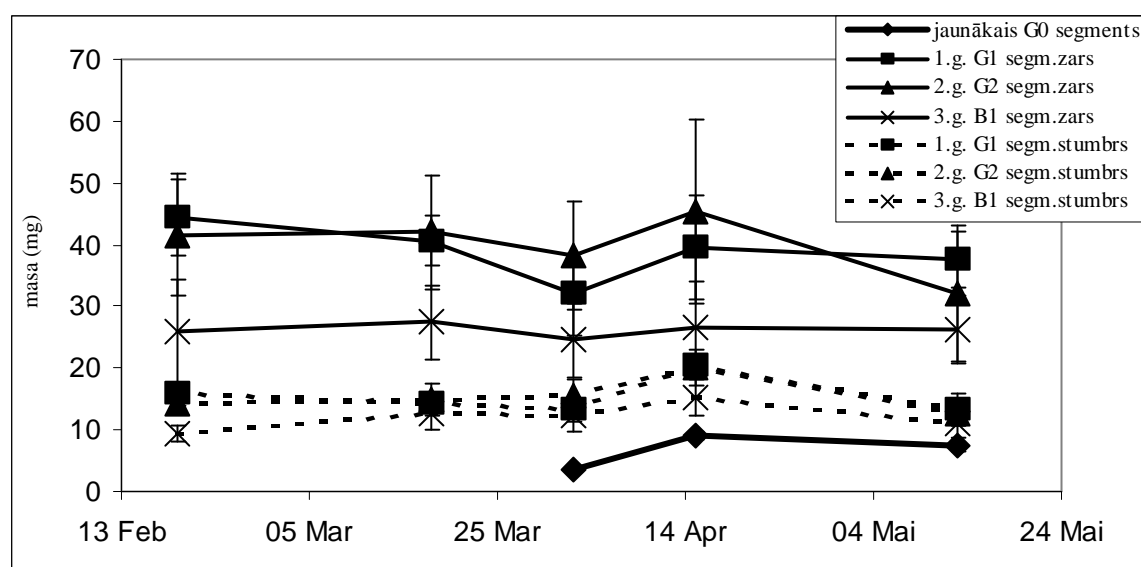
		Mitrā sūnā				Izzāvētā sūnā			
		DŪ	Ni	S	Sad	DŪ	Ni	S	Sad
		Ca zaros				Ca zaros			
G1		0,0	95,2	2,6	2,2	0,0	97,8	2,2	0,0
G2		0,0	92,6	6,8	0,6	0,0	91,2	8,8	0,0
B1		0,0	93,6	6,1	0,3	0,0	92,4	7,6	0,0
		Ca stumbrā				Ca stumbrā			
G1		0,0	74,5	17,5	8,0	0,0	44,1	52,6	3,3
G2		0,0	69,4	24,4	6,2	0,0	59,0	31,2	9,7
B1		0,0	67,2	26,3	6,5	0,0	58,6	31,5	9,9
		Mg zaros				Mg zaros			
G1		10,5	55,3	30,2	3,9	8,2	77,0	9,9	4,8
G2		8,9	54,5	30,2	6,4	7,4	72,0	13,9	6,7
B1		7,8	69,1	17,5	5,7	9,0	73,1	11,5	6,3
		Mg stumbrā				Mg stumbrā			
G1		11,1	40,0	35,8	13,1	13,3	44,0	28,0	14,6
G2		12,3	40,7	31,0	16,0	12,0	43,4	22,7	21,9
B1		11,8	43,8	26,2	18,3	13,3	41,4	19,7	25,6
		K zaros				K zaros			
G1		3,6	0,7	91,1	4,6	88,5	10,0	0,0	1,5
G2		4,5	0,7	89,8	5,0	86,9	10,8	0,7	1,6
B1		8,9	5,5	81,4	4,3	86,9	10,2	0,2	2,7
		K stumbrā				K stumbrā			
G1		0,5	1,2	91,7	6,6	48,7	43,7	5,3	2,3
G2		0,8	1,1	94,5	3,6	48,7	45,9	5,4	0,1
B1		0,3	2,8	91,9	5,1	47,6	43,5	5,6	3,3

Kālija rezultāti parādīja to, kādas būs sekas tam, ja sūnas segmenta stumbrā tiks izjauktas šūnas membrānas funkcijas. Lielais Ca un Mg daudzums 1M HNO₃ frakcijā dažādos segmentos (20-28% Mg un 31-53% Ca) parādīja seriālās ekstrahēšanas metodes neefektivitāti audiem, kuros ir daudz šūnu slāņu. Salīdzinājumam, pēc **zaru** karstās apstrādes 1M HNO₃ šķīduma izviljumā ieguva tikai 10-12% un 2-8%, attiecīgi no Mg un Ca, kas iespējams reprezentēja pārpalikumu no NiCl₂ ekstrakcijas. Izmantotā seriālās ekstrahēšanas metode skaidri parādīja to, ka tā ir nepiemērota Ca un Mg daudzuma novērtēšanai stumbra audos atsevišķās šūnu šūnu frakcijas daļās. Tāpēc turpmāk tika izpētīts vienīgi K pārvietošanās starp

Hylocomium splendens dažādām šūnu frakcijām un arī starp pieauguma gadu segmentiem.

3.2.2. Sūnas sausais svars

Kad sūna tika žāvēta vienu mēnesi (no 19.februāra līdz 18.martam), tad sekojošā eksperimentālajā mitruma periodā (no 18.marta līdz 13.maijam) jaunākais (G0) segments attīstījās garumā un tā zarošanās sākās vienas nedēļas laikā. Zaru sausais svars būtiski palielinājās jaunākiem segmentiem, bet zaru un stumbra masas pieaugums nebija acīmredzams citiem vecākiem segmentiem (3.2.attēls). Lai gan eksperimenta sākumā mēģinājām atlasīt pēc iespējas līdzīgākus sūnu paraugus pēc to lieluma, tomēr sūnu masas diezgan būtiski atšķīrās ($p < 0,05$) starp dažādiem paraugu datiem. Iespējams, ka tas radās dēļ lielās raksturīgās sūnu variabilitātes.

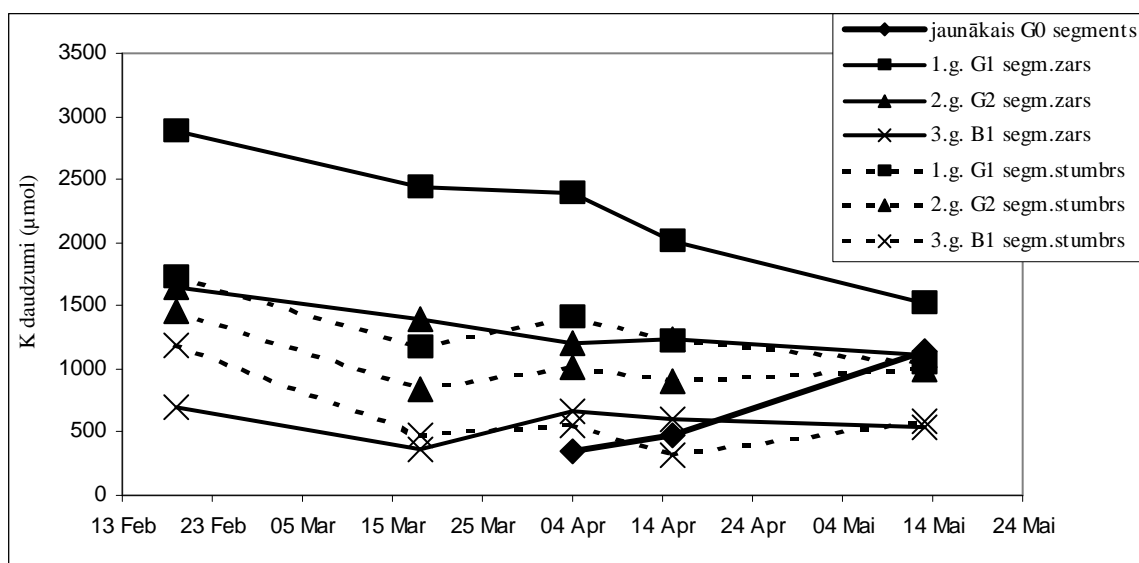


3.2.attēls. *Hylocomium splendens* jaunākā G0 segmenta un vienu (G1), divu (G2) un trīs (B1) gadu vecu pieauguma gadu segmentu zaru un stumbru masas (mg) izkalšanas un mitruma periodu ciklos laboratorijas apstākļos. Doti vidējie un standartnovirzes rādītāji.

3.2.3. Kālija jonu transports starp *Hylocomium splendens* pieauguma gadu segmentiem

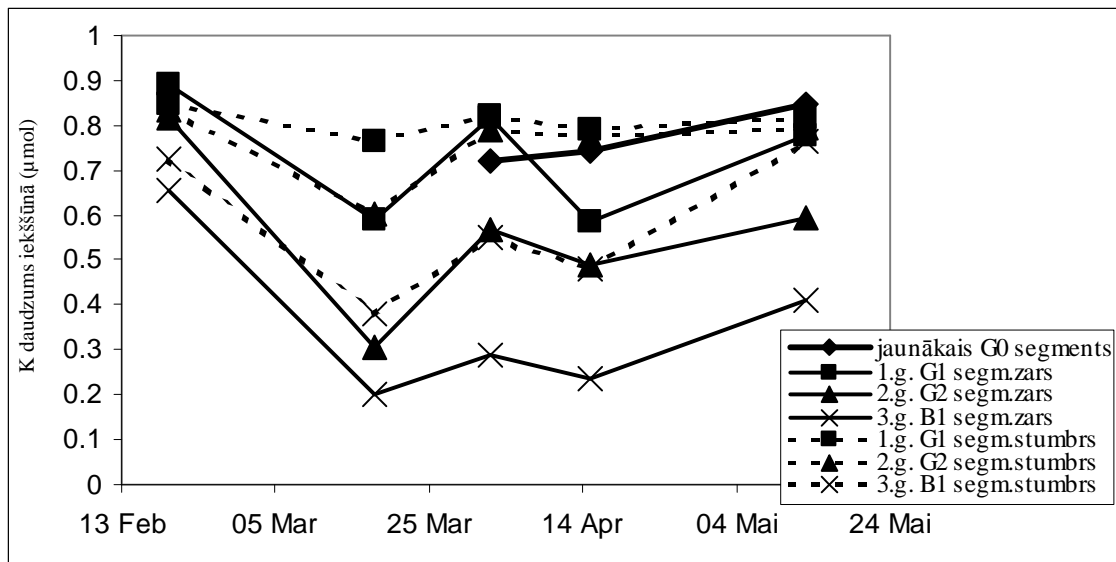
Visa pētījuma laikā divu un trīs gadīgo segmentu zaru un stumbru masas (3.2.attēls) neparādīja K daudzumu izmaiņas esošos zaros un stumbrā, bet gan acīmredzot šīs nejaušās atšķirības radās dēļ segmentu masas lielās variabilitātes (daudzveidības). Tādēļ arī novērtējām daudzumus, lietojot vidējo divu un trīs gadus veco segmentu zaru un stumbru svaru visos paraugu datus, kurus saucam par vidējo svērto masu (VSM, kas ir MMW-mean-mass-weighted) daudzumu. Šādi mēģinājām

novērst nejaušās atšķirības sūnas masā. Vidējās svērtās masas izmaiņas K daudzumos segmentu zaros un stumbrā, kā arī K daudzums jaunāko segmentu zaros tiek parādīts 3.3.attēlā. Absolūtās atšķirības K daudzumos dažādos paraugošanas datumos (relatīvie sākotnējie daudzumi pirms izkalšanas perioda un relatīvie daudzumi sūnās samitrināšanas sākumā), kas ir statistiski būtiski ($p < 0.05$), ir doti 3.2.tabulā. Tur bija būtisks zudums no visu segmentu zariem un stumbriem, izņemot no divu gadu veciem zariem sūnu izkalšanas periodā. Sekojošā mitruma perioda laikā K akumulējas jaunākajā G0 segmentā, kamēr K samazinājās viena gada veco segmentu zaros, un vēl arī novēroja nelielus zudumus no divu gadu veco segmentu zariem.



3.3.attēls. K daudzumi *Hylocomium splendens* jaunākā (G0) segmentā un vienu (G1), divu (G2) un trīs (B1) gadu vecu pieauguma gadu segmentu zaros un stumbrā izkalšanas un mitruma periodu ciklos laboratorijas apstākļos. Doti vidējie un standartnovirzes rādītāji.

Sākotnēji K galvenokārt atradās iekššūnā, bet kopumā mazāks K apjoms tika konstatēts tieši vecāko segmentu zaros un stumbrā (3.4.attēls). Eksperimenta laikā novērotais ķīmisko elementu sastāvs iekššūnā strauji samazinājās līdz ar izkalšanas procesu, kas gan vairāk notika vecākos segmentos. Pretstatā zariem, izkalšanas laikā (no 19.februāra līdz 18.martam) stumbros bija mazāka elementu kustība no iekššūnas vietām uz ārpusšūnas, ieskaitot arī starpšūnas frakciju. Tas, acīmredzot, parādīja iespējamo stumbra lomu sausuma perioda laikā, kad tas var būt kā ūdens rezervuārs. Ar sekojošu sūnas samitrināšanu iekššūnas saturs palielinājās, bet tomēr neatguva sākotnējo līmeni. Tādā veidā K uzņemšanu jaunākajā G0 segmentā novēroja galvenokārt no pirmā gada G1 segmenta zaru iekššūnas.



3.4.attēls. Kopīgā K daudzuma (μmoli) proporcijas *Hylocomium splendens* jaunākā (G0) segmeta un vienu (G1), divu (G2) un trīs (B1) gadu vecu pieauguma gadu segmentu zaru un stumbru iekššūnā, kas analizēti laboratorijas apstākļos izkalšanas un mitruma periodu ciklos. Doti vidējie un standartnovirzes rādītāji.

3.2.tabula

K satura izmaiņas zaros un stumbros jaunākajā G0 un vienu (G1), divu (G2) un trīs (B1) gadu vecu pieauguma gadu segmentos, sākuma daudzumi 19.februārī un izkalšanas perioda beigās 18.martā. Doti tie dati, kuri ir statistiski būtiski ($\text{LSD}_{0.05}$).

K daudzuma izmaiņas ($\mu\text{mol/g}$), salīdzinot ar eksperimenta sākumu; relatīvie daudzumi sākot no 19.februāra					
	19.Feb	18.Mar	02.Apr	15.Apr	13.Mai
G0 segments *			351	476	1143
1.g.segm. G1 zari	0	-441	-494	-878	-1365
2.g.segm. G2 zari	0		-445	-399	-532
3.g.segm. B1 zari	0	-325			
1.g.segm. G1 stumbrs	0	-558	-322	-520	-682
2.g.segm. G2 stumbrs	0	-632	-458	-558	-467
3.g.segm. B1 stumbrs	0	-708	-629	-868	-588
K daudzuma izmaiņas ($\mu\text{mol/g}$) visā mitruma periodā, salīdzinot ar mitruma perioda sākumu; relatīvie daudzumi sākot no 18.marta					
	18.Mar	04.Apr	15.Apr	13.Mai	
G0 segments *		351	476	1143	
1.g.segm. G1 zari	0		-436	-923	
2.g.segm. G2 zari	0			-289	
3.g.segm. B1 zari	0				
1.g.segm. G1 stumbrs	0				
2.g.segm. G2 stumbrs	0				
3.g.segm. B1 stumbrs	0				

* Jaunākais G0 segmenti netika analizēts pirms 2.aprīļa.

3.3. DISKUSIJA

Relatīvie Ca, Mg un K daudzumi stumbrā (3.1.attēls) bija līdzīgi tam, kāds bija stumbra īpatsvars no visas sūnas kopējās masas. Tomēr sūnas stumbru nodrošina mazāk ar Ca (23-31%), bet vairāk ar Mg (33-38%) un K (42-44%) nekā tas būtu paredzēts dēļ masas (3.2.attēls) procentuālās sadales starp stumbru un zariem. Tā kā stumbram ir salīdzinoši neliels virsmas laukums, tad, lai uztvertu atmosfēras nosēdumus, acīmredzot, visticamāk, ka Mg un K tika uzņemti no zariem ar lapiņām. Stumbram bija arī lielāka rezistence pret izkalšanu, salīdzinot ar zariem, kas tad arī varēja nodrošināt mazākus elementu zudumus.

Kaut gan seriālā ekstrakcijas metode plaši tiek pielietota efektīvai ķīmisko elementu koncentrāciju noteikšanai dažādās sūnu sugu atsevišķās šūnu frakcijās (Wells, Brown, 1987; Brown, Wells, 1988), ieskaitot *Hylocomium splendens* (Brown, Brūmelis, 1996), tomēr šajā eksperimentā parādam, ka seriālā ekstrakcijas metode ir nepiemērota Ca un Mg noteikšanai sūnu stumbrā, kuram ir daudz šūnu slāņi, kā tas ir *H. splendens* (3.1.tabula). Ekstrakcijas neefektivitāte iespējams bija saistīta ar stumbra daudzšūnaino šķērsošanas daļu, un tas norāda tikai uz daļēju apmaiņas vietu piesātināšanu stumbra iekšienē, vai arī iespējams lielāku apmaiņas vietu daudzumu stumbrā (3.1.tabula). Labās šķīduma izskalošanās spējas izspiest K jonu norāda uz to, ka ūdeņains šķīdums varēja viegli iekļūt ar šūnām daudzslāņainajā stumbrā un izspiest vienvērtīgos katjonus, bet pilnīgāks apmaiņas vietu piesātinājums nodrošina to, ka nevar izspiest ciešāk saistītos katjonus. Iespējams, ka iepriekšējos darbos ķīmisko elementu jonu koncentrācijas ārpusšūnas frakcijā bija novērtētas zemākas, bet iekššūnu frakcijās – lielākas, nekā tās varētu būt patiesībā (Brūmelis, Brown, 1997).

K zudumi no iekššūnas telpas izkalšanas rezultātā absorbējas uz šūnu sienas apmaiņas vietām (Brown, Buck, 1979). Laboratorijas izžūšanas apstākļos, kurus izmantojām šajā eksperimentā, samazinājās K no iekššūnu frakcijas (3.4.attēls) gan stumbros, gan zaros (3.2.tabula), kas gan varbūt notika dēļ tā, ka tie bija saskarsmē ar filtrpapīru paplātē, kurā atradās pētāmās sūnas. Iespējams, ka bija plūsma no zariem uz stumbru, tomēr to nevarēja novērtēt, jo no segmentiem bija zudumi.

Kad pēc izkalšanas perioda notika sūnas samitrināšana, tad jaunākais G0 segments pieauga savā masā, auga garumā un producēja zarus. Kālija daudzums G0 segmentā palielinājās vairāk nekā trīs reizes, un visticamāk, ka lielākā daļa no šī daudzuma tika piegādāti no viena gada (G1) veco segmentu zariem, kā arī mazāks K

apjoms nāca no divu gada veco segmentu (G2) zariem (3.3.attēls). Tādēļ stumbrs šķiet bija tikai kā **ceļš** priekš K kustības, bet nevis kā **K avots** priekš šīs kustības. Kālija recirkulācija tika novērota kā efektīvs transports uz jauniem zariem no tiem zariem, kuri atrodas nākamajos vecākajos segmentos.

Rezultāti norādīja uz to, ka K daudzums brūnos un sairusos segmentos bija maz pieejami priekš transporta uz jauniem audiem augošajā G0 segmentā. Vecākos segmentos iespējams notiek kālija zudumi uz zem sūnu stāva esošā augsnes nedzīvās zemsegas horizontu (O horizonts).

Akropetālās un bazipetālās kustības mehānismi neapšaubāmi atšķiras starp sūnu sugām un starp dažādiem elementiem. Eksperiments parādīja, ka vislielākās K^+ jonu kustības notika starp jaunākiem segmentiem un tas norāda, ka dzīvās šūnas bija tās, kuras nodrošina jonu kustību. Tādā veidā varētu notikt simplastiskais ķīmisko elementu jonu plūsmas ceļš. Ņemot vērā to, ka sūna tika apsmidzināta ar ūdeni ik pēc 1-2 dienām, uzturot sūnas piesātinātos mitruma apstākļos, bazipetālā kapilārā vielu plūsma varētu būt lielāka nekā akropetālā plūsma.

Rhytidadelphus squarrosus ar septiņas dienas intervālu ūdens apgādes režīmu nodrošināja lielāku neto bazālo katjonu plūsmu un attiecīgi šīs segmentu daļas bija labāk attīstītas nekā tad, ja sūna ar ūdens apgādi tika nodrošināta ar 14 dienu intervālu (Wells, Brown, 1996), kas arī var būt par cēloni barības vielu akropetālai plūsmai. Tajā eksperimenta rezultātu publicētajā rakstā teikts, ka galvenā katjonu kustība ir šī apoplastiskā jonu kustība.

H. splendens plasmodesmu novēroja gametofītu lapu apikālo šūnu iedobumos (Bonnot, 1967). Šajā sūnas sugā ir konstatēti iedobumi, kuri atrodas sūnas segmentu stumbra šūnu sienu parenhīmas šūnās (Finocchio, 1967). Dr.biol. Tūrs Selga (šajā eksperimentā tika piesaistīts arī Dr.biol. Tūrs Selga, kurš veica sūnas griezumus) saka, ka iedobumainība bija biežāka jaunos augošos punktos un savienojumu vietās starp segmentiem, kas norādīja uz iespējamo simplastisko kustību uz jauniem segmentiem (Brūmelis *et al.*, 2004). Rezultāti grūtāk izskaidrojami ar apoplastisko kustību, jo problemātiski izskaidrot virzošo vielu plūsmu ar iztvaikošanas spiedienu dēļ difūzijas gradienta uz sūnas simpodiālo daļu. Apoplastiskā plūsma varētu nodrošināt K recirkulāciju starp segmentiem, kamēr aktīvais, simplastiskais transports, varētu tieši virzīt K simpodiāli uz jaunajiem G0 segmentiem. Daudzi iedobumi šūnās atrodas vietās, kur savienojas segmenti un iespējams kalpo kā simplastisks transports caur plasmodesmu, pārvedot K un citas

molekulas uz jaunām meristēmu vietām. K transports uz jaunajiem G0 segmentiem iespējams galvenokārt notiek simplastiski, bet tas neizslēdz to, ka tas var būt arī apoplastisks kaut kur citā sūnas stumbra vietā. Relatīvi lielāka transporta intensitāte no viena gada vecā segmenta (G1) uz jaunāko segmentu (G0) var būt izskaidrojama ar spēcīgo vielu plūsmu uz jaunā segmenta meristēmu (Brūmelis *et al.*, 2004).

Eksperimentāli, nogalinot sūnas ar tvaiku, stumbra daļa apstādināja fosfora apikālo transportu, tādējādi pierādot simplastisko ceļu arī *Pseudoscleropodium purum* (Bates, Bakken, 1998). Salīdzinājumā šāda sūnu nogalināšana *Brachythecium rutabulum*, kuras augšana ir vairāk atkarīga no regulāras ārējo barības vielu piegādes un kuras ir daudz jutīgākas pret izkalšanu, neietekmē fosfora plūsmu uz apikālo daļu. Barības vielu transports uz jaunākiem segmentiem recirkulē no iepriekšējiem - vecākiem, segmentiem, tādējādi ekonomējot vielu piegādi no vides. Šāda pat iekšēja barības vielu recirkulācija, kas nodrošina sūnu augšanu, tika novērota arī *Rh. squarrosus* (Wells, Brown, 1996).

Vecākie brūnie *H. splendens* segmenti ir novēroti kā būtisks N avots jauniem segmentiem (Eckstein, Karlsson, 1999; Eckstein, 2000). Pretēji šī eksperimenta rezultātiem par K, akropetālais N transports ir lēnāks, un saturs jaunajā (G0) segmentā pakāpeniski pieaug viena vai vairāku augšanas sezonu laikā, kamēr to daudzums vecākos segmentos samazinās (Eckstein, 2000). Zemāki akropetālā transporta tempi slāpeklim iespējams ir vai nu dēļ lēnās atbrīvošanās no lielākām organiskajām molekulām, vai arī vispār lēns ir slāpekļa saturošo molekulu transports. Slāpekļa transports ir neatkarīgs no laika apstākļiem, un tātad acīmredzot šī kustība notiek iekšēji (Eckstein, 2000). Simplastisks transports no mirušiem, sairusiem audiem ir maz ticams, pat neiespējams, bet apoplastisks transports mazos daudzumos var notikt šajos vecākajos segmentos.

Akropetālo katjonu kustību sūnās, kuras lielums var būt sekojošā secībā: $K > Mg > Ca$, un to apoplastiskā transporta plūsma ir atkarīga no saistīšanās spējas pie šūnu sienas apmaiņas vietām (Brown, Wells, 1988; Brūmelis, Brown, 1997). Vienvērtīgais K katjons ir minimāli saistīts pie šūnas sienas un tādēļ tas ir viegli atbrīvojams priekš kapilārās plūsmas. Iespējams, ka spalvu sūnā kālija transports visticamāk notiek simplastiski, kas agrāk tika novērots arī ar fosforu un oglekli (Rydin, Clymo, 1989; Bates, Bakken, 1998), tomēr tas gan nenozīmē, ka spalvu sūnu stumbros nenotiek apoplastiskā kapilārā ūdens plūsma.

3.4. SECINĀJUMI

1. Izmantotā seriālās ekstrakcijas metode ir nepiemērota Ca un Mg daudzuma novērtēšanai stumbra audos atsevišķās sūnu šūnu frakcijas daļās.
2. Stumbrs sausuma periodā var būt kā ūdens rezervuārs, un, salīdzinot ar zariem, stumbram ir lielāka rezistence pret izkalšanu, kas nodrošina mazākus elementu zudumus.
3. Notiek K jonu recirkulācija no G1 segmenta zariem uz G0 segmenta zariem, un stumbrs ir tikai kā ceļš K jonu kustībai, bet nevis kā K avots šai kustībai.
4. K daudzums brūnos sūnas segmentos ir maz pieejams kustībai uz jaunāko G0 segmentu.

4. Ca, Mg un K uzņemšana *Hylocomium splendens* pieauguma gadu segmentos to augšanas laikā lauka apstākļos

IEVADS

Zināms, ka *Hylocomium splendens* ķīmiskos elementus var uzņemt no atmosfēras nokrišņiem (Tamm, 1953; Rühling, Tyler, 1970), tomēr arī zināmos apstākļos zem sūnas esošais substrāts var ietekmēt ķīmisko elementu koncentrācijas sūnās (Bates, Farmer, 1990).

Lai novērtētu Ca, Mg un K uzņemšanu *Hylocomium splendens* no atmosfēras nokrišņiem, kā arī no augsnes nedzīvās zemsegas (O horizonta) substrāta uz sūnu stāvu, tad šim nolūkam tika izmantota pārstādīšanas metode. Eksperimentāli sūnām un augsnes nedzīvai zemsegai tika mainīta vide, tas ir, pārstādīja no vietas, kur Ca un Mg daudzums atmosfērā bija lielākās koncentrācijās nekā fona vietā uz vietu, kur šo abu elementu koncentrācijas atmosfērā bija dažas reizes zemāka un tika saukta par kontroles jeb fona vietu.

Pētījuma eksperimenta darba mērķis bija novērtēt ķīmisko elementu akumulācijas pakāpi sūnās no atmosfēras, salīdzinot ar to, ko sūna varētu saņemt no substrāta.

Tika izvirzīti sekojoši uzdevumi:

1. novērtēt, kā sūnu ietekmē pārstādīšanas process un kā mainās ķīmisko elementu koncentrācijas jaunos vides apstākļos;
2. noskaidrot substrāta ietekmi uz ķīmisko elementu koncentrācijām sūnās;
3. novērtēt ķīmisko elementu jonu kustību starp segmentiem citos vides apstākļos.

4.1. MATERIĀLS UN METODEDES

4.1.1. Eksperimentālie lauku darbi

Šis pētījuma eksperiments lauka apstākļos iesākās bakalaura studiju programmas laikā, bet iegūto rezultātu apstrāde turpinājās jau doktorantūrā, izstrādājot promocijas darbu.

Lai veiktu šo pētījuma eksperimentu, Saulkalnē izveidojām divus parauglaukumus, kur viens, turpmāk darbā saukts par piesārņoto parauglaukumu, atradās 1,0 km no tuvākās apkārtnes piesārņotāja avota - kaļķa rūpnīcas "Saulkalne", un otrs, turpmāk – nepiesārņotais parauglaukums, 3,4 km uz ziemeļaustrumiem no minētā piesārņojuma avota. Abi parauglaukumi bija 100 m² lieli, tas ir, 10x10 m, un tie atradās priežu mežā.

Šī kaļķa rūpnīca ir jau iepriekš aprakstīta kā samērā liels Ca un Mg daudzuma emitētājs apkārtējā vidē, kas parādās paaugstinātās koncentrācijās augos un augsnē, kā arī izmaina epifītisko ķērpju sugu sastāvu (Laiviņš *et al.*, 1993). Šajā rūpnīcā notiek dolomītu (CaMg(CO₃)₂) malšana un apstrāde, kura rezultātā izveidojas putekļu mākonis, kurš izplatās un vēlāk arī izsēžas tuvākajā apkārtņē.

Tā kā šo putekļu izplatību un izsēšanos ietekmē meteoroloģiskie apstākļi, tad mums bija nepieciešams iegūt temperatūras un nokrišņu datus, kuri tad arī iegūti no Rīgas Hidrometeoroloģiskās stacijas, kas atrodas 15 km no mūsu paraugu ievākšanas vietām. Visi meteoroloģiskie dati (temperatūra un nokrišņi) ir reprezentēti 4.1.attēlā.

Vispirms katrā no abiem parauglaukumiem 1997.gada 7.augustā izvēlējāmies 39 homogēnus sūnu laukumiņus (15 x 15 cm), kuriem iedevām kārtas numurus no 1. līdz 39. Katru šo sūnu laukumiņu, ar nazi nogriežot, atdalījām no pārējām sūnām esošajā parauglaukumā. Ar nazi atdalījām arī zem sūnas esošo augsnes nedzīvās zemsegas slāni (O horizonts) līdz pirmajam minerālhizontam (podzolhizontam – E). Pēc tam, pēc nejaušības principa (Mendenhall, 1975), sadalījām šos 39 sūnu laukumiņus pēc to pārstādīšanas veidiem –

* tikai sūna - sūna no nepiesārņotā parauglaukuma tika pārstādīta uz piesārņoto parauglaukumu, un otrādi;

* sūna kopā ar substrātu - sūna kopā ar substrātu (augšnes nedzīvo zemsegu) no nepiesārņotā parauglaukuma tika pārstādīta uz piesārņoto parauglaukumu, un otrādi;

* tikai substrāts - tika pacelta esošā parauglaukuma sūna un tai apakšā tika palikts otrā parauglaukuma substrāts, tas ir, nepiesārņotai sūnai tika palikts apakšā piesārņotā parauglaukuma substrāts, un otrādi.

Vēl bez šiem pārstādījuma variantiem bija arī divi kontroles varianti – neskartās un izceltās sūnas, kuras izcēlām un nolikām tajā pat vietā. Tādejādi tika it kā izjaukta ciešā saskare ar augsni un mikorizu. Katrs no eksperimenta laikā esošiem variantiem bija trijos atkārtojumos.

Viss šis pētījuma sākumā esošais pārstādīšanas process norisinājās tajā laikā, kad bija ilgstošs sausuma periods, kas varēja būtiski ietekmēt turpmāk iegūtos rezultātus.

4.1.2. Paraugu ievākšana un to laboratoriskā analizēšana

Pētījuma pirmā *Hylocomium splendens* paraugu ievākšanas reize notika tajā pat dienā, kad veicām šo sūnu pārstādīšanu, tas ir, 1996.gada 7.augustā. Nākamās paraugu ievākšanas reizes bija tā paša gada 26.augustā (19 dienas pēc pētījuma sākuma), 3.oktobrī (2 mēneši) un nākamā 1997.gada 2.jūnijā (10 mēneši).

Sūnu un augsnes paraugi pēc to ievākšanas tika ielikti polietilēna maisiņos, un divu stundu laikā nogādājām laboratorijā (LU Bioloģijas fakultātes Botānikas un ekoloģijas katedrā). Pēc paraugu ievākšanas, sūnas laboratorijas apstākļos uzglabājām 24 stundas aklimatizācijai istabas temperatūrā, mitrumā, noslēgtos traukos. Pēc 24 stundām no katra paņemtā *H. splendens* laukumiņa (15x15 cm) atdalījām pieauguma gadu segmentus (pa diviem sūnu paraugiem no katra pieauguma gada segmenta), un katru trijos ķīmiskajos atkārtojumos apstrādājām, izmantojot seriālās ekstrahēšanas metodi (Brown, Wells, 1988).

Sūnas segmentu masu nosaka žāvējot 24 stundas pie 90°C temperatūras: sūnas sienas kopā ar protoplasta svaru iegūst pēc ekstrahēšanas 20 mM NiCl₂ šķīdumā, un sūnu sienas masu pēc ekstrahēšanas 1M HNO₃ šķīdumā. Šo sūnas sienas svaru kopā ar protoplasta svaru tālāk izmanto, lai aprēķinātu ķīmisko elementu koncentrācijas atsevišķās sūnu sūnu frakcijās.

Substrātu ievācām un analizējam vienīgi pētījuma sākumā. Augsnes nedzīvās zemsegas slāņa, kas tika izmantota pārstādīšanas eksperimentā, laboratoriskā ķīmiskā apstrāde bija līdzīga kā jau iepriekš aprakstītā sūnu apstrādes metode. Augsnes paraugus ņēma piecos atkārtojumos, kuru filtrēja pēc katras ekstrahēšanas reizes. Laboratorijā ņēma 50 mg sausā augsnes parauga un ekstrahēja 15 ml šķīdumos.

Izmantojot vienu un to pašu seriālo ekstrahēšanas metodi gan priekš sūnām, gan priekš augsnes, mēs labāk varam novērtēt esošo katjonu (Ca, Mg un K) koncentrācijas nekā tad, ja atsevišķi augsnes apstrādei būtu izmantojuši kādu no daudzajām standarta metodēm, kas domātas tikai augsnēm.

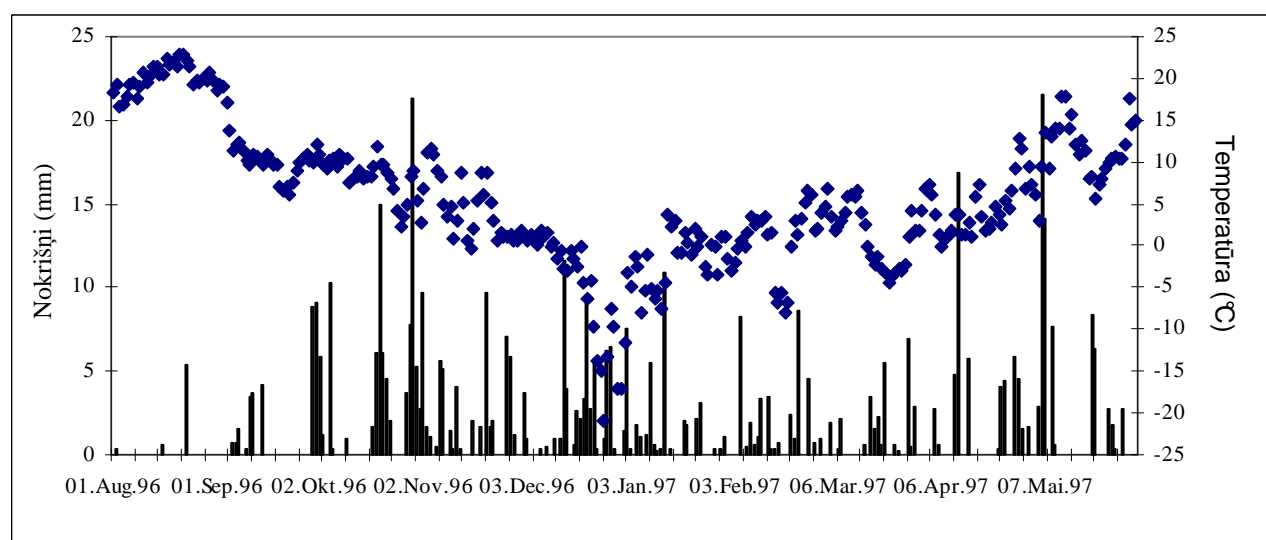
Ca, Mg un K absorbcijas tika noteiktas, izmantojot liesmas 1100 Atomu absorbcijas spektrofotometru (Varian Techtron Pty Ltd, Australia) ar acetilēna pievadi, un pēc tam izrēķinājām šo trīs elementu koncentrācijas.

Pēc tam tika veikta iegūto datu dispersijas analīze (ANOVA; $LSD_{0.05}$ (mazākā būtiskā atšķirība)).

4.2. REZULTĀTI

4.2.1. Meteoroloģiskie dati

Augusts un pirmā septembra nedēļa bija ļoti sausa un silta, un tajā laikā bija tikai divi nelieli, kā arī viens spēcīgs, bet īss nokrišņu periods. Nokrišņi pārsvarā bija septembra vidū, kam sekoja divas nedēļas sausuma periods, bet lietus atsākās tikai oktobra mēnesī. Septembra un oktobra vidējā temperatūra bija 3 - 4°C. Oktobra naktīs temperatūra galvenokārt pazeminājās zem nulles. Nākamā gadā sniegs nokusa samērā vēlu, tas ir, maija sākumā, kad vidējā temperatūra paaugstinājās virs +5°C, bet +10°C temperatūru sasniedza ap maija vidu (4.1.attēls).



4.1.attēls. Temperatūras (°C) un nokrišņu (mm) dati visā pētījuma perioda laikā. Dati iegūti no Rīgas Hidrometeoroloģijas pārvaldes.

4.2.2. Substrāta apraksts

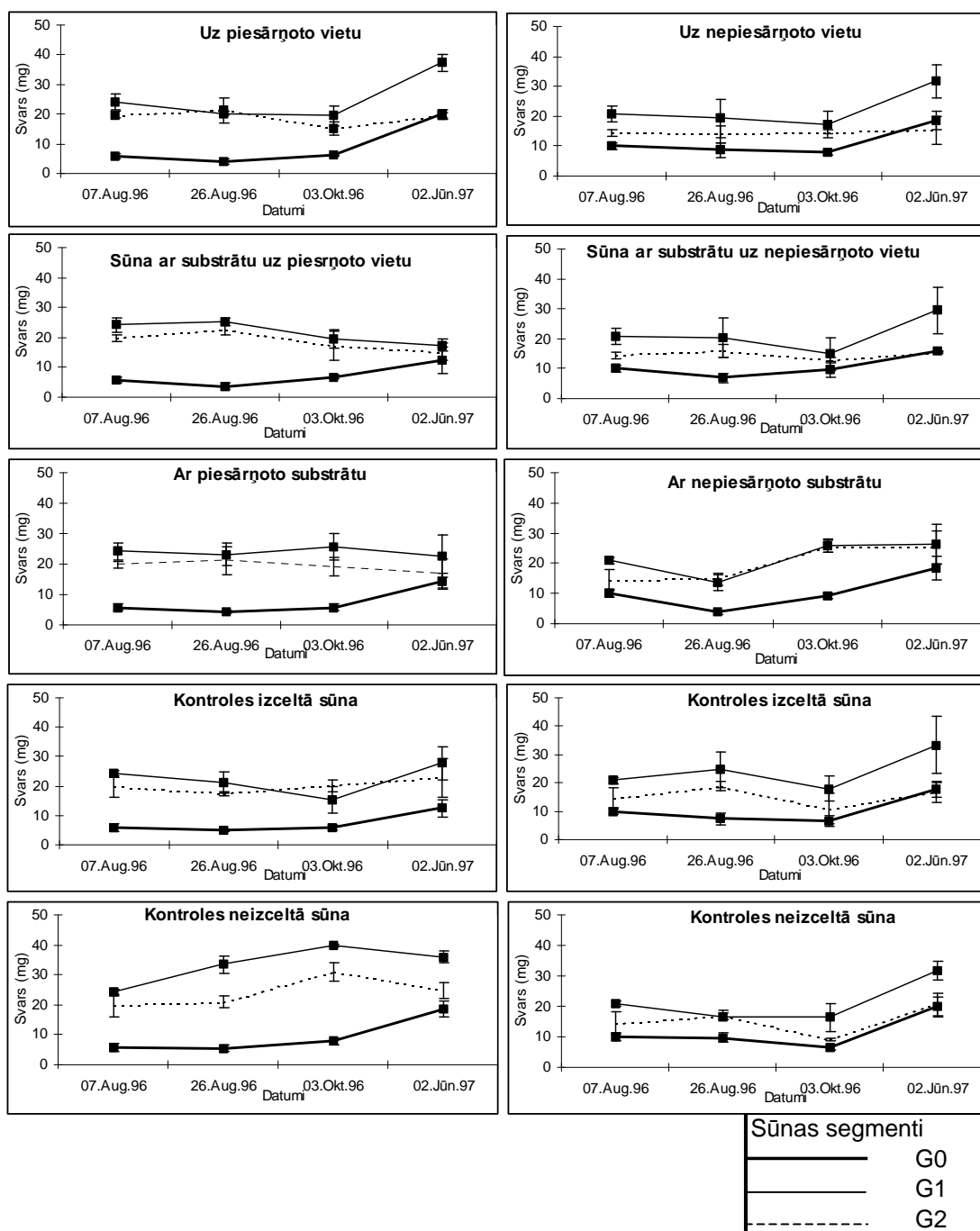
Piesārņotās vietas augsnes nedzīvās zemsegas slānis (O horizonts) bija samērā plāns (ap 1-2 cm), salīdzinot ar nepiesārņotās vietas augsnes nedzīvās zemsegas slāni, kur tas bija daudz biezāks (5-10 cm) un ar barības vielām bagātāks.

Kopīgās (destilēts ūdens plus 20 mM NiCl₂ un 1M HNO₃ šķīdumi) Ca un Mg koncentrācijas augsnes nedzīvā zemsegā pie kaļķa apstrādes rūpnīcas "Saulkalne" (1 km no piesārņotā parauglaukuma vietas) bija attiecīgi 257 μg/g un 78 μg/g, bet, ja salīdzinām ar nepiesārņoto vietu, tad šo abu elementu koncentrācijas bija attiecīgi 168 μg/g un 28 μg/g. Savukārt K koncentrācijas augsnes nedzīvā zemsegā bija samērā identiskas abos parauglaukumos, tas ir, 25,2 μg/g piesārņotā un 25,6 μg/g nepiesārņotā.

4.2.3. *Hylocomium splendens* attīstība

Nepiesārņotās vietas sūna

Piesārņotās vietas sūna



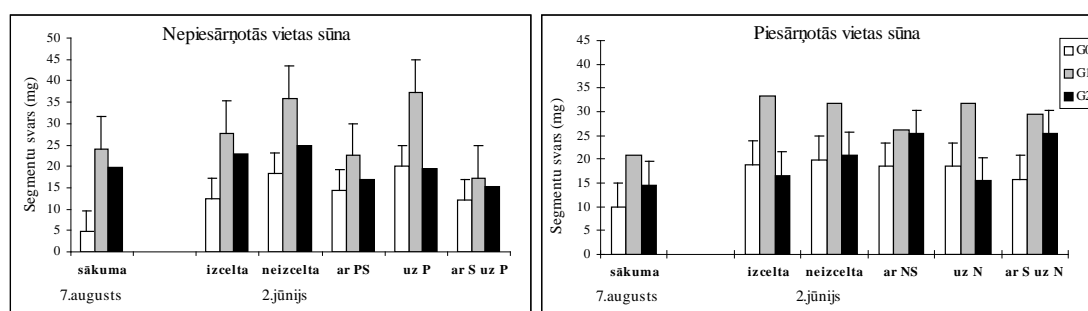
4.2.attēls. *Hylocomium splendens* segmentu svari, kuri pārstādīti starp piesārņoto (ar paaugstinātām Ca un Mg koncentrācijām) un nepiesārņoto vietu. G0, G1 un G2 segmenti ir sarindoti sekojoši viņu vecumam. Attēlos parādīta arī standartnovirze.

Visos eksperimenta variantos bija pavisam nelieli masas pieaugumi jaunākajam G0 segmentam rudens periodā (no 27.08. - 3.10.1996.g.), savukārt līdz

nākamā gada pavasarim (līdz 1997.g. 2.jūnijam) tā masa bija divkāršojusies (4.2.attēls).

Augšanas izmaiņas starp segmentu sākumu un beigu masu dažādos pārstādījuma variantos bija samērā būtiskas G0 segmentam abās vietās (4.3.attēls). Laika posmā no 3.oktobra līdz nākamā gada 2.jūnijam G0 sūnas segmenta masa palielinājās par 2 līdz 4 reizēm. Jaunie pumpuri netika novēroti pirms 1996.gada 3.oktobra, jo tie sāka attīstīties tikai no nākamā gada, ko arī konstatējām, kad ievācām sūnas 1997.gada 2.jūnijā.

Piesārņoto sūnu G1 un G2 segmentu beigu masas bija lielākas nekā to masas sākumā pilnīgi visos eksperimenta variantos, tomēr šīs atšķirības nebija būtiskas viena eksperimenta esošā varianta robežās. Nepiesārņotās vietas sūnā G0 un G1 segmentu beigu masas bija lielākas neskartajā kontroles variantā un arī tad, kad pārstāda tikai sūnu bez substrāta uz piesārņoto vietu, ja salīdzinām tos ar pārējiem eksperimenta variantiem (4.3.attēls).

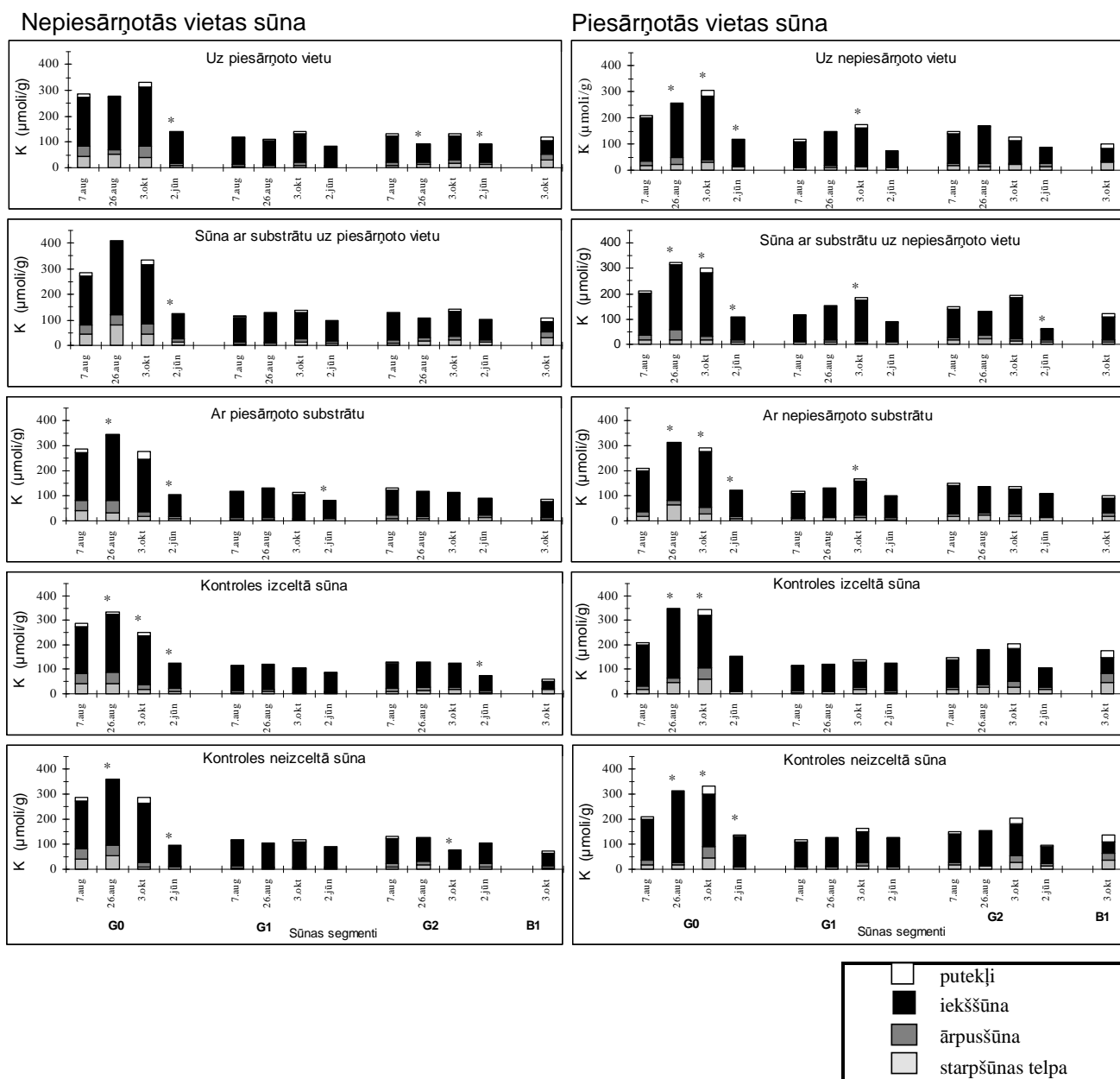


4.3.attēls Pētījuma sākuma (7.augusts) un beigu (2.jūnijs) segmentu svārs *Hylocomium splendens* segmentos, pārstādot sūnu starp piesārņotu vietu (ar Ca un Mg paaugstinātām koncentrācijām) un nepiesārņotu vietu. G0, G1 un G2 segmenti ir sarindoti sekojoši to vecumam. Vertikālie stabiņi attēlos parāda $LSD_{0.05}$, kas iegūti, veicot dispersijas analīzi. Divi kontroles nepārstādītie varianti: izceltās un neizceltās sūnas. Pārstādītie varianti: ar PS un ar NS - zem nepiesārņotās un zem piesārņotās sūnas apakšā tiek palikts attiecīgi piesārņotais un nepiesārņotais substrāts; pārstādīta tiek viena pati sūna – uz P un uz N (sūna uz piesārņoto un uz nepiesārņoto laukumu); pārstāda sūnu kopā ar substrātu uz nepiesārņoto un uz piesārņoto laukumu - ar S uz N un ar S uz P.

4.2.4. Ca, Mg un K koncentrācijas

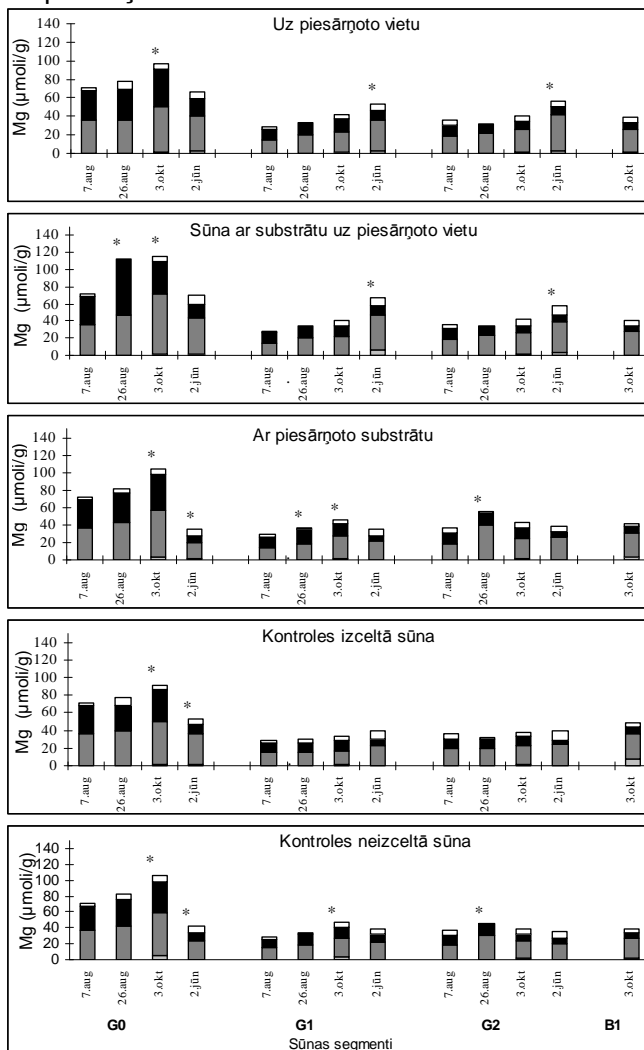
Piesārņotā vietā pie Saulkalnes *Hylocomium splendens* divu un trīs gadu vecajos segmentos Ca un Mg koncentrācijas bija vidēji 2-3 reizes lielākas nekā tas bija nepiesārņotā vietā (4.5. un 4.6.attēls) esošajos sūnu segmentos, savukārt K koncentrācijas (4.4.attēls) bija samērā līdzīgas abās paraugu ievākšanas vietās.

Pētījuma rezultāti rāda, ka vislielākās Ca koncentrācijas bija uz šūnapvalka, un arī Mg galvenokārt bija uz šūnapvalka, tomēr atšķirībā no kalcija, magnijs ievērojamā koncentrācijā tika konstatēts arī iekššūnā. Savukārt K ir tas ķīmiskais elements, kurš galvenokārt lokalizējas iekššūnā.

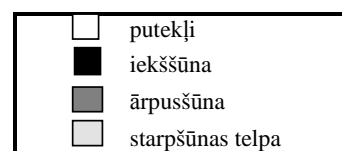
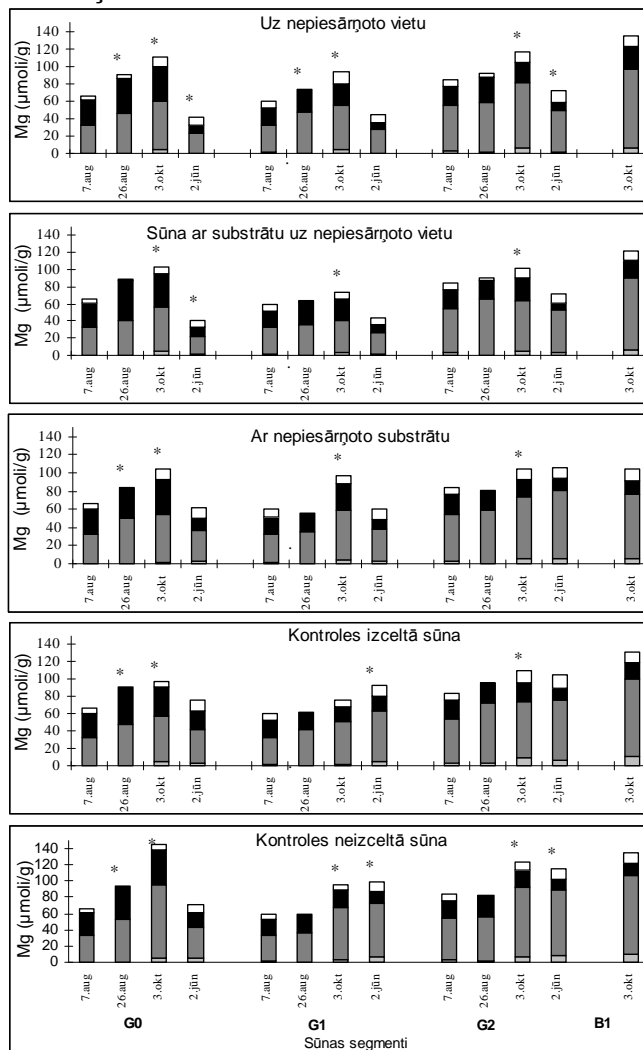


4.4.attēls. K koncentrācijas (iekššūnā, starpšūnas telpā, uz šūnapvalka ārpusšūnā un putekļi) *Hylocomium splendens* segmentos, kad veikta sūnas pārstādīšana starp ar Ca un Mg piesārņoto un nepiesārņoto vietu. Kopīgās koncentrācijas segmentos, kuras atšķiras no sākotnējām koncentrācijām, ir atzīmētas ar zvaigznīti. G0, G1 un G2 segmenti ir sarindoti sekojoši viņu vecumam.

Nepiesārņotās vietas sūna

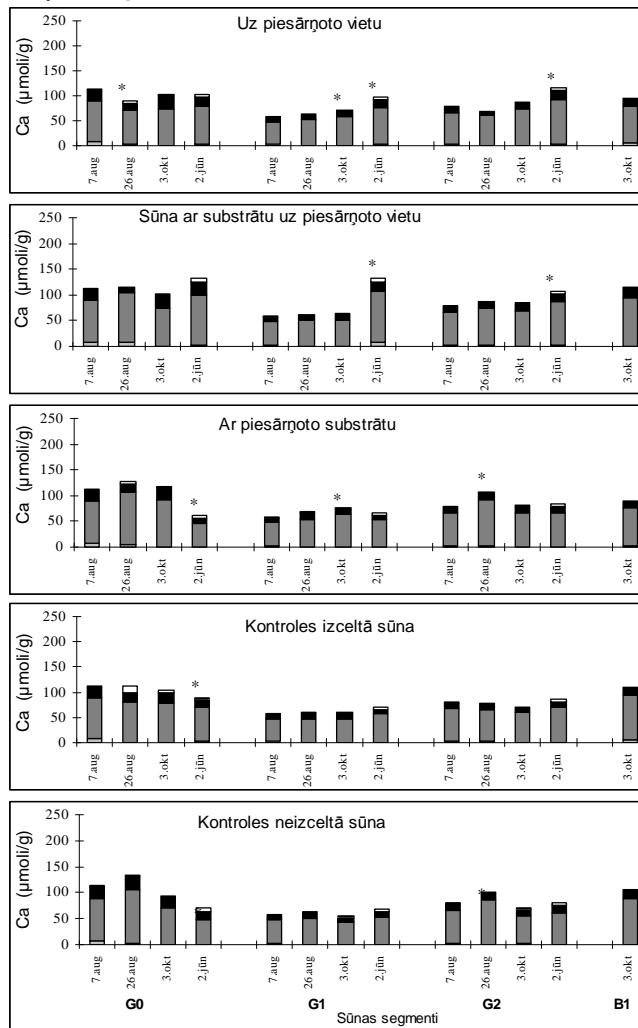


Piesārņotās vietas sūna

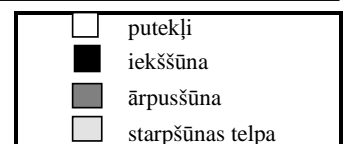
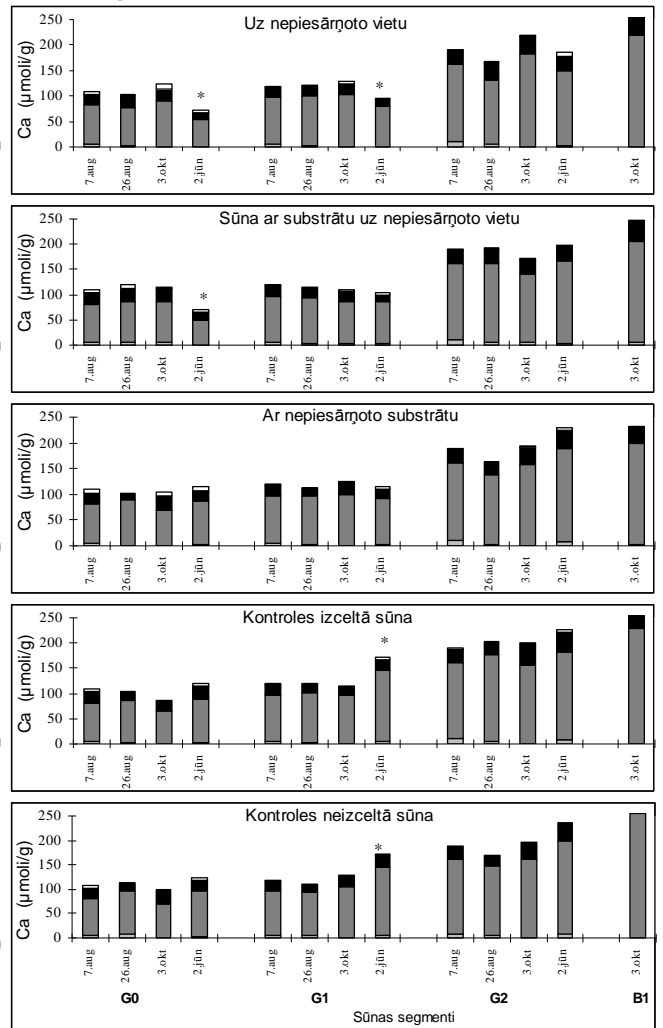


4.5.attēls. Mg koncentrācijas (iekššūnā, starpšūnas telpā, uz šūnapvalka ārpusšūnā un putekļi) *Hylocomium splendens* segmentos, kad veikta sūnas pārstādīšana starp ar Ca un Mg piesārņoto un nepiesārņoto vietu. Kopīgās koncentrācijas segmentos, kuras atšķiras no sākotnējām koncentrācijām, ir atzīmētas ar zvaigznīti. G0, G1 un G2 segmenti ir sarindoti sekojoši viņu vecumam.

Nepiesārņotās vietas sūna



Piesārņotās vietas sūna



4.6.attēls. Ca koncentrācijas (iekššūnā, starpšūnas telpā, uz šūnapvalka ārpusšūnā un putekļi) *Hylocomium splendens* segmentos, kad veikta sūnas pārstādīšana starp ar Ca un Mg piesārņoto un nepiesārņoto vietu. Kopīgās koncentrācijas segmentos, kuras atšķiras no sākotnējām koncentrācijām, ir atzīmētas ar zvaigznīti. G0, G1 un G2 segmenti ir sarindoti sekojoši viņu vecumam.

Esošajā pētījumā netika konstatēts tas, ka Ca un Mg koncentrācijas būtu ievērojami augstākas piesārņotās vietas sūnu iekššūnu frakcijā nekā tās ir nepiesārņotā vietā.

K lielākās koncentrācijās bija eksperimenta sākumā nekā beigās gan nepiesārņotā, gan piesārņotā parauglaukumā. Vislielākās K koncentrācijas (4.4.attēls) novērojamas G0 segmentos, un šīm koncentrācijām rudens periodā bija tendence palielināties. 1996.gada rudens periodā Mg koncentrācijas (4.5.attēls) palielinājās visos analizētajos segmentos, izņemot vienīgi G2 segmentā, kas bija nepiesārņotajā sūnā.

Mg koncentrācijas galvenokārt palielinājās tieši ārpusšūnas frakcijas daļā. Nepiesārņotās sūnas jaunākajā G0 segmentā vislielākā Mg koncentrācija bija rudenī, kamēr Mg koncentrācija piesārņoto sūnu segmentos bija samērā līdzīgas visās paraugu ievākšanas reizēs (4.5.attēls). Sākotnēji Mg koncentrācijas G1 un G2 sūnu segmentos nedaudz palielinājās piesārņotajā laukumā, salīdzinot ar nepiesārņotā laukuma sūnu, proti, lielāka Mg absorbcija bija tajā parauglaukumā, kas atradās pie Saulkalnes. Pārsteidzoši, ka Mg koncentrācija G1 un G2 piesārņotās sūnas segmentos turpināja palielināties rudenī, kad sūnu stāvu pārstādīja gan ar, gan bez substrāta uz nepiesārņoto vietu tādā pat tempā, kā tas bija piesārņotās vietas nepārstādītā izceltā sūnā.

Tai pat laikā Mg uzņemšana nepiesārņotās sūnas G2 segmentā bija niecīgāka, vai arī netika novērota vispār (4.5.attēls). Tam var būt tāds izskaidrojums, ka nepiesārņotā sūna nebija spējīga akumulēt vairāk Mg, kad sūnu pārstāda uz vietu ar lielākiem atmosfēras piesārņojuma nosēdumiem, salīdzinot ar uzņemšanu nepiesārņotajā kontroles variantā. Divu mēnešu periods bija krietni vien par maz, lai sasniegtu jaunu ķīmisko līdzsvaru ar to vidi, kas bija jaunā vietā. Sūnu paraugu ievākšanas reizē, kas tika veikta 3.oktobrī, Mg koncentrācija B1 segmentā bija 2,5 reizes lielāka piesārņotā vietā nekā nepiesārņotajā vietā.

Apskatot izanalizētās nepiesārņotās vietas esošās sūnas redzam, ka rudens periodā nedaudz palielinājās Ca koncentrācija (4.6.attēls) G1 segmentā, kad notika sūnu pārstādīšana uz piesārņoto vietu ar vai bez substrāta, un arī tad, ja nepiesārņotā vietā esošajai sūnai palika apakšā piesārņotā laukuma substrātu. Šajā gadījumā acīmredzot novērotā Ca uzņemšana bija vai nu no atmosfēras, vai arī no substrāta. Tai pat laikā pieaugoša Ca koncentrācija netika novērota nepiesārņotā parauglaukuma nepārstādītajās kontroles sūnās, kā arī piesārņoto pārstādīto un nepārstādīto sūnu segmentos. Ca saistība ar sūnu segmentu augšanu abās vietās nedaudz var tikt salīdzinātas ar Mg uzņemšanu. Divu rudens mēnešu ekspozīcija, kad nepiesārņotās

sūnas pārstādījām uz piesārņoto Saulkalnes vietu, uzrādīja nelielu Ca koncentrāciju paaugstināšanos, kamēr Mg koncentrācija palielinājās gandrīz par 50%.

Daudz būtiskākas koncentrāciju izmaiņas novērojām laika posmā starp 1996.gada oktobri un 1997.gada jūniju, kas bija saistīts ar lielāko biomasas pieauguma periodu (4.2.attēls). Ca un Mg koncentrācija pavasarī (2.jūnijs) nepiesārņotās sūnas G0 segmentā bija zemākas gan abos nepārstādītajos kontroles sūnu paraugu variantos, gan sūnai paliekot apakšā piesārņoto substrātu, gan arī tad, kad pārstādīja piesārņoto sūnu uz nepiesārņoto vietu, salīdzinot to ar sākotnējo koncentrāciju līmeni 1996.gadā.

Eksperimenta beigās Ca un Mg koncentrācijas nepiesārņotā sūnā, kura pārstādīta uz piesārņoto vietu, bija lielāka vai līdzīga, ja salīdzinām ar eksperimenta sākotnējām šo abu elementu koncentrācijām. Pretēju trendu novēroja piesārņotai sūnai, kad pavasarī Ca un Mg koncentrācijas samazinājās G0 segmentos, ja notiek sūnas pārstādīšana uz nepiesārņoto vietu, bet savukārt šīs koncentrācijas palielinājās vecāko segmentu (nenozīmīgi G2 segmentiem) kontroles sūnās.

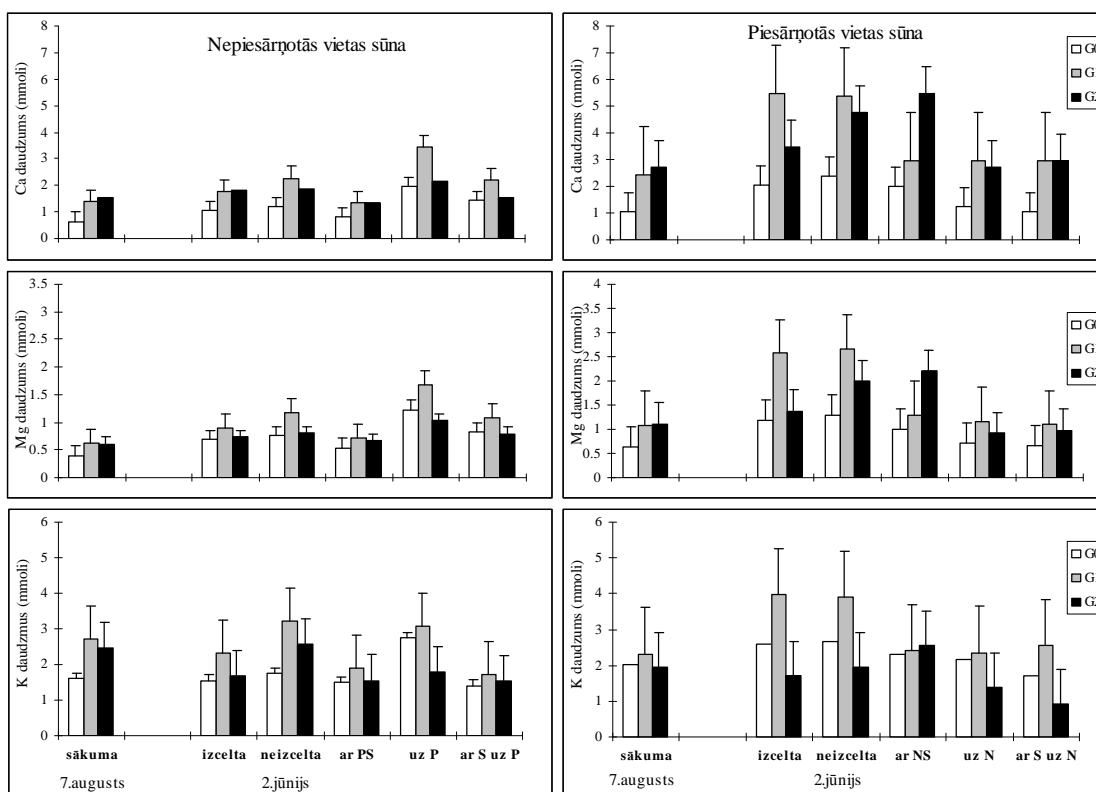
Eksperimentā tika konstatētas arī putekļu frakcijas koncentrācijas. Ja pētot Ca putekļi bija novēroti ļoti niecīgās koncentrācijās, tad Mg - putekļi bija ar ievērojamu koncentrācijas līmeni. Turpretim novērojumi ar kāliju parāda, ka putekļi vēl ir bijuši rudens periodā, bet pavasarī šie putekļi vairs netika konstatēti. Iespējams, ka šie putekļi ar nokrišņiem, lietu un sniegu tika noskaloti. Magnija pētījumos putekļi bija gan vasaras beigās un rudenī, gan arī bija vēl saglabājušies pavasarī.

4.2.5. K, Mg un Ca daudzumi

Iespējams, ka lielās elementu koncentrāciju atšķirības G0 segmentā nebija saistītas ar elementu izskalošanos, bet gan ar dilūciju, kas radās dēļ sūnas segmentu augšanas. Tāpēc arī katrā segmentā bija nepieciešams novērtēt elementu daudzumus. Novērtēt atšķirības starp elementu daudzumiem ir noderīgas vienīgi tad, ja pētījuma sākumā segmentu masas būtu bijušas līdzīgas visos pārstādījuma variantos. Tomēr dēļ lielās *Hylocomium splendens* segmentu lielumu dažādības, kā arī dēļ niecīgā atkārtojumu skaita (divi atsevišķi segmenti trijos atkārtojumos no trijiem sūnu laukumiņiem), esošā pētījuma novērojumus varētu uzskatīt kā aptuveni.

Lielāks Ca un Mg daudzums eksperimenta beigās, salīdzinot ar eksperimenta sākumu, bija vērojams tad, kad pārstādījām tikai nepiesārņotā parauglaukuma sūnas

uz piesārņoto parauglaukumu, un nevis tad, ja pārstāda nepiesārņotā parauglaukuma sūnu kopā ar substrātu uz piesārņoto laukumu (4.7.attēls). Piesārņotā parauglaukuma nepārstādītajās kontroles sūnās Ca un Mg daudzums visos segmentos palielinājās, salīdzinot tos ar eksperimenta sākuma datiem, bet tomēr vislielākais Ca un Mg pieaugums (apmēram 2-3 reizes) bija vērojams G0 un G1 segmentos.



4.7.attēls. Pētījuma sākuma (7.augusts) un beigu (2.jūnijs) Ca, Mg un K daudzumi *Hylocomium splendens* segmentos pārstādot sūnu starp piesārņotu vietu (ar Ca un Mg paaugstinātām koncentrācijām) un nepiesārņotu vietu. G0, G1 un G2 segmenti ir sarindoti sekojoši to vecumam. Vertikālie stabiņi attēlos parāda $LSD_{0,05}$, kas iegūti veicot dispersijas analīzi. Divi kontroles nepārstādītie varianti: izceltās un neizceltās sūnas. Pārstādītie varianti: ar PS un ar NS - zem nepiesārņotās un zem piesārņotās sūnas apakšā tiek palikts attiecīgi piesārņotais un nepiesārņotais substrāts; pārstādīta tiek viena pati sūna – uz P un uz N (sūna uz piesārņoto un uz nepiesārņoto laukumu); pārstāda sūnu kopā ar substrātu uz nepiesārņoto un uz piesārņoto laukumu - ar S uz N un ar S uz P.

K daudzums eksperimenta beigās jaunākajā G0 segmentā bija praktiski identisks sākuma datiem, izņemot tad, ja pārstādam nepiesārņotā parauglaukuma sūnu uz piesārņoto parauglaukumu. Pētījumā esošie sākuma un beigu K daudzumi G0 segmentā praktiski visos pārstādīšanas variantos bija līdzīgi. Tomēr kālijs augstāko līmeni sasniedza tad, kad mēs pārstādījām nepiesārņotā parauglaukuma sūnu uz piesārņoto parauglaukumu. Ja piesārņotā parauglaukuma sūnu vai sūnu kopā ar

substrātu pārstādījām uz nepiesārņoto parauglaukumu, tad novēroja K daudzuma samazināšanos vecākajā G2 segmentā.

Piesārņotais augsnes nedzīvās zemsegas slānis nepalielināja elementu uzņemšanu piesārņotā sūnā, kad abi divi kopā tika pārstādīti uz nepiesārņoto laukumu, salīdzinot ar to eksperimenta variantu, kad piesārņotā sūna tika pārstādīta viena pati bez substrāta. Abos šajos gadījumos beigu ķīmisko elementu daudzumi bija līdzīgi (Mg) vai nedaudz paaugstinājās (Ca), salīdzinot ar pētījuma sākumā esošo elementu daudzuma datiem.

Kad piesārņotai sūnai apakšā palikām nepiesārņoto substrātu, tad beigu Ca, Mg un K daudzumi būtiski palielinājās G0 un, jo īpaši, G2 segmentos, bet nepalielinājās G1 segmentos. Abu G1 un G2 segmentu masa pieauga jau rudens periodā, ko gan nenovērojām citos piesārņoto sūnu eksperimenta variantos.

4.3. DISKUSIJA

Pārstādot *Hylocomium splendens* starp piesārņoto un nepiesārņoto vietu var izmainīties Ca un Mg koncentrācijas, kad notika vai nu šo abu elementu zudumi, vai arī gluži pretēji – uzņemšana. Šīs elementu koncentrāciju izmaiņas radīja jaunie apstākļi, kuros sūna nonāca pēc pārstādīšanas. Akropetālais jeb augšupejošais ķīmisko elementu jonu transports bija dominējošais process vielu uzņemšanai jaunākajā segmentā. Pārstādot sūnas uz nepiesārņoto vietu, notika Ca un Mg pieaugums G0 segmentā. Tajā pašā laikā novēroja šo abu elementu zudumus no G1 un G2 segmentiem, kas iespējams arī bija kā avots G0 segmentam.

Ja pārstādīja tikai substrātu no otrā parauglaukuma, bet sūnas atstāja iepriekšējās, tad kopējais Mg koncentrāciju līmenis visvecākajā segmentā palika iepriekšējais. Taču abos jaunākajos G0 un G1 segmentos, Mg koncentrācijas bija mainīgas, tas ir, uz rudens pusi palielinājās, bet pavasarī krietni samazinājās. Tas varētu norādīt uz to, ka tomēr substrātam šajās pārstādīšanās nebija būtiskas nozīmes un tas neietekmēja Mg koncentrāciju līmeni sūnās. Līdzīgi rezultāti tika konstatēti arī ar Ca un K, kad notika šāda pat veida pārstādīšanas (kontroles parauglaukuma sūnām paliekot apakšā piesārņotā parauglaukuma substrātu, un otrādi). Arī šeit substrātam nav bijusi būtiska ietekme uz sūnas vecāko segmentu.

Eksperimentā esošās manipulācijas, kad lauka apstākļos sūna tiek pārstādīta uz citu vietu, tad tas var ietekmēt sūnas augšanas procesa gaitu. Jaunais G0 segments rudens periodā neizauga, un tas ir izskaidrojams ar to, ka bija silts un sauss augusta mēnesis, kam sekoja straujš nokrišņu daudzuma pieaugums, kā arī aukstums septembrī un oktobris ar salnām naktīs (4.1.attēls). Izkalšanas stress, kas radies pārstādīšanas procesā, var būt par cēloni tam, ka kavējas sūnas augšana un tālāka attīstība (Brūmelis *et al.*, 2000), tomēr arī neskartās kontroles sūnas augšana rudens periodā nebija būtiska. Līdzīgās piesārņoto sūnu segmentu beigu masas (4.2.attēls) kontroles un pārstādītajos variantos liecina par to, ka pārstādīšanas manipulācijas neietekmē sūnas augšanu.

K un Mg koncentrācijas starpsūnas telpā un apmaiņas K koncentrācijas bija visnotaļ zemas visu eksperimenta laiku, ja salīdzinām ar iekšsūnas koncentrācijām, un tas norāda uz to, ka sūnas ievākšanas un apstrādes procesā netika bojāta sūnas membrāna (Brown, Buck, 1979).

Starp 1996.gada 7.augustu un 3.oktobri sūnu pieaugums biomasā nebija būtisks, tomēr Mg koncentrācijām (4.5.attēls) bija tendence palielināties visu segmentu piesārņoto sūnu variantos. Mg koncentrācijas rudens periodā palielinājās piesārņotās sūnas jaunākos segmentos, kas, iespējams, bija saistīts ar akropetālo kustību no strauji sadalošā B1 segmenta, kurā bija uzkrājies samērā daudz Mg. Laboratorijas pētījumi parāda, ka *Rhitiadelphus squarrosus* katjonu kustību nosaka tas, kāds sūnai ir ūdens piegādes režīms. Jo retāk apgādā sūnu ar ūdeni, jo lielāks būs akropetālais transports, bet mazāka būs sūnas augšana (Wells, Brown, 1996). Šī pētījuma laikā sausais augusts un agrais septembris nodrošināja akropetālo plūsmu, kas ir dēļ evapotranspirācijas, un tā arī ir dominējošā vielu plūsma sūnās.

Ja salīdzinām Ca un Mg uzņemšanas tempu rudens periodā, tad redzam, ka kalcijam tas bija zemāks (4.6.attēls). Niecīgas iespējas tam, ka Ca varētu pārvietoties akropetāli ir tāpēc, ka Ca ir daudz ciešāk saistīts pie apmaiņas vietām nekā tas ir ar Mg un K (Brūmelis, Brown, 1997).

Ca, Mg un K daudzumu atšķirības pēdējā paraugu ievākšanas reizē (4.7.attēls) nepiesārņotā kontroles sūnā var būt daļēji izskaidrojamas ar atšķirīgiem sūnas augšanas tempiem (4.3.attēls). Pavasarī nepiesārņotā sūnā, kad to pārstādīja uz piesārņoto vietu, Ca un Mg daudzums lielāks bija G0 un G1 segmentos, ja salīdzinām ar šo elementu daudzumiem G2 segmentā. Acīmredzot to var izskaidrot tā, ka šie katjoni no atmosfēras nonāk uz jaunākiem segmentiem, jo tie atrodas sūnu stāva virspusē, tieši ziemas / pavasara periodā. Kad nepārstādītā nepiesārņotā sūna bija kādu laiku augusi uz piesārņotā substrāta, tad elementu uzņemšana sūnās no šī substrāta, kurā bija paaugstināts elementu saturs, netika novērota.

Ja apskatām Mg akumulāciju jaunākos segmentos rudens periodā piesārņotās sūnās, tad redzam, ka tas visos eksperimentā esošajos apstrādes variantos izzuda nākamā gada pavasarī. Pavasarī piesārņoto vietu nepārstādītās sūnās Ca un Mg bija būtiski vairāk nekā pārstādītā sūnā uz nepiesārņoto vietu. Lielākais jonu iekšējais avots ziemas periodā un agrā pavasarī acīmredzot bija mitrie nosēdumi ar sniega kušanas ūdeņiem un lietu.

4.4. SECINĀJUMI

1. Pārstādīšanas manipulācijas neietekmē sūnas augšanu.
2. Lielās elementu koncentrāciju atšķirības G0 segmentā nav saistītas ar elementu izskalošanos, bet gan ar dilūciju, kas ir dēļ sūnas jaunākā segmenta augšanas.
3. Netika novērota elementu jonu recirkulācija starp segmentiem gan akropetālajā, gan bazipetālajā virzienā.
4. Galvenā elementu piegāde sūnām ir no atmosfēras, bet substrāta ietekmei nav nozīmes.

5. Spalvu sūnu nozīme priežu mežu ekosistēmā

IEVADS

Zemsedzes spalvu sūnas ekosistēmā var ietekmēt elementu plūsmu, uzņemot tos no vainagu noteces un absorbēt, bet pēc tam elementi var tikt atbrīvoti, sūnām sadaloties (Eckstein, 2000). Sūnas var ņemt dalību ne tikai barības vielu apritē (Rydgren *et al.*, 1998), bet iespējams, ka sūnas varot ietekmēt to uzņemšanu citos augstākajos augos (Eckstein, 2000).

Esošais eksperimentālais pētījums tika realizēts, lai novērtētu, kādas ir ķīmisko elementu koncentrāciju izmaiņas parastās egles (*Picea abies* (L.)H.Karst.) skujās, parastās mellenes (*Vaccinium myrtillus* L.) lapās un augsnes nedzīvā zemsegā (O horizonts), ja tiek traucēts, ietekmēts zemsedzes spalvu sūnu stāvs priežu meža ekosistēmā, kad sūnu slānis tika apgriezts vai noņemts pavisam.

Darba mērķis bija novērtēt zemsedzes spalvu sūnu nozīmi barības vielu aizturē priežu meža ekosistēmā.

Darbā izvirzītie uzdevumi bija sekojoši:

1. salīdzināt sūnās esošās ķīmisko elementu koncentrācijas un daudzumus kontroles neskartos laukumos ar sūnu stāva ietekmētajiem laukumiem;
2. noskaidrot, vai sūnu stāva izmaiņas, apgriežot to vai noņemot, spēj ietekmēt ķīmisko elementu koncentrācijas *Picea abies* skujās un *Vaccinium myrtillus* lapās.

5.1. MATERIĀLS UN METODEDES

5.1.1. Parauglaukumu ierīkošana un paraugu ievākšana

2001.gada pavasarī (7-8.jūnijs) netālu no Mazsalacas pie Skaņaiskalns, kur uz tipiskā podzola augsnes pirmajā stāvā pārsvarā aug priedes un ir lāna meža augšanas apstākļu tips, tika izveidoti deviņi parauglaukumi. Katrs no šiem deviņiem parauglaukumiem bija 100 m² liels, tas ir, 10 x 10 m. Trīs no šiem deviņiem parauglaukumiem bija kā kontroles laukumi, tas ir, sūnu stāvs tajā netika mākslīgi traucēts (turpmāk darbā apzīmēts ar K). Vēl trijos laukumos sūnu stāvu apgriezām otrādi (turpmāk darbā apzīmēts ar SA), tādējādi radot traucējumu ekosistēmā, kad laukums izskatījās kā meža dzīvnieku (piemēram, meža cūku) izrakņāts, izārdīts. Un, visbeidzot, vēl trijos parauglaukumos veicām sūnu stāva likvidāciju, kad tika noņemts sūnu stāvs, kurā bija sekojošas zemsedzes sūnu sugas - *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Ptilium crista-castrensis*, un turpmāk darbā šie parauglaukumi tiek apzīmēti ar SN. Tomēr 2002.gada pavasarī bija nepieciešams izveidot trīs jaunus parauglaukumus, tas ir, pa vienam no katra varianta – K, SA un SN (turpmāk darbā apzīmēti kā K-4; SA-4 un SN-4). Tas bija jādara tāpēc, ka 2001.- 2002. gada ziemā gar Skaņaiskalns tika izveidots jauns meža ceļš un tādējādi izpostot šos trīs parauglaukumus no katra varianta.

Katru gadu (no 2001.- 2005. gadam) pavasarī un rudenī ievācām sūnu (20 x 20 cm lielā platībā) un augsnes paraugus (15 paraugi, kas ņemti ar augsnes zondi, kura diametrs ir 4,5 cm).

Vēl trīs reizes (pavasaros) - trešajā (2002.g. 6.-7.jūnijs), septītajā (2004.g. 15.jūnijs) un devītajā (2005.g. 15.jūnijs) reizē katrā no parauglaukumiem trijos atkārtojumos tika ievākti *Vaccinium myrtillus* lapu un *Picea abies* skuju paraugi.

Šīs ievākšanas reizes un datumi bija sekojoši:

1. reize 2001.g. 7.-8.jūnijs
2. reize 2001.g. 14.septembris
3. reize 2002.g. 6.-7.jūnijs
4. reize 2002.g. 2.oktobris
5. reize 2003.g. 19.jūnijs
6. reize 2003.g. 7.oktobris
7. reize 2004.g. 15.jūnijs
8. reize 2004.g. 10.oktobris
9. reize 2005.g. 15.jūnijs

Ievāktie sūnu, augsnes, *Vaccinium myrtillus* lapu un *Picea abies* skuju paraugi polietilēna maisiņos tika transportēti uz laboratoriju, kas atrodas LU Bioloģijas fakultātes Botānikas un ekoloģijas katedrā.

5.1.2. Ievākto paraugu laboratoriskā apstrāde

Kad paraugus atveda uz laboratoriju, tad tie vispirms tika izžāvēti un attīrīti no piemaisījumiem (nobiras, kukaiņu paliekas), un pēc tam šos sūnu, augsnes, *Vaccinium myrtillus* lapu un *Picea abies* skuju paraugus apstrādāja ķīmiski, iegūstot izvilcumus šķīdumā.

Šī ķīmiskā apstrāde bija sekojoša (Ринькис, 1972) –

Vispirms samala visas sūnas un to paraugu iesvēra uz analītiskiem svariem, kas mūsu gadījumā bija 1 grams. Paraugu dedzināja mufelī pie 450 °C, kamēr bija sadedzis līdz baltiem pelniem. Izņēma no mufeļa, atdzesēja un samitrināja ar koncentrētu HNO₃, iztvaicēja uz plītiņas un lika atkal atpakaļ mufelī. Dedzināja ne mazāk kā 1 stundu. Izņēma no mufeļa, atdzesēja, samitrināja ar koncentrētu HCl, lai šķīdinātu nogulsnes un iztvaicētu uz plītiņas, un to pašu atkārtoja arī otro reizi. Trešo reizi nogulsnes samitrināja, bet tagad tikai ietvaicēja. Tālāk ar karstu destilētu ūdeni 1:100 (viena daļa koncentrēta HCl + destilēta H₂O) pārnesa mērcilindrā un uzpildīja līdz noteiktam tilpumam (atkarībā no elementu koncentrācijas).

Kad iegūts šķīdums, tad uz atomu absorbcijas spektrofotometra (AAS) tajā nosaka ķīmisko elementu (Ca, Mg un K) absorbcijas, un vēl šo iegūto šķīdumu izmanto, lai tālāk noteiktu fosforu (fosfora noteikšanai ņem 0,5 ml analizējamā šķīduma un ar destilēto ūdeni uzpilda līdz 5 ml, tad pielej 5 ml amonija molibdāta šķīdumu un vienu pilienus reducētāja), izmantojot FEK – 56 PM aparāturu.

Vēl bez tam sūnu, augsnes, *Vaccinium myrtillus* un *Picea abies* skuju ievāktajos paraugos tika noteikts arī slāpekļis, un tas notika pēc standarta Kjeldāla metodes.

5.2. REZULTĀTI

5.2.1. Ķīmisko elementu koncentrācijas sūnās un augsnes nedzīvā zemsegā

Mazsalacā veiktajā eksperimentā novēroja, ka sūnās ķīmisko elementu koncentrācijas pavasaros samazinājās, bet pēc tam rudens periodā atkal palielinājās (5.1.attēls). Tas varēja būt par iemeslu tam, ka uz rudens pusi notika ķīmisko elementu uzkrāšanās. Tomēr šie novērojumi bija ne vienmēr un arī ne visiem elementiem. Visizteiktāk šādas izmaiņas tika konstatētas, apskatot kālija koncentrācijas kontroles parauglaukumos.

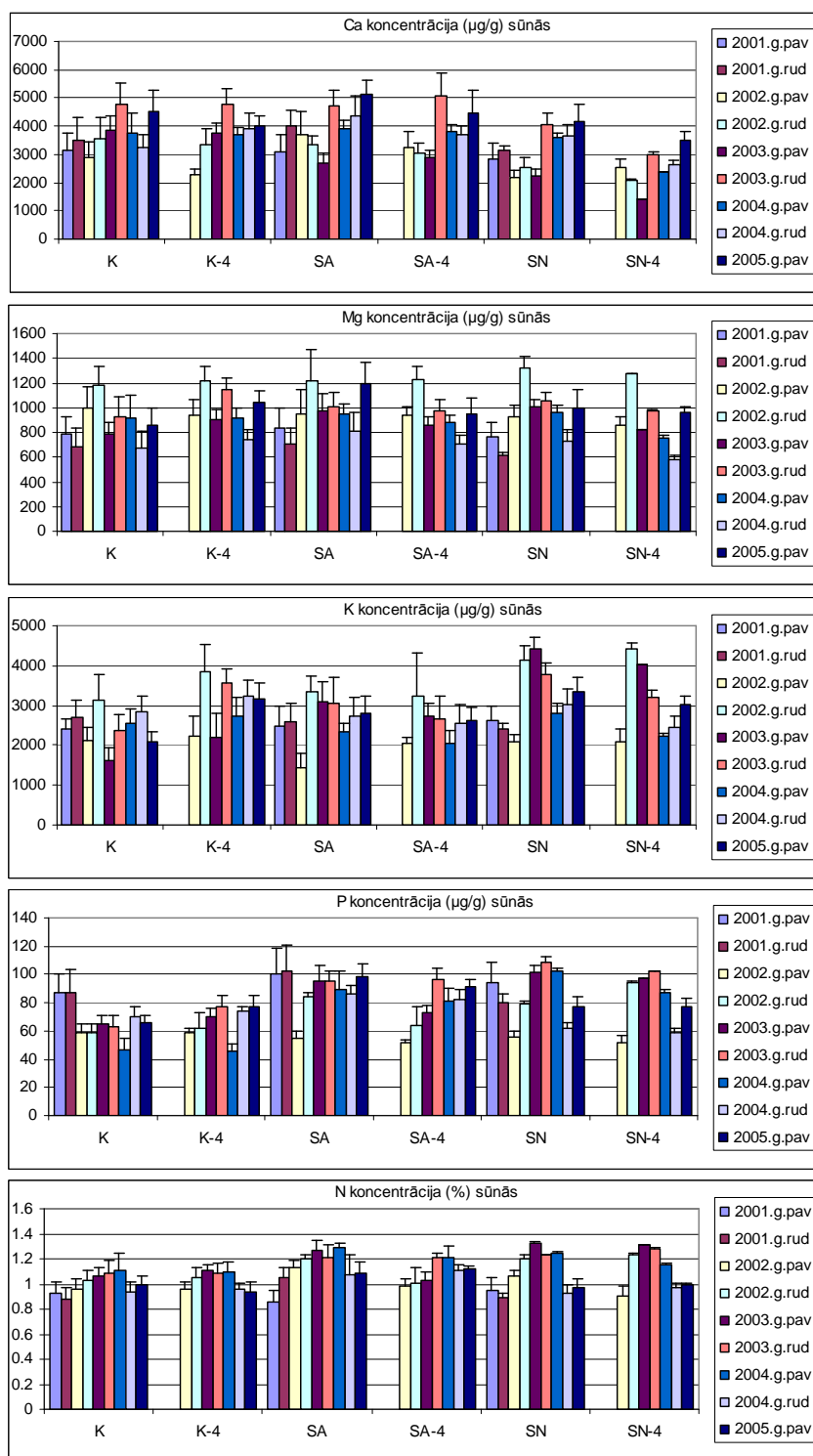
Lielākas kālija koncentrācijas konstatēja tajos parauglaukumos, kur tika veikta sūnu stāva noņemšana, savukārt zemākas koncentrācijas bija kontroles neskartajos parauglaukumos, jo sūnu noņemtajos parauglaukumos sūnas tikai atsāka savu attīstību un bija salīdzinoši jaunākas nekā tās bija kontroles vietās (5.1.attēls), kur sūnu stāvs bija neskarts. Pretēja situācija tika novērota, ja apskatam sūnu grafiku ar kalcija koncentrāciju rezultātiem, kur lielākas kalcija koncentrācijas bija kontroles un apgriezto sūnu parauglaukumos, bet zemākas koncentrācijas bija noņemto sūnu parauglaukumos. Tas varēja būt tāpēc, ka kalcijš galvenokārt uzkrājas vecākajos sūnu segmentos, ko apstiprināja arī tas, ka SN laukumos kalcija koncentrācija, sākot ar 2003. gada rudeni, sāka izlīdzināties ar kontroles laukumos esošām sūnām.

Vēl bez tam papildus izanalizējot augsnes nedzīvo zemsegu redzam, ka arī šeit ķīmisko elementu koncentrācijas (5.2.attēls) ievērojami nemainās, ja salīdzinām katru parauglaukuma veidu starp dažādām augsnes paraugu ievākšanas reizēm.

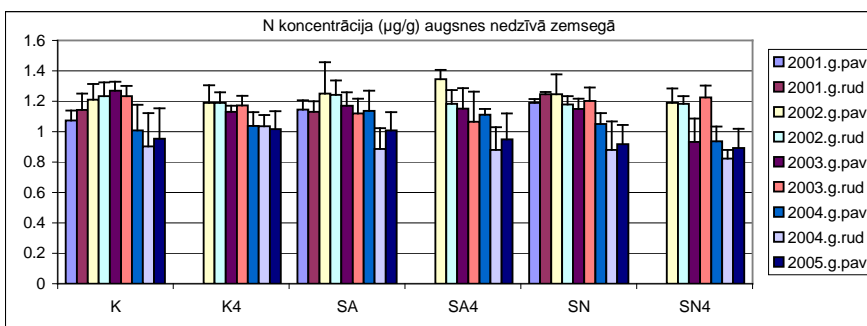
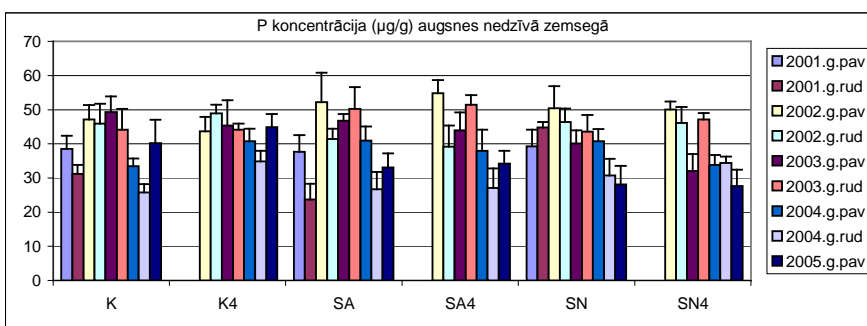
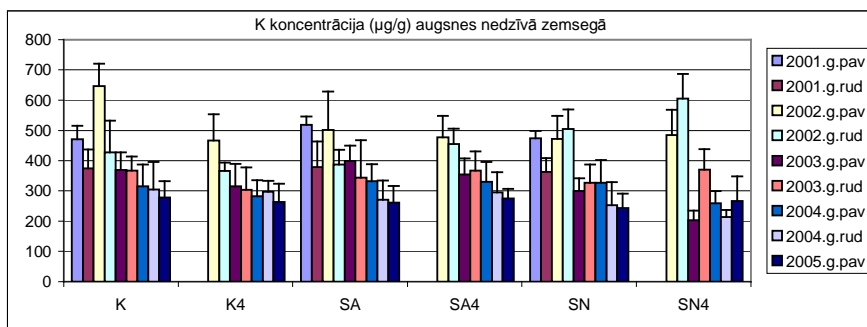
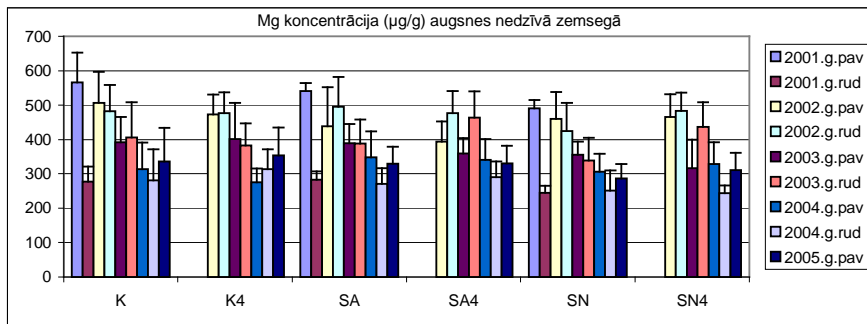
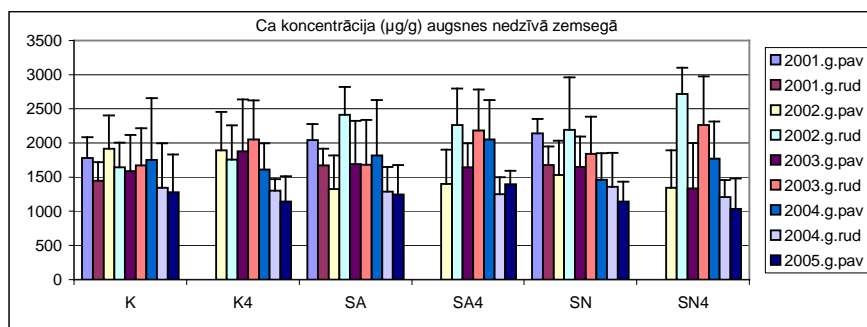
Novērtējot ķīmisko elementu koncentrācijas sūnās redzam, ka bieži vien lielas atšķirības bija starp paraugu ievākšanas reizēm viena parauglaukuma robežās, savukārt starp variantiem šīs atšķirības nebija tik ievērojami lielas. Tomēr tā kā šajā pētījumā izvirzītā hipotēze bija saistīta ar to, kāda ir sūnas ietekmes nozīme uz ķīmisko vielu aizturi ekosistēmā, tad būtiskāk bija apskatīt ķīmisko elementu koncentrāciju izmaiņas starp dažādiem parauglaukumiem vienā paraugu ievākšanas reizē.

Apskatot 5.1.tabulu redzam elementu koncentrāciju būtiskās atšķirības starp K un SA laukumiem dažādās sūnu paraugu ievākšanas reizēs, kā arī starp K un SN laukumiem un arī to, vai palielinās, vai gluži pretēji – samazinās ķīmisko elementu koncentrācijas traucētajos parauglaukumos attiecībā pret kontroles laukumiem.

Apskatot kopumā visus elementus novērojām, ka 2003.gada pavasarī būtiski atšķīrās starp SA un K un starp SN un K laukumiem, kā arī starp K-4 un abiem pārējiem ceturtajiem laukumiem – SA-4 un SN-4 (5.1.tabula), kur lielākoties visu elementu koncentrācijas, izņemot kalciju, lielākas bija ekosistēmas traucētajos parauglaukumos.



5.1.attēls. Ķīmisko elementu koncentrācijas sūnās deviņās paraugu ievākšanas reizēs sešos parauglaukumos. Attēlos parādīta arī standartnovirze.



5.2.attēls. Ķīmisko elementu koncentrācijas (µg/g) augsnes nedzīvā zemsegā (O horizonts) deviņās paraugu ievākšanas reizēs sešos parauglaukumos. Attēlos parādīta arī standartnovirze.

5.1.tabula.

Ķīmisko elementu (Ca, Mg, K, P, N) koncentrāciju būtiskumi (ANOVA, Scheffe, $\alpha < 0.05$) sūnās deviņās paraugu ievākšanas reizēs starp SA un K, SN un K, SA-4 un K-4, SN-4 un K-4 parauglaukumiem. Parādītas ir arī koncentrāciju palielināšanās (+) vai samazināšanās (-) tendences SA, SN, SA-4 un SN-4 laukumos attiecībā pret K un K-4 laukumiem. K-4, SA-4 un SN-4 laukumos pētījums sākts ar 2002.gada pavasari.

SA pret K	2001.g.pav	2001.g.rud	2002.g.pav	2002.g.rud	2003.g.pav	2003.g.rud	2004.g.pav	2004.g.rud	2005.g.pav
Ca		x (+)	x (+)		x (-)			x (+)	x (+)
Mg					x (+)			x (+)	x (+)
K			x (-)		x (+)	x (+)			x (+)
P	x (+)	x (+)	x (-)	x (+)	x (+)	x (+)	x (+)	x (+)	x (+)
N	x (-)	x (+)	x (+)	x (+)	x (+)	x (+)	x (+)	x (+)	x (+)
SN pret K									
Ca			x (-)	x (-)	x (-)			x (+)	
Mg					x (+)				x (+)
K	x (+)			x (+)	x (+)	x (+)			x (+)
P				x (+)	x (+)	x (+)	x (+)	x (-)	x (+)
N			x (+)	x (+)	x (+)	x (+)	x (+)		
SA-4 pret K-4									
Ca	nav	nav	x (+)		x (-)				
Mg	nav	nav			x (-)	x (-)			x (-)
K	nav	nav			x (+)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)
P	nav	nav	x (-)		x (+)	x (+)	x (+)	x (+)	x (+)
N	nav	nav			x (-)	x (+)	x (+)	x (+)	x (+)
SN-4 pret K-4									
Ca	nav	nav		x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)
Mg	nav	nav			x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	
K	nav	nav			x (+)			x (-)	
P	nav	nav	x (-)	x (+)	x (+)	x (+)	x (+)	x (-)	
N	nav	nav			x (+)	x (+)			x (+)

Salīdzinot SA un K laukumus redzam, ka būtiskas bija fosfora un slāpekļa koncentrāciju atšķirības sūnās visās sūnu paraugu analizēšanas reizēs. Ja fosfora koncentrācijas SA laukumā bija lielākas visās reizēs, izņemot 2002.gada pavasari, nekā K laukumā, tad slāpeklim SA laukumā sākumā tikai 2001.gada pavasarī bija zemākas koncentrācijas, bet pārējos datumos bija augstākas koncentrācijas nekā tas bija K laukumā.

Savukārt pārējo elementu koncentrācijas sākumā pirmajā reizē būtiski neatšķīrās starp abiem iepriekš minētajiem (SA un K) parauglaukumiem. Acīmredzot kalciju, magniju un kāliju būtiski neietekmēja šo atšķirīgo parauglaukumu veidi (kontroles un traucētie), jo 2001.gada pavasarī sūnu paraugi tika paņemti vēl tad, kad netika veikti sūnu apgriešanas traucējumi.

2001.gada pavasarī tikai kālija koncentrācija būtiski atšķīrās, ja salīdzinām SN un K laukumus (5.1.tabula), kur SN laukumā kālija koncentrācijas bija lielākas nekā K laukumā. Ja, salīdzinot SN un K laukumu, 2001.gada rudenī neatšķīrās visu elementu koncentrācijas, tad, salīdzinot SA un K laukumus, neatšķīrās tikai magnija

un kālija koncentrācijas, bet kalcijs, fosfors un slāpelis – būtiski atšķīrās, jo SA laukumā to koncentrācijas bija lielākas nekā K laukumā.

Kopumā apskatot ķīmisko elementu koncentrācijas sūnās novērojām, ka šīs koncentrācijas mums nekādu būtisko informāciju nevar sniegt par zemesdzīvības spalvu sūnu nozīmi priežu meža ekosistēmā, tādēļ būtu nepieciešams veikt ķīmisko elementu daudzuma aprēķinus.

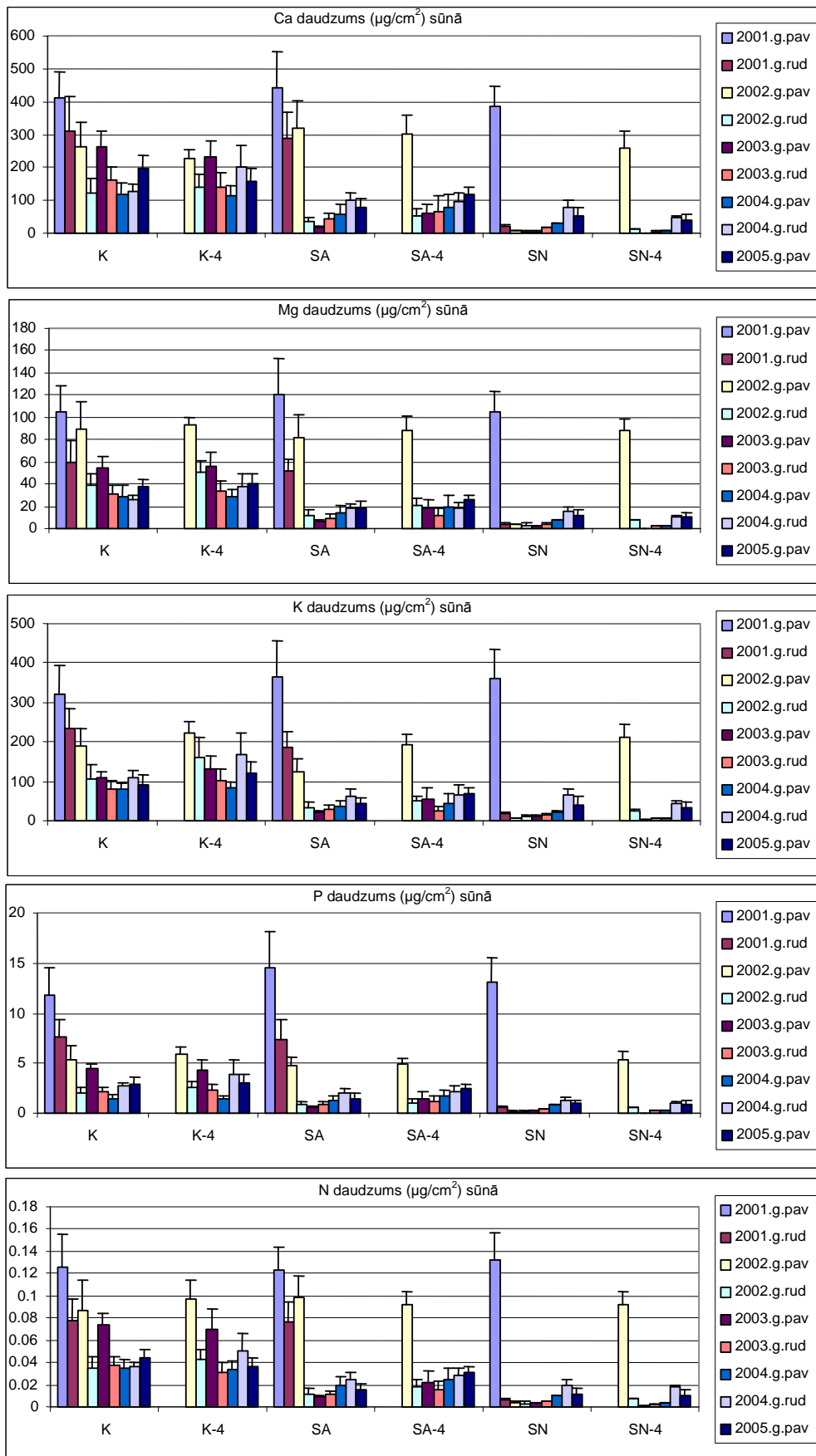
5.2.2. Ķīmisko elementu daudzumi sūnās un augsnes nedzīvā zemsegā

Apskatot 5.3.attēlu novērojama tāda tendence, ka ķīmisko elementu samazināšanās notiek ne tikai traucētajos parauglaukumos, bet arī kontroles parauglaukumā. Gan sūnu apgrieztajos laukumos, gan noņemtajos laukumos elementu daudzumi pētījuma beigās nespēj sasniegt sākotnejo līmeni.

5.2.tabula.

Ķīmisko elementu (Ca, Mg, K, P, N) daudzumu būtiskumi (ANOVA, Scheffe, $\alpha < 0.05$) sūnās deviņās paraugu ievākšanas reizēs starp SA un K, SN un K, SA-4 un K-4, SN-4 un K-4 parauglaukumiem. Parādītas ir arī daudzumu palielināšanās (+) vai samazināšanās (-) tendences SA, SN, SA-4 un SN-4 laukumos attiecībā pret K un K-4 laukumiem. K-4, SA-4 un SN-4 laukumos pētījums sākts ar 2002.gada pavasari.

SA pret K	2001.g.pav	2001.g.rud	2002.g.pav	2002.g.rud	2003.g.pav	2003.g.rud	2004.g.pav	2004.g.rud	2005.g.pav
Ca			x (+)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)
Mg	x (+)	x (-)		x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)
K	x (+)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)
P	x (+)			x (-)	x (-)	x (-)		x (-)	x (-)
N				x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)
SN pret K	2001.g.pav	2001.g.rud	2002.g.pav	2002.g.rud	2003.g.pav	2003.g.rud	2004.g.pav	2004.g.rud	2005.g.pav
Ca		x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)
Mg		x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)
K		x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)
P		x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)
N		x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)
SA-4 pret K-4	2001.g.pav	2001.g.rud	2002.g.pav	2002.g.rud	2003.g.pav	2003.g.rud	2004.g.pav	2004.g.rud	2005.g.pav
Ca	nav	nav	x (+)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)
Mg	nav	nav		x (-)	x (-)	x (-)		x (-)	x (-)
K	nav	nav		x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)
P	nav	nav	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)		x (-)	
N	nav	nav		x (-)	x (-)	x (-)		x (-)	
SN-4 pret K-4	2001.g.pav	2001.g.rud	2002.g.pav	2002.g.rud	2003.g.pav	2003.g.rud	2004.g.pav	2004.g.rud	2005.g.pav
Ca	nav	nav		x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)
Mg	nav	nav		x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)
K	nav	nav		x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)
P	nav	nav		x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)
N	nav	nav		x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)	x (-)



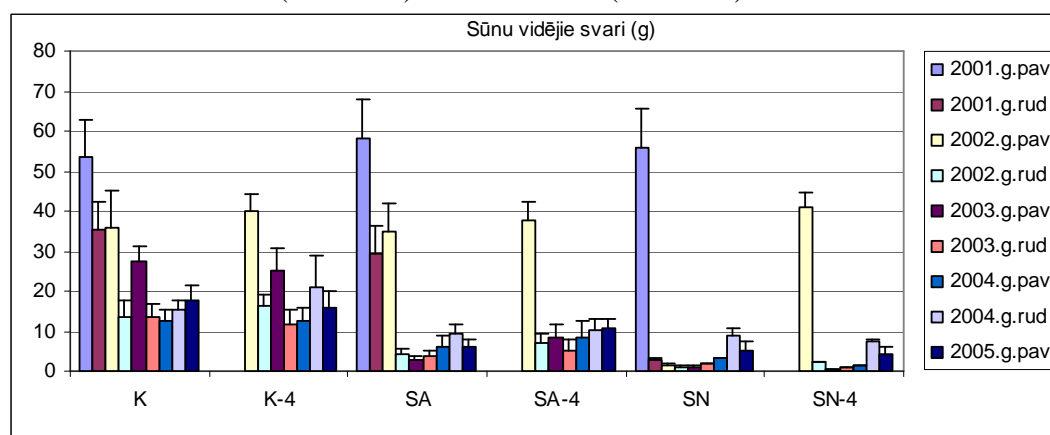
5.3.attēls. Ķīmisko elementu daudzumi ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) sūnās deviņās paraugu ievākšanas reizēs sešos parauglaukumos. Attēlos parādīta arī standartnovirze.

Pētījuma pirmajā paraugu ievākšanas reizē 2001.gada pavasarī, ja salīdzinām sūnu noņemtus un kontroles parauglaukumus, visu ķīmisko elementu daudzumi sūnās bija ar nelielām atšķirībām un tās nebija statistiski būtiskas (5.2.tabula). Tomēr, sākot ar nākamo paraugu ievākšanas reizi, kas bija 2001.gada rudenī, SN un SN-4 laukumos ķīmisko elementu daudzumi sūnās bija būtiski zemākas nekā tas bija attiecīgi K un K-4 laukumos. Šīs atšķirības bija novērojamas visu pētījuma laiku līdz pat pēdējai paraugu ievākšanas reizei 2005.gada pavasarim.

Mg, K un P daudzumi sūnās pirmajās reizēs bija būtiski augstāki SA laukumā nekā K laukumā ievāktajās sūnās (5.2.tabula). Savukārt vēlākās pētījuma reizēs SA laukumā šo trīs elementu daudzumi samazinājās.

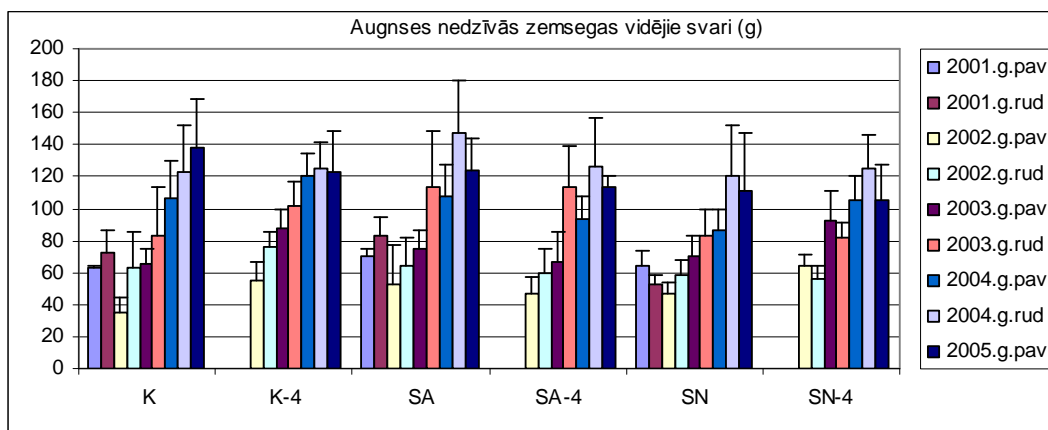
Salīdzinot SN laukumu ar K laukumu redzam to, ka eksperimenta sākumā 2001.gada pavasarī nebija elementu daudzumu atšķirības starp šiem abiem parauglaukumiem, tad visās pārējās reizēs SN laukumā visu elementu daudzumi bija zemāki nekā K laukumā.

Veicot arī sūnu vidējo svaru aprēķināšanu redzam, ka katrā no parauglaukumiem praktiski identiskas bija izmaiņas starp sūnās esošo ķīmisko elementu daudzumu (5.3.attēls) un sūnu svaru (5.4.attēls).



5.4.attēls. Sūnu paraugu vidējie svāri deviņās paraugu ievākšanas reizēs sešos parauglaukumos. Attēlos parādīta arī standartnovirze.

Savukārt pilnīgi pretēja situācija, salīdzinot ar sūnu vidējiem svāriem, bija ar augsnes nedzīvās zemsegas jeb O horizonta vidējiem svāriem. Šeit redzam, ka katrā no parauglaukumiem ar katru nākamo reizi O horizonta svārs palielinājās, tomēr, salīdzinot parauglaukumus starp atsevišķām reizēm, vērojama tāda tendence, ka svāra izmaiņas bija nenoīmīgas (5.5.attēls).



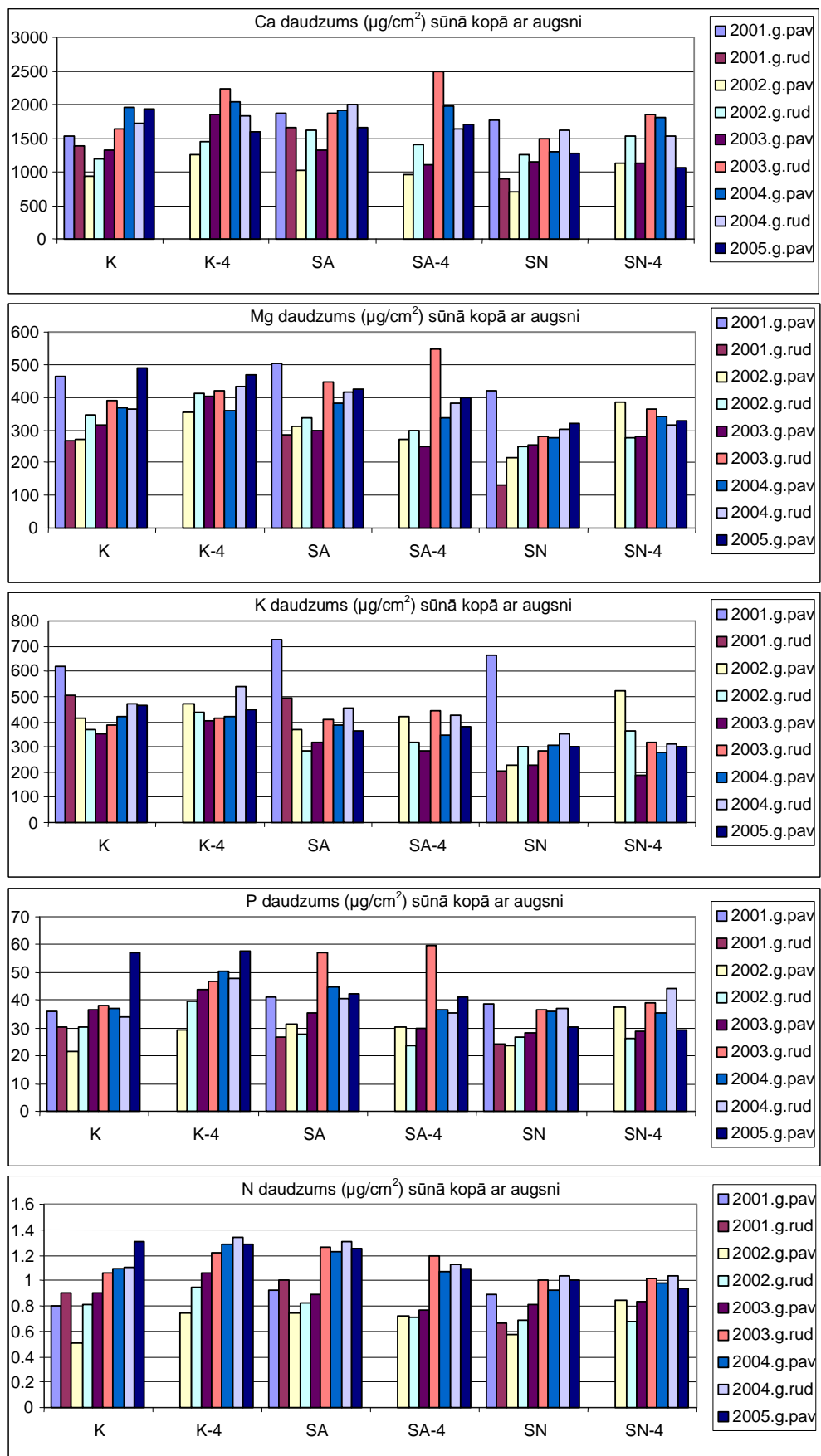
5.5.attēls. Augšnes nedzīvās zemsegas (O horizonts) paraugu vidējie svāri deviņās paraugu ievākšanas reizēs sešos parauglaukumos. Attēlos parādīta arī standartnovirze.

Lai varētu novērtēt to, cik daudz ķīmisko elementu tiek aizturēti sūnās kopā ar O horizontu (augšnes nedzīvo zemsegu), tad arī šim nolūkam tika aprēķinātas koncentrācijas uz laukuma vienību ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), tas ir, elementu daudzumi. Tas tika veikts tāpēc, ka sūnu vecākās segmentu daļas pamazām atmirst un piedalās O horizonta slāņa veidošanā.

Ja sākumā paņemtajos sūnu paraugos tika ņemtas gan jaunās, gan vecās sūnu daļas, tad traucētajos laukumos sākumā bija tikai jaunākie sūnu pieauguma gadu segmenti.

Apskatot visu elementu kopīgās izmaiņu tendences (5.6.attēls) redzam, ka sākumā kontroles (K) laukumā notika elementu daudzuma samazināšanās, bet pēc tam atkal palielinājās. Tomēr līdzīgas izmaiņas novērojām arī traucētajos laukumos, kur tika veikta sūnu stāva apgriešana vai noņemšana.

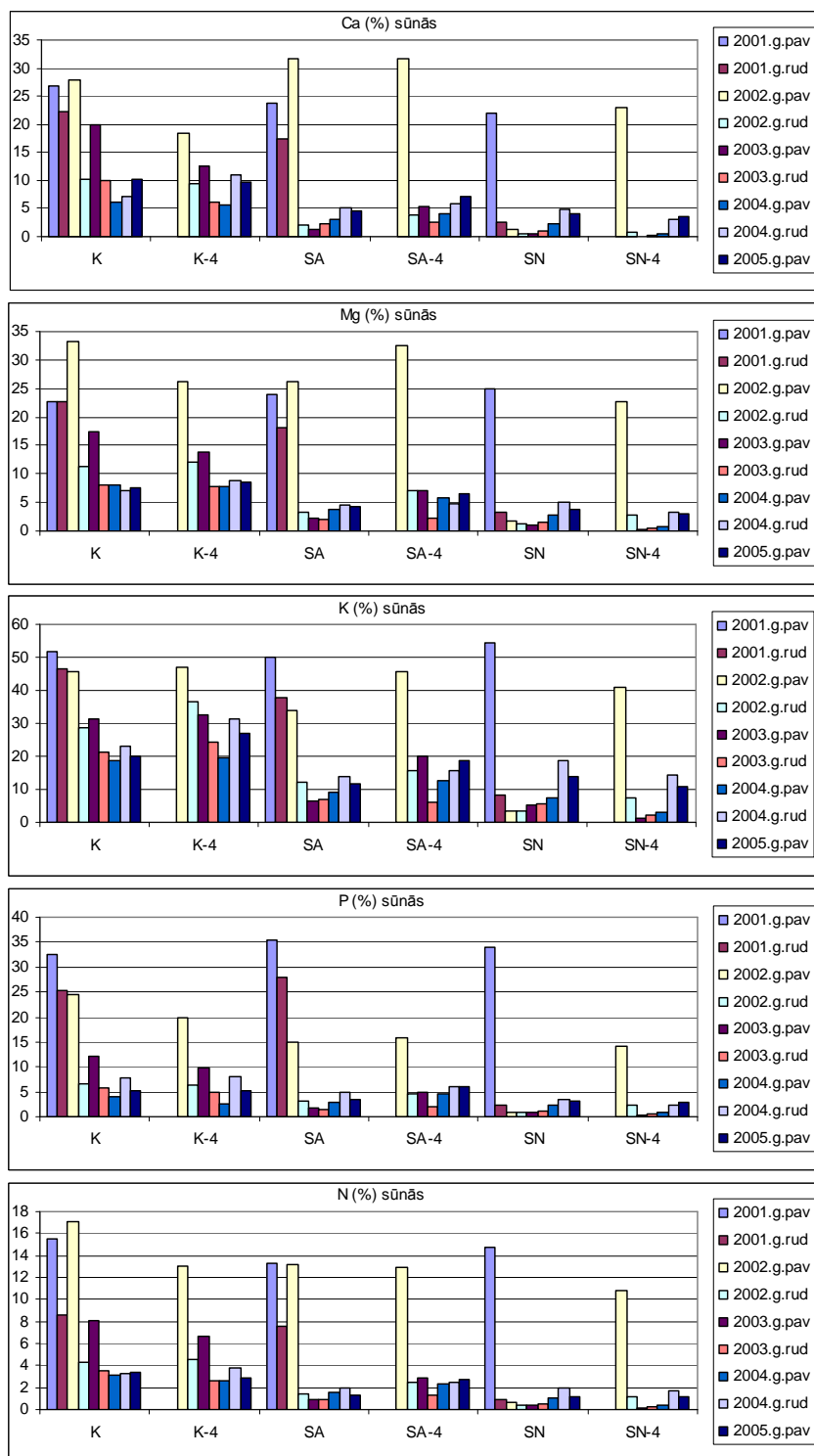
Kopumā apskatot atšķirības starp datumiem redzam, ka tās bija lielākas nekā starp dažādajiem eksperimenta variantiem.



5.6.attēls. Ķīmisko elementu vidējie daudzumi ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) sūnās kopā ar augsnes nedzīvo zemsegu deviņās paraugu ievākšanas reizēs sešos parauglaukumos.

5.2.3. Ķīmisko elementu procentuālais absorbcijas daudzums sūnās

Zināms, ka sūnas spēj aizturēt un absorbēt sevī ķīmiskos elementus, tomēr tieši to cik daudz un cik procentus ķīmisko elementu aiztur sūnas uz laukuma vienību un to cik daudz elementu nonāk augsnes nedzīvā zemsegā, parāda 5.7.attēls.



5.7.attēls. Ķīmisko elementu daudzuma procentus sūnās no tā kopīgā daudzuma, kas ir sūnās kopā ar augsnes nedzīvo zemsegu deviņās paraugu ievākšanas reizēs sešos parauglaukumos.

Jebkura ķīmiskā elementa (Ca, Mg, K, P un N) procentuālais daudzums sūnās attiecībā pret augsnes nedzīvās zemsegas virsējo O horizontu visos kontroles laukumos samazinājās visa pētāma perioda laikā.

Iespējams, ka ķīmisko elementu izmaiņas sūnās visos parauglaukumos noteiktas, ka otrajā eksperimenta gadā ceļu būves rezultātā tika izcirsti daži koki, kas varēja radīt mikroklimata izmaiņas pētāmajā vietā. Līdz ar to apgaismojums kļuva lielāks, kas varēja radīt palielinātus iztvaikošanas tempus un sūnas ātrāk izžuva, un līdz ar to izmainījās arī ķīmisko elementu daudzumi.

Lai arī kontroles parauglaukumos (K un K-4) sūnas netika aiztiktas, tomēr arī šajos abos parauglaukumos sūnās notika ķīmisko elementu daudzuma samazināšanās tendences (5.7.attēls), kas gan varētu būt izskaidrojams arī ar meteoroloģiskiem faktoriem, galvenokārt ar nokrišņiem.

Eksperimenta sākumā 2001.gada pavasarī vislielākais relatīvais daudzums, kas akumulējas sūnās bija kālijam (40 līdz 54 %), bet kalcijs un magnijs bija samērā līdzīgi ķīmiskie elementi un to procenti attiecīgi bija no 18-31 % un no 22-32 %, savukārt fosfora akumulācija sūnās bija no 14 līdz 35 %, un slāpekļa akumulācija sūnās bija no 11 - 15 %, kas bija viszemākais no visiem pētījumā apskatītajiem ķīmiskajiem elementiem.

To, cik sūnām bija būtiska nozīme vielu apritē un aizturē, parāda dati, kurus redzam attēlos, kad tika veikta sūnu apgriešana un sūnu noņemšana. Apgriežot sūnu (SA), vēl aizvien pirmajās trīs reizēs visu elementu relatīvais daudzums sūnās nesamazinājās, tomēr pēc ceturtais reizes 2002.gada rudenī tas strauji samazinājās un bija mazāks akumulācijas procents nekā K laukumā. Turpretī SA-4 laukumā šī situācija bija nedaudz savādāka, jo elementu akumulācijas procenta sūnās samazināšanās tendences notika jau otrajā paraugu analizēšanas reizē 2001.gada rudenī (5.7.attēls). Tātad šajā gadījumā iegūtos datus ietekmēja arī tas, kāds un kurā vietā bija izvietots parauglaukums. Kaut gan visi parauglaukumi tika izvietoti netālu viens no otra un atradās vienā meža augšanas apstākļu tipā (lāns), tomēr rezultāti atšķirās. Un tas acīmredzot iespējams notika tāpēc, ka šajā ceturtajā (SA-4) parauglaukumā bija nedaudz biežāks augsnes nedzīvās zemsegas O horizonta slānis.

Kā ķīmisko elementu daudzums sūnās sāka atjaunoties, ataugt, labi parāda parauglaukumu dati, kurā tika noņemtas sūnas, tas ir, SN un SN-4 laukumi (5.7.attēls). Pēc SN un SN-4 laukumos iegūtiem datiem redzam, ka tikai trešajā vai pat ceturtajā gadā pēc sūnu stāva noņemšanas, sūnas sāka pamazām atjaunoties,

ataugt un nodrošināt ķīmisko elementu akumulāciju sūnās. Tomēr arī pat pēc vairākiem gadiem (pieciem) procentuālais ķīmisko elementu relatīvais daudzums, kas akumulējas sūnās, ekosistēmā traucētajos parauglaukumos nebija tikpat liels kā kontroles parauglaukumu neskartajās sūnās.

5.2.4. Ķīmisko elementu koncentrāciju izmaiņas *Vaccinium myrtillus* lapās un *Picea abies* skujuās

Iespējams, ka sūnu stāva traucējumi varētu izmainīt ķīmisko elementu koncentrācijas gan *Vaccinium myrtillus* lapās, gan arī *Picea abies* skujuās (5.8.attēls un 5.9.attēls).

5.2.4.1. *Vaccinium myrtillus* lapas

Mēs varam salīdzināt vienā parauglaukumā esošo ķīmisko elementu koncentrāciju izmaiņas *Vaccinium myrtillus* lapās dažādos gados, tomēr tā kā viens no šī pētījuma uzdevumiem bija novērtēt to, vai sūnu stāva izmaiņas ietekmē ķīmisko elementu koncentrācijas *V. myrtillus* lapās, tad tāpēc arī tika salīdzināti viena gada dati starp dažādiem parauglaukumiem.

Ja apskatām 5.8.attēlā parādītos datus tad redzam, ka dažādu ķīmisko elementu koncentrācijas katrā laukumā no reizes uz reizi kardināli nemainījās, bet, ja mainījās (palielinājās vai samazinājās), tad tās bija niecīgas un lielākoties nebija arī būtiskas.

Būtiski atšķirīgās reizes, salīdzinot SA un K, SN un K, SA-4 un K-4, SN-4 un K-4 laukumos esošo ķīmisko elementu koncentrācijas *V. myrtillus* lapās, ir parādītas 5.3.tabulā.

Apskatot Ca koncentrāciju izmaiņas parastās *V. myrtillus* lapās novērojām to, ka visās reizēs šī ķīmiskā elementa koncentrācijas būtiski neizmainījās, salīdzinot SA ar K un SN-4 ar K-4 parauglaukumiem. Savukārt, salīdzinot K ar SN un K-4 ar SA-4 laukumos analizētajiem *V. myrtillus* lapu paraugiem, redzam, ka nebūtiskas atšķirības bija tikai 2002.gada pavasarī. Ja 2004.gada pavasarī un 2005.gada pavasarī, salīdzinot SN ar K laukuma datiem, būtiski lielākas Ca koncentrācijas bija traucētajā SN laukumā, tad – SA-4 pret K-4 laukumu – būtiski zemākas bija traucētajā SA-4 laukumā (5.8.attēls).

Mg bija tas ķīmiskais elements, kura koncentrāciju izmaiņas *V. myrtillus* lapās bija pavisam nelielas (5.8.attēls), tomēr tās nebija statistiski būtiskas (5.3. tabula).

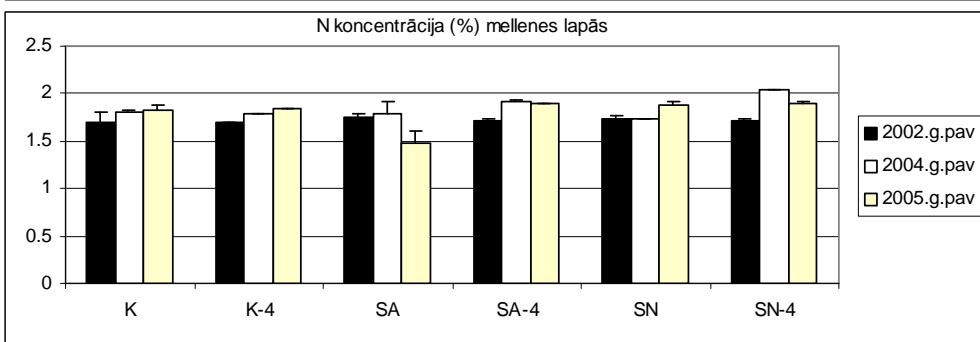
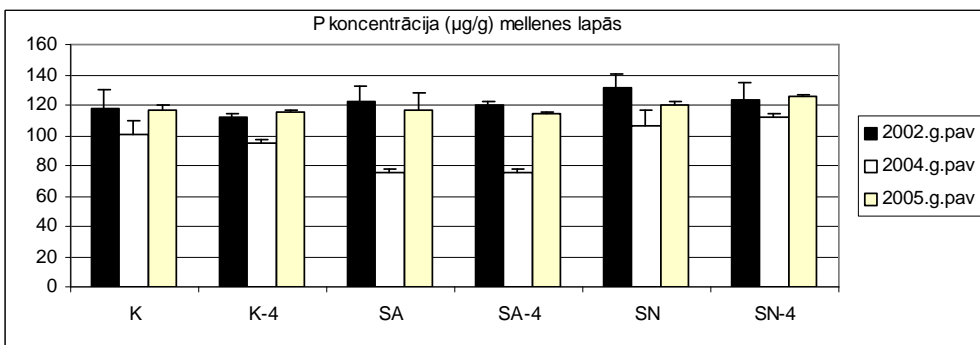
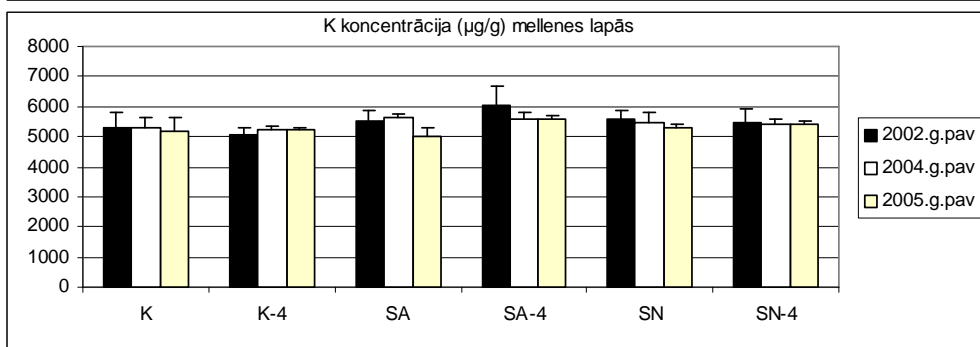
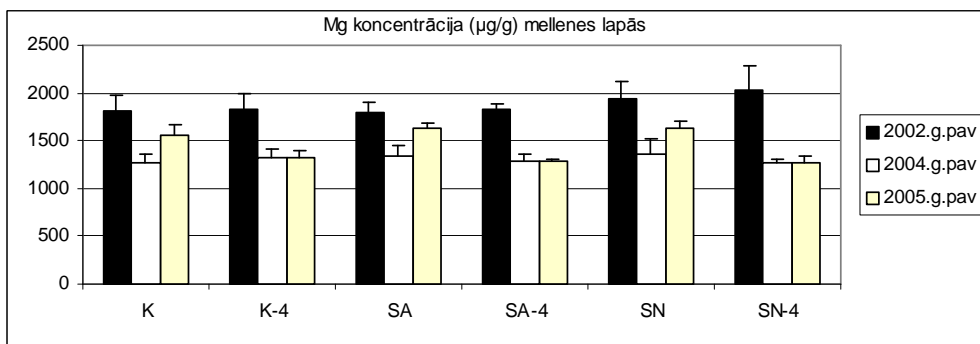
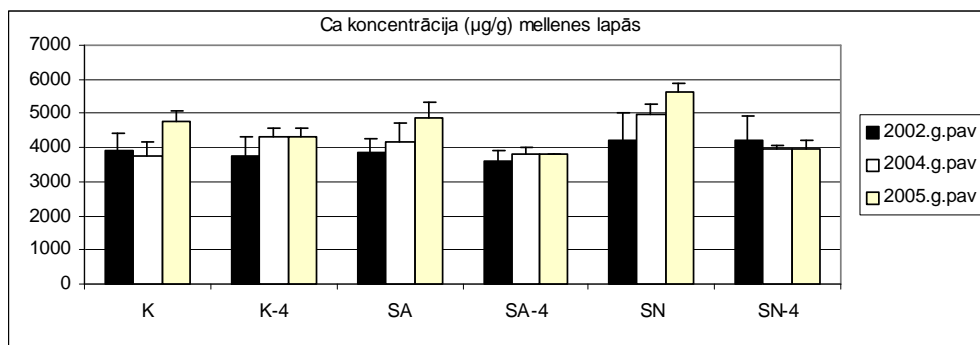
K koncentrāciju izmaiņas *V. myrtillus* lapās lapās lielākoties bija nebūtiskas, tomēr trijās reizēs bija vērojamas būtiskas atšķirības, un tās bija 2002.gada pavasarī, salīdzinot SA-4 ar K-4 laukumu, kā arī 2005.gada pavasarī K-4, salīdzinot ar SA-4 un SN-4 laukumiem. Visās šajās trijās reizēs lielākas koncentrācijas bija abos sūnu stāva traucētajos parauglaukumos, attiecīgi SA-4 un SN-4.

2004. gada pavasarī P koncentrācija *V. myrtillus* lapās bija būtiski zemāka SA un SA-4 laukumos, ja tos attiecīgi salīdzinām ar K un K-4 laukumos esošiem datiem. Šīs atšķirības bija tik lielas, ka domājams bija radusies kāda nejaušība vai neprecizitāte vai nu ievācot, vai arī laboratorijā analizējot ievāktos *V. myrtillus* lapas empīriskos paraugus. 2002. gada pavasarī P koncentrācijas *V. myrtillus* lapās SN un SN-4 parauglaukumos bija nedaudz, bet tomēr būtiski lielākas, nekā kontroles K un K-4 parauglaukumos. Arī 2004. gada pavasarī un 2005. gada pavasarī P koncentrācija *V. myrtillus* lapās bija būtiski lielākas SN-4 laukumā nekā K-4 laukumā (5.3.tabula).

5.3. tabula

Ķīmisko elementu (Ca, Mg, K, P, N) koncentrācijas būtiskumi (ANOVA, Scheffe, $\alpha < 0.05$) *Vaccinium myrtillus* lapās trijās paraugu ievākšanas reizēs starp SA un K, SN un K, SA-4 un K-4, SN-4 un K-4 parauglaukumiem. Parādītas ir arī koncentrāciju palielināšanās (+) vai samazināšanās (-) tendences SA, SN, SA-4 un SN-4 laukumos attiecībā pret K un K-4 laukumiem.

SA pret K	2002.g.pav	2004.g.pav	2005.g.pav
Ca			
Mg			
K			
P		x (-)	
N	x (+)		x (+)
SN pret K			
Ca		x (+)	x (+)
Mg			
K			
P	x (+)		
N			
SA-4 pret K-4			
Ca		x (-)	x (-)
Mg			
K	x (+)		x (+)
P		x (-)	
N	x (+)	x (+)	x (+)
SN-4 pret K-4			
Ca			
Mg			
K			x (+)
P	x (+)	x (+)	x (+)
N	x (+)	x (+)	x (+)



5.8.attēls Ķīmisko elementu koncentrācijas *Vaccinium myrtillus* lapās trijās paraugu ievākšanas reizēs sešos parauglaukumos. Attēlos parādīta arī standartnovirze.

Apskatot ceturto parauglaukumus redzam, ka gan SA-4, gan SN-4 laukumos N koncentrācija *V. myrtilus* lapās bija būtiski lielākas nekā kontroles K-4 laukumā, turpretim nebija būtiskas atšķirības, ja salīdzinām SN ar K laukumu visās paraugu ievākšanas reizēs, kaut arī 2002. gada pavasarī un 2005. gada pavasarī pavisam nedaudz lielākas koncentrācijas bija vērojamas SN laukumā nekā K laukumā (5.8.attēls). Nebūtiskas N koncentrāciju atšķirības bija arī salīdzinot K un SA laukumus, tomēr tas bija tikai 2004. gada pavasarī, bet pārējās abās reizēs bija vērojamas koncentrāciju atšķirības, kad 2002. gada pavasarī lielākas koncentrācijas bija SA laukumā, bet 2005. gada pavasarī – K laukumā (5.3.tabula).

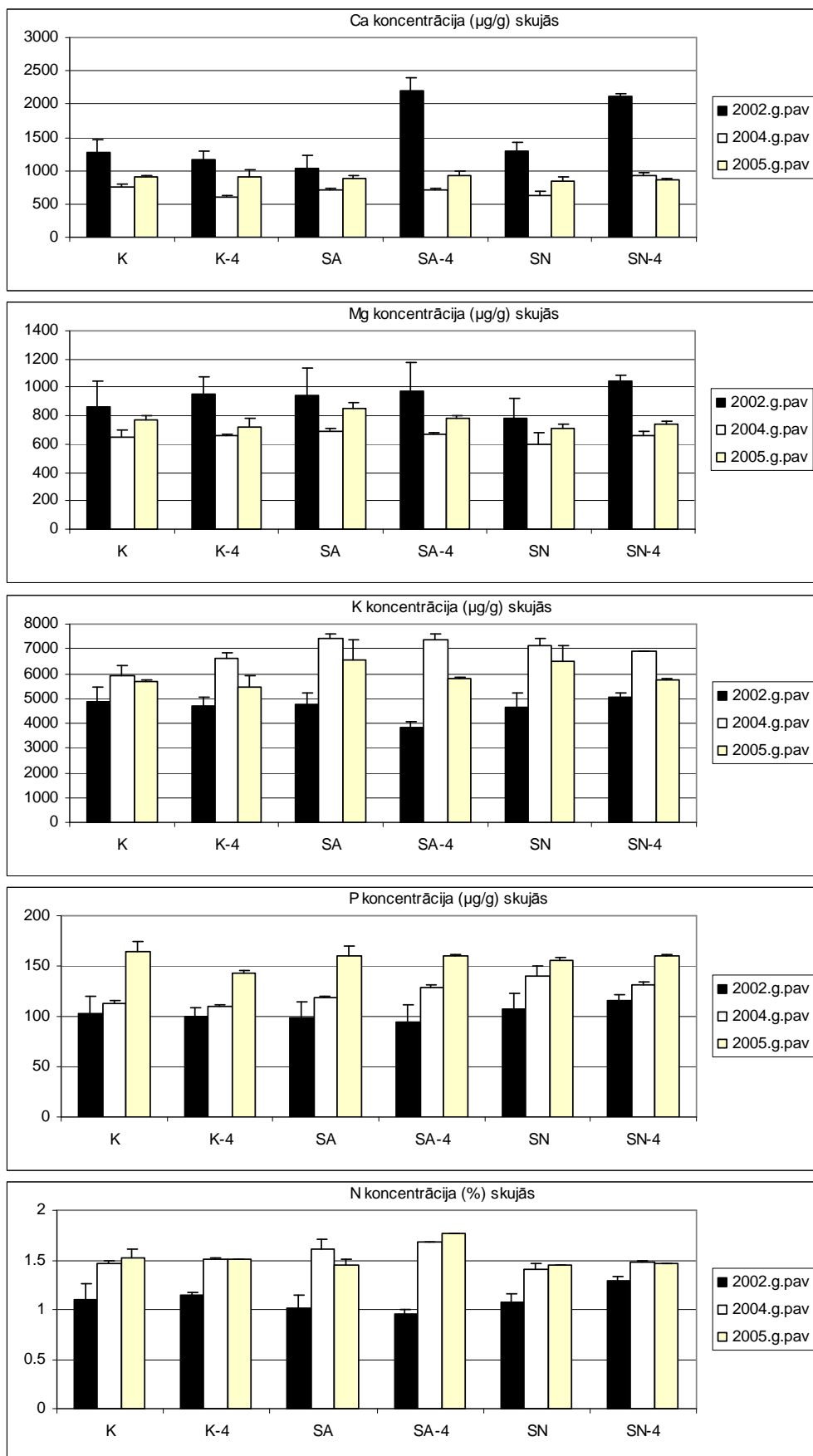
5.2.4.2. *Picea abies* skujas

Visos eksperimenta variantos novēroja visu ķīmisko elementu koncentrāciju izmaiņas *Picea abies* skujās starp 2002.gada pavasara un nākamajām divām paraugu ievākšanas reizēm, 2004.gada pavasarī un 2005.gada pavasarī (5.9.attēls). Tā, piemēram, Ca un Mg koncentrācijas samazinājās, bet K, P un N - palielinājās. Šīs izmaiņas gan acīmredzot ietekmēja arī tas, ka atšķīrās *P. abies* skuju vecums. Vislielāko koncentrāciju līmeņa palielināšanos starp 2002.gadu un 2004.gadu novēroja kālijam un slāpeklim SA laukumos, un šīs izmaiņas bija arī statistiski būtiskas. Tas varēja norādīt uz to, ka, apgriežot sūnu stāvu, lielāka bija arī šo abu elementu pieejamība *P. abies* skujās.

Tomēr 2005.gada pavasarī ievāktos paraugos, salīdzinot ar 2004.gada pavasara paraugiem, novēroja gandrīz visu ķīmisko elementu, izņemot slāpekli, kurš bija tāds pat kā 2004.gadā, un kāliju, kurš samazinājās, koncentrāciju palielināšanos *P. abies* skujās visos parauglaukumos (5.9.attēls). Būtiskas šīs izmaiņas visos laukumos bija kālijam un fosforam K, K-4, SA un SN-4 laukumos.

Apskatot atsevišķu ķīmisko elementu izmaiņas nevis starp vienā parauglaukumā ievāktajiem *P. abies* skuju datiem dažādos gados, bet gan salīdzinot viena gada datus starp dažādiem laukumiem redzam, ka izmaiņas bija niecīgas.

Novērtējot Ca un Mg koncentrāciju izmaiņas *P. abies* skujās vienā gadā starp kontroles (K un K-4) laukumiem un traucētajiem (SA, SA-4, SN un SN-4) laukumiem, redzam, ka šo abu elementu koncentrācijas statistiski būtiski nemainījās (5.4.tabula).



5.9.attēls. Ķīmisko elementu koncentrācijas *P. abies* skujās trijās paraugu ievākšanas reizēs sešos parauglaukumos. Attēlos parādīta arī standartnovirze.

5.4.tabula

Ķīmisko elementu (Ca, Mg, K, P, N) koncentrācijas būtiskumi (ANOVA, Scheffe, $\alpha < 0.05$) *P. abies* skujās trijās paraugu ievākšanas reizēs starp SA un K, SN un K, SA-4 un K-4, SN-4 un K-4 parauglaukumiem. Parādītas ir arī koncentrāciju palielināšanās (+) vai samazināšanās (-) tendences SA, SN, SA-4 un SN-4 laukumos attiecībā pret K un K-4 laukumiem.

SA pret K	2002.g.pav	2004.g.pav	2005.g.pav
Ca			
Mg			x (+)
K		x (+)	
P			
N		x (+)	
SN pret K			
Ca			
Mg			x (-)
K		x (+)	
P		x (+)	
N			
SA-4 pret K-4			
Ca			
Mg			
K	x (-)	x (+)	
P		x (+)	x (+)
N	x (-)	x (+)	x (+)
SN-4 pret K-4			
Ca			
Mg			
K	x (+)		
P	x (+)	x (+)	x (+)
N	x (+)	x (-)	x (-)

Mg koncentrācija *P. abies* skujās, gluži tāpat kā tas bija apskatot Ca koncentrācijas, nebija ar būtiskām (5.4.tabula) izmaiņām starp kontroles un sūnu stāva ietekmētajiem parauglaukumiem. Tomēr divos gadījumos (abas 2005.gadā), kad apskatām Mg koncentrāciju atšķirības starp K un SA, kā arī starp K un SN parauglaukumiem redzam, ka SA laukumā bija lielāka, bet SN – zemāka Mg koncentrācija *P. abies* skujās nekā K laukumā (5.9.attēls).

2002.gadā un 2005.gadā atšķirības starp SA un K un starp SN un K laukumiem nebija būtiskas (5.4.tabula), ja apskatām K, P un N koncentrāciju izmaiņas *P. abies* skujās. Savukārt 2004.gadā K un N koncentrācijas *P. abies* skujās bija būtiski lielākas SA laukumā nekā K laukumā, bet K un P lielāks bija SN laukumā.

Ja K koncentrācijas *P. abies* skujās, salīdzinot SA-4 un K-4 laukumus, būtiski atšķirās 2002.gadā (lielāks koncentrācijas bija K-4 laukumā) un 2004.gadā (lielākas

bija SA-4 laukumā), tad starp K-4 un SN-4 – tikai 2002.gada pavasarī, kur lielākas koncentrācijas bija SN-4 laukumā (5.4.tabula).

Novērtējot P koncentrācijas redzam, ka visās trīs paraugu ievākšanas reizēs būtiski lielākas tā koncentrācijas bija SA-4 un SN-4 laukumos attiecībā pret K-4 laukumu, izņemot 2002.gadā, salīdzinot K-4 un SA-4 laukumus, kad izmaiņas vēl nebija būtiskas (5.4.tabula).

Visās reizēs N koncentrācijas *P. abies* skujās ceturtajos laukumos bija būtiski atšķirīgas gan starp SA-4 un K-4 laukumiem, gan starp SN-4 un K-4 laukumiem. Atšķirīgs bija vienīgi tas, vai būtiski lielākas N koncentrācijas bija K-4 laukumā vai arī abos sūnu stāva ietekmētajos laukumos – SA-4 vai SN-4 (5.4.tabula).

5.3. DISKUSIJA

Zemsedzes sūnām var būt būtiska loma mežu ekosistēmā (Binkley, Graham, 1981; During, 1990), un šīs sūnas var kontrolēt ekosistēmā esošo vielu plūsmu (Weber, Van Cleve, 1984; Chapin *et al.*, 1987), uzņemot elementus no koku vainagu noteces un absorbēt sevī vairākus gadus, kā arī pēc tam, pēc kāda laika, barības vielas var tikt atbrīvotas caur sūnu sadalīšanās procesiem (Weber, Van Cleve 1984; Eckstein, 2000).

Jebkura ķīmiskā elementa koncentrācijas lielums būs atkarīgs no tā, cik veca ir šī sūna, tas ir, cik tajā ir pieauguma gada segmentu. Tas, jo īpaši, ir labi novērojams vienai no zemsedzes spalvu sūnām - *Hylocomium splendens* (Tamm, 1953; Callaghan *et al.*, 1978; Økland, 1995; 1997; Eckstein, Karlsson, 1999), kura tika konstatēta arī esošā pētījuma parauglaukumos.

Kopīgās tendences novērotas tādas, ka ķīmisko elementu koncentrācijas traucētos parauglaukumos (SA un SN) bija ar tādām pat izmaiņu tendencēm kā kontroles (K) neskartajā parauglaukumā (5.1.attēls). Tomēr visvairāk mūsu pētījuma eksperimentā iegūtos datus ietekmēja sezonālās izmaiņas, kuras bija lielākas nekā izraisītie sūnu stāva traucējumi.

Pētījumā bija nepieciešams veikt elementu daudzuma aprēķinus uz laukuma vienību, lai šie laukuma izmaiņu attēli parādītu to, cik ātri vai lēni atjaunojas sūnu stāvs, un cik ātri atjaunojas ķīmisko elementu aiztures pakāpe ekosistēmā.

Pēc traucējuma sākumā kālija daudzums SN parauglaukumā tomēr bija samērā zems, kaut arī kālijs augstākās koncentrācijās parasti ir jaunākajos sūnas segmentos (Skre, Oechel, 1979). Tikai 2004. gada rudenī kālija, un arī pārējo elementu, daudzumi sāka strauji palielināties pēc mākslīgajiem traucējumiem priežu meža ekosistēmā (5.3.attēls), kā arī uz šīm izmaiņām norāda sūnu svara izmaiņas (5.4.attēls).

Kādā no pētījumiem (Chapin *et al.*, 1987) teikts, ka sūnas aiztur apmēram 17% fosfora, kas arī atbilst mūsu esošā eksperimenta rezultātiem, jo fosfors dažādos parauglaukumos bija no 14 – 35 %.

Atšķirības bija tikai tādas (5.7.attēls), ka sūnu noņemtajos parauglaukumos ķīmisko elementu procentuālā absorbcija ekosistēmā bija strauji samazinājusies, kad tika noņemts sūnu stāvs, tomēr tai pat laikā arī kontroles laukumos šim procentam bija samazināšanās tendences.

Šie attēli parāda arī to, ka pat pēc 4,5 gadiem jeb 9 paraugu ievākšanas un analizēšanas reizēm traucētos parauglaukumos elementu relatīvais daudzums sūnās nerasniedza to pašu līmeni, kāds bija kontroles laukumos (5.7.attēls). Atšķirīgie procentu skaitļi bieži vien var uzrādīt dažādo parauglaukumu kā mikrobiotopu īpatnības (O horizonta biezums, nelielais mikroreljefs), iespējams arī meteoroloģiskos apstākļus (nokrišņu daudzums, sausās vai slapjās vasaras pirms rudens paraugu ievākšanas reizes, ar sniegu bagātās vai nabadzīgās ziemas pirms pavasara paraugu ievākšanas reizes), vai arī vēl kādu citu iemeslu. Piemēram, sezonālā ietekme uz iegūtajiem rezultātiem varēja būt tāpēc, ka visi mūsu pētījumā apskatītie ķīmiskie elementi bija ar biogēno izcelsmi.

Kā viens no tādiem iemesliem varēja būt sūnu sausā svara dati (5.4.attēls). Un, apskatot sūnu vidējo svaru attēlu redzam, ka tā tas arī bija, jo vidējie novērojumi pa atsevišķām reizēm uzrādīja līdzīgas izmaiņas ar ķīmisko elementu daudzuma procentu izmaiņām. Arī pēc sūnu vidējiem svāriem varam redzēt, ka traucētajos laukumos (SA; SA-4; SN; SN-4) sūnas nerasniedza to elementu daudzumu, kāds tika konstatēts kontroles (K un K-4) laukumos.

Vēl bez tam apskatot augsnes nedzīvās zemsegas svarus (5.5.attēls) nav vērojamas atšķirības starp parauglaukiem, kā arī nenovēro augsnes ķīmisko elementu koncentrāciju palielināšanos (5.2.attēls) tajos parauglaukumos, kuros bija veiktas manipulācijas ar sūnu stāvu.

Izvērtējot to, par cik procentiem traucētajos laukumos elementu daudzums sūnās kopā ar augsnes nedzīvo zemsegu palielinās vai samazinās, salīdzinot ar kontroles laukumiem, varam redzēt, ja apskatām 5.5.tabulā apkopotos datus. Ja sākumā 2001.gada pavasarī vidēji par 7-21% traucētajos laukumos bija lielāki visu elementu daudzumi nekā kontroles laukumos, tad eksperimenta beigās jau kontroles laukumos šie elementu daudzumi bija lielāki. Ja sūnu stāva apgrieztajos laukumos visu ķīmisko elementu samazināšanās tendences pētījuma beigās, salīdzinot ar kontroles laukumiem, bija par 15-25%, tad sūnu noņemtajos laukumos Ca, Mg un K samazinājās par aptuveni 30%, P – par nepilniem 50% un N – par 23-27%. Apskatot visas paraugu ievākšanas reizes redzam, ka šie procenti bija diezgan svārstīgi, tomēr vispārējās tendences bija tādas, ka ķīmisko elementu absorbcija sūnās kopā augsnes nedzīvo zemsegu samazinājās, salīdzinot kontroles un sūnu stāva ietekmētos parauglaukumus. Šīs svārstības varētu būt izskaidrojamas ar jau iepriekš minētiem

faktoriem, kā, piemēram, ar O horizonta biezuma atšķirībām dažādās paraugu ievākšanas reizēs vienā un tajā pašā laukumā.

5.5.tabula

Ķīmisko elementu (Ca, Mg, K, P, N) procentuālās (%) absorbcijas daudzuma izmaiņas sūnās kopā augsnes nedzīvo zemsegu deviņās paraugu ievākšanas reizēs starp SA un K, SN un K, SA-4 un K-4, SN-4 un K-4 parauglaukumiem. Dotas arī vidējās izmaiņas starp visām deviņām reizēm.

Ca %	2001.g.pav	2001.g.rud	2002.g.pav	2002.g.rud	2003.g.pav	2003.g.rud	2004.g.pav	2004.g.rud	2005.g.pav	vidējie
SA-K	21.37	19.79	8.21	36.16	-0.80	15.62	-2.32	15.00	-14.79	10.92
SN-K	14.63	-35.98	-25.77	5.85	-12.59	-7.93	-34.45	-7.06	-34.54	-15.32
SA-4-K-4			-23.41	-3.21	-39.68	11.43	-3.58	-9.99	6.08	-8.91
SN-4-K-4			-9.46	5.35	-38.71	-17.03	-12.13	-16.77	-33.26	-17.43
Mg %	2001.g.pav	2001.g.rud	2002.g.pav	2002.g.rud	2003.g.pav	2003.g.rud	2004.g.pav	2004.g.rud	2005.g.pav	vidējie
SA-K	8.07	7.32	15.32	-2.56	-4.97	15.54	4.13	14.15	-13.62	4.82
SN-K	-9.69	-50.14	-21.17	-27.99	-19.20	-27.91	-25.24	-16.68	-34.92	-25.88
SA-4-K-4			-23.39	-27.53	-37.83	29.61	-6.06	-12.47	-15.39	-13.30
SN-4-K-4			9.08	-32.85	-30.02	-13.68	-4.26	-27.01	-29.98	-18.39
K %	2001.g.pav	2001.g.rud	2002.g.pav	2002.g.rud	2003.g.pav	2003.g.rud	2004.g.pav	2004.g.rud	2005.g.pav	vidējie
SA-K	17.49	-2.48	-11.51	-22.91	-9.04	6.26	-8.59	-4.28	-22.85	-6.44
SN-K	7.21	-58.91	-45.74	-18.58	-36.24	-25.36	-27.75	-25.32	-36.20	-29.65
SA-4-K-4			-10.29	-27.62	-29.76	7.63	-17.63	-20.96	-15.49	-16.30
SN-4-K-4			11.05	-16.75	-53.76	-23.41	-34.32	-42.06	-33.57	-27.55
P %	2001.g.pav	2001.g.rud	2002.g.pav	2002.g.rud	2003.g.pav	2003.g.rud	2004.g.pav	2004.g.rud	2005.g.pav	vidējie
SA-K	13.72	-12.07	44.66	-9.12	-2.51	50.20	21.18	19.02	-25.93	11.02
SN-K	6.78	-20.23	8.63	-11.25	-22.74	-3.69	-2.05	9.03	-46.56	-9.12
SA-4-K-4			3.51	-40.42	-31.66	28.12	-27.86	-25.55	-28.63	-17.50
SN-4-K-4			26.21	-33.71	-33.82	-16.18	-29.27	-7.00	-49.73	-20.50
N %	2001.g.pav	2001.g.rud	2002.g.pav	2002.g.rud	2003.g.pav	2003.g.rud	2004.g.pav	2004.g.rud	2005.g.pav	vidējie
SA-K	14.99	12.00	46.89	1.60	-2.03	19.28	12.67	18.98	-3.96	13.38
SN-K	10.78	-26.62	14.16	-15.31	-10.41	-5.07	-15.28	-5.86	-23.39	-8.56
SA-4-K-4			-3.41	-24.69	-27.63	-1.26	-16.61	-16.20	-14.26	-14.87
SN-4-K-4			13.98	-28.91	-21.03	-16.78	-23.83	-22.32	-27.18	-18.01

Ja izrēķinām vidējos absorbcijas daudzumus starp visām paraugu ievākšanas reizēm (5.5.tabula), tad redzam, ka sūnu noņemtajos laukumos, salīdzinot ar kontroles laukumiem, visu elementu absorbcija bija samazinājusies par 9-30%, bet sūnu apgrieztajos – par 6-18%, izņemot Ca, Mg un N, kuri palielinājās SA laukumā, attiecīgi, par 11%, 5% un 13%, salīdzinot ar K laukumu. Tātad varam novērtēt to, ka noņemot sūnu stāvu ķīmiskie elementi acīmredzot tikai mazliet vairāk izskalojas no augsnes virskārtas nekā tad, ja tiek veikta sūnu stāva apgriešana.

Kopumā gan *Vaccinium myrtillus* lapās, gan arī *Picea abies* skujuās, nenovēroja būtiskas ķīmisko elementu koncentrāciju izmaiņas pēc sūnu stāva radītās ietekmes. Šīs koncentrāciju izmaiņas lielākoties bija paralēlas starp kontroles un sūnu stāva ietekmētajiem parauglaukumiem.

Domājams, ka tā kā lielākā daļa no absorbētā elementu daudzuma atradās augsnes nedzīvā zemsegā, tad tāpēc arī sūnu stāva izmaiņas neietekmēja ķīmisko elementu uzņemšanu *Vaccinium myrtillus* lapās un *Picea abies* skujuās. Ķīmisko elementu daudzumu izmaiņas, iespējams, nebūtu tik svārstīgas, ja būtu bijis lielāks ievākto sūnu un augsnes nedzīvās zemsegas paraugu skaits no vairāk parauglaukumiem.

Sūnām ir ne tikai nozīme barības vielu apritē, bet tās var arī aizkavēt vai limitēt barības vielu piegādi kociem (Eckstein, 2000). Tomēr mūsu pētījumi rāda, ka sūnu stāva izmaiņas (dabiskas vai mākslīgas) būtiski neietekmē ķīmisko elementu koncentrācijas *V. myrtillus* lapās un *P. abies* skujuās. Tādejādi varam apgalvot, ka esošais pētījums nepierāda to, ko ir apgalvojis Ekšteins.

5.4. SECINĀJUMI

1. Būtiski neatšķīrās iegūtie ķīmisko koncentrāciju dati sūnās starp kontroles (K) laukumu un abiem pārējiem parauglaukuma veidiem (SA un SN), kuros veica sūnu stāva transformāciju.
2. Pat pēc 4,5 gadiem sūnas tajos parauglaukumos, kur noņēma sūnu stāvu, pilnībā neatjaunojās un nerasniedza sākotnējos sūnu biomasas apjomus, un tas arī samazināja ķīmisko elementu procentuālo absorbciju sūnās priežu mežu ekosistēmā.
3. Sūnu stāvs būtiski neietekmē ķīmisko elementu koncentrāciju izmaiņas *Vaccinium myrtillus* lapās un *Picea abies* skuļās.
4. Sūnu stāva noņemtajos un apgrieztajos laukumos eksperimenta beigās ķīmisko elementu absorbcija sūnās kopā ar augsnes nedzīvo zemsegu (O horizonts) bija samazinājusies, attiecīgi par 25-50% un 15-25%, salīdzinot tos ar kontroles laukumiem.

6. Ķīmisko elementu koncentrāciju izmaiņas *Hylocomium splendens* segmentos pēc pārstādīšanas starp piesārņotu un nepiesārņotu vietu

IEVADS

Lai novērtētu atmosfēras vides piesārņojumu, var veikt sūnu pārstādīšanu, tomēr, pārstādot sūnas no nepiesārņotas vietas uz piesārņotu, paies zināms laiks, kamēr tās uzkrās tādu pat ķīmisko elementu koncentrāciju līmeni kāds ir nepārstādītajās sūnās, kas jau ir augušas piesārņotajā teritorijā. Lai nepiesārņotais sūnas paraugs piesārņotajā parauglaukumā sasniegtu tādu pat elementu koncentrāciju līmeni kāds ir piesārņotā vidē augošā sūnas paraugā, tad ir vajadzīgi septiņi mēneši (Johnsen, 1981).

Esošā pētījuma darba mērķis bija noskaidrot, kā mainās ķīmisko elementu koncentrācijas vienā *Hylocomium splendens* pieauguma gada segmentā visā viņa attīstības laikā, atkarībā no atmosfēras nosēdumiem.

Mērķa realizācijai izvirzīti sekojoši uzdevumi:

1. novērtēt ķīmisko elementu akumulācijas un aiztures izmaiņas sūnās pēc to pārstādīšanas citos vides apstākļos, kur ir augstākas vai zemākas smago metālu atmosfēras nosēdumu koncentrācijas;
2. novērtēt ķīmisko elementu absorbcijas efektivitāti sūnās.

6.1. MATERIĀLS UN METODEDES

6.1.1. Parauglaukumu ierīkošana

Sūnu stāvs kopā ar augsnes nedzīvo zemsegu (O horizonts) paraugiem (100 x 100 cm lieli) tika pārstādīti starp nepiesārņoto un piesārņoto vietu 1997. gadā un pēc tam sūnai atļāva augt līdz 1999.gadam. Piesārņoto parauglaukumu ierīkoja pie Rīgas termoelektrocentrāles (TEC-2), kas kā enerģijas avotus izmanto naftas produktus un gāzi. Esošā teritorija ir jau zināma no iepriekšējiem pētījumiem kā vieta ar paaugstinātu V un Ni koncentrāciju (Rühling *et al.*, 1992). Savukārt nepiesārņotā vieta atradās Tauresnes Integrālā monitoringa stacijā, kas atrodas 100 km no Rīgas. Abās vietās parauglaukumi atradās sausos priežu mežos. Tauresnes parauglaukumus ierīkojām divos meža augšanas apstākļu tipos – mētrājā un lānā, lai tādejādi izvērtētu metālu akumulācijas tempu atšķirības *H. splendens* starp šiem abiem mežu augšanas apstākļu tipiem.

Parauglaukumi tika izvēlēti tajās vietās, kur nebūtu noskalojumu no koku vanagiem ietekmes uz sūnām. Tas nozīmē to, ka šīs parauglaukumu vietas atradās starp vainagu ietekmes zonā.

6.1.2. Paraugu ievākšana

Katru gadu paraugu ievākšanu vienmēr veicām rudens periodā, kad bija beidzies veģetācijas periods. Katrā reizē trijos atkārtojumos ievāca paraugus, kuru lielums bija 25 x 25 cm. Sūnu paraugi uz laboratoriju tika transportēti polietilēna maisiņos, kurus laboratorijā attīrīja no nobirām un citiem augiem, un to paliekām. Pēc tam laboratorijā atdalījām katru pieauguma gadu segmentu, lai to varētu analizēt atsevišķi un katrā segmentā noteikt vairāku ķīmisko elementu (Ca, Mg, K, Fe, V, Pb) koncentrācijas. Tas dod mums iespēju novērtēt kā elementu koncentrācijas izmaiņas no gada uz gadu katrā segmentā, jo 1997.gada pavasarī pirmā gada segments G0 rudenī bija izaudzis par G1 segmentu, bet nākamajā 1998.gadā tas izauga par trešā pieauguma gada segmentu G2, un 1999.gadā – jau par ceturto pieauguma gada segmentu B1.

6.1.3. Sūnu paraugu ķīmiskā apstrāde

Vispirms samalto katru *Hylocomium splendens* pieauguma gada segmenta paraugu iesvēra uz analītiskiem svāriem, kas mūsu gadījumā bija 1 grams. Pēc tam

visa sūnu ķīmiskā apstrāde bija tāda pati kā iepriekšējā pētījuma eksperimenta nodaļā (5.1.2.nodaļa (Ринькис, 1960)) aprakstītā, kurā tika veikta sūnu stāva nozīmes novērtēšana priežu mežu ekosistēmā.

Pēc tam LU Bioloģijas fakultātes Botānikas un ekoloģijas katedrā noteica Ca, Mg un K absorbcijas ar Varian Techtron 1100 AAS, bet Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrijas Vides aģentūras laboratorijā Fe, V un Pb noteica izmantojot Perkin Elmer AAS Analyst 800 atomabsorbcijas spektrofotometru.

Tika veikta iegūto datu statistiskā apstrāde, veicot dispersijas analīzi (ANOVA, Scheffe, $\alpha < 0.05$), kā arī standartnovirzes aprēķini, izņemot vanādijs un svinam TEC kontroles laukumā G0 un G2 segmentam, jo šiem abiem minētajiem segmentiem netika veikti ķīmiskie atkārtējumi, kas bija dēļ ierobežotām finanšu iespējām.

6.2. REZULTĀTI

Šajā pētījumā novērtēja ķīmisko elementu koncentrāciju izmaiņas *Hylocomium splendens* vienā segmentā, visā viņa attīstības laikā. Eksperimenta sākumā 1997.gada pavasarī izveidojušais segments (G0) jau tā paša 1997.gada rudenī sasniedza otrā segmenta (G1) lielumu ar zariņiem. Un tā tas turpināja augt līdz nākamā gada analizēšanas reizei, kas bija līdz 1998.gada rudenim, kad sūnas segments jau bija trīs gadu vecs (G2), un visbeidzot 1999.gadā tas jau bija kā sūnas attīstības ceturtais pieauguma gada segments (B1).

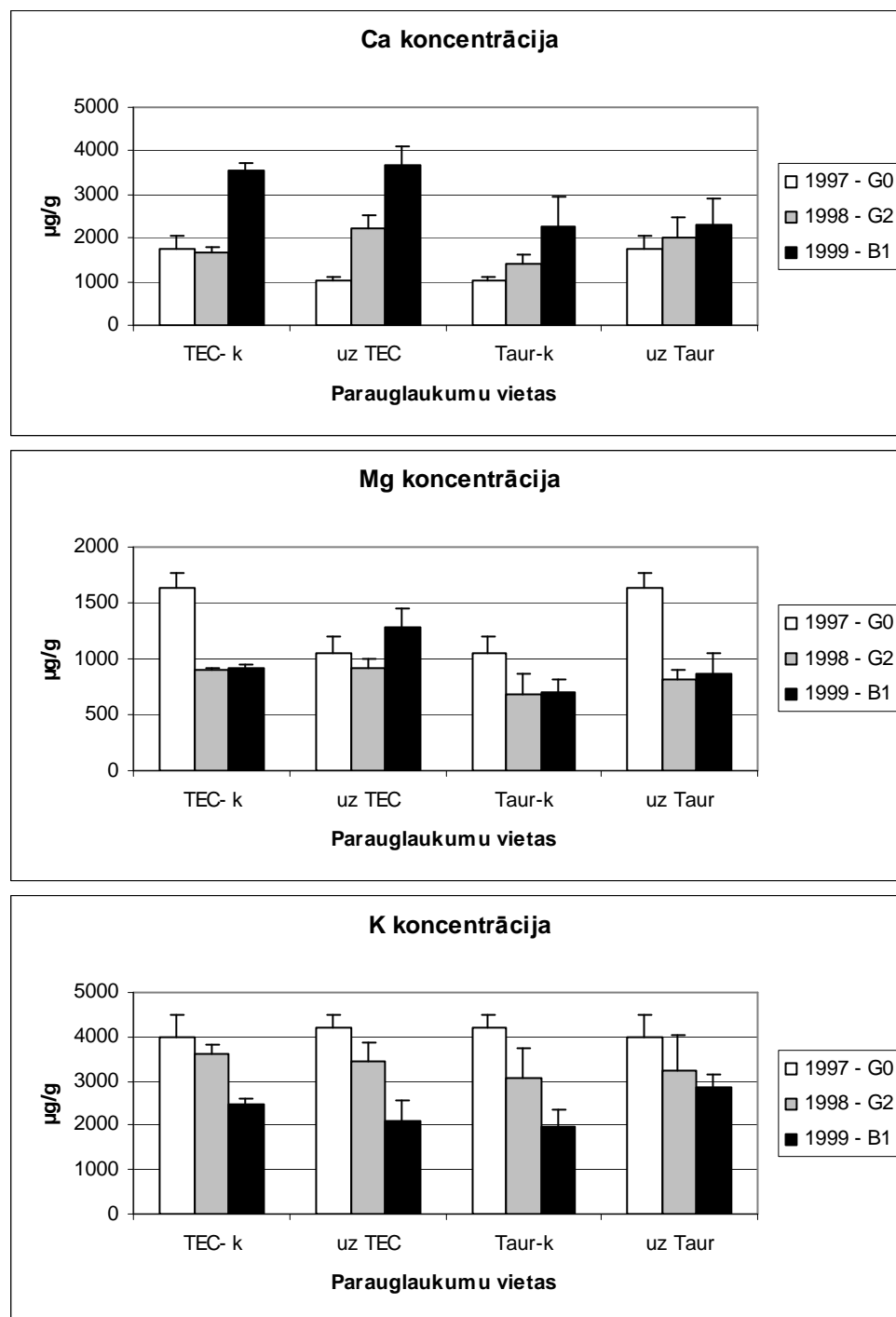
Tā kā atšķirības starp lāna un mētrāja sūnu paraugiem būtiski neatšķīrās ne nepiesārņotajā parauglaukumā esošajās kontroles sūnās, ne arī pārstādītajās sūnās, un tas pats bija arī pārstādot sūnas uz piesārņoto laukumu, tad tādēļ arī šo abu parauglaukumu (mētrāja un lāna) dati tika apvienoti.

Pētījuma sākumā pie TEC piesārņotajā parauglaukumā Ca koncentrācija sūnā bija vairāk kā 1,5 reizes lielāka nekā tā ir Taurenes nepiesārņotajā kontroles parauglaukumā. Lai gan sākumā pēc pārstādīšanas no TEC uz Taurenes integrālo monitoringa vietu Ca koncentrācija G0 segmentā bija lielāka nekā Taurenes kontroles nepārstādītās sūnas G0 segmentā, tomēr pēc trim gadiem šīs koncentrācijas bija līdzīgas, jo nepārstādītajās Taurenes kontroles esošajās sūnās Ca koncentrācijas pieaugums bija straujāks nekā uz Taureni pārstādītajās sūnās (6.1.attēls). Tātad, pārstādot sūnas, Ca koncentrācijas ātri vien nonāk līdzsvarā ar vidi.

Pēc piesārņotā parauglaukumā analizētajām sūnām redzams, ka Ca koncentrācija, it īpaši, palielinājās pēdējā pētījuma gadā, kad *H. splendens* segments sasniedza savu ceturto attīstības gadu (B1). Šo novērojumu konstatēja gan kontroles, gan pārstādītajos paraugos (6.1.attēls). Un abos šajos gadījumos redzam, ka Ca koncentrācija B1 segmentā būtiski atšķiras no G0 un G2 segmentos esošās Ca koncentrācijas (6.1.tabula).

Pārstādot sūnu no nepiesārņotā uz piesārņoto parauglaukumu jau nākamā gada rudenī Ca koncentrācija *H. splendens* G2 segmentā bija lielāka nekā TEC piesārņotajā kontroles nepārstādītajā parauglaukumā, tomēr pēdējā gadā visos TEC parauglaukumos (kontroles un pārstādītajos no nepiesārņotiem parauglaukumiem) Ca bija līdzīgās koncentrācijās. Ja Ca koncentrācijas pieaugums parauglaukumos pie TEC bija būtisks, tad Taurenē B1 segmentā esošā Ca koncentrācija būtiski palielinājās

tikai kontroles sūnās, bet nebūtiski tajās, kuras tika pārstādītas no TEC parauglaukuma (6.1.tabula).



6.1.attēls. Ca, Mg un K koncentrācijas (μg/g) un standartnovirzes vienā sūnās segmentā visā viņa attīstības gaitā dažādos gados (1997.g. pavasarī - G0 segments, 1998.g.rudenī - G2 segments un 1999.g. rudenī - B1 segments), pārstādot *Hylocomium splendens* starp piesārņoto (TEC-2) un nepiesārņoto vietu (Taurenes integrālais monitorings).

Nepārstādītie varianti: TEC-k (TEC kontrole pie TEC-2), Taur-k (Taurenes kontrole); pārstādītie varianti – uz TEC (no Taurenes uz TEC), uz Taur (no TEC uz Taureni).

Apskatot Mg koncentrāciju attēlu (6.1.attēls) bija novērojama pavisam atšķirīga situācija nekā tas bija ar Ca. Ja Ca 100% visos variantos pētījuma beigās ar vislielāko koncentrāciju bija pēdējā gadā, tas ir, vecākajā B1 segmentā, tad vislielākā Mg koncentrācija galvenokārt bija pētījuma sākumā, pirmajā gadā – G0 segmentā, izņemot pārstādītajās sūnās uz piesārņoto parauglaukumu, kur vislielākā Mg koncentrācija bija tieši pēdējā gadā (analogi Ca).

Mg koncentrācijas eksperimenta beigās lielākas konstatētas pārstādītajās sūnās nekā tās pašas vietas nepārstādītajās kontroles sūnās. Piemēram, uz piesārņoto TEC vietu pārstādītajās sūnās Mg koncentrācija bija lielāka nekā TEC kontroles sūnās, un tas pats novērojams apskatot arī Taurenes esošo parauglaukumu datus. Tomēr konstatēja arī to, ka Mg koncentrācijas būtiski atšķīrās starp sākuma un beigu koncentrācijām visos pētījuma variantos (6.1.tabula).

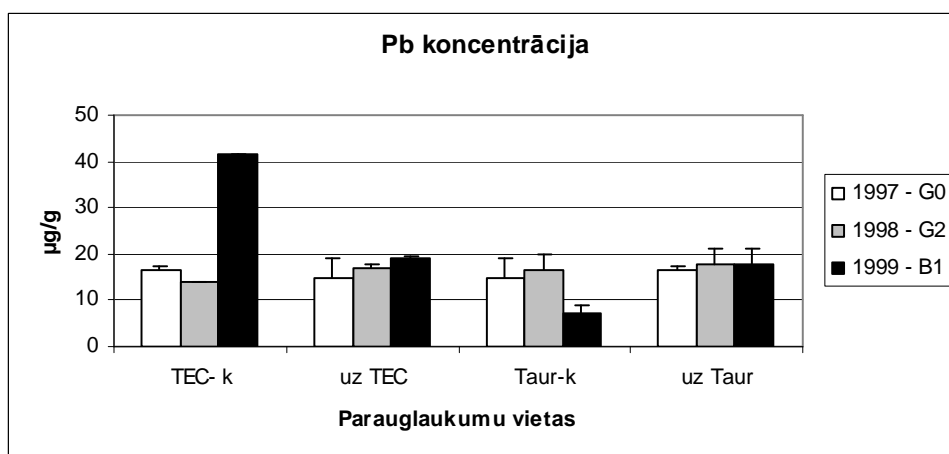
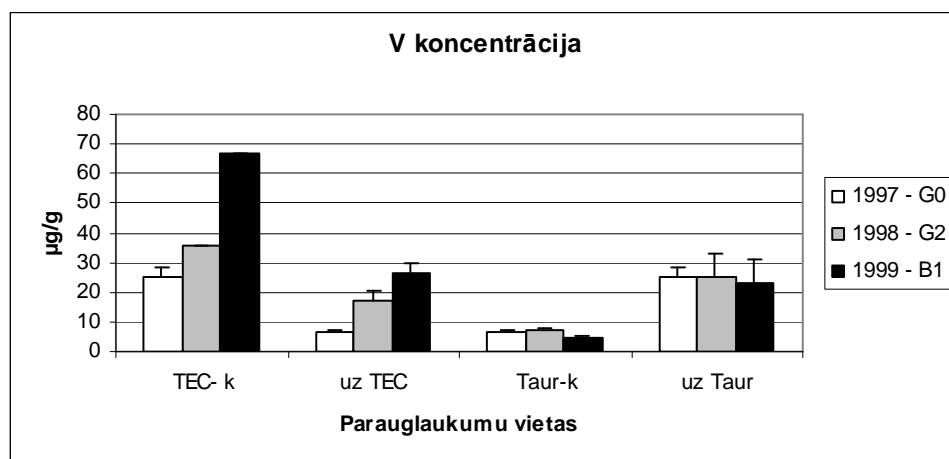
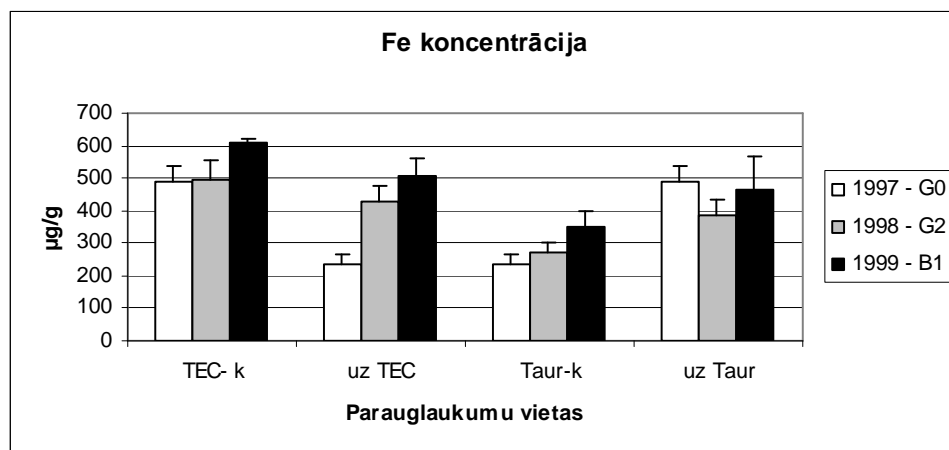
6.1.tabula

Ķīmisko elementu (Ca, Mg, K, Fe, Pb un V) koncentrāciju dispersijas analīze (ANOVA, Scheffe, $\alpha < 0.05$) sūnās starp trijiem pieauguma gadu segmentiem (G0; G2 un B1) četros parauglaukuma veidos – divos kontroles (TEC un Taurene) un divos pārstādījuma (no Taurenes uz TEC un no TEC uz Taureni). Būtiski atšķirīgās reizes ir atzīmētas ar – x.

Ķīm. elem.	TEC - kontrole			Uz TEC			Taurene- kontrole			Uz Taureni		
	G0	G0	G2	G0	G0	G2	G0	G0	G2 – B1	G0	G0	G2
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	G2	B1	B1	G2	B1	B1	G2	B1		G2	B1	B1
Ca	-	x	x	x	x	x	-	x	x	-	-	-
Mg	x	x	-	x	x	x	x	x	-	x	x	-
K	-	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	-
Fe	-	x	-	x	x	x	-	x	x	x	-	x
Pb	x	x	x	-	-	-	-	x	x	-	-	-
V	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-	-	-

Līdzīga situācija bija arī ar K koncentrāciju izmaiņām visā pētījuma laikā. K koncentrācijas, visos pārstādījumos un arī kontrolēs, sākumā bija ar vislielāko koncentrāciju, kas pamazām samazinājās, kamēr beigās tā kļuva viszemākā (6.1.attēls). Šī tendence, kad novēroja K, un arī Mg, koncentrācijas samazināšanos bija saistīta ar to, ka sūnas segmenti novecoja. Ja pēdējā gadā K koncentrācijas neatšķīrās starp piesārņotajiem parauglaukumiem, tad tikai nelielas atšķirības bija

nepiesārņotajās vietās, kur kontroles laukumos K koncentrācijas sūnās bija tikai nedaudz zemākas nekā pārstādītajās no piesārņotā parauglaukuma sūnās. K koncentrācijas būtiski izmainījās visos pētījuma variantos (6.1.tabula), ja salīdzinām G0 un B1 segmentu.



6.2.attēls. Fe, V un Pb koncentrācijas (µg/g) un standartnovirzes vienā sūnas segmentā visā viņa attīstības gaitā dažādos gados (1997.g. pavasarī - G0 segments, 1998.g.rudenī - G2 segments un 1999.g. rudenī - B1 segments), pārstādot *Hylocomium splendens* starp piesārņoto (TEC-2) un nepiesārņoto vietu (Taurenes integrālais monitorings).

Nepārstādītie varianti: TEC-k (TEC kontrole pie TEC-2), Taur-k (Taurenes kontrole); pārstādītie varianti - uz TEC (no Taurenes uz TEC), uz Taur (no TEC uz Taureni).

Vislielāko Fe koncentrāciju novēroja piesārņotā parauglaukuma nepārstādītās sūnas parauga vecākajā (B1) pieauguma gada segmentā. Pārstādītajās sūnās uz piesārņotiem parauglaukumiem katru gadu dotajā segmentā palielinās Fe koncentrācija un šī palielināšanās bija būtiska (6.1.tabula). Analoga Fe koncentrācijas palielināšanās tendence bija vērojama arī Taurenes nepiesārņoto parauglaukumu kontroles nepārstādītām sūnām un šeit B1 segmentā esošā Fe koncentrācija būtiski atšķiras no G0 un G2 segmentiem (6.1.tabula). Tomēr šajos divos parauglaukumos Fe koncentrācija bija gandrīz divas reizes zemāka nekā tā bija piesārņotā kontroles parauglaukumā (TEC-k). Pārstādot nepiesārņotu sūnu uz piesārņoto parauglaukumu Fe koncentrācija tajā tomēr nerasniedza to Fe koncentrāciju līmeni, kas bija piesārņotā parauglaukuma kontroles sūnā un kura netika pārstādīta, tomēr šī Fe koncentrācijas palielināšanās B1 segmentā, salīdzinot ar G0 segmentu, bija būtiska (6.1.tabula). Savukārt, pārstādot sūnu no piesārņotā laukuma uz Taurenes parauglaukumiem (6.2.attēls), redzam, ka Fe koncentrācijas būtiski neizmainījās, salīdzinot ar sākuma datiem (6.1.tabula).

Vanādija koncentrācijas sūnās piesārņotajā kontroles nepārstādītajā paraugā bija lielākas nekā tās tika konstatētas nepiesārņotā parauglaukumā augošajās sūnās (6.2.attēls). Ja pirmā gadā šī starpība sasniedza apmēram 5 reizes, tad, jau sūnas segmentam esot ceturtajā attīstības gadā (B1), šī starpība sasniedza 13-14 reizes. Kad nepiesārņotā parauglaukuma sūnas pārstādīja uz piesārņoto parauglaukumu, tad notika strauja V uzņemšana, tomēr tā nebija tik ievērojama kā tajās sūnās, kuras jau no paša sākuma auga piesārņotajā parauglaukumā pie TEC-2. Pētījuma beigās V koncentrācija sūnās, kas tika pārstādīta no Taurenes uz TEC, tā arī nerasniedza to līmeni, kas bija TEC kontroles sūnā, tomēr V koncentrācijas pieaugums B1 segmentā bija būtiski lielāks nekā tas bija G0 segmentā (6.1.tabula). Pārstādot piesārņoto sūnu uz nepiesārņoto parauglaukumu, nākamā gadā V koncentrācija sūnas segmentā nepalielinājās, un vēl jo vairāk, šī koncentrācija pēdējā gadā pat nedaudz samazinājās.

Arī Pb, gluži tāpat kā V, ar vislielāko koncentrāciju *H. splendens* bija piesārņotā laukuma kontroles nepārstādītajā paraugā, kas ļoti uzskatāmi parādījās pētījuma noslēguma gadā (6.2.attēls) B1 segmentā. Un tomēr, pat pēc trim gadiem pārstādītajās sūnās Pb nerasniedza tādu koncentrācijas apjomu kāds bija piesārņotā laukuma kontroles nepārstādītajās sūnās, kur tā konstatēta divas reizes lielāka nekā pārstādītās sūnas segmentā. Apskatot 6.1.tabulu redzam arī, ka, pārstādot sūnu uz piesārņoto TEC laukumu, Pb koncentrācijas pieaugums no gada uz gadu bija

nebūtisks (6.1.tabula). Eksperimentālā pētījuma beigās Tauresnes kontroles nepārstādītājās sūnās Pb koncentrācija samazinājās, kas varētu būt izskaidrojams ar sūnu segmentu masas pieaugumu jeb dilūciju. Pārstādot sūnu no piesārņotā laukuma uz nepiesārņoto, Pb koncentrācija, tāpat kā tas bija ar jau iepriekš apskatīto V, nesamazinājās.

6.3. DISKUSIJA

Izpētot visu ķīmisko elementu (Ca, Mg, K, Fe, V, Pb) koncentrācijas *Hylocomium splendens* vienā segmentā visā tā attīstības gaitā, netika novērotas būtiskas atšķirības starp abām nepiesārņotām parauglaukumu sūnu ievākšanas vietām – mētrāju un lānu (Tabors *et al.*, 2004).

Tā kā nebija būtiskas visu noteikto ķīmisko elementu koncentrāciju atšķirības starp abiem iepriekš minētajiem meža tipiēm gan veicot pārstādījumus (no nepiesārņotās vietas uz piesārņoto, un otrādi), gan arī nosakot kontroles jeb nepārstādītos sūnu paraugos (1.attēls un 2.attēls), tad tāpēc arī iegūto ķīmisko elementu koncentrāciju dati tika apvienoti. Tas apstiprināja jau kādreiz iepriekšējos gados veiktā pētījuma rezultātus, kad tika novērtētas ķīmisko elementu koncentrācijas sūnās dažādos meža augšanas apstākļu tipos (Brūmelis, Nikodemus, 1995). Tāpēc arī šajā pētījumā veicām sūnu paraugu ievākšanu starp koku vainagu ietekmes zonā, lai samazinātu tādu netiešo ķīmisko elementu koncentrāciju ietekmi uz sūnām kā no augsnes, kad koki ar saknēm elementus vispirms var iegūt, uzņemot tos no augsnes, un pēc tam ar nobirām šie elementi var nonākt uz sūnām.

Mg un K ir fizioloģiskie ķīmiskie elementi, kurus varam apskatīt kopā un savstarpēji salīdzināt. Vēl bez šiem diviem elementiem (Mg un K) novērojamas atšķirības arī starp divu citu fizioloģisko elementu Fe un Ca attēliem (1. un 2. attēls) un šīs izmaiņas bija līdzīgas, savukārt V un Pb tomēr vairāk aplūkojami kā vides piesārņojuma elementi.

Piesārņotā parauglaukumā lielās V un Pb koncentrācijas nosaka TEC-2 un pilsētas klātbūtne. Palielinātās ķīmisko elementu koncentrācijas nepiesārņotā parauglaukumā var ietekmēt arī noskalojumi no augstākiem augiem, kā arī to nobiras (Berg *et al.*, 1995a), un, jo īpaši, Ca un Mg ir tie elementi, kuru koncentrācijas var ietekmēt augstākie augi.

Mg un K koncentrācija, pretēji pārējiem četriem eksperimentā apskatītajiem elementiem, lielāka bija tieši pirmajā sūnas dzīves gadā (1997.gada G0 segments), bet sūnai paliekot vecākai, Mg un K koncentrācijas samazinājās. Tas izskaidrojams ar to, ka sūnai samazinās tās vitalitāte (Tamm, 1953; Brown, Buck, 1979). Šajā gadījumā apskatot Mg un K nevaram runāt par antropogēno vides piesārņojumu, bet gan par sūnas veselības stāvokli. Tas arī ļoti labi redzams 1.attēlā, jo, kamēr segments bija

jauns, tikmēr šo divu elementu koncentrācijas bija daudz lielākas nekā segmentam kļūstot vecākam.

K, bet mazāk tas ir izteikts Mg, ir tas elements, kuram lieli relatīvie daudzumi konstatēti iekššūnā (Brown, Wells, 1988; Bates, 1990; Brown, Bates, 1990). Tāpēc tiem visaugstākās koncentrācijās jābūt jaunos sūnu audos, un koncentrācijas samazinās līdz ar segmentu vecumu.

Ca, salīdzinot ar iekššūnas lokalizācijas vietām, daudz konstatējams tieši uz šūnu sienas apmaiņas vietām (Bates, Farmer, 1990; Brown, Bates, 1990; Brown, Brown, 1990). Piesārņotajā vietā paaugstinātās Ca koncentrācijas acīmredzot norāda arī uz tā lielākiem daudzumiem nokrišņos (Tabors *et al.*, 2004). Mazāks Ca daudzums tika konstatēts nepiesārņotā vietā, un koncentrācijas nepiesārņotās vietas Taurenē nepārstādītajās sūnās beigās bija līdzīgas kā tajās sūnās, kuras pārstādīja no piesārņotās vietas uz nepiesārņoto. Arī Mg koncentrācijas, tāpat kā Ca, lielākas bija piesārņotā vietā, salīdzinot ar nepiesārņoto vietu, jo lielāks bija tā daudzums nokrišņos.

Laboratorijas pētījumi rāda, ka Ca, Mg un K pārvietojas starp pieauguma gadu segmentiem un pārvietojamā elementa daudzums ir atkarīgs no kopējā satura sūnās (Brūmelis, Brown, 1997). Tomēr nevaram un arī nedrīkstam salīdzināt laboratorijas ar lauku pētījumiem, jo šajos lauku pētījumos bija daudz un dažādu blakus apstākļu, piemēram, temperatūra, nokrišņi, veģetācija, kuri varēja ietekmēt dažādu ķīmisko elementu koncentrācijas sūnās.

Vispārīgas atšķirības bija novērojamas arī apskatot smago metālu (Fe, V un Pb) koncentrāciju izmaiņu trendus. Nepārstādītās sūnās Fe, V un Pb koncentrācijas bija nedaudz lielākas piesārņotā laukumā visu gadu pieauguma segmentos (2.attēls), un tas norāda uz to, ka šiem elementiem ir antropogēnā izcelsme.

Lielākās izmaiņas tika novērotas apskatot V koncentrācijas, kas bija radušās dēļ tā, ka pie Rīgas blakus atrodas termoelektrocentrāle TEC – 2, kura kā kurināmo izmantoja mazutu (Rühling *et al.*, 1992).

Fe, V un Pb koncentrācijas bija diezgan stabilas tajās sūnās, kuras pārstādīja uz nepiesārņotiem laukumiem. Šie elementi netika izskaloti un tie praktiski palika tādā pat koncentrāciju līmenī kādā tie bija pētījuma sākumā. Tas norāda uz to, ka smagie metāli efektīgi tiek aizturēti sūnu šūnās lauka apstākļos (Rühling, Tyler, 1970; Gjengedal, Steinnes, 1990), kas jau iepriekš tika pierādīts laboratorijas apstākļos.

Pb cieši saistās pie šūnu sienas apmaiņas vietām un lauku apstākļos izskalošanās no šūnu sienas vietām bija tikpat kā neiespējami. Būtiska daļa no kopējā Pb un V koncentrācijas (2.attēls) var būt novērojama kā sīkas daļiņas, kuras var izplatīties ļoti strauji, bet lielākās daļiņas nepiesārņotā vietā netiek novērotas (Rühling, Tyler, 1973). Pie TEC – 2 esošā laukumā augošās sūnas zari, vizuāli novērtējot, nebija tik bagātīgi klāti ar lapiņām, un tas varēja būt par iemeslu tam, ka šie sūnu materiāla zudumi radīja Pb koncentrāciju pazemināšanos. Tātad acīmredzot lapas varēja būt tā sūnas daļa, kas saturēja lielāko daļu no visa Pb daudzuma. Tomēr vai tas tā ir vai nav, varētu būt perspektīvā pētāms jautājums, kurā noteiktu kura no sūnas daļām absorbē vislielāko piesārņojošo smago metālu daudzumu.

Pamatā esošā pētījumā iegūtie rezultāti parādīja, ka no laba sūnu materiāla, izmantojot priekš biomonitoringa, var sagaidīt - efektīvu absorbciju, lielu uzņemšanas pakāpi no atmosfēras un nevis no augsnes, lielu smago metālu aizturi. Vēl bez tam rezultāti parādīja, ka elementu absorbcijas un aiztures atšķirības var ietekmēt arī sūnu augšanas īpatnības atšķirīgās paraugu ievākšanas vietās.

6.4. SECINĀJUMI

1. Pēc jebkura veida pārstādīšanas Ca koncentrācijas sūnās var sasniegt tādu pat līmeni kāds ir kontroles nepārstādītajās sūnās.
2. No laba sūnu materiāla, izmantojot to biomonitoringa vajadzībām, varam sagaidīt - efektīvu smago metālu absorbciju, lielu to uzņemšanas pakāpi no atmosfēras, salīdzinot to ar augsni.
3. Sūnu augšanas īpatnības dažādās paraugu ievākšanas vietās var nodrošināt elementu absorbcijas un akumulācijas atšķirības.
4. Katra ķīmiskā elementa koncentrāciju novērtējums ir atkarīgs no sūnu segmenta vecuma.

7. Atmosfēras gaisa piesārņojuma monitorings Latvijā no 1990. līdz 2000.gadam, izmantojot sūnas kā smago metālu akumulētāju

IEVADS

Sūnas tiek izmantotas kā atmosfēras vides piesārņojuma nosēdumu bioindikātori (Rühling *et al.*, 1992; 1996; Brūmelis, Nikodemus, 1995), lai izdalītu dažādus piesārņojuma avotus, kā arī, lai novērtētu reģionālās atšķirības atmosfēras nosēdumos (Rühling, Tyler, 1973). Pētījumos ir ticis noskaidroti arī pārrobežu piesārņojuma pārneses apjomi (Nikodemus, Brūmelis, 1998).

Esošā darba mērķis bija noskaidrot piesārņojuma teritoriālas izkliedes likumsakarības un izmaiņas ilgstošā laika periodā visā Latvijas teritorijā.

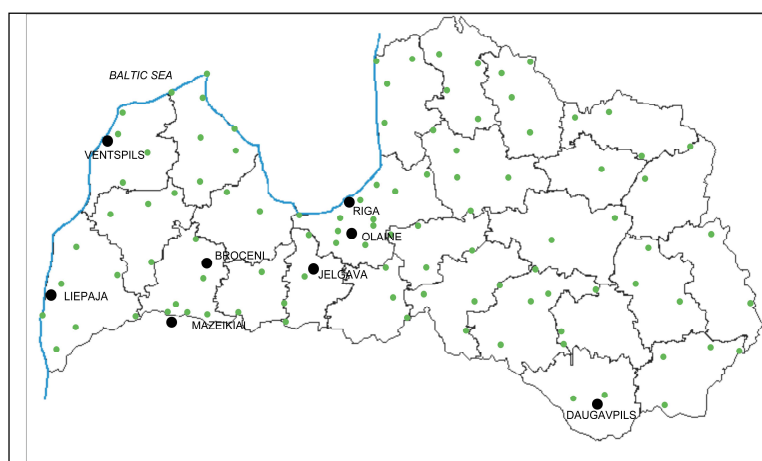
Uzdevumi mērķa sasniegšanai bija sekojoši:

1. kvalitatīvi un kvantitatīvi novērtēt smago metālu izsēšanos no atmosfēras reģionālā griezumā;
2. veikt retrospektīvo smago metālu koncentrāciju salīdzināšanu starp dažādos gados iegūtajiem datiem;
3. konstatēt un novērtēt atmosfēras piesārņojuma pārrobežu pārnesi;
4. meklēt cēloņus smago metālu piesārņojuma izmaiņām.

7.1. MATERIĀLS UN METODEDES

7.1.1. Sūnu paraugu ievākšana

Latvijā līdz šim monitoringa pētījumi, izmantojot sūnas, ir tikuši realizēti četras reizes – 1990.gadā izmantoja *Hylocomium splendens*, ievācot to no 81 parauglaukuma visā Latvijas teritorijā, bet 1995., 2000. un 2005.gadā izmantoja *Pleurozium schreberi* - no 101 parauglaukuma (7.1.attēls). Pāreja no vienas sūnu sugas uz otru Latvijā bija nepieciešama tāpēc, ka *P. schreberi* ir vairāk izplatīta nekā *H. splendens*. Disertācijas darba autors piedalījās 1995.gada, 2000.gada un 2005.gada monitoringa pētījumos. Tajā laikā, kad tika rakstīta šī disertācijas darba nodaļa, vēl nebija izanalizēti 2005.gadā ievāktie sūnu paraugi.



7.1.attēls. Sūnu paraugu ievākšanas vietas 1995.gadā un 2000.gadā (Nikodemus *et al.*, 2004).

1990.gadā sūnas ievāca dažādos meža augšanas apstākļu tipos, kur augs gan tikai priedes, gan arī egļu un priežu mītraudzē, bet 1995.gadā un 2000.gadā sūnu paraugus ievāca no mežaudzēm, kurās dominēja priedes - priežu sils, mētrājs, lāns, damaksnis, slapjais mētrājs, slapjais damaksnis, viršu ārenis, viršu kūdrenis, mētru ārenis un mētru kūdrenis (1.pielikums).

Monitoringa ietvaros 2000.gada augusta beigās, septembrī un oktobra sākumā priežu mežaudzēs visā Latvijas teritorijā ierīkoja 101 parauglaukumu sūnu paraugu ievākšanai. Parauglaukumu vietu noteica, ņemot vērā, pirmkārt, 1995.gada monitoringa parauglaukumu izvietojumu un to kritisku izvērtējumu atkarībā no to savstarpējā novietojuma un parauglaukumu kvalitātes atbilstības monitoringa prasībām, otrkārt, meža monitoringa parauglaukumu izvietojumu.

Parauglaukumi izvietoti vienmērīgi visā Latvijas teritorijā, izņemot Zemgales līdzenumu, Jersikas līdzenumu, Apriķu līdzenumu un Saldus pauguraini, kur nav sastopamas priežu mežaudzes.

Lai nebūtu tieša piesārņojuma avota ietekme, parauglaukumi ierīkoti ne tuvāk kā 300 m no automaģistrāles un 1 km no punktveida stacionāra piesārņojuma avota. Sūnas ievāca no 40 x 40 m liela parauglaukuma. Katrā parauglaukumā, lai ķīmisko elementu akumulāciju sūnā neietekmētu smago metālu izskalošanās no koka vainaga, paraugus ievāca starpvainagu telpā trijos atkārtojumos. Paraugi tika ievietoti polietilēna maisiņos. Katram parauglaukumam dots numurs un noteiktas atrašanās vietas ģeogrāfiskās koordinātes, noteikts arī meža tips, kokaudzes formula, augsnes un humusa tips (1.pielikums).

7.1.2. Sūnu paraugu laboratoriskā sagatavošana

Sūnu paraugi pēc ievākšanas izžāvēti 40°C temperatūrā un attīrīti no skujām, lapām un citiem piemaisījumiem. Tālākai analīzei atdalīja *H. splendens* jaunākos trīs pieauguma gadu segmentus (G0, G1 un G2), bet *Pl. schreberi* – zaļo sūnas daļu līdz brūnajai daļai, kas arī reprezentē pēdējos trīs gadus. Pēc paraugu atdalīšanas tie tika samalti un ievietoti paraugu bāzē. Paraugi tiek glabāti Latvijas Universitātes Bioloģijas fakultātes Botānikas un ekoloģijas katedrā.

7.1.3. Sūnu paraugu ķīmiskās analīzes

1990.gadā sūnu paraugu ķīmiskās analīzes tika veiktas Bioloģijas institūtā, bet 1995.gadā un 2000.gadā - Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrijas Vides aģentūras laboratorijā. Sakarā ar ierobežotiem finansu līdzekļiem analīzes katrā parauglaukumā analīzes veiktas bez atkārtojumiem, bet, lai nodrošinātu datu kvalitāti, atsevišķiem parauglaukumiem veica paralēlās analīzes.

7.1.3.1. Paraugu sagatavošana

Aptuveni 1,5 g labi homogenizēts sūnu paraugs mineralizēts 15 ml konc. HNO₃, karsējot divas stundas 95°C temperatūrā. Lai novērstu atomu absorbcijas spektrofotometra izsmidzinātāja un degļa aizsērēšanu ar skābē neizšķīstošām cietām daļiņām, atdzisušais paraugs filtrēts caur papīra filtru, kas iepriekš mazgāts ar 0,5% slāpekļskābes šķīdumu. Filtrāts uzpildīts līdz 65 ml ar destilētu dejonizētu ūdeni.

7.1.3.2. Paraugu analizēšana, nosakot smagos metālus

Nosakot smago metālu koncentrācijas sūnās, tika pielietota atomu absorbcijas spektrofotometrijas (AAS) metode.

Darbā izmantoti šādi atomu absorbcijas spektrofotometri:

- Perkin Elmer AAS Analyst 800;
- Perkin Elmer AAS 4110 ZI.

Veicot sūnu paraugu ķīmisko analīzi ar AAS, tika noteikti šādi elementi - Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V un Zn.

7.1.4. Kartēšana

Kartoshēmu sastādīšana veikta, izmantojot *ArcView* datorprogrammu.

7.2. REZULTĀTI

7.2.1. Smago metālu saturs sūnās 2000.gadā

Latvijā piesārņojuma telpiskās izplatības kartēšana, izmantojot sūnu, kā smago metālu sorbentu, notika jau trešo reizi. Līdz ar to bija iespējams izsekot ne tikai piesārņojuma līmeņa izmaiņām, bet arī izanalizēt smago metālu izkļiedes telpiskos aspektus.

7.2.1.1. Kadmijijs

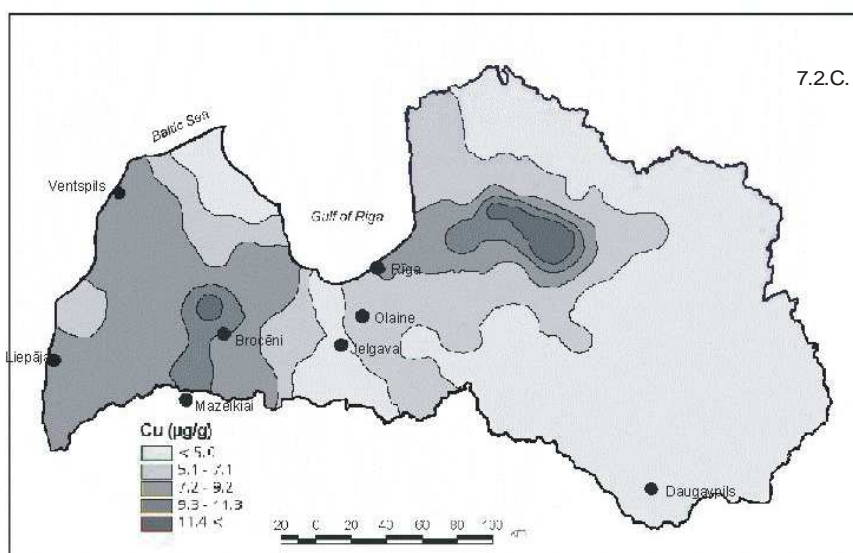
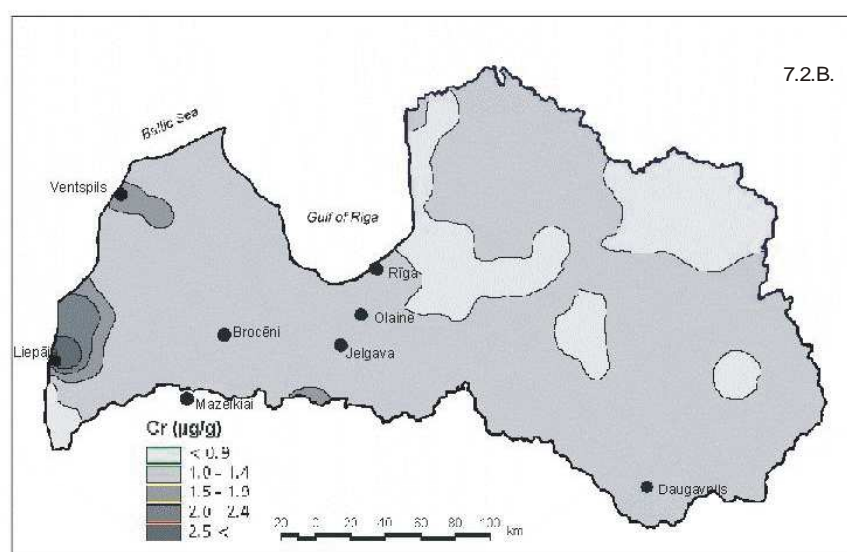
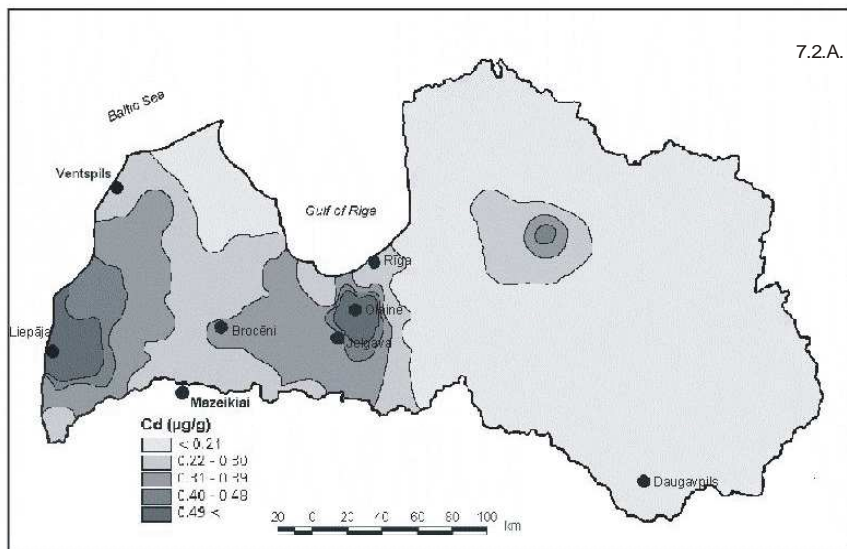
Lielākās Cd koncentrācijas konstatēja Olainē – 2,1 µg/g, un salīdzinoši augstas Cd koncentrācijas bija arī Grobiņas, Ugāles, Alsungas, Cīravas, Tērvetes un Tauresnes parauglaukumos (0,40 – 1,8 µg/g).

Kartē (7.2.A.attēls) izdalāmas divas ar Cd piesārņojuma zonas. Pirmā zona atradās Latvijas rietumdaļā un tās centrs bija Liepājas apkārtnē. Paaugstināto Cd koncentrāciju sūnā te varētu saistīt ar Liepājas metalurģijas uzņēmumu un citiem uzņēmumiem Liepājas pilsētā, kā arī ar pārrobežu piesārņojuma pārnesi no citām Rietumeiropas valstīm. Otra piesārņojuma zona ar paaugstinātām Cd koncentrācijām izveidojusies ap Olaini un Rīgu.

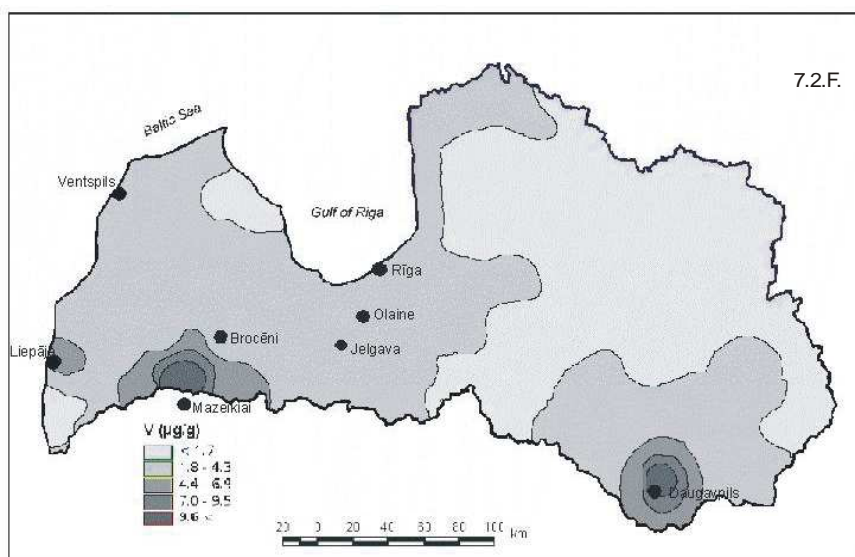
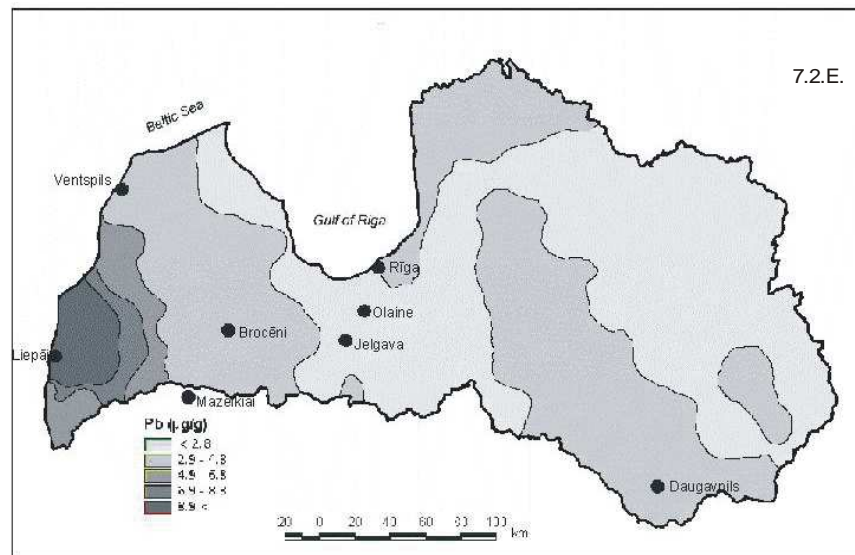
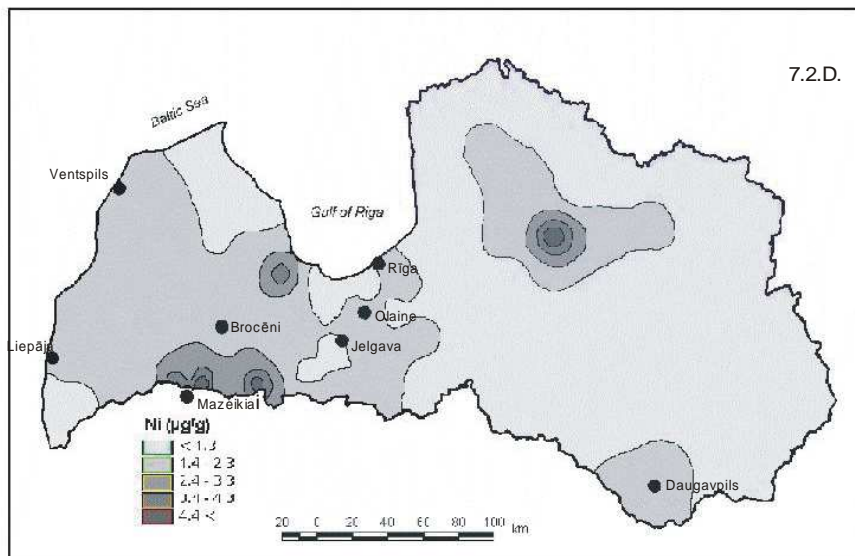
Vidzemē augstāka Cd koncentrācija sūnā konstatēta teritorijā, kurā novērojams vairāk nokrišņu. Analizējot Cd izplatības likumsakarības valstī kopumā, redzams, ka Vidzemē un Latgalē šī metāla koncentrācija, salīdzinot ar pārējo Latvijas teritoriju, bija ļoti zema (0,10 – 0,30 µg/g). Kadmiju vairāk sūnā konstatēja valsts rietumdaļā, bet austrumu virzienā tā koncentrācija pakāpeniski samazinājās.

7.2.1.2. Hroms

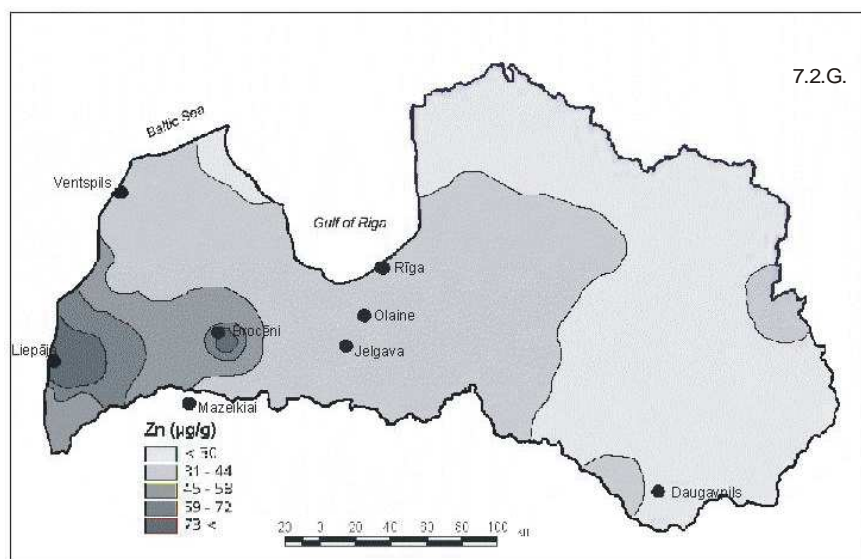
Sakarā ar rūpniecības zemo attīstības līmeni Latvijai nav raksturīgs paaugstināts Cr saturs sūnā. Lielākajā Latvijas teritorijas daļā Cr koncentrācija (7.2.B.attēls) bija mazāka par 2,0 µg/g. Vienīgi Liepājas apkārtnē bija nedaudz paaugstināts Cr saturs sūnās (3,3 µg/g), kas liecina galvenokārt par Liepājas metalurģijas uzņēmuma darbību un ietekmi uz gaisa kvalitāti.



7.2.A-7.2.G.attēls. Smago metālu (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn) koncentrācijas ($\mu\text{g/g}$) *Pleurozium schreberi* sūnās 2000.gadā.



7.2.attēla turpinājums.



7.2.attēla turpinājums.

7.2.1.3. Varš

Līdzīgi, kā tas tika novērots arī ar citiem elementiem, arī Cu augstāka koncentrācija sūnā Latvijā (7.2.C.attēls) bija Kurzemē. Latvijā 2000.gadā Cu koncentrācijas sūnā kopumā atbilst Ziemeļeiropas nepiesārņoto reģionu līmenim (4,0 – 8,0 µg/g).

Analizējot telpisko Cu izplatības struktūru sūnā Latvijas teritorijā (2.C.attēls), redzams, ka augstāka koncentrācija sūnās bija Saldus un Cēsu rajonā. Saldus rajonā lielāka Cu koncentrācija sūnā raksturīga pie Brocēniem, un tas, domājams, saistīts ar A/S “Brocēni” darbību. Tāpat arī augstu piesārņojumu konstatēja Ezerē – 13 µg/g, kuru, līdzīgi kā iepriekšējā gadījumā, varētu izskaidrot ar cementa rūpnīcas darbību. Latvijas pierobežā atrodas arī Naujoji Akmenes cementa rūpnīca Lietuvā, kas varētu radīt šo paaugstināto Cu piesārņojumu pierobežas zonā pie Ezeres.

Pašreiz pēc iegūtās informācijas grūti izskaidrot paaugstināto Cu saturu Cēsu rajonā. Iespējams, ka tas varētu būt saistīts ar relatīvi lielo gadskārtējo nokrišņu daudzumu (750 – 850 mm).

7.2.1.4. Niķelis

Niķeļa piesārņojums sūnā Latvijā tika konstatēts nelielās lokālās vietās (7.2.D.attēls). Relatīvi augstāks Ni saturs novēroja Taurenē, kā arī Aucē un Ezerē (4,6 – 5,5 µg/g). Aucē un Ezerē Ni saturs sūnā ietekmēja piesārņojuma pārrobežu pārnese,

kas nāca no Lietuvas uzņēmumiem - no Mažeikiai naftas pārstrādes rūpnīcas un Naujoji Akmenes cementa ražošanas rūpnīcas. Vidzemes augstienē paaugstināts Ni saturs, domājams, ka var būt saistīts ar Ni izskalošanos no atmosfēras ar nokrišņiem.

Kopumā lielākajā Latvijas teritorijas daļā Ni koncentrācija sūnā svārstās robežās no 0,50 – 2,3 µg/g.

7.2.1.5. Svins

Vislielākās Pb koncentrācijās sūnā konstatēja Latvijas dienvidrietumu daļā (7.2.E.attēls), kur Pb koncentrācija bija robežās no 4,9 – 37 µg/g, un visaugstāko Pb koncentrāciju konstatēja Grobiņā – 37 µg/g, kas bija dēļ Liepājas uzņēmuma “Liepājas metalurģis” darbības, kā arī salīdzinoši augstas Pb koncentrācijas sūnās konstatēja Jaunciemā (5,3 µg/g), Ventspilī (5,2 µg/g) un Alsungā (5,2 µg/g).

Pārējā Latvijas teritorijā konstatētā Pb koncentrācija sūnā bija robežās no 1,5 – 4,8 µg/g.

7.2.1.6. Vanādijs

Latvijā piesārņojumam ar V novērojams lokāls raksturojums (7.2.F.attēls). Piesārņojums galvenokārt saistās ar piesārņojošo vielu izkrišanu no atmosfēras ap lokālajiem piesārņojuma avotiem un ar piesārņojuma pārrobežu pārnesei no Mažeikiai naftas pārstrādes uzņēmuma. Augstākās V koncentrācijas sūnā Latvijā konstatēja Kareļu un Griezes parauglaukumos Lietuvas pierobežā (13 – 23 µg/g), kur to varam saistīt ar Mažeikiai naftas pārstrādes rūpnīcas darbību. Augstas V koncentrācijas sūnās konstatētas arī Olaines un Daugavpils parauglaukumos (12 – 13 µg/g). Līdz ar to V piesārņojuma izplatības karte labi parāda tās kurtuves, kuras dedzināšanā izmanto mazutu vai citu krāsns kurināmo.

Pārējā Latvijas teritorijā sūnā konstatētās V koncentrācijas bija robežās no 0,60 – 4,3 µg/g.

7.2.1.7. Cinks

Cinka teritoriālā izplatība ar augstu tā saturu sūnās visā Latvijas teritorijā bija pavisam neliela (7.2.G.attēls). Galvenais Zn piesārņojuma avots Latvijā ir Liepājas metalurģijas uzņēmums (Grobiņas parauglaukumā ir 189 µg/g), un līdz ar to,

piesārņotāka bija Latvijas rietumu daļa. Salīdzinoši augsta Zn koncentrācija bija arī pie Brocēniem (84,7 µg/g), ko varam saistīt ar A/S “ Brocēni” darbību.

Pārējā Latvijas teritorijā Zn koncentrācija sūnā bija robežās no 20 – 44 µg/g.

7.2.2. Smago metālu koncentrācijas sūnā retrospektīvā analīze

Salīdzinot smago metālu absolūtās vērtības jāņem vērā tas, ka pēdējā sūnu paraugu ievākšanas reizē 2000.gadā mainījās ķīmisko elementu noteikšanas metodika. Tāpēc absolūto koncentrāciju salīdzināšana, nedod viennozīmīgu atbildi tam, par cik reizēm palielinājās vai samazinājās smago metālu koncentrācija sūnā pēdējos desmit gados (1990.-2000.g.).

Kopējās tendences smago metālu akumulācijā sūnā teritoriālā griezumā bija tādas, ka joprojām saglabājās augstākas to koncentrācijas Latvijas rietumu daļā, bet relatīvi zemākas metālu koncentrācijas bija Latvijas austrumu daļā. Salīdzinot ar 1990.gadu un 1995.gadu, 2000.gadā būtiski samazinājās piesārņojuma līmenis Rīgas, Daugavpils, Olaines un Rēzeknes apkārtnē. Apskatot atsevišķi katra elementa koncentrāciju izmaiņas sūnās, varam secināt, ka dažiem metāliem teritoriālās izplatības likumsakarības ir saglabājušās laika gaitā, piemēram, cinkam, vanādijs un svīnam, tomēr dažiem metāliem, piemēram, hromam un niķelī, šī teritoriālā izkliede ir stipri vien mainījusies.

Analizējot atsevišķi katra metāla koncentrācijas izmaiņas laika gaitā (7.1.tabula) redzams, ka kopumā lielākajai daļai smago metālu koncentrācija sūnās bija samazinājušās.

Vanādijs vidējā koncentrācija 1995.gadā bija 4,1 µg/g, bet 2000.gadā - 2,5 µg/g. Samazinājās arī maksimālā un minimālā V koncentrācija (7.1.tabula). Kā rāda smago metālu koncentrāciju izmaiņu histogramma (7.3.attēls), tad redzam, ka nedaudz mazāk kļuvušas tās V koncentrācijas, kuras bija virs 7,10 µg/g. Līdzīgu samazināšanos tendenci uzrādīja Cr, Pb, kā arī Ni (7.1.tabula un 7.3.attēls), ko parāda arī šo ķīmisko elementu vidējās vērtības.

Vienlaicīgi ir virkne elementu, kuru koncentrācijas kopumā nav mainījušās vai arī nedaudz palielinājās. Piemēram, kadmija gadījumā pēdējos piecos gados, salīdzinot 1995. un 2000.gadu, nedaudz palielinājās to parauglaukumu skaits, kuros tā koncentrācija pārsniedza 0,34 µg/g (7.3.attēls). Ja 1995.gadā Cd koncentrācija augstāka par 0,34 µg/g bija tikai Liepājas apkārtnē, tad 2000.gadā Cd piesārņojums

lielāks par 0,49 µg/g konstatēja arī Olainē. Tomēr tas būtiski neatsaucās uz vidējo Cd koncentrāciju valstī kopumā (7.1.tabula).

7.1.tabula

Smago metālu vidējā, maksimālā un minimālā koncentrācija (µg/g) *Pleurozium schreberi* Latvijā 1995. un 2000. gadā, kā arī *Hylocomium splendens* Latvijā 1990.gadā.

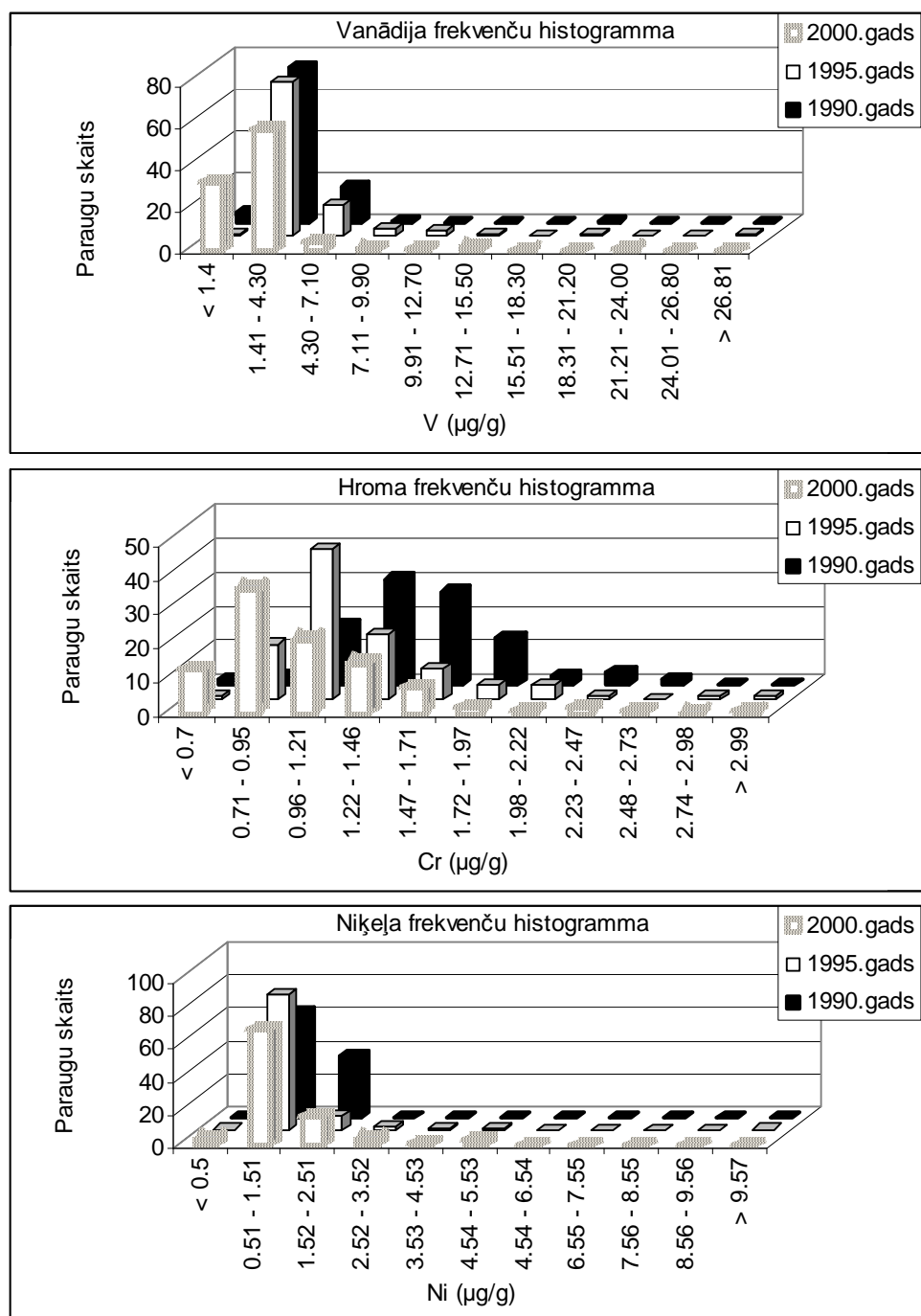
	V	Cr	Ni	Cd	Pb	Zn	Cu
1990. gads							
Vid.	3,6	1,5	1,4	0,27	11,7	44,2	6,26
Max.	20,2	2,71	2,12	0,42	24,8	117,0	10,3
Min.	0,8	0,61	0,55	0,14	5,9	29,0	3,92
1995. gads							
Vid.	4,1	1,2	1,4	0,2	7,2	31,7	4,0
Max.	29,6	3,2	10,6	0,5	36,1	101,2	8,3
Min.	1,4	0,7	0,5	0,1	3,0	19,1	2,7
2000.gads							
Vid.	2,5	1,1	1,3	0,23	3,6	35,6	5,8
Max.	23,0	3,3	5,5	2,1	37,0	189,0	17,0
Min.	0,6	0,58	0,5	0,1	1,5	20,0	3,1

Salīdzinot metālu koncentrāciju starpības starp visām reizēm varam redzēt, ka dažiem metāliem - Cr, Ni un Pb izanalizēto vidējo metālu saturs sūnās 2000.gadā ir samazinājies (7.1.tabula). No tā izriet, ka šo desmit gadu laikā samazinājās šo trīs metālu emisija atmosfērā. Tā, piemēram, pēc 7.3.attēla redzam, ka, salīdzinot ar 1990.gadu, 2000.gadā samazinājās tie parauglaukumi, kuros Pb koncentrācija bija lielākas par 9,63 µg/g, bet palielinājās to parauglaukumu skaits, kur Pb koncentrācija bija mazāka nekā 6,31 µg/g. Svina koncentrācijas samazināšanos varētu saistīt arī ar uzlabotu emisijas kontroli ne tikai pie mums Latvijā, bet arī visā Eiropā, kā arī ar Pb saturošas degvielas izmantošanas samazināšanu.

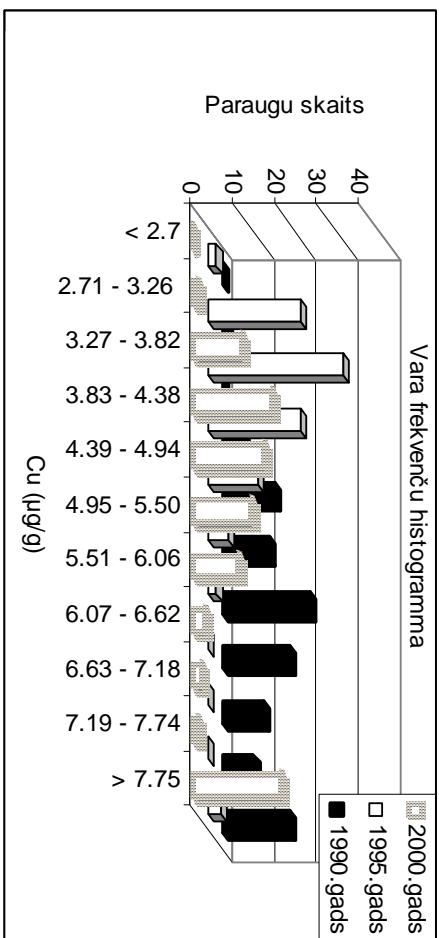
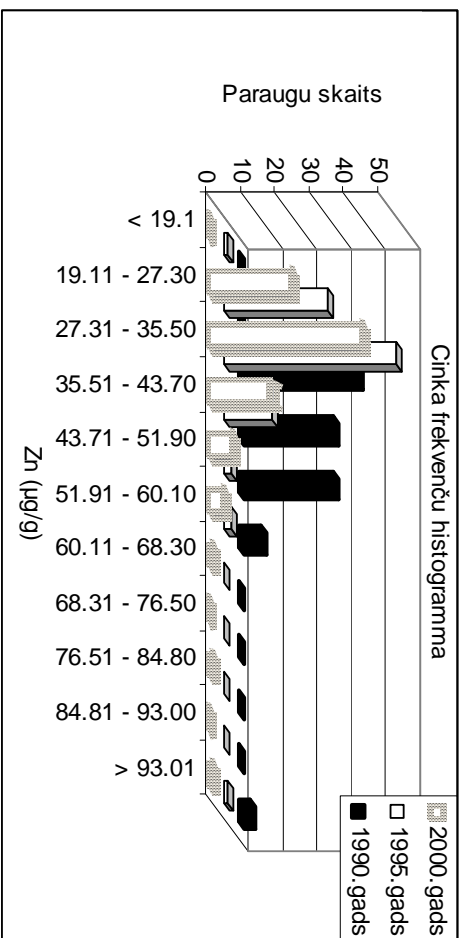
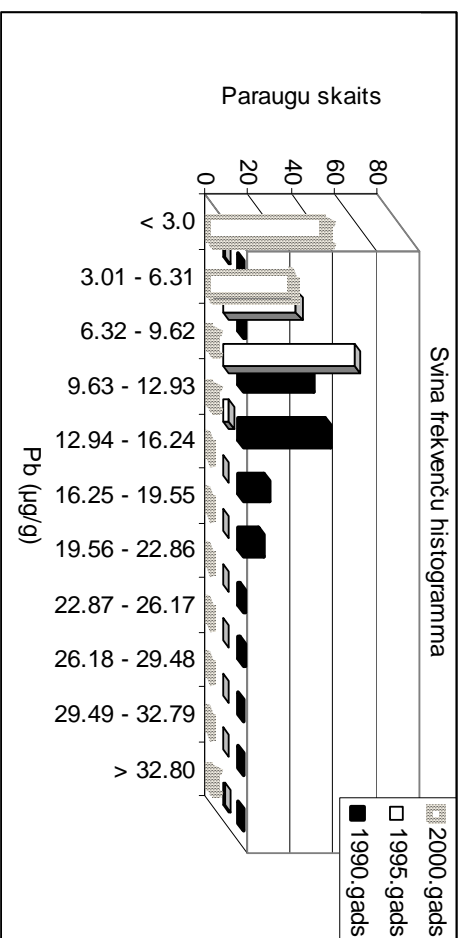
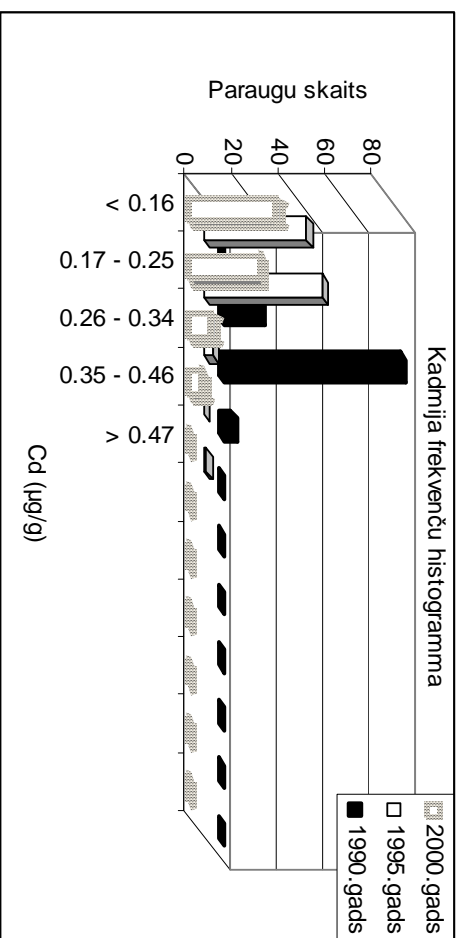
Novērtējot Zn un Cu koncentrāciju izmaiņas redzam, ka to vidējās koncentrācijas 2000.gadā samazinājās, salīdzinot ar 1990.gada datiem, bet nedaudz palielinājās, ja salīdzinām ar 1995.gadu. Te mēs redzam arī, ka šī maksimālā Zn koncentrācija 2000.gadā, kas bija 189,0 µg/g un kura konstatēta Grobiņā, krietni vien lielāka nekā 1995.gadā (101,2 µg/g). Līdzīga situācija bija arī novērtējot maksimālo

Cu koncentrāciju, kad 2000.gadā tā koncentrācija bija divas reizes lielāka nekā 1995.gadā, attiecīgi 17,0 $\mu\text{g/g}$ un 8,3 $\mu\text{g/g}$ (7.1.tabula).

Tomēr kopumā, retrospektīvi izanalizējot atsevišķu smago metālu (Cr, Ni, Cd, Cu) piesārņojuma samazināšanās vai palielināšanās tendences, varam teikt, ka nav skaidri redzamu izmaiņu. Bez tam arī pie katra no vairāk piesārņotajiem stacionārajiem objektiem ņemti tikai daži sūnu paraugi no pāris parauglaukumiem, kas ir krietni vien par maz objektīvākai iegūto datu analīzei.



7.3.attēls. Smago metālu (V, Cr, Ni, Cd, Pb, Zn, Cu) izmaiņu tendences (paraugu skaits) trijās (1990., 1995. un 2000.gads) sūnu paraugu ievākšanas reizēs.



7.3.attēla turpinājums.

7.3. DISKUSIJA

Ja salīdzinām 1990.gada un 2000.gada datus, tad redzam, ka visu smago metālu vidējās un minimālās koncentrācijas ir samazinājušās, savukārt nenovēroja maksimālo koncentrāciju samazināšanos, bet kopš 1995.gada samazinājās vienīgi V un Ni maksimālās koncentrācijas (7.1.tabula).

Kopš 1990.gada stacionāro piesārņotāju līmenis bija samazinājies par 60% un lielākās šīs izmaiņas notika kopš 1992.gada, kad valstī samazinājās rūpnieciskā ražošana. Tas daļēji izskaidro to, kādēļ Cr, Cd un Zn vidējās koncentrācijas bija samazinājušās starp 1990.gadu un 1995.gadu (7.1.tabula). V un Ni vidējās koncentrācijas samazinājās starp 1995.gadu un 2000.gadu, kas varētu būt dēļ tā, ka tika nomainīts kurināmais, tas ir, mazuts tika nomainīts ar gāzi vai šķeldu (Latvian environment agency (LEA), 2002).

Kaut arī šajā pētījuma laikā automašīnu skaits bija palielinājies gandrīz par divām reizēm, sasniedzot 600 000 (LEA, 2002), tomēr šis faktors nebija saistīts ar Pb koncentrāciju pieaugumu. Šajā gadījumā tika novērota gluži pretēja situācija, jo bija samazinājies vides piesārņojums ar Pb, un tas acīmredzot bija tāpēc, ka izmainījās degvielas kvalitāte.

Sūnu biomonitorings kopš 1990.gada visaugstākos piesārņojuma līmeņus uzrādīja ap lielākajām industriālajām pilsētām (Rīga, Liepāja, Daugavpils), kā arī netālu no mazākām, bet industriālām pilsētām (Brocēni, Olaine). Tomēr pie daudzām ražotnēm, uzlabojoties kurināmā kvalitātei, samazinājās piesārņojuma līmenis. 1990.gadā un 1995.gadā vislielākās V koncentrācijas sūnā bija pie Rīgas termoelektrocentrāles – TEC-2 (Rühling *et al.*, 1992; Rühling *et al.*, 1996), tomēr arī šeit, nomainoties izmantotajam kurināmajam (no mazuta uz gāzi), šis objekts ir zaudējis lielā vides piesārņotāja nozīmi (Nikodemus *et al.*, 2004).

2000. gada kartēšanas kārtā netika vairs novērota paaugstinātas Cu koncentrācijas sūnās pie Olaines un tās apkārtnes, kaut arī iepriekšējos pētījumos parasti tieši Olaines apkārtnē bija raksturīga ar paaugstinātu Cu koncentrāciju sūnās (Brūmelis, Nikodemus, 1995, Nikodemus, Brūmelis, 1998). Tas nozīmē to, ka samazinājās piesārņojošo vielu izmete no Olaines farmaceitiskajām rūpnīcām.

2000.gadā lokālās piesārņojuma zonas pēc sūnu kartēšanas rezultātiem Latvijā izdalījās Liepājas (Zn, Pb, Cd, Cr), Brocēnu (Zn, Cu), Olaines (V, Cd), Mažeikiai (V, Ni), Naujoji Akmenes (Cu, Ni), Rīgas (Cd) un Daugavpils (V) apkārtnē.

Piesārņojuma lielums ap Liepāju arī bija diezgan liels, salīdzinot ar Eiropas valstu piesārņojuma līmeni, sevišķi jau tas attiecas uz tādiem smagajiem metāliem kā Zn un Cd (Buse *et al.*, 2003). Liepājā piesārņojums nerodas tikai dēļ vietējās smagās metalurģijas rūpnīcas “Liepājas metalurģis”, kurtuvju un citu Liepājas uzņēmumu darbības rezultātā izmestās emisijas, bet arī dēļ pārobežu piesārņojuma pārneses ietekmes no Eiropas. Un šis piesārņojums nesamazinājās, piemēram, salīdzinot ar 1995.gadu, 2000.gadā Cd koncentrācija sūnā Latvijas rietumu daļā bija pat palielinājusies (Nikodemus *et al.*, 2004).

Saskaņā ar MSC-West pētījumiem uzzinām, ka 40% no visa piesārņojuma Latvijā nonāk no Polijas, Vācijas un Lietuvas (Latvijas vides aģentūra (LVA), 2001). Tas arī izskaidro to, kāpēc Latvijas rietumu daļas sūnās bija lielas dažu metālu (Pb, Cu, Cd, Ni un V) koncentrācijas (7.2.attēls).

Dažu smago metālu līmenis sūnās pie Lietuvas robežas vēl bija saglabājies kopš 1990.gada. Dominējošie dienvidrietumu vēji atnes piesārņojuma nosēdumus no Mažeikiai naftas pārstrādes rūpnīcas, un šie elementi galvenokārt bija V un Ni. Savukārt Naujoji Akmenes cementa ražošanas rūpnīca, iespējams, rada paaugstinātās Cu un Ni koncentrācijas.

Daži metāli norāda uz pārobežu piesārņojuma pārnesi no Eiropas (Pb, Cu, Cd, Ni) un šie elementi bija mazliet paaugstinātās koncentrācijās arī Vidzemes augstienē, kas gan varētu būt tāpēc, ka šis reģions saistās ar lielāku nokrišņu daudzums nekā pārējā Latvijas teritorija. Tomēr patreiz nav iespējams izskaidrot paaugstināto smago metālu koncentrāciju sūnās Vidzemes augstienē.

Pētījumi parāda, ka kaut arī atsevišķos gadījumos, piemēram, Mazsalacā, tika novērota smago metālu (Fe, Cu, Zn) koncentrācijas samazināšanās tendence sūnās (Melecis *et al.*, 1998), tomēr to nedrīkstam attiecināt uz visu valsti kopumā, jo katrā ekosistēmā, katrā parauglaukumā izmaiņas būs citādākas.

Kopumā sūnu monitoringa rezultāti, sakrīt ar Valsts hidrometeoroloģijas pārvaldes veikto Latvijas teritorijas zonējumu pēc atmosfēras piesārņojuma indeksa (LVA, 2001). Vienīgās atšķirības bija tādas, ka sūnu monitorings neuzrāda paaugstinātu atmosfēras piesārņojumu Rēzeknes un Ventspils apkārtnē, kas izdalās pēc gaisa un nokrišņu analīzes rezultātiem.

Salīdzinot ar citām valstīm, varam teikt, ka lielākajā Latvijas teritorijas daļā visu smago metālu (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V un Zn) koncentrācijas bija Ziemeļeiropas nepiesārņoto reģionu fona līmenī (Rühling *et al.*, 1996; Buse *et al.*, 2003).

Smago metālu koncentrāciju izmaiņas Latvijā galvenokārt ir izskaidrojamas ar ekonomiskajām izmaiņām, un tas ir tāpēc, ka lielās ražotnes tika slēgtas vai nu vispār, vai arī tās ir samazinājušas savu ražošanas jaudu.

7.4. SECINĀJUMI

1. Latvijā kopumā ķīmisko elementu koncentrācijas atbilst Ziemeļeiropas nepiesārņoto reģionu līmenim.
2. Paaugstinātās koncentrācijas sūnās konstatētas ap Liepāju (Zn, Pb, Cd, Cr), Brocēniem (Cu, V, Zn), Olaini (V, Cd), Rīgu (Cd), Daugavpili (V).
3. Latvijas piesārņojuma izplatību ietekmē pārrobežu piesārņojuma pārnese no Eiropas, no Lietuvas rūpniecības uzņēmumiem – Mažeikiai naftas pārstrādes rūpnīcas un Naujoji Akmenes cementa ražošanas rūpnīcas, un dēļ šīs pārrobežu piesārņojumu pārnese un lielu rūpniecības objektu izvietojumam Kurzemē, Latvijas rietumdaļā kopumā izsēžas vairāk piesārņojošo vielu nekā Latvijas austrumu daļā.
4. Kopš 1995.gada ievērojami ir samazinājies Ni piesārņojums ap Rīgu un ap Daugavpili, jo abās šajās pilsētās esošajās termoelektrocentrālēs tika nomainīta kurināmā izejviela no mazuta uz gāzi, kā arī kopš 2000.gada vairs nav tik lielas Pb koncentrācijas ap Rīgu, kas ir dēļ degvielas un autotransporta kvalitātes uzlabošanās.
5. Smago metālu koncentrāciju izmaiņas Latvijā galvenokārt ir izskaidrojamas ar ekonomiskajām izmaiņām, un tas ir tāpēc, ka lielās ražotnes tika slēgtas vai nu vispār, vai arī tās ir samazinājušas savu ražošanas jaudu.

PATEICĪBAS

Vispirms gribu izteikt pateicību savam darba vadītājam Dr.biol., profesoram Guntim Brūmelim par nesavtīgo palīdzību gan lauku darbos pie paraugu ievākšanas, gan laboratorijas darbos, kā arī par padomiem un atbalstu mana promocijas darba izstrādē.

Promocijas darba izstrāde nebūtu iespējama bez kolektīvā darba (LU Bioloģijas fakultātes Botānikas un ekoloģijas katedra un LU Bioloģijas institūta Bioindikācijas laboratorija), kā arī bez LZP grantu, Kristapa Morberga stipendijas un ESF (Eiropas sociālie fondi) finansiālā atbalsta.

Lielu paldies saku Dr.biol.Lūcijai Lapiņai par palīdzību ievāktā sūnu un augsnes materiāla ķīmisko apstrādi.

Liels paldies arī Dr.ģeogr., profesoram Oļģertam Nikodemusam par konsultācijām un padomiem promocijas darba izstrādē, kā arī par kopējo sadarbību Eiropas valstu monitoringa programmā “Smago metālu saturs sūnās”, kura ietvaros tika izstrādāta viena no manas promocijas darba pētnieciskajām nodaļām.

Biometrijas analīžu izvēlē un par iegūto datu matemātisko apstrādi esmu pateicīgs Dr.biol., asoc.profesorei Gaļinai Pospelovai.

Izsaku pateicību Dr.biol., profesoram Valdim Balodim, Dr.biol., docentam Alfonam Piterānam par sniegtajiem padomiem promocijas darba noformēšanā.

Paldies par padomiem un morālo atbalstu saku arī pārējiem Botānikas un ekoloģijas katedras kolēģiem Brigitai Laimei, Annai Žeiviniecei, Vijai Znotiņai, Ilutai Lūcei, Annai Mežakai, Dr.biol., docentam Edgaram Vimbam, Kārlim Kalviškim, Didzim Tjarvem un Didzim Elfertam.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- Bates J.W. 1982. The role of exchangeable calcium in saxicolous and calcifuge mosses. *New Phytologist* **90**: 239-252.
- Bates J.W. 1987. Nutrient retention by *Pseudoscleropodium purum* and its relation to growth. *Journal of Bryology* **14**: 565-580.
- Bates J.W. 1989. Retention of added K, Ca and P by *Pseudoscleropodium purum* growig under an oak canopy. *Journal of Bryology* **15**: 589-605.
- Bates J.W. 1990. Interception of nutrients in wet deposition by *Pseudoscleropodium purum*: an experimental study of uptake and retention of potassium and phosphorus. *Lidbergia* **15**:93-98.
- Bates J.W. 1992. Mineral nutrient acquisition and retention by bryophytes. *Journal of Bryology* **17**: 223-240.
- Bates J.W. 1993. Regional calcicoly in the moss *Rhytidiadelphus triquetrus* : survival and chemistry of transplants at a formely SO₂ – polluted site with acid soil. *Annals of Botany* **72**: 449-455.
- Bates J.W., Bakken S. 1998. Nutrient retention, desiccation and redistribution in mosses. In Bates J.W., Ashton N.W., Duckett J.G., eds. *Bryology for the Twenty – first Century*. British Bryological Society. 293-304.
- Bates J.W., Farmer A.M. 1990. An experimental study of calcium acquisition and its effects on the calcifuge moss *Pleurozium schreberi*. *Annals of Botany* **65**: 87-96.
- Bengtson C., Folkesson L., Göransson A. 1982. Growth reduction and branching frequency in *Hylocomium splendens* near a foundry emitting copper and zinc. *Lindbergia* **8**: 129-138.
- Berg T., Røyset O., Steinnes E. 1995a. Moss (*Hylocomium splendens*) used as biomonitor of atmospheric trace element deposition: estimation of uptake efficiencies. *Atmospheric Environment* **29**: 353-360.
- Berg T., Røyset O., Steinnes E., Vadset M. 1995b. Atmospheric trace element deposition: principal component analysis of ICP-MS data from moss samples. *Environmental Pollution* **88**: 67-77.
- Binkley D., Graham R.L. 1981. Biomass, production, and nutrient cycling of mosses in an old – growth Douglas – fir forest. *Ecology* **62** (5): 1387-1389.
- Bonnot, E.J. 1967. L'infrastructure des plasmodesmes de deux Bryales. *Compte-Rendus de L'Academie des Sciences de Paris*, **264D**: 2276-2279.
- Branquino C., Brown D.H. 1994. A method for studying the cellular location of lead in lichens. *Lichenologist* **26**: 83-90.

Brown D.H., Bates J.W. 1990. Bryophytes and nutrient cycling. *Botanical Journal of the Linnean Society* **104**: 129-147.

Brown D.H., Brown R.M. 1990. Reproducibility of sampling for element analysis using bryophytes. Element concentration cadasters in Ecosystems. *Methods of assessment and evaluation*. Edited by Lieth H. and Markert B. Weinheim: VHC, 55-62.

Brown D.H., Brūmelis G. 1996. A biomonitoring method using the cellular distribution of metals in moss. *Science of the Total Environment* **187**: 153-161.

Brown D.H., Buck G.W. 1978. Cation contents of acrocarpous and pleurocarpous mosses growing on a strontium – rich substratum. *Journal of Bryology* **10**: 199-209.

Brown D.H., Buck G.W. 1979. Desiccation effects and cation distribution in bryophytes. *New Phytologist* **82**: 115-125.

Brown D.H., Sidhu M. 1992. Heavy metal uptake, cellular location, and inhibition of moss growth. *Cryptogamic Botany* **3**: 82-85.

Brown D.H., Wells J.M. 1988. Sequential elution technique for determining the cellular location of cation. In: Glime J.M. ed, *Methods in bryology* Nichinan: Hattori Botanical Laboratory, 227-233.

Brūmelis G. 1992. Smago metālu kartēšana Latvijā, izmantojot spīdīgo stāvusūnu (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Brid.). Vides monitorings Latvijā. *LR Vides aizsardzības komiteja, pētījumu centrs, Latvijas Universitāte*. 27 lpp.

Brūmelis G., Brown D.H. 1997. Movement of metals to new growing tissue in the moss *Hylocomium splendens* (Hedw.) BSG. *Annals of Botany* **79**: 679-686.

Brūmelis G., Brown D.H., Nikodemus O., Tjarve D. 1999. The monitoring and risk assessment of Zn deposition around metal smelter in Latvia. *Environmental Monitoring and Assessment* **58**: 201-212.

Brūmelis G., Lapiņa L., Tabors G. 2000. Uptake of Ca, Mg and K during growth of annual segments of the moss *Hylocomium splendens* in the field. *Journal of Bryology*. **22**: 163 - 174.

Brūmelis, Nikodemus. 1995. Biological monitoring in Latvia using moss and soil: Problems in the partitioning of anthropogenic and natural effects. *Bioindicators of Environmental Health* pp.123-132.

Brūmelis G., Selga T., Tabors G., Lapiņa L., Pospelova G. 2004. Transport of potassium to juvenile segments of the feather moss *Hylocomium splendens*. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B, Vol 58, No.3/4 (632/633)*, 140-148.

- Busby J.R., Bliss L.C., Hamilton C.D. 1978. Microclimate control of growth rates and habitats of the boreal forest mosses, *Tomenthypnum nitens* and *Hylocomium splendens*. *Ecological Monographs* **48**: 95-110.
- Buse A., Norris D., Harmens H., Búker P., Ashenden T., Mills G. 2003. Heavy metals in European mosses: 2000 / 2001 survey, Centre for Ecology & Hydrology, Natural Environment Research Council.
- Callaghan T.V., Collins N.J., Callaghan C.H. 1978. Photosynthesis, growth and reproduction of *Hylocomium splendens* and *Polytrichum commune* in Swedish Lapland. *Oikos* **31**: 73-88.
- Carleton T.J., Kavanagh T. 1990. Influence of stand age and spatial location on throughfall chemistry beneath black spruce. *Canadian Journal of Forest Research* **20**: 1917-1925.
- Chapin F.S., Oechel W.C., Van Cleve K., Lawrence W. 1987. The role of mosses in the phosphorus cycling of an Alaskan black spruce forest. *Oecologia* **74**: 310-315.
- During H.J. 1990. Clonal growth patterns among bryophytes. *Clonal growth in plants: regulation and function*. Edited by J.van Groenendael and H. de Kroon. 153-176.
- Eckstein R.L. 2000. Nitrogen retention by *Hylocomium splendens* in a subarctic birch woodland. *Journal of Ecology* **88**: 506-515.
- Eckstein R.L., Karlsson P.S. 1999. Recycling of nitrogen among segments of *Hylocomium splendens* as compared with *Polytrichum commune*: implications for clonal integration in an ectohydric bryophyte. *Oikos* **86**: 87-96.
- Finocchio A.F. 1967. Pitting of cells in moss gametophores. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, **94**: 18-20.
- Gjengedal E., Steinnes E. 1990. Uptake of metal ions in moss from artificial precipitations. *Environmental Monitoring and Assessment* **14**: 77-87.
- Hanslin H.M. 1999. Seasonal dynamics of biomass increase and shoot elongation in five co-occurring boreal forest bryophytes. *Journal of Bryology* **21**: 5-15.
- Johnsen I.B. 1981. Heavy metal deposition on plants in relation to immision and bulk precipitation. *Silva Fennica* **15(4)**: 444-445.
- Laiviņš M., Henriņa E., Kraukle M., Ventiņš J. 1993. The impact of the Saulkalne lime processing facilities on the biotic diversity of pine forests. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences* **7**: 63-69.
- Latvian environment agency. 2002. Environmental indicators in Latvia. Rīga. pp.127.
- Latvijas Vides aģentūra. 2001. Latvijas Vides aģentūras pārskats. Rīga. 124.lpp.

Melecis V., Karpa A., Kalviņa L., Timofejeva I. 1998. Recovery of pine stands as a result of a decrease of background pollution. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences*. Section B, Vol **52**:38-42

Mendenhall 1975. Introduction to probability and Statistics, 4th Edition. Table **13**:Random numbers.

Nieboer E., Richardson D.H.S. 1980. The replacement of the nondescript term “heavy metals” by a biologically and chemically significant classification of metal ions. *Environmental Pollution (Series B)* **1**: 3-26.

Nikodemus O., Brūmelis G. 1998. Monitoring of atmospheric heavy metal deposition in Latvia. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences Section B Vol 52*: 17-24.

Nikodemus O., Brūmelis G., Tabors G., Lapiņa L. and Pope S. 2004. Monitoring of Air Pollution in Latvia Between 1990 and 2000 Using Moss. *Journal of Atmospheric Chemistry*. **49**: 521-531.

Økland R.H. 1995. Population biology of the clonal moss *Hylocomium splendens* in Norwegian boreal spruce forests.I.Demography. *Journal of Ecology* **83**: 697-712.

Økland R.H. 1997. Population biology of the clonal moss *Hylocomium splendens* in Norwegian boreal spruce forests.III.Six – year demographic variation in two areas. *Lindbergia* **22**: 49-68.

Økland R.H., Økland T. 1996. Population biology of the clonal moss *Hylocomium splendens* in Norwegian boreal spruce forests.II.Effects of density. *Journal of Ecology* **84**: 63-69.

Økland R.H., Steinnes E., Økland T. 1997. Element concentrations in the boreal forest moss *Hylocomium splendens*: variation due to segment size, branching patterns and pigmentation. *Journal of Bryology* **19**: 671-684.

Pakarinen P., Rinne R.J.K. 1979. Growth rates and heavy metal concentrations of five moss species in paludified spruce forests. *Lindbergia* **5**: 77-83.

Potter J.A., Press M.C., Callaghan T.V., Lee J.A. 1995. Growth responses of *Polytrichum commune* and *Hylocomium splendens* to simulated environmental change in the sub-arctic. *New Phytologist* **131**: 533-541.

Rinne R.J.K., Mäkinen A.I. 1988. Regional and species variation in metal content of two woodland mosses *Pleurozium schreberi* and *Hylocomium splendens* in Finland and northern Norway. *Silva Fennica* **22**: 89-97.

Ross H.B. 1990. On the use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) for estimating atmospheric trace metal deposition. *Water, Air and Soil Pollution* **50**: 63-76.

Ross S.E., Callaghan T.V., Sonesson M., Sheffield E. 2001. Variation and control of growth – form in the moss *Hylocomium splendens*. *Journal of Bryology* **23**: 283-292.

- Rühling Å. 1994. Atmospheric heavy metal deposition in Europe – estimation based on moss analysis. *NORD* **9**: 53 pp.
- Rühling Å., Brūmelis G., Goltsova G., Kvietkus K., Kubin E., Liiv S., Magnusson S., Makinen A., Pilegard K., Rasmussen L., Sander E., Steinnes E. 1992. Atmospheric heavy metal deposition in Northern Europe 1990, *NORD* 1992 (12).
- Rühling Å., Steinnes E., Berg T. 1996. Atmospheric heavy metal deposition in Northern Europe 1995, *NORD* 1996 (37).
- Rühling Å., Tyler G. 1970. Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens* (Hedw.) Br.et Sch. *Oikos* **21**: 92-97.
- Rühling Å., Tyler G. 1973. Heavy metal deposition in Scandinavia. *Water, Air and Soil Pollution* **2**: 445-455.
- Rydgren K.R, Økland R.H., Økland T. 1998. Population biology of the clonal moss *Hylocomium splendens* in Norwegian boreal spruce forests. 4. Effects of experimental fine – scale disturbance. *Oikos* **82**: 5-19.
- Rydin H., Clymo R.S. 1989. Transport of carbon and phosphorus compounds about *Sphagnum*. *Proceedings of the Royal Society of London* **237 B**: 63-84.
- Schaug J., Rambæk J.P., Steinnes E., Henry R.C. 1990. Multivariate analysis of trace element data from moss samples used to monitor atmospheric deposition. *Atmospheric Environment* **Vol. 24A No.10**: 2625-2631.
- Sidhu M., Brown D.H. 1996. A new laboratory technique for studying the effects of heavy metals on bryophyte growth. *Annals of Botany* **79**: 711-717.
- Skre O., Oechel W.C. 1979. Moss production in a black spruce *Picea mariana* forest with permafrost near Fairbanks, Alaska, as compared with two permafrost – free stands. *Holarct. Ecol.* **2**: 249-254.
- Skre O., Oechel W.C. 1981. Moss functioning in different taiga ecosystems in interior Alaska. I. Seasonal, phenotypic and drought effects in photosynthesis and response patterns. *Oecologia* **48**: 50-59.
- Skre O., Oechel W.C., Miller P.M. 1983. Patterns of translocation of carbon in four common moss species in a black spruce (*Picea mariana*) dominated forest in interior Alaska. *Canadian Journal of Forest Research* **13**: 869-878.
- Steinnes E., Rühling Å, Lippo H., Mäkinen A. 1997. Reference materials for large-scale metal deposition surveys. *Accred Qual Assur* **2**: 243-249.
- Tabors G., Brūmelis G., Lapiņa L., Pospelova G. and Nikodemus O. 2004. Changes in element concentrations in moss segments after cross-transplanting between a polluted and non-polluted site. *Journal of Atmospheric Chemistry*. **49**: 191-197.

Tamm C.O. 1953. Growth, yield and nutrition in carpets of a forest moss (*Hylocomium splendens*). *Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut (Reports of the Forest Research Institute of Sweden)* **43**: 1-140.

Thöni L., Schnyder N., Krieg F. 1996. Comparison of metal concentrations in three species of mosses and metal freights in bulk precipitations. *Fresenius Journal Anal. Chem.* **354**: 703-708.

Weber M.G., Van Cleve K. 1984. Nitrogen transformation in feather moss and forest floor layers of interior Alaska black spruce ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research* **14**: 278-290.

Weetman G.F. 1968. The relationship between feather moss growth and the nutrition of black spruce. In: Lafleur L., Butler J., eds. *3rd International Peat Congress* (18-23 August 1968, Quebec, Canada), 366-370.

Wells J.M., Brown D.H. 1987. Factors affecting the kinetics of intra- and extracellular cadmium uptake by the moss *Rhytidiadelphus squarrosus*. *New Phytologist* **105**: 123-137.

Wells J.M., Brown D.H. 1990. Ionic control of intracellular and extracellular Cd uptake by the moss *Rhytidiadelphus squarrosus* (Hedw.) Warnst. *New Phytologist* **116**: 541-553.

Wells J.M., Brown D.H. 1996. Mineral nutrient recycling within shoots of the moss *Rhytidiadelphus squarrosus* in relation to growth. *Journal of Bryology* **19**: 1-17.

Ринькис Г. Я. 1972. Оптимизация минерального питания растений. Рига, Зинатне. Стр.354.

PIELIKUMS

Sūnu monitoringa parauglaukumu raksturojums.

N°	Vietas nosaukums	x koord.	y koord.	Meža tips	Kokaudzes formula	Humusa tips	Augsnes apakštips
1.	Olaine	56°49'06"	23°55'40"	D	5E5B	mor-moder	tipiskais podzols
2.	Eleja	56°24'54"	22°37'58"	ŠĀ	5P5/E,B	moder	pārejas purva kūdraugsne
3.	Blakenfelde	56°22'50"	23°25'22"	D	7P3E	moder	tipiskais podzols
4.	Tērvete	56°29'09"	23°24'18"	D	10P	moder	tipiskais podzols
5.	Jelgava	56°37'56"	23°36'33"	M Ā	10P	moder	tipiskais podzols
6.	Gārdene	56°39'16"	23°10'31"	L	10P	moder	tipiskais podzols
7.	Grobiņa	56°33'35"	21°09'05"	D	7P3E	moder-mull	tipiskais podzols
8.	Cīrava	56°45'59"	21°17'19"	M	10P	mor 5cm	tipiskais podzols
9.	Piebalgas	56°40'45"	24°25'55"	L	10P	mor moder	tipiskais podzols
10.	Skaistkalne	56°24'09"	24°38'35"	M	10P+E	mor moder	tipiskais podzols
11.	Stelpe	56°31'00"	24°30'12"	M	10P	mor	tipiskais podzols
12.	Valle	56°31'58"	24°48'50"	M	10P	mor	tipiskais podzols
13.	Zalve	56°19'30"	25°14'00"	M	10P	moder	tipiskais podzols
14.	Daudzeva	56°29'25"	25°19'27"	MK	10P/E		kūdras glejaugsne
15.	Teiči	56°32'04"	26°33'01"	M	10P	mor	tipiskais podzols
16.	Viļāni	56°33'25"	26°57'18"	MK	10P	moder	kūdras glejaugsne
17.	Janapole	56°27'00"	27°23'30"	L	10P	mor moder	tipiskais podzols
18.	Kārsava	56°48'45"	27°44'42"	VK	5P5B		augstā purva kūdraugsne
19.	Zilupe	56°25'10"	28°06'00"	L	10P+EB	mor	tipiskais podzols
20.	Šķaune	56°09'25"	27°57'40"	D	10P+E	moder	tipiskais podzols
21.	Ezernieki	56°11'11"	27°40'35"	M	10P	mor moder	tipiskais podzols

22.	Aglona	56°08'40"	27°12'00"	D	10P+E	mor moder	tipiskais podzols
23.	Krāslava	55°52'37"	27°11'30"	M	10P	moder	tipiskais podzols
24.	Daugavpils	55°56'50"	26°36'00"	L	10P/10E	moder	tipiskais podzols
25.	Ilūkste	55°56'04"	26°17'15"	ŠĀ	5P5B	mor	podzolētā glejaugsne
26.	Kjuņči	56°31'16"	26°04'09"	M	10P	moder	tipiskais podzols
27.	Līvāni	56°18'29"	26°11'24"	M	10P	moder	tipiskais podzols
28.	Jersika	56°14'20"	26°12'32"	M	10P	moder	tipiskais podzols
29.	Elkšņi	56°14'41"	25°34'02"	D	10P+B /10E	mull	velēnu podzolaugsne
30.	Jēkabpils	56°28'59"	25°53'32"	M	10P	mor moder	velēnu podzolaugsne
31.	Aiviekste	56°39'18"	25°56'50"	L	10P	moder	tipiskais podzols
32.	Pļaviņas	56°34'27"	25°35'00"	L	10P+E /10E	moder	tipiskais podzols
33.	Jaunjelgava	56°40'40"	24°50'30"	L	10P		tipiskais podzols
34.	Gauja	57°08'29"	24°20'36"	M	10P	moder	tipiskais podzols
35.	Tūja	57°29'12"	24°25'40"	M	10P	moder	tipiskais podzols
36.	Svētciems	57°42'13"	24°27'28"	L	10P/10E	moder	tipiskais podzols
37.	Ainaži	57°49'54"	24°20'48"	M	10P	moder	tipiskais podzols
38.	Staicele	57°50'34"	24°43'20"	ŠĀ	10P		augstā purva trūdainā kūdraugsne
39.	Mazsalaca	57°52'03"	25°00'16"	L	10P+E /10E	moder	tipiskais podzols
40.	Rūjiena	57°48'42"	25°24'29"	M	10P	moder	tipiskais podzols
41.	Daksti	57°45'18"	25°39'10"	L	10P+E /10E	moder(m ull)	tipiskais podzols
42.	Valka	57°47'33"	25°57'52"	L	10P+E /10E	moder	tipiskais podzols
43.	Strenči	57°37'10"	25°45'05"	M	10P	moder	tipiskais podzols
44.	Ulbroka	56°56'54"	24°18'28"	M	10P	moder	tipiskais podzols

45.	Kangari	56°54'40"	24°45'48"	L	5P5E+B /10E	moder	tipiskais podzols
46.	Zaube	56°59'30"	25°18'10"	L	10P+E+ B / 10E	moder	tipiskais podzols
47.	Meņģele	56°46'10"	25°18'35"	SM	10P	moder	tipiski podzolētā glejotā
48.	Madona	56°49'05"	26°07'12"	M	10P+E	moder	tipiskais podzols
49.	Lubāna	56°55'32"	26°46'20"	M	10P	moder	tipiskais podzols
50.	Gaigalava	56°45'10"	27°06'00"	M	10P	moder	tipiskais podzols
51.	Balvi	57°08'14"	27°05'52"	M	10P	mor	tipiskais podzols
52.	Stalbe	57°26'30"	24°55'52"	D	7P3B+E /10E	moder	tipiskais podzols
53.	TEC -2	56°54'51"	24°18'30"	M	10P	moder	tipiskais podzols
54.	Ikšķile	56°51'55"	24°29'05"	M	10P	moder	tipiskais podzols
55.	Ķekava	56°48'26"	24°13'29"	M	10P	moder	tipiskais podzols
56.	Mārupe	56°53'10"	23°56'51"	M	10P	moder	tipiskais podzols
57.	Ložmetējkalns	56°51'50"	23°39'01"	M	10P	moder/ mor	tipiskais podzols
58.	Jaunķemeri	56°58'14"	23°33'04"	M	10P	moder	tipiskais podzols
59.	Beberbeķi	56°57'21"	23°58'10"	M	10P	mor/ moder	tipiskais podzols
60.	Jaunciems	57°03'28"	24°10'31"	M	10P	moder	tipiskais podzols
61.	Vangaži	57°06'21"	24°32'00"	L	10P/10E	moder	tipiskais podzols
62.	Sigulda	57°11'43"	24°51'41"	L	10P+E+ B	moder	tipiskais podzols
63.	Tukums	56°59'29"	23°08'55"	L	10P+E	mor	tipiskais podzols
64.	Kaltene	57°26'56"	22°52'32"	M	10P	mor	tipiskais podzols
65.	Vandzene	57°19'45"	22°53'32"	M	10P	moder	tipiskais podzols
66.	Stende	57°09'05"	22°31'50"	M	10P	moder	tipiskais podzols
67.	Valdemārpils	57°23'50"	22°31'36"	L	10P/10E	moder- mor	tipiskais podzols

68.	Vīdale	57°37'13"	22°32'21"	SM	10P	moder	tipiski podzolētā glejotā
69.	Kolka	57°45'14"	22°34'40"	M	10P/10P	moder- mor	tipiskais podzols
70.	Mazirbe	57°38'40"	22°12'50"	M	10P	moder	tipiskais podzols
71.	Oviši	57°31'25"	21°42'50"	S	10P	moder- mor	tipiskais podzols
72.	Ventspils	57°24'10"	21°40'21"	M		mor	tipiskais podzols
73.	Kuldīga	57°01'11"	22°00'18"	L	10P/E	moder- mor	tipiskais podzols
74.	Alsunga	56°57'04"	21°33'30"	M	10P/Oz	moder- mor	tipiskais podzols
75.	Zlēkas	57°08'04"	21°44'20"	M	10P	moder	tipiskais podzols
76.	Ugāle	57°18'22"	21°58'57"	S	10P	mor	tipiskais podzols
77.	Bebrupe	57°05'48"	22°48'28"	SD	7P3E	moder	tipiski podzolētā glejotā
78.	Amula	56°49'54"	22°30'00"	ŠĀ	5P5E	moder- mull	tipiski podzolētā glejotā
79.	Cēsis	57°19'44"	25°10'06"	L	10P/10E	moder	tipiskais podzols
80.	Taurene	57°10'11"	25°41'45"	L	10P+B /10E	moder	tipiskais podzols
81.	Matīši	57°39'52"	25°04'49"	D	7P+3E /10E	sfagnu kūdra	velēnu podzolaugsn
82.	Valmiera	57°30'05"	25°23'50"	MĀ	10P	moder	tipiski podzolētā glejotā
83.	Smiltene	57°25'05"	25°55'52"	M	10P	moder- mor	tipiskais podzols
84.	Gaujiena	57°29'40"	26°24'10"	M	10P	moder	tipiskais podzols
85.	Ape	57°31'06"	26°45'20"	M	10P	moder- mor	tipiskais podzols
86.	Jaunanna	57°15'58"	27°04'24"	M	10P	moder	tipiskais podzols
87.	Liepna	57°18'21"	27°34'40"	D	7P3E/10 E	moder	tipiskais podzols
88.	Gulbene	57°12'03"	26°39'18"	L	10P/E	moder	tipiskais podzols
89.	Auce	56°25'50"	22°56'39"	ŠK	6P4E/E	zemā purva kūdra	zemā purva trūdainā kūdraugsne

90.	Ezere	56°25'32"	22°25'50"	D	9P1E	moder	tipiskais podzols
91.	Kareļi	56°28'12"	22°18'51"	D	6P4E/E	moder	tipiskais podzols
92.	Grieze	56°25'28"	22°13'58"	D	6P2E2B	moder	tipiskais podzols
93.	Vaiņode	56°23'41"	21°54'40"	D	10P+B/E	mor	velēnu podzolētā glejotā augsne
94.	Bārta	56°19'18"	21°18'50"	M	10P	moder	tipiskais podzols
95.	Rucava	56°11'49"	21°07'47"	M	10P	moder	tipiskais podzols
96.	Bernāti	56°22'48"	20°58'38"	M	10P	moder	tipiskais podzols
97.	Kalvene	56°37'09"	21°42'52"	D	5P B E	moder	tipiskais podzols
98.	Skrunda	56°38'18"	22°00'20"	M	10P	moder	tipiskais podzols
99.	Renda	57°05'08"	22°16'20"	L	10P/E	moder	tipiskais podzols
100.	Brocēni	56°39'42"	22°37'42"	SM	10P+E	moder	tipiski podzolētā glejotā augsne
101.	Amata	57°13'20"	25°13'05"	M	10P	moder	tipiskais podzols

Piezīme: meža tips; S – sils, M – mētrājs, L – lāns, D – damaksnis, SM – slapjais mētrājs, MĀ – mētru ārenis, ŠĀ – šaurlapu ārenis, SD – slapjais damaksnis, MK – mētru kūdrenis, ŠK- šaurlapu kūdrenis