

---

---

## Minerālvielu aprīte bērzu jaunaudzēs dažādos augšanas apstākļos un to ietekme uz audžu vitalitāti

Mudrīte Daugaviete <sup>1\*</sup>, Ausma Korica <sup>1</sup>, Ingars Siliņš <sup>1</sup>, Andis Bārdulis <sup>1</sup>,  
Arta Bārdule <sup>1</sup>, Uldis Daugavietis <sup>1</sup>, Kaspars Spalvis <sup>1</sup>

Daugaviete, M., Korica, A., Siliņš, I., Bārdulis, A., Bārdule, A., Daugavietis, U., Spalvis, K. (2013). Minerālvielu aprīte bērzu jaunaudzēs dažādos augšanas apstākļos un to ietekme uz audžu vitalitāti. *Mežzinātne* 27(60): 17-35.

**Kopsavilkums.** Rakstā apkopoti pētījumi par minerālvielu aprīti bērzu jaunaudzēs dažādos meža augšanas apstākļos: gāršā – aluviālā (Alv) smilšmāla augsnē, damaksnī – velēnu karbonātu (VKt) smagā māla augsnē, vēri – velēnu pozdolētā (VPv) smilšmāla augsnē, kā arī silā un lānā – tipiskā podzola (POt) smilts augsnē.

Minerālvielu aprītes skaidrošanai veikta bērzu virszemes (stumbrs ar mizu, zaru koksne ar mizu, lapas) un apakšzemes (celms, saknes) biomasas apjoma un minerālvielu satura noteikšana virszemes un sakņu biomasā, un augsnes slānī 0-40 cm dziļumā, kā arī audžu vitalitātes izziņāšana.

Bērzu jaunaudzēs bagātās ALv, VKt un PVv augsnēs lielākā biomasa konstatēta stumbra koksnei – vidēji 51,8-59,5 %, zaru koksnei attiecīgi 9,8-12,4 %, lapām 5,7-6,8 %, celmam un saknēm (sakņu biomasa) – 25-30 % no kopējās koka biomasas. Nabadzīgos augšanas apstākļos POt augsnēs bērzu stumbra un zaru biomasa aizņem 32,3-41,8 %, zari – 18,2-24,2 %, lapas – 13,2-16,1 % un sakņu biomasa – 26,8-27,4 % no kopējās koka biomasas.

Bērzu jaunaudžu augšanas gaita cieši korelē ar augu attīstību noteicošo minerālvielu (fosfors, slāpekļs, kālijs, kalcijs, magnijs) saturu augsnē: nabadzīgās, tipiskā podzola augsnēs, minerālvielas aizņem ne vairāk kā 20-48 % no minerālvielu apjoma ALv, VKt un PVv augsnēs.

Bērzu audzēs auglīgās augsnēs (ALv, VKt un PVv) minerālvielu iznese ir liela: slāpekļa (N) 11,1-27,9 %, fosfora (P) 2,1-2,7 %, kālija (K) 1,1-4,1 %, kalcijs (Ca) 11,6 % un magnijs (Mg) 0,8-7,7 % no augsnes minerālvielu krājumiem. Bērzu audzēs nabadzīgākās augsnēs (POt1 un POt2) minerālvielu iznese no augsnes ir neliela: N 1,0-1,5 %, P 0,1-0,4 %, K 0,2-0,6 %, Ca 0,1-0,9 %, Mg 0,1-0,8 % no augsnes minerālvielu krājumiem.

Kaitēkļu bojājumu analīze bērzu jaunaudzēs dažādās augsnēs apstiprina izvirzīto hipotēzi, ka bojājumu apjomu nosaka bērzu vitalitāte, kas samērojama ar audzes bonitāti, kura raksturo augšanas vietas kvalitāti.

**Nozīmīgākie vārdi:** *Betula pendula* Roth, aluviāla augsne, velēnu karbonātu augsne, velēnu pozdolēta augsne, tipisks podzols, biomasa.

---

<sup>1</sup> LVMI Silava, Rīgas iela 111, Salaspils, LV-2169, Latvija; \*e-pasts: mudrite.daugaviete@silava.lv

•••

Daugaviete, M. <sup>2\*</sup>, Korica, A. <sup>2</sup>, Siliņš, I. <sup>2</sup>, Bārdulis, A. <sup>2</sup>, Bādule, A. <sup>2</sup>, Daugavietis, U. <sup>2</sup>, Spalvis, K. <sup>2</sup> **Mineral nutrient turnover in young stands of birch in different forest growing condition and soil types.**

**Abstract.** Research data are summarized to understand mineral nutrient turnover in young stands of birch in different forest growing condition and soil types: Gr *Aegopodia*/alluvial sod-gley soil (ALv); Dm *Hylocomiosa*/typical sod-calcareous on heavy clay (VKt); Vr *Oxalidos*/sod-podzolic soil (PVv); Sl *Cladinoso-callunosa* and Ln *Myrtillosa*/typical podzolic sandy soil (POt).

Mineral substance turnover is determined by estimating the tree above- (stemwood, branchwood, foliage) and below-ground (stumps and roots) biomass volume, the mineral substance content in 0-40 cm deep layer of soil, and evaluating stand vitality.

In young stands of birch in fertile soils (ALv, VKt and PVv) the biomass components are distributed as follows: stemwood 51.8-59.5%; branches 9.8-12.4%; foliage 5.7-6.8%; stump wood and roots 25-30%. In lean soils (POt) the same indices are 32.3-41.8%, 18.2-24.2%, 13.2-16.1% and 26.8-27.4%, respectively.

The stand performance closely correlates with the basic nutrient (P, N, K, C, Mg) availability in forest soils. In lean typical podzol soils the content of mineral nutrients is no higher than 20-48% of that in more fertile soils (ALv, VKt and PVv).

In young stands of birch the uptake of mineral nutrients from 0-20 cm layer of soil for developing the above-ground biomass makes a fairly small proportion of the total: up to 4.8-6.2% for P; 4.9-12.2% for N; 1.1-4.1% for K; 11.6% for Ca; 0.8-7.7% for Mg; in leaner soils the same indices are P 0.1-0.4%, N 1-1.5%, K 0.2-0.6%, Ca 0,1-0.9%, Mg 0.1-0.8%, respectively.

The analyses of pest damages in young stands of birch confirm a hypothesis that the degree of pest damage depends on stand vitality, which is described by the site index for the respective site.

**Key words:** *Betula pendula* Roth, alluvial soils, clay calcareous soils, sod-podzolic soils, typical podzol, biomass.

•••

Даугавиете, М. <sup>3\*</sup>, Корица, А. <sup>3</sup>, Силиньш, И. <sup>3</sup>, Бардулис, А. <sup>2</sup>, Бардуле, А. <sup>2</sup>, Даугавиетис, У. <sup>3</sup>, Спалвис, К. <sup>3</sup> **Оборот минеральных веществ в берёзовых молодняках в различных лесорастительных условиях.**

**Резюме.** В статье обобщены результаты исследований оборота питательных веществ в берёзовых молодняках в различных лесорастительных условиях: на

---

<sup>2</sup> Latvian State Forest Research Institute "Silava", 111 Riga str., Salaspils, LV-2169, Latvia,

\*e-mail: mudrite.daugaviete@silava.lv

<sup>3</sup> ЛГИЛ «Силава», ул. Ригас 111, Саласпилс, LV-2169, Латвия;

\*эл. почта: mudrite.daugaviete@silava.lv

аллювиальных, дерново-подзолистых, дерново-карбонатных и типичных подзолистых почвах.

На пробных площадях определена биомасса древесины и коры ствола и ветвей, биомасса листьев, пней и корней, изучено содержание минеральных веществ в указанных компонентах биомассы, а также в почве на глубине 0-54 см, оценена жизненность деревьев.

В берёзовых молодняках на плодородных почвах соотношение компонентов биомассы следующее: древесины ствола и коры 51,8-59,5 %, ветвей 9,8-12,4 %, листьев 5,7-6,8 %, пней и корней 25-30 % от биомассы дерева.

На бедных почвах биомасса ствола и коры составляет 32,3-41,8 %, ветвей 18,2-24,2 %, листьев 13,2-16,1 %, пней и корней 26,8-27,4 %.

Ход роста молодняков берёзы тесно коррелирует с содержанием основных питательных веществ в почве (P, N, K, Ca, Mg).

В бедных подзолистых почвах содержание питательных веществ составляет 20-48 % от их содержания в плодородных почвах (ALV, Vkt, PVV).

В берёзовых молоднях, возраст 10-15 лет, от почвы в подземную биомассу дерева переносятся и накапливается небольшая часть питательных веществ, содержащихся в слое почвы на глубине 0-20 см.

В богатых почвах выносятся до 4,8-6,2 % P, 4,9-12,2 % N, 1,1-4,1 % K, 11,6 % Ca, 0,8-7,7 % Mg. В бедных почвах соответственно – до 0,1-0,4 % P, 1-1,5 % N, 0,2-0,6 % K, 0,1-0,9 % Ca, 0,1-0,8 % Mg.

Анализ повреждений, нанесенных лесными вредителями, подтвердил гипотез, что насаждения берёзы, произрастающие на богатых почвах, от насекомых страдает меньше чем насаждения на бедных почвах.

**Ключевые слова:** *Betula pendula* Roth, аллювиальные почвы, дерново-карбонатные почвы, дерново-подзолистые почвы, подзолистые почвы, биомасса.

### Ievads

Latvijā āra bērza (*Betula pendula* Roth) platības arvien palielinās, un šobrīd tas aizņem 883,6 tūkst. ha jeb 27,95 % no visas meža platības. Šo audžu krāja ir 153 milj. m<sup>3</sup> jeb 24,3 % no visas mežu kopkrājas (*Forestry-key indicators*, 2010). Tas nozīmē, ka bērzu audzes ievērojami ietekmē visu Latvijas meža ekosistēmu, tāpēc svarīgi ir izpētīt šo audžu barošanās režīmu un minerālvielu apriti, kas būtiski var ietekmēt meža biocenozes ilgtspējību.

Plašus pētījumus par meža ekosistēmās uzkrāto organiku un minerālvielu apriti veicis angļu zinātnieks J. D. Ovingtons (Ovington, 1965). Viņa galvenā atziņa – mežaudzes ir visproduktīvākā ekosistēma pasaulē, kas jau funkcionē mūsdienu režīmā, ražojot stumbru produkciju (ekonomiskais aspekts) un visa veida organiku (bioloģiskais aspekts). J. D. Ovingtons atzīmē, ka meža ekosistēma būtībā ir pašregulējoša, jo ražīgās mežaudzēs notiek intensīva organikas atjaunošanās, kā piemēru minot produktīvu dižskābaržu

audzi Jaunzēlandē, kur ikgadējais kālija, kalcija, mangāna, fosfora un slāpekļa patēriņš sasniedz attiecīgi 34, 84, 12, 3 un 40 kg ha<sup>-1</sup>, bet šo vielu saturs nobirās un atliekās gada laikā šajā pašā audzē sasniedz, attiecīgi 30, 74, 2, 6 un 37 kg ha<sup>-1</sup> (Ovington, 1965).

No pētījumiem izriet, ka pašreiz galvenā problēma ir izzināt stabilu, ražīgu mežaudžu produktivitātes īstos iemeslus: augsnes auglību, minerālvielu apriti, hidroloģisko režīmu, ģenētiku, klimatisko apstākļu izmaiņas u.c. (Marchner *et al.*, 1996; Karlsson *et al.*, 1997; Valkonen and Valsta, 2001; Brandtberg *et al.*, 2004; Saramaki and Hytonen, 2004; Rasmussen *et al.*, 2006; Uri *et al.*, 2007; Walle *et al.*, 2007; Nabuurs *et al.*, 2006; Kund *et al.*, 2010; Rosenvald *et al.*, 2011).

Krievu zinātnieki ir izstrādājuši modeli SOMM augsnes organikas mineralizācijas, humizācijas un slāpekļa aprites modelēšanai meža ekosistēmās (Chertov and Komarov, 1997). Tas ļauj modelēt minerālvielu apriti saistībā ar slāpekļa daudzumu meža nobirās, gaisa temperatūru un nokrišņu daudzumu, sākot no tundras līdz pat tropiskajiem lietus mežiem.

Lai izzinātu minerālvielu aprites gaitu meža ekosistēmās, zinātnieki pievērsušies priedei (*Pinus sylvestris* L.), parastajai eglei (*Picea abies* (L.) Karst.) un āra bērnam (*Betula pendula* Roth) Eiropas boreālo mežu zonā, izstrādājot viena koka modeli EFIMOD (*single plant ecosystem*), un COST projekta FP0804 – *Forest Management Decision Support Systems* (FORSYS) ietvaros veicot tā pilnveidošanu (Chertov *et al.*, 2001; Chertov *et al.*, 2002).

Modelis EFIMOD simulē katra koka

bioloģisko ciklu, aprēķinot kopējo saražoto biomasu, tas ir, lapas, saknes un nobiras ([http://www.efi.fi/projects/dynamic\\_modelling\\_in\\_boreal\\_ecosystems/objective.html](http://www.efi.fi/projects/dynamic_modelling_in_boreal_ecosystems/objective.html)).

Jāatzīmē, ka šie modeļi prasa korekcijas, jo pašreiz augu augšanu un attīstību ievērojami ietekmē ogļskābās gāzes daudzuma palielināšanās atmosfērā, kas izsauc globālo sasilšanu un ievērojami ietekmē augu barošanās režīmu, tādējādi izsaucot minerālvielu nepietiekamību vai atsevišķos gadījumos, sakarā ar gaisa piesārņojuma palielināšanos, atsevišķu minerālelementu pārbagātību, un tiklīdz kāds no šiem komponentiem nav līdzsvarā, tas iespaido visas sistēmas saskaņotu darbību (Walle *et al.*, 2007; Nabuurs *et al.*, 2009; Uri *et al.*, 2007; Varik *et al.*, 2013).

Dažādās Eiropas valstīs, kā arī Latvijā, bērzu attīstību būtiski traucē ne tikai augšanai nepiemērotas augsnes, bet arī atsevišķu kukaiņu–kaitēkļu ietekme (Ильинский & Тропин, 1965; Allard *et al.*, 2003; Rupais, 1999). Nozīmīgi bērzu kaitēkļi ir kukaiņi, kas pamatā barojas ar bērzu lapām, jo tie būtiski reducē kokam pieejamos ūdens resursus, samazina fotosintēzi, kā rezultātā ievērojami palēlinās koku augšana (Rupais, 1999). Pārsvārā ar lapām barojas primārie kaitēkļi, kuri samazina koku rezistenci (Dwyer *et al.*, 2004). Novājinātie koki izmanto ķīmiskos aģentus, kas izdalās gaisā un kalpo kā „brīdinājuma signāls” neskartajiem kokiem – aizsargvielu (tannīnu) pastiprinātai izstrādei (Cory and Hooyer, 2006). Sekundārie kaitēkļi (bieži *Scolytidae* dzimtas), vadoties pēc šo vielu koncentrācijas, atrod novājinātos kokus un uzsāk barošanos ar to zariem,

stumbriem, saknēm un mizu, savairojas un nereti izraisa koku bojāeju (Kurkela *et al.*, 2005; Lynn, 2009). Noskaidrots, ka koku lapu kopējam bojājumu apjomam, sasniedzot 55 % robežu un tai palielinoties, būtiski paaugstinās sekundāro kaitēkļu savairošanās risks (Singh and Satyanarayana, 2009).

Latvijā līdz šim nav daudz pētījumu par minerālvielu apriti bērzu mežaudzēs (Kāposts un Sacenieks, 1973; Daugaviete un Krūmiņa, 2001; Atskaite. LVMI Silava, 2005). No 2009. līdz 2012. gadam LVMI Silava īstenoja LZA finansētu projektu par minerālvielu apriti bērzu audzēs (Daugaviete *et al.*, 2008), bet no 2012. līdz 2013. gadam pētījums turpināts ERAF projekta „Bērza koksnes plantāciju ierīkošanas un apsaimniekošanas tehnoloģiju izstrāde” (Nr. 2010/0319/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/

VIAA/136) ietvaros.

**Pētījuma mērķis:** izpētīt bērzu jaunaudžu vitalitāti un atsevišķu minerālvielu sadalījumu virszemes un sakņu biomasas frakcijā saistībā ar minerālvielu saturu augsnē.

### Materiāls un metodika

2012. un 2013. gada veģetācijas periodā veikti minerālo barības vielu aprites pētījumi 5 bērzu audzēs dažādos valsts reģionos – gan bagātās lauksaimniecības augsnēs, gan nabadzīgās smilts augsnēs: velēnu podzolēta smilšmāla augsne, velēnu karbonātu smaga māla augsne, aluviāla smilšmāla augsne, kā arī tipiskā podzola smilts augsne.

Bērzu audžu raksturojums dots 1. tabulā.

1. tabula / Table 1

Pētījuma objektu raksturojums  
*Characteristic of experimental plots*

Objekta novietojums <i>Site location</i>	Augsnes tips <i>Soil type</i>	Meža tips* <i>Forest type</i>	Bonitāte <i>Site index</i>	Audzės vecums, gadi <i>Stand age, yr</i>	Vid. $D_{1,3}$ , cm <i>Average DBH<sub>1,3}</sub>, cm</i>	Vid. augstums, m <i>Average tree height, m</i>	Audzės izcelsme <i>Stand origin</i>
Iecavas novads	Alv	<i>Aegopodiosa</i>	Ib	15	10,3	12,5	ALZ
Kandavas novads	PVv	<i>Oxalidosa</i>	I	10	8,6	7,4	ALZ
Tukuma novads	VKt	<i>Hylocomiosa</i>	II	15	9,0	10,0	ALZ
Ādažu novads	POt <sub>1</sub>	<i>Cladinosocallunosa</i>	III	9	1,2	2,5	DAM
Salaspils novads	POt <sub>2</sub>	<i>Myrtillosa</i>	III	10	2,5	3,9	DAM

\* Zālītis un Jansons, 2013;

ALv – mālsmilts / *sandy loam*;

PVv – smilšmāls / *loamy sand*;

VKt – smags māls / *heavy clay*;

POt – smilts / *sand*;

ALZ – apmežota lauksaimniecības zeme / *afforested agricultural land*;

DAM – dabiski atjaunojusies mežaudze / *natural regeneration of forest land*.

Koku virszemes biomasas skaidrošanai katrā objektā ierīkoti 4 apļveida parauglaukumi ( $500\text{ m}^2$ ), kuros veikti šādi mērījumi: koku augstums noteikts, izmantojot mērlatu: precizitāte līdz  $\pm 0,02\text{ m}$ , kā arī mērinstrumentu Vertex III, precizitāte  $\pm 0,10\text{ m}$ ; koku caurmērs  $1,3\text{ m}$  augstumā ( $D_{1,3}$ ) noteikts ar dastmēru (*Mantax Precision*), precizitāte  $\pm 0,01\text{ cm}$ .

Virszemes biomasas sastāvdaļu (lapas, koksne ar mizu un zaru koksne ar mizu) paraugi ņemti katrā parauglaukumā no 5-iem izvēlētiem paraugkokiem, ievērojot to dimensiju atbilstību vidējā koka caurmēram  $\pm 0,5\text{ cm}$ .

Sakņu masa noteikta, atrokot 2-3 paraugkokus katrā objektā, un attiecīgi nosverot celma un sakņu frakcijas. Absolūti sausas masas noteikšanai ņemti bērza biomasas frakciju (lapu, koksnes ar mizu, zaru koksnes

ar mizu, celma un sakņu) paraugi, žāvēti  $105^\circ\text{C}$  temperatūrā līdz nemainīgai masai un nosvērti ar precizitāti  $\pm 0,02\text{ g}$ .

Augsnes paraugi ņemti koku sakņu izplatības zonā 0-40 cm (0-10; 10-20; 20-30 un 30-40 cm) dziļumā 5 atkārtojumos katrā parauglaukumā, un veidots 1 vidējais paraugs katrā augsnes slānī (Kārklīņš, 2008). Augsnes analīzes (2. tabula) un bērza atsevišķu daļu biomasas ķīmiskās analīzes (3. tabula) veiktas Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra laboratorijā, atbilstoši LVS ISO standartiem.

Katrā parauglaukumā aprēķināta koksnes krāja (Liepa, 1996), vidējā koka tilpums, katras koka frakcijas biomasas: stumbra koksnei ar mizu, zaru koksnei ar mizu, lapām, saknēm, un aprēķināta svaigi cirsta un absolūti sausa biomasas.

2. tabula / Table 2

Minerālo barības vielu saturs dažādos augsnes tipos  
Content of nutrients in different soil types

Minerālās barības vielas Nutrients	Augsnes tips Soil type				
	Alv	PVv	VKt	POt <sub>1</sub>	POt <sub>2</sub>
Organiskā viela sausnā, % Organic matter in the dry material, %	2,5 $\pm$ 0,14	2,09 $\pm$ 0,11	4,01 $\pm$ 0,22	1,98 $\pm$ 0,11	1,97 $\pm$ 0,11
Kopējais slāpeklis, g kg <sup>-1</sup> Total nitrogen, g kg <sup>-1</sup>	1,5 $\pm$ 0,1	1,4 $\pm$ 0,1	2,0 $\pm$ 0,2	0,8 $\pm$ 0,1	1,3 $\pm$ 0,1
Fosfors, g kg <sup>-1</sup> Phosphorous, g kg <sup>-1</sup>	1,13 $\pm$ 0,15	0,77 $\pm$ 0,10	0,88 $\pm$ 0,11	0,77 $\pm$ 0,10	0,544 $\pm$ 0,07
Kālijs, mg kg <sup>-1</sup> Potassium, mg kg <sup>-1</sup>	1270 $\pm$ 270	1180 $\pm$ 250	3800 $\pm$ 800	510 $\pm$ 110	530 $\pm$ 110
Kalcijs, mg kg <sup>-1</sup> Calcium, mg kg <sup>-1</sup>	2550 $\pm$ 130	1120 $\pm$ 60	1790 $\pm$ 90	740 $\pm$ 40	1020 $\pm$ 50
Magnijs, mg kg <sup>-1</sup> Magnesium, mg kg <sup>-1</sup>	740 $\pm$ 40	1230 $\pm$ 60	4840 $\pm$ 240	276 $\pm$ 14	660 $\pm$ 30
pH(KCl)	5,20 $\pm$ 0,10	5,50 $\pm$ 0,10	5,50 $\pm$ 0,10	4,10 $\pm$ 0,10	4,50 $\pm$ 0,10

3. tabula / Table 3

Minerālvielu saturs bērza biomasas dažādās frakcijās un dažādos augsnes tipos  
 Content of nutrients in different biomass fractions depending on soil type

Augsnes tips Soil type	Minerālvielas Nutrients	Minerālvielu saturs Content of nutrients		
		Lapas Leaves	Koksne ar mizu Wood with bark	Saknes Roots
ALv	Kopējais slāpeklis / total nitrogen, g kg <sup>-1</sup>	31,4	5,9	1,3
	Kopējais fosfors / total phosphorous, %	0,744	0,08	0,124
	Kālijs / potassium, %	0,299	0,061	0,150
	Kalcijs / calcium, %	0,660	0,488	0,688
	Magnijs / magnesium, %	0,399	0,088	0,083
PVv	Kopējais slāpeklis / total nitrogen, g kg <sup>-1</sup>	28,6	5,4	1,1
	Kopējais fosfors / total phosphorous, %	0,60	0,28	0,03
	Kālijs / potassium, %	0,32	0,17	0,07
	Kalcijs / calcium, %	0,40	0,83	0,47
	Magnijs / magnesium, %	0,24	0,13	0,088
VKt	Kopējais slāpeklis / total nitrogen, g kg <sup>-1</sup>	35,2	6,1	1,8
	Kopējais fosfors / total phosphorous, %	0,405	0,066	0,243
	Kālijs / potassium, %	0,375	0,337	0,211
	Kalcijs / calcium, %	0,743	0,672	0,567
	Magnijs / magnesium, %	0,450	0,074	0,141
POt <sub>1</sub>	Kopējais slāpeklis / total nitrogen, g kg <sup>-1</sup>	24,8	4,6	0,75
	Kopējais fosfors / total phosphorous, %	0,41	0,194	0,106
	Kālijs / potassium, %	0,173	0,151	0,107
	Kalcijs / calcium, %	0,290	0,116	0,049
	Magnijs / magnesium, %	0,303	0,039	0,031
POt <sub>2</sub>	Kopējais slāpeklis / total nitrogen, g kg <sup>-1</sup>	25,3	5,2	1,0
	Kopējais fosfors / total phosphorous, %	0,499	0,061	0,104
	Kālijs / potassium, %	0,271	0,053	0,107
	Kalcijs / calcium, %	0,541	0,277	0,238
	Magnijs / magnesium, %	0,027	0,011	0,006

\* ALv – mālsmilts / sandy loam;  
 PVv – smilšmāls / loamy sand;  
 VKt – smags māls / heavy clay;  
 POt – smilts / sand.

Izmantojot mērījumu datus, katrā parauglaukumā aprēķināti šādi rādītāji:

$$N = N_p \cdot 20, \text{ kur} \quad (1)$$

$N$  – koku skaits  $\text{ha}^{-1}$ ,

$N_p$  – koku skaits parauglaukumā ar platību  $500 \text{ m}^2$ .

Audzēs vidējais caurmērs (bērzu jaunaudzēs, kuru vidējais augstums pārsniedz 9 m) aprēķināts pēc koku taksācijas rādītājiem, kā vidējais svērtais no caurmēra pakāpju šķērslaukumiem:

$$g_v = \frac{\sum g_j}{N}, \text{ kur} \quad (2)$$

$g_v$  – audzēs vidējā koka šķērslaukums,  $\text{m}^2$ ,

$g_j$  – koka šķērslaukums,  $\text{m}^2$ ;

$$d_v = \sqrt{\frac{4 \cdot g_v}{\pi}}, \text{ kur} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$d_v$  – audzēs vidējā koka caurmērs, cm.

$$\text{Audzēs šķērslaukums } G = g_v \cdot N, \text{ kur} \quad (4)$$

$G$  – audzēs šķērslaukums,  $\text{m}^2$ .

Audzēs krāja aprēķināta pēc I. Liepas (Liepa, 1996) formulas:

$$V = \psi \cdot L^\alpha \cdot D^{\beta L \gamma} + \varphi, \text{ kur} \quad (5)$$

$V$  – koka stumbra tilpums ar mizu,  $\text{m}^3$ ,

$L$  – stumbra garums, m,

$D$  – stumbra caurmērs ar mizu, cm,

$\psi, \alpha, \beta, \varphi$  – empīriski noteiktie koeficienti (4. tabula).

Bērzu jaunaudzēm, kuru vidējais augstums ir  $\leq 9 \text{ m}$ , izmantota I. Liepas formula:

$$M = k \cdot G \cdot (h + 4), \text{ kur}$$

$M$  – koku sugas krāja,  $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ;

$k$  – no koku sugas atkarīgs koeficients (bērziem – 0,38);

$G$  – audzēs šķērslaukums,  $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ;

$H$  – audzēs vidējais augstums, m.

Bērzu audžu vitalitātes pētījumiem katrā parauglaukumā veikts entomofaunas ietekmes novērtējums.

No 2012. gada 10. līdz 15. septembrim ievāktas 100 bērzu lapas no koku zariem (viena lapa no koka) četrās dažādās audzēs ar atšķirīgiem augšanas apstākļiem. Apsektās vietas: Tukums, Vāne (VKt, damaksnis), parauglaukums Garkalnē, Ādažu pagastā (POt<sub>1</sub>, lāns), parauglaukums Iecavā, Skujenes pagastā (ALv, gārša), z/s „Straumes”, Kandavas novadā (PVv, vēris). Papildus noteikts attālums starp 100 koku stumbriem. Materiāla ievākšanas vieta katrā parauglaukumā izvēlēta nejauši un vidēji aizņēma 1/50 no parauglaukuma kopējās teritorijas.

Ievāktās lapas izplākšņotas un žāvētas vidēji 2-3 dienas. Vēlāk, izmantojot caurspīdīgu milimetrpapīru, izmērīts lapu garums, noteikts proporcionālais (izteikts procentos) kukaiņu radīto bojājumu segums (pa veidiem – alojumi, pangas, izgrauzumi, skeletējumi, sūktie) un citi nezināma rakstura lapu bojājumi.

Datu matemātiskā apstrāde veikta, izmantojot praksē plaši pielietoto datorprogrammu *Microsoft Excel* un

4. tabula / Table 4

Koka stumbra tilpuma aprēķināšanas formulas empīrisku koeficientu vērtības

*Values of empirical ratios for the calculation of tree stem volume*

Sugas latīniskais nosaukums	$\psi$	$\alpha$	$\beta$	$\varphi$
<i>Betula pendula</i> Roth	$0,9090 \cdot 10^{-4}$	0,71677	0,16692	1,75701



datorprogrammu statistiskajai analīzei *SPSS for Windows*.

### Rezultāti un diskusija

Pētījuma dati liecina, ka minerālvielu saturs augsnē ievērojami ietekmē bērza augšanas gaitu (1. un 2. tabula). Viena vecuma (10-gadīgas audzes) bērzu jaunaudzēs Kandavas un Salaspils novadā augsnes minerālvielu satura ziņā ievērojami atšķiras, ko uzrāda arī koku vidējās dimensijas (1. un 2. tabula). Daļēji atšķirības varētu skaidrot ar dažādu mežaudzes veidošanās un attīstības gaitu, jo vienā gadījumā audze ir stādīta, bet otrā – dabiski atjaunojusies. Tomēr, salīdzinot minerālvielu saturu līdzīgās audzēs, šīs atšķirības nav būtiskas (Karlsson *et al.*, 1997). Arī vienāda vecuma (15-gadīgas) bērzu jaunaudzēs Iecavas un Tukuma novadā augsnes uzrāda dažādu minerālvielu saturu (2. tabula), kā rezultātā atšķirīgi ir arī vidējie audzes parametri (1. tabula). Līdzīga situācija ar minerālvielu saturu, saistībā ar koku  $D_{1,3}$  un augstumu, ir arī pārējos objektos. Visnepiemērotākie apstākļi bērza augšanai ir tipiskā podzolaugsnē uz smilts pamatmateriāla, jo 9 un 10 gadu vecumā bērzu vidējais augstums sasniedz tikai 2,5-3,9 m un vidējais caurmērs 1,3 m augstumā – attiecīgi 1,2 cm un 2,5 cm (1. tabula).

Arī vidējā koku biomasas barības vielām nabadzīgās augsnēs ir ievērojami mazāka nekā auglīgās augsnēs (3. tabula). Pētījuma dati rāda, ka bērzu jaunaudzēs tām atbilstošās mālsmilts, smilšmāla un māla augsnēs lielākā biomasas frakcija ir stumbram, attiecīgi 51,8-59,5 %, zariem 9,8-12,4 %, sakņu biomasai 25-30 % un lapām 5,7-6,8 % no kopējās koka absolūti sausās biomasas.

Nabadzīgos augšanas apstākļos (POt) smilts augsnēs bērza stumbra biomasas vidēji ir 32,3-41,8 %, sakņu biomasas 26,8-27,4 %, zaru 18,2-24,2 % un lapu 13,2-16,1 % no visas koka biomasas (5. tabula). Tas uzskatāmi rāda, ka bērzi nabadzīgos augšanas apstākļos vairāk enerģijas patērē sakņu masas un lapu virsmas platības veidošanai, tādējādi nodrošinot koku ar barības vielām. Zinātniskajā literatūrā norādīts, ka bērza vainaga lielumu, un līdz ar to arī lapu virsmas platību, nosaka audzes biezība, jo biežākās audzēs vainaga lielums un lapu virsmas platība ir mazāka (Uri *et al.*, 2007).

Pētījuma rezultāti liecina, ka bērzs, kā koku suga, jutīgi reaģē uz minerālo barības vielu daudzumu augsnē, un tā produktivitāti tieši nosaka augsnes auglības rādītāji. Mūsu pētījumu dati atbilst ārzemju pētnieku datiem (Malkonen, 1977; Niemisto, 1991; Karlsson *et al.*, 1997; Johansson, 1999; Valkonen and Valsta, 2001; Johansson, 2007; Hytonen and Aro, 2012; Varik *et al.*, 2013).

Bērza lapu mitruma saturs ir augsts, pavasarī tas sasniedz pat 72 %, bet vēlāk, vasaras mēnešos, pazeminās un vidēji ir 62 % no sausnas (Rippi *et al.*, 2002). Pētījuma ietvaros noteiktais bērza lapu mitruma saturs svārstījās no 59,2-64,1 %. Svaigi cirstas bērza koksnes mitrums svārstījās no 45,2-48,3 % no absolūti sausas masas (SM); aprēķinots izmantots vidējais lielums – 47 % no SM.

Pētījuma dati rāda, ka 1 ha virszemes biomasas bērzu stādījumos ir 70-75 % no visas platības koku SM biomasas, bet dabiski atjaunojušās jaunaudzēs – attiecīgi 73-74 % (5. tabula).

Pētījuma ietvaros veikts minerālvielu pietiekamības novērtējums bērzu

Absolūti sausa bērza virszemes un sakņu biomasa  
Above-ground and root biomass of absolutely dry birch wood

Biomasa frakcija <i>Biomass fraction</i>	Augsnes tips <i>Soil type</i>				
	Alv	PVv	VKt	POt <sub>1</sub>	POt <sub>2</sub>
Stumbra koksne ar mizu, t ha <sup>-1</sup> <i>Stamwood with bark, t ha<sup>-1</sup></i>	83,8	10,6	48,2	1,0	3,5
Zari, t ha <sup>-1</sup> <i>Branches, t ha<sup>-1</sup></i>	13,7	2,5	8,4	0,7	1,5
Lapas, t ha <sup>-1</sup> <i>Leaves, t ha<sup>-1</sup></i>	8,0	1,2	5,6	0,5	1,1
Kopā virszemes biomasa, t ha <sup>-1</sup> <i>Total above-ground biomass, t ha<sup>-1</sup></i>	105,5	14,3	62,2	2,2	6,1
Sakņu biomasa, t ha <sup>-1</sup> <i>Root biomass, t ha<sup>-1</sup></i>	35,3	6,14	21,1	0,8	2,2
Kopējā koka biomasa, t ha <sup>-1</sup> <i>Total tree biomass, t ha<sup>-1</sup></i>	140,8	20,44	83,3	3,0	8,3

\* ALv – mālsmilts / *sandy loam*;

PVv – smilšmāls / *loamy sand*;

VKt – smags māls / *heavy clay*;

POt – smilts / *sand*.

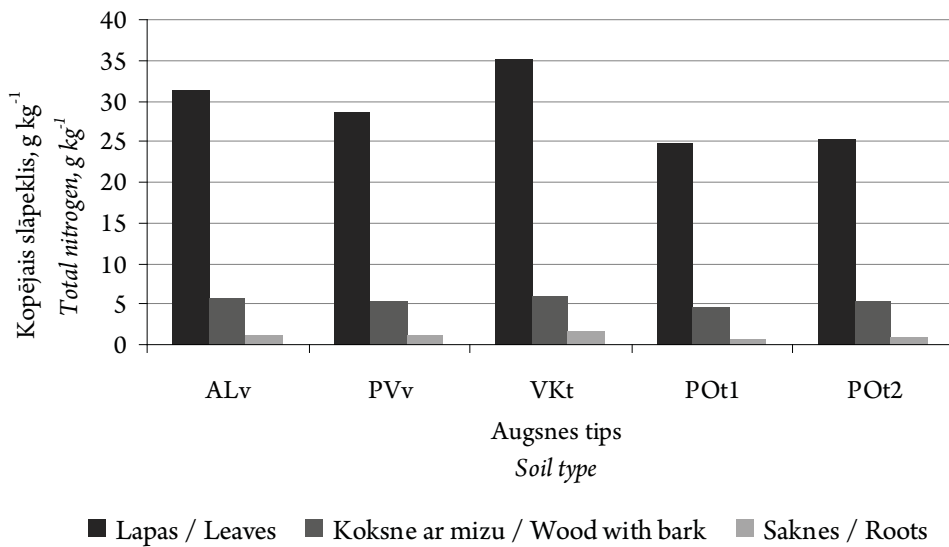
jaunaudzēs dažādās augsnēs. Kā viena no svarīgākām barības vielām augiem ir slāpeklis – aminoskābju un līdz ar to arī olbaltumvielu sastāvdaļa. Kā zināms, 16-18 % no olbaltumvielu masas veido slāpeklis (Rinķis un Ramane, 1989). Pētījuma ietvaros konstatēts, ka dažādos augsnes tipos (ALv, PVv un VKt) slāpeklis ir 1,44 un 2,0 g kg<sup>-1</sup>. Tas uzskatāms par labu rādītāju, kas nodrošina izcilu bērza augšanas gaitu. Ievērojami mazāks slāpekļa saturs konstatēts podzolētās smilts augsnēs POt<sub>1</sub> un POt<sub>2</sub>, attiecīgi 0,8-1,3 g kg<sup>-1</sup>, kas ievērojami samazina bērza augšanu un attīstību (2. tabula, 1. attēls).

Ne mazāk svarīgs mikroelements augu augšanas gaitas nodrošināšanā ir fosfors, kam būtiska loma daudzos auga attīstības procesos, galvenokārt olbaltumvielu sintēzē,

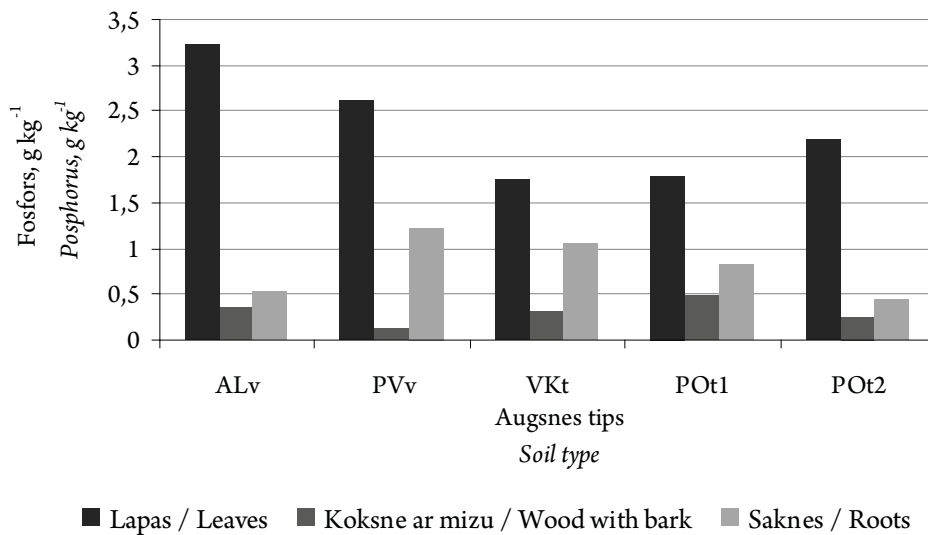
vielu un enerģijas apmaiņā, fotosintēzē un augu elpošanas norisē.

Pētījumā iegūtie dati rāda, ka fosfora saturs augsnē korelē ar fosfora saturu lapās, izņemot bērzu audzi lāna meža tipā (tam nepieciešami papildus pētījumi). Fosfora satura atšķirības bērza biomasas sastāvdaļās saistībā ar augsnes tipu ir parādītas 2. attēlā.

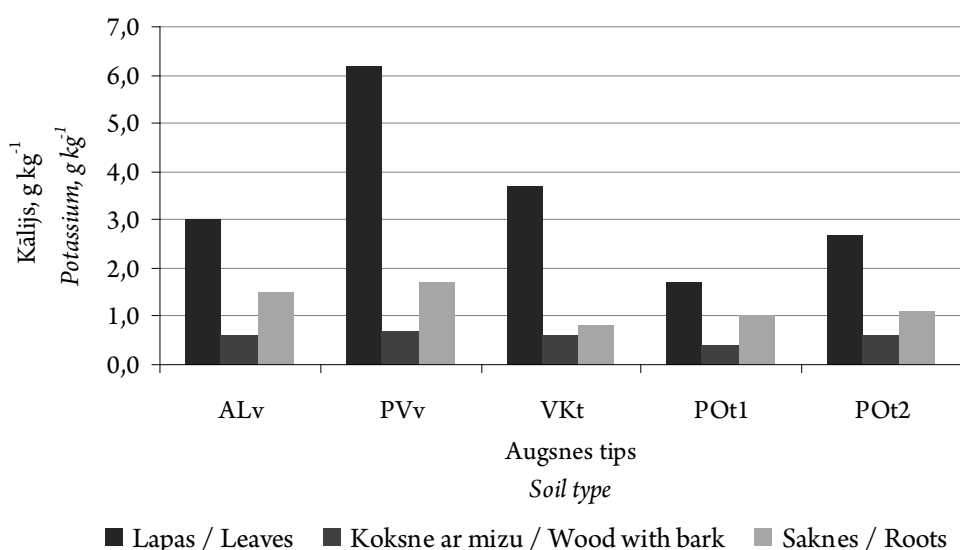
Arī kālija daudzums augos ir nozīmīgs un cieši saistīts ar fotosintēzes norisi: tā ietekmē palielinās protoplazmas koloīdu dispersijas pakāpe, to hidratācija un līdz ar to arī ūdeni aizturošie spēki šūnās. Kālijs ievērojami uzlabo augu augšanas gaitu, palielinot to ražību (Rinķis un Ramane, 1989). Kālija satura atšķirības dažādās bērza biomasas sastāvdaļās saistībā ar augsnes tipu uzrādītas 3. attēlā.



1. attēls. Kopējā slāpekļa satura atšķirības bērza biomasas sastāvdaļās saistībā ar augsnes tipu.  
 Figure 1. Differences of nitrogen in the different components of biomass of the birch tree depending of soil type.



2. attēls. Fosfora satura atšķirības bērza biomasas sastāvdaļās saistībā ar augsnes tipu.  
 Figure 2. Content of phosphorus in the different components of biomass of the birch tree depending of soil type.



3. attēls. Kālija saturs atšķirības dažādās bērza biomasas sastāvdaļās saistībā ar augsnes tipu.  
 Figure 3. Content of potassium in the different components of biomass of the birch tree depending of soil type.

Kalcijam ir ļoti liela nozīme augu dzīvē, jo šis elements atrodas visās augu šūnu struktūrās un organoīdos, kā arī stabilizē to funkcijas (Rinkis un Ramane, 1989). Kalciji sevišķi nepieciešams sakņu sistēmas normālai attīstībai un darbībai. Mūsu pētījumi rāda, ka nabadzīgās augsnēs (PO<sub>t1</sub> un PO<sub>t2</sub>) auga daļās kalcija ir ievērojami mazāk nekā bagātākās augsnēs (ALv, PVv un VKt) augošiem bērziem (4. attēls).

Magnijs, kā viena no hlorofila sastāvdaļām, ir būtisks augu augšanai un attīstībai, jo šis elements ir fotosintēzes neatņemama sastāvdaļa (Rinkis un Ramane, 1989). Pētījumi rāda, ka magnija saturu visās auga daļās nosaka bērzu augšanas apstākļi (2. tabula, 5. attēls), jo skābās, viegla granulometriskā sastāva augsnēs (PO<sub>t1</sub> un PO<sub>t2</sub>) augiem bieži vien magnija nepietiek un var parādīties lapu hloroze.

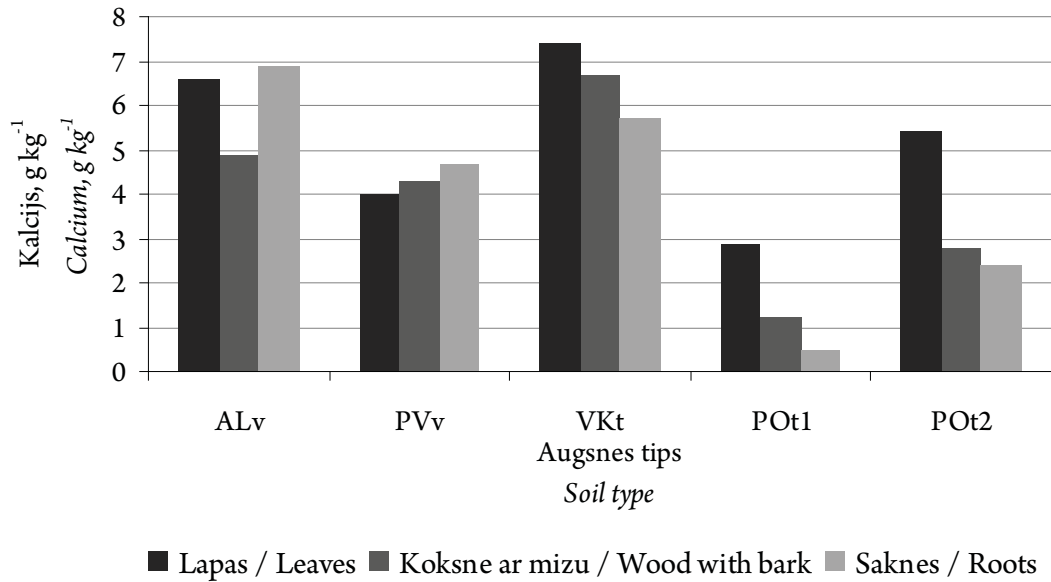
Pētījuma rezultāti rāda, ka bagātākās augsnēs (ALv, VKt un PVv), kur gan bērza

virszemes, gan sakņu biomasa ir ievērojama, minerālvielu aprites apjomi ir vērā ņemami, jo minerālvielu krājums tiek papildināts gan ar lapu un zaru koksnes nobirām, gan atmirstošo sakņu masu.

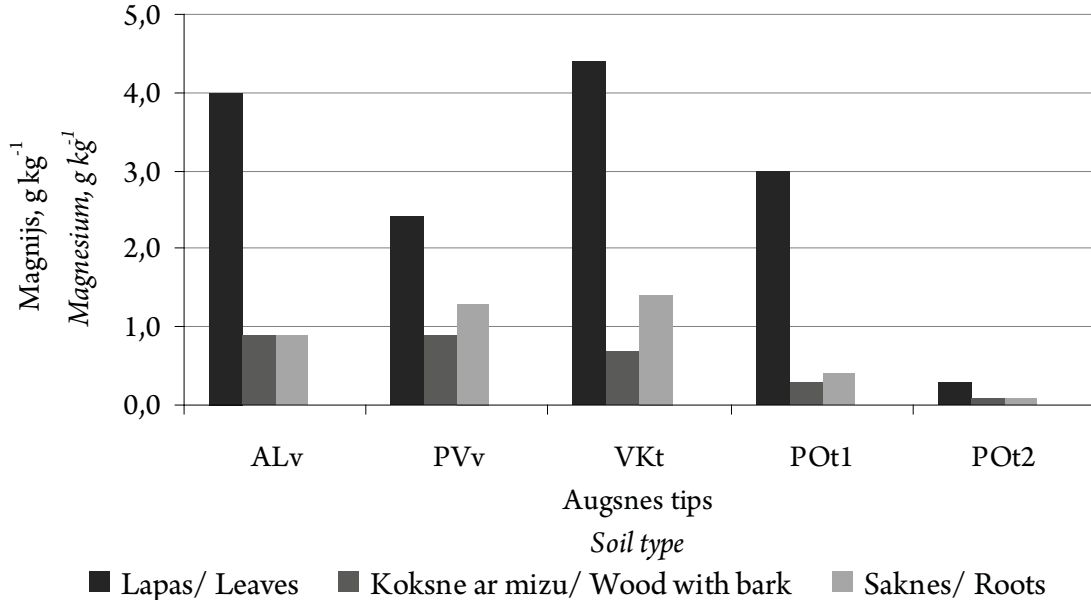
Bērza augšanas gaitu nabadzīgās augtenēs (PO<sub>t1</sub> un PO<sub>t2</sub>) raksturo samērā nelieli minerālvielu krājumi augsnē.

Kā rāda 5. tabulas dati, ar minerālvielām bagātākā augsne (VKt) ir objektā Tukums/Vāne, bet augšanas gaita bērziem te ievērojami atpaliek no tāda paša vecuma bērzu stādījuma Iecavas novadā. Bērzu audzē Tukuma novadā pamatmateriāls ir smags māls, bet Iecavas novadā vidējs smilšmāls. Mūsu pētījuma dati atbilst K. Liepiņa (2011) konstatētajam, ka smagās, blīvās augsnēs bērza augšanas gaitas rādītāji ir zemāki.

Mūsu izpētē iegūtie dati saskan ar somu un zviedru zinātnieku pētījumos (Hytonen, 1996; Saramaki and Hytonen, 2004; Hytonen and Aro, 2012) secināto, ka



4. attēls. Kalcijsaturs atšķirības dažādās bērza biomasas sastāvdaļās saistībā ar augsnes tipu.  
 Figure 4. Content of calcium in the different components of biomass of the birch tree depending of soil type.



5. attēls. Magnija saturs atšķirības dažādās bērza biomasas sastāvdaļās saistībā ar augsnes tipu.  
 Figure 5. Content of magnesium in the different components of biomass of the birch tree depending of soil type.

bērzs, kā koku suga, ir jutīgs pret minerālo barības vielu daudzumu augsnē, kas arī nosaka tā produktivitāti.

Bērzu jaunaudzū augšanas gaita cieši korelē ar augu attīstībai nepieciešamo minerālvielu (fosfors, slāpekļi, kālijs, kalcijs un magnijs) saturu augsnē: nabadzīgās, tipiskās podzola augsnēs, minerālvielu saturs sastāda ne vairāk kā 20-48 % no minerālvielu apjoma ALv, VKt un PVv augsnēs (2. tabula).

Pārējās minerālvielas, ko augu fizioloģijā uzskata par mikroelementiem, izpētes objektos dažādās biomasas sastāvdaļās svārstījās plašās robežās, un to satura sakarības ar kokaugu augšanas gaitu netika pētītas. Somu zinātnieku (Saramaki and Hytonen, 2004) izmēģinājumos secināts, ka nepastāv korelācija starp augsnes un atsevišķu bērza biomasas sastāvdaļu (īpaši lapu) mikroelementu saturu.

Acīmredzot bērza augšanu galvenokārt ietekmē slāpekļa, fosfora un kālija saturs augsnē, augsnes blīvums, mikroklimats, klimats, apgaismojums, nokrišņi u.c., jo nabadzīgās smilts augsnēs (tipiskā podzolaugsne Sl un Ln meža augšanas apstākļos) bērzu augšanas gaita ievērojami atpaliē (1. tabula).

Pētījuma dati liecina, ka bērzu jaunaudzēs minerālvielu iznese (10-15 gadu periodā) no augsnes tieši koka virszemes biomasas veidošanā sastāda samēra nelielu daļu. Bērzu audzēs auglīgās augsnēs (ALv, VKt un PVv) minerālvielu iznesi nosaka bērzam attiecīgajā attīstības stadijā nepieciešamais minerālvielu daudzums.

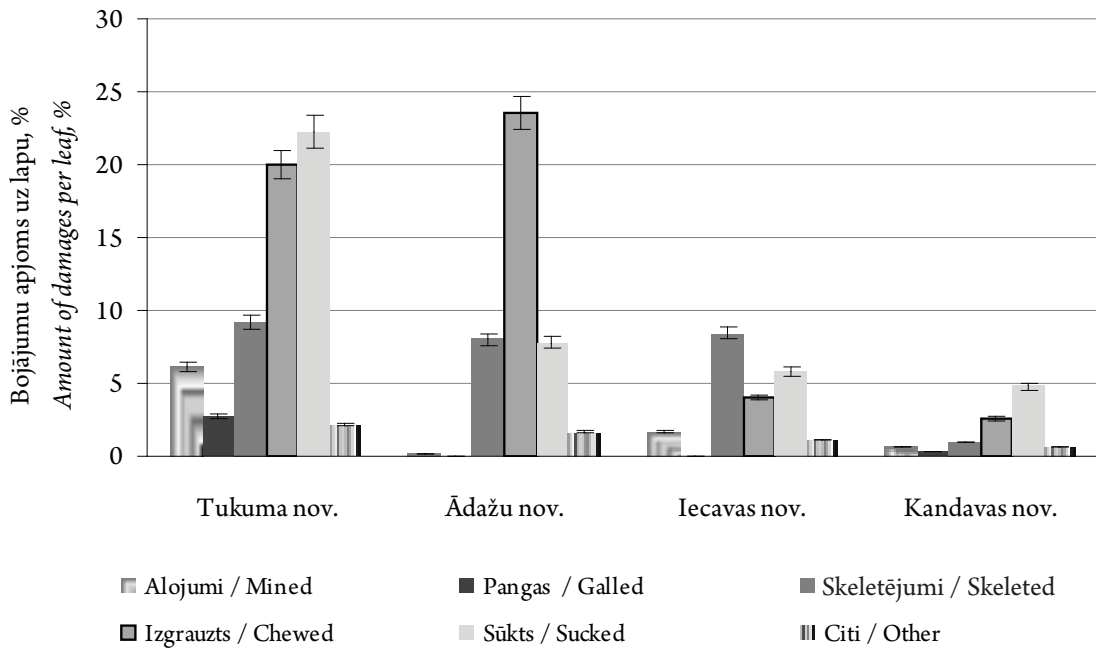
Analizējot apsekotajās vietās ievākto bērzu lapu materiālu, noskaidrots,

ka ir atšķirības starp kopējiem bojājumu apjomiem. Visvairāk bērzu lapu bojājumu konstatēts objektā Tukuma novadā un objektā Ādažu novadā (1. tabula). Bojājumu kopējais apjoms uz bērzu lapām objektā Tukuma novadā (6. attēls) sasniedz 63 %, kas vēsta par sekundāro kaitēkļu savairošanās iespējamību nākamajā vasarā. Jāatzīmē, ka, lai gan grauzto, skeletēto un citu bojājumu daudzums iepriekšminētajos objektos salīdzinoši ir līdzīgs, pastāv būtiskas atšķirības starp pārējiem bojājumu veidiem (7. attēls). Tas vedina domāt, ka pastāv līdz šim neizpētītu faktoru kopums (piemēram, mikroklimats), kas lokāli ierobežo šo kaitēkļu aktivitāti. Arī barošanās nišu dalīšanas paņēmieni starp dažādiem izplatības reģioniem var kalpot kā starpsugu konkurenci mazinošs mehānisms. Savukārt salīdzinoši labāks bērzu lapu veselības stāvoklis novērots objektos Iecavas un Kandavas novadā (6. attēls).

Veicot Pīrsona korelāciju vidējiem attālumiem starp kokiem un vidējo kopējo bojājumu apjomu uz lapu katrā parauglaukumā, iegūts korelācijas koeficients  $r = -0,89$ . Līdz ar to secināts, ka, samazinoties attālumam starp kokiem, kopējam lapu bojājumu apjomam (kaitēkļu aktivitātei) ir tendence pieaugt. Iespējams tas skaidrojams ar mazāku vēja ietekmi paaugstinātas biežības audzēs.

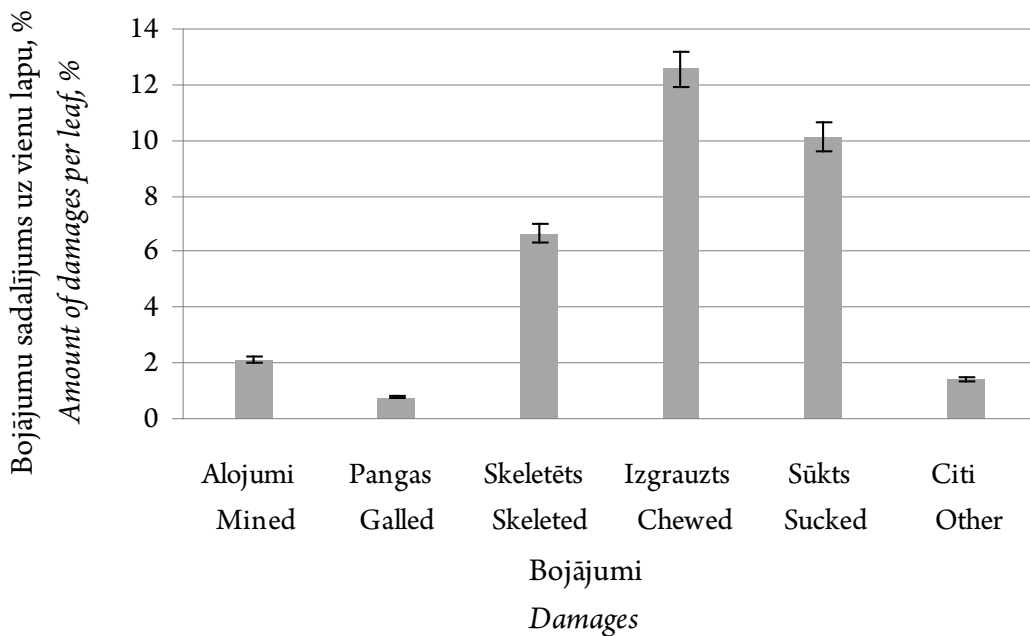
Savukārt noskaidrots, ka izplatītākie bojājumi ir skeletējumi, kā arī izgrauztās un sūktās vainas (7. attēls). Šādi rādītāji var inducēt palielinātu tādu kukaiņu sugu sastopamību Latvijā, kuriem raksturīgi minētie barošanās veidi.

Pretēji proporcionāla sakarība ir starp kopējo bojājumu apjomu un lapu lielumiem.



6. attēls. Atšķirīgu bērzu lapu bojājumu sadalījums apsekojamās vietās.

Figure 6. Proportion of different birch leaf damages in sampling areas.



7. attēls. Kopējais vidējais bojājumu daudzums uz vienu bērza lapu.

Figure 7. Total average damage amount per birch leaf.

Analizējot datus, Pīrsona korelācija norāda uz izteikti negatīvu bojājumu apjomu izmaiņu korelāciju, ko raksturo koeficients  $r = -0,99$ . Noskaidrots, ka vairāk bojātas ir tieši salīdzinoši nelielas lapas. Lapu izmērs parasti ir optimālo augšanas apstākļu un pietiekamas barības vielu daudzuma augsnē (jo to ir vairāk, jo apstākļi ir labvēlīgāki) netiešs rādītājs. Jāatzīmē, ka lapu izmēru var samazināt arī kaitēkļi, kā rezultātā lapas pietiekamā apmērā nesaņem barības vielas.

Projekta izpildes gaitā atklājās, ka, veicot pētījumus dabiskās, dažādas ražības

bērzu audzēs lauksaimniecības un meža augsnēs, atsevišķu minerālvielu ietekme uz bērzu audžu veselību, ierobežotā parauglaukumu skaita un mērījumu atkārtojumu dēļ, precīzi ir ļoti grūti novērtējama. Tādēļ šajā ziņā izpēte būtu veicama ilgstošākā laika periodā un ar vēl lielāku atkārtojumu skaitu.

Pētījums parādīja, ka atsevišķu minerālvielu, galvenokārt mikroelementu, ietekme uz bērzu veselību būtu izvērtējama, bērzus audzējot augsnēs ar augu fizioloģijas pētījumos kontrolējamu minerālvielu saturu.

### Secinājumi

1. Bērzu jaunaudzū augšanas gaita cieši korelē ar augu attīstībai nepieciešamo minerālvielu (fosfors, slāpekļis, kālijs, kalcijs, magnijs) saturu augsnē: nabadzīgās, tipiskā podzola augsnēs minerālvielu saturs ir ne vairāk kā 20-48 % no to apjoma ALv, VKt un PVv augsnēs.
2. Bērzu jaunaudzēs bagātās ALv, VKt un PVv augsnēs lielāko biomasu veido stumbra koksne – vidēji 51,8-59,5 %, zaru koksne 9,8-12,4 %, lapas 5,7-6,8 % un sakņu biomasas 25-30 % no visas koka biomasas.
3. Nabadzīgos augšanas apstākļos, POt augsnēs, bērzu stumbra un zaru biomasas veido 32,3-41,8 %, zari 18,2-24,2 %, lapas 13,2-16,1 % un sakņu biomasas 26,8-27,4 % no visas koka biomasas.
4. Kaitēkļu bojājumu analīze apstiprina izvirzīto hipotēzi, ka bojājumu apjomu nosaka bērza vitalitāte, kas pielīdzināma audzes bonitātei, kura raksturo augšanas vietas kvalitāti.

**Pateicība:** pētījums veikts, pateicoties ERAF projekta „Bērza koksnes plantāciju ierīkošanas un apsaimniekošanas tehnoloģiju izstrāde” (Nr. 2010/0319/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/136) atbalstam.

### Literatūra

- Allard, G.B., Fortuna, S., Lee, S.S., Novotny, J., Baldini, A., Courtinho, T. (2003). Global information on outbreaks and impact of major forest insect pests and diseases. 7. World Forestry Congress paper. Canada. [www.fao.org/docrep/article/wfc/xii/1019-b3.htm](http://www.fao.org/docrep/article/wfc/xii/1019-b3.htm).
- Augsnes īpašību ietekme uz bērza plantāciju produktivitāti. (2005). Vad. V. Kāposts. LVMI Silava, Salaspils. 64 lpp.
- Brandtberg, P.O., Bengtsson, J., Lundkvist, H. (2004). Distributions of the capacity to



- take up nutrients by *Betula* spp. and *Picea abies* in mixed stands. *Forest Ecology and management* 198, 193-208.
- Chertov, O.G., Komarov, A.S.** (1997). SOMM: A model of soil organic matter dynamics. *Ecological Modelling* 94: 2-3, 177-190; 62 ref.
- Chertov, O., Komarov, A., Andrienko, N., Gatalsky, P.** (2002). Integrating forest simulation models and spatial-temporal interactive visualisation for decision making at landscape level. *Ecological Modelling*: 148/1, 47-65.
- Chertov, O.G., Komarov, A.S., Nadporozhskaya, M., Bykhovets, S.S., Zudin, S.L.** (2001). ROMUL – a model of forest soil organic matter dynamics as a substantial tool for forest ecosystem modelling. *Ecological Modelling* 138: 289-308.
- Cory, J.S., Hoover, K.** (2006). Plant-mediated effects in insect-pathogen interactions. *Trends in Ecology & Evolution* 21: 278-286.
- Daugaviete, M., Gaitnieks, T., Kļaviņa, D., Teliševa, G.** (2008). Oglekļa akumulācija virszemes un sakņu biomasā priedes, egles un bērza stādījumos lauksaimniecības zemēs. *Mežzinātne* 18(51)2008: 35-52.
- Daugaviete, M., Krūmiņa, M.** (2001). Bērza (*Betula pendula* Roth.) ieaugšanās un augšana pētījumā stādījumos dažādās lauksaimniecības zemju augsnēs. *Mežzinātne*, 11(44): 13-51.
- Dwyer, G., Dushoff, J., Yee, S.H.** (2004). The combined effects of pathogens and predators on insect outbreaks. *Nature* 430: 341-345.
- Forestry-key indicators* (2010). [tiešsaiste]. Central Statistical Bureau of Latvia [skatīts 06.11.2012.]. Pieejams: <http://www.csb.gov.lv/en/statistikas-temas/forestry-key-indicators-30729.html>.
- Hytonen, J.** (1996). Biomass production and nutrition of short rotation plantations. Finnish Forest Research Institute Research Papers 586, 61 p.
- Hytönen, J. & Aro, L.** (2012). Biomass and nutrition of naturally regenerated and coppiced birch on cutaway peatland during 37 years. *Silva Fennica* 46(3): 377-394.
- Johansson, T.** (1999). Biomass equations for determining fractions of pendula and pubescent birches growing on abandoned farmland and some practical implications. *Biomass and Bioenergy*, Volume 16, Issue 3, pp. 223-238.
- Johansson, T.** (2007). Biomass production and allometric above- and below-ground relations for young birch stands planted at four spacings on abandoned farmland. *Forestry* 80 (1), 41-52.
- Karlsson, A., Albreksson, A., Sonoson, J.** (1997). Site index and productivity of artificially regenerated *Betula pendula* and *Betula pubescens* stand on former farmland of Southern and Central Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 12: 256-263.
- Kāposts, V., Sacenieks, R.** (1973). Bērza audžu barošanās režīms un to mēslošanas vajadzība. *Mežsaimniecība un mežrūpniecība, Rīga LatZTIZPI, Nr. 5*, 12.-17. lpp.
- Kārklīšs, A.** (2008). Augsnes diagnostika un apraksts. LLU, Augsnes un zinātņu institūts,

Jelgava, 335 lpp.

- Kund, M., Vares, A., Sims, A., Tullus, H., Uri, V.** (2010). Early growth and development of silver birch (*Betula pendula*). *Eur.J Forest Res.* 129: 679-688.
- Kurkela, T., Aalto, T., Varama, M., Jalkanen, R.** (2005). Defoliation by the common pine sawfly (*Diprion pini*) and subsequent growth reduction in Scots pine: a retrospective approach. *Silva Fennica* 39(4): 467-480.
- Liepa, I.** (1996). *Pieauguma mācība*. LLU, Jelgava, 123 lpp.
- Liepiņš, K.** (2011). Kārpainā bērza (*Betula pendula* Roth) jaunaudžu augšanas gaita stādījumos lauksaimniecības augsnēs Latvijā. *Mežzinātne* 23(56), 3.-14. lpp.
- Lynn, K.A.** (2009). User-friendly methods for timing integrated pest management strategies: an analysis of degree-day models and biological calendars. Ohio State University, Entomology, 109 p.
- Malkonen, E.** (1977). Annual primary production and nutrient cycle in birch stands. *Comm. Inst.For.Fenn.* 91(5), 1-35.
- Mälkönen, E. & Saarsalmi, A.** (1982). Hieskoivikon biomas satuotos ja ravinteiden menetyk kokopuun korjuussa. Summary: Biomass production and nutrient removal in whole tree harvesting of birch stands. *Folia Forestalia* 534, 17 p.
- Marchner, H., Kirkby, E.A., Cakmak, I.** (1996). Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 47, pp. 1255-1268.
- Nabuurs, G.J., Hengeveld, G.M., van der Werf, D.C., Heidema, A.H.** (2009). European forest carbon balance assessed with inventory based methods – an introduction to a special section. *Forest Ecology and Management* 260: 239-240.
- Niemistö, P.** (1991). Hieskoivikoiden kasvatustiheys ja harvennusmallit Pohjois-Suomen turvemaidilla. Summary: Growing density and thinning models for *Betula pubescens* stands on peatlands in northern Finland. *Folia Forestalia* 782, 36 p.
- Ovington, J.D.** (1965). Organic production, turnover and mineral cycling in woodlands. *Biological reviews*, Volume 40, Issue 3, 295-336.
- Rasmussen, C., Southard, R.J., Norwath, W.R.** (2006). Mineral control of carbon mineralization in a range of temperate conifer forest soils. *Global Change Biology* 12, 834-847.
- Rinķis, G., Ramane, H.** (1989). *Kā barojas augi*. Rīga „Avots”, 151 lpp.
- Rippi, M., Osasipov, V., Lempa, K., Haukuoja, K., Koricheva, J., Ossipova, S., Pihjala, K.** (2002). Seasonal changes in birch leaf chemistry: are there trade-offs between leaf growth and accumulation of phenolics? *Oecologia* 130: 380-390.
- Rosenvald, K., Ostonen, I., Truu, M., Truu, J., Uri, V., Vares, A., Lohmus, K.** (2011). Fine root rhizosphere and morphological adaptations to site conditions in interaction with tree mineral nutrition in young silver birch (*Betula pendula* Roth.) stands. *Eur.J. Forest Res.* 130(6): 1055-1066.

- Rupais, A.** (1999). Kokaugu kaitēkļu sugu noteicējs pēc bojājumiem augļu dārzos un apstādījumos. Valsts Augu aizsardzības dienests, Rīga, 272 lpp.
- Saramaki, J. & Hytonen, J.** (2004). Nutritional status and development of mixed plantations of Silver Birch (*Betula pendula* Roth) and Downy Birch (*Betula pubescens* Ehrh.) on former agricultural soils. *Baltic Forestry*, Vol. 10, No 1, pp. 2-11.
- Singh, T.V.K., Satyanarayana, J.** (2009). Insect outbreaks and their management. *Integrated pest management innovation-development process*, pp. 331-350.
- Uri, V., Lohmus, K., Ostonen, I., Tullus, H., Lastik, R., Vildo, M.** (2007). Biomass production, foliar and root characteristics and nutrient accumulation in young silver birch (*Betula pendula* Roth.) stand growing on abandoned agricultural land. *Eur. J. Forest Res.* 126(4): 495-506.
- Valkonen, S. and Valsta, L.** (2001). Productivity and economics of mixed two-storied spruce and birch stands in Southern Finland simulated with empirical models. *Forest Ecology and Management*, 140, pp. 133-149.
- Varik, M., Aosaar, J., Ostonen, I., Lohmus, K., Uri, V.** (2013). Carbon and nitrogen accumulation in belowground tree biomass in a chronosequence of silver birch stands. *Forest Ecology and Management* 302, pp. 62-70.
- Walle, I.V., Camp, N.V., Castele, L., Verheyen, K., Lemeur, R.** (2007). Short-rotation forestry of birch, maple, poplar and willow in Flanders (Belgium) II. Energy production and CO2 emission reduction potential. *Biomass and Bioenergy* 31, pp. 276-283.
- Zālītis, P., Jansons, J.** (2013). Latvijas mežu tipoloģija un tās sākotne. Daugavpils Universitātes Akadēmiskais apgāds "Saule", 3.-114. lpp.
- Ильинский, А.И., Тропин, И.В.** (1965). Надзор, учет и прогноз массовых размножений хвое- и листогрызущих насекомых. *Лесная промышленность*, 525 с.