

LATVIJAS VALSTS MEŽZINĀTNES INSTITŪTS “SILAVA”

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE

Mg. silv. BAIBA JANSONE

**AUGSTUMA PIEAUGUMA MAINĪBA
PARASTĀS EGLES (*PICEA ABIES* (L.) H. KARST.)
TĪRAUDZĒS JUVENILĀ VECUMĀ**

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS

Zinātniskā doktora grāda

zinātnes doktors (Ph.D.)

Lauksaimniecības un zivsaimniecības zinātnēs,
mežzinātnē iegūšanai

Salaspils 2020

Promocijas darba zinātniskie vadītāji:

Dr.silv. Linards SISENIS

Dr.silv. Dagnija LAZDIŅA

Dr.silv. Āris JANSONS

Promocijas darba sagatavošana veikta LVMI Silava un Latvijas Lauksaimniecības universitātes Memoranda par sadarbību Latvijas meža nozares augstākās izglītības un mežzinātnes attīstībā ietvaros.

Oficiālie recenzenti:

1. Dr.silv. Tālis GAITNIEKS, Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava";
2. Dr.biol. Ina ALSIŅA, Latvijas Lauksaimniecības universitāte;
3. Dr. Gediminas BRAZAITIS, Vitauta Magnusa universitāte.

Promocijas darba aizstāvēšana notiek Latvijas Lauksaimniecības universitātes "Lauksaimniecības un zivsaimniecības zinātnes, mežzinātne" specializācijas "Mežzinātne" promocijas padomes sēdē 2020. gada 28. decembrī plkst. 10:00, Jelgavā, Dobeles ielā 41, LLU Kokapstrādes katedras Profesora *Emeritus*, *Dr.habil.sc.ing.*, *Dr.h.c.silv.* HENN TUHERM auditorijā.

Darba aizstāvēšanas gaitu būs iespēja vērot attālināti. Informācija par attālināto sēdes norisi būs pieejama vienu nedēļu pirms aizstāvēšanas LLU mājaslapā

Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LLU fundamentālajā bibliotēkā Jelgavā, Lielā ielā 2 un interneta vietnē: <https://llufb.llu.lv> Atsauksmes sūtīt promocijas padomes sekretārei Mg.silv. Sarmītei Berņikovai-Bondarei uz adresi: Dobeles iela 41, Jelgava, LV-3001, Latvija vai e-pastā koka@llu.lv.

SATURS

1. DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS	4
1.1. Tēmas aktualitāte	4
1.2. Pētījuma mērķis.....	5
1.3. Pētnieciskie uzdevumi.....	5
1.4. Zinātniskā novitāte	5
1.5. Promocijas darba struktūra un apjoms	6
1.6. Zinātniskā darba aprobācija	6
2. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODIKA	9
2.1. Augusta dzinumi	9
2.1.1. Datu ievākšanas metodika	9
2.1.2. Datu statistiskā apstrāde	11
2.2. Stādvieta sagatavošanas veids un barības vielu nodrošinājums.....	12
2.2.1. Datu ievākšanas metodika	12
2.2.2. Datu statistiskā apstrāde	14
2.3. Pluskoku brīvapputes ģimeņu atšķirības	14
2.3.1. Datu ievākšanas metodika	14
2.3.2. Datu statistiskā apstrāde	15
3. REZULTĀTI	17
3.1. Augusta dzinumi	17
3.2. Stādvieta sagatavošanas veids	22
3.2.1. Augsnes sagatavošanas ietekme uz augšanu	22
3.2.2. Augsnes sagatavošanas ietekme uz konkurējošo veģetāciju	24
3.2.3. Augsnes ielabošanas ietekme uz koku augstumu	25
3.2. Pluskoku brīvapputes ģimeņu pieauguma veidošanās dinamikas atšķirības	30
SECINĀJUMI.....	35
PRIEKŠLIKUMI	36
PATEICĪBA	37

1. DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

1.1. Tēmas aktualitāte

Parastā egle (*Picea abies* (L.) H. Karst.) ir ekonomiski nozīmīgākā koku suga Ziemeļeiropā, veidojot aptuveni trešdaļu no reģiona koksnes resursiem. Egles koksne galvenokārt izmantota zāgmateriālu ražošanai, un to ražošanas atlikumi arvien vairāk tiek izmantoti bioenerģijas ieguvei (Rytter et al., 2013). Latvijā, saskaņā ar Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) datiem, egles audzes aizņem 19% mežu platības, lielākoties teritorijās ar eitrofām un mezotrofām augsnēm (damaksni, vēri, šaurlapju un platlapju āreni, šaurlapju un platlapju kūdreni). Egles ir ātraudzīga, tās audžu vidējais tekošais krājas pieaugums Ia bonitātē saskaņā ar MSI datiem ir $14,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Lai nodrošinātu iespējami efektīvu teritoriju ar auglīgu augsni izmantošanu atjaunojamo resursu ieguvei, nozīmīgi veicināt egles audžu ātraudzību. Lielāks augstuma pieaugums juvenilā vecumā nosaka audzes turpmāko augšanu visā aprites ciklā. Tādēļ svarīgi vērtēt dažādu faktoru ietekmi uz koku augšanu šajā periodā un iespējas veicināt augšanu ar meža selekcijas un mežkopības metodēm. Viens no efektīvākajiem augšanas veicināšanas paņēmieniem ir papildus barošanās elementu ienešana audzē vienlaikus ar koku stādīšanu (Sutton, 1995; Hedwall et al., 2014). Tomēr Latvijā trūkst pētījumu par šīs mežkopības prakses ietekmes ilgumu uz pieaugumu. Meža augsnes ielabošana ar pelniem palielina augsnes mikroorganismu aktivitāti (Perkiömäki & Fritze, 2005), kā arī stimulē nobiru un celulozes sadalīšanos un organisko vielu sadalīšanos – mineralizāciju (Moilanen et al., 2002; Perkiömäki & Fritze, 2002; Perkiömäki et al., 2004), bet tās ilgtermiņa ietekme uz koku augšanu pētīta reti (Moilanen et al., 2002; Perkiömäki et al., 2004; Saarsalmi et al., 2012) un Latvijā šādas pieredzes trūkst, īpaši – attiecībā uz pelnu izmantošanu pirms stādīšanas. Papildus barošanās elementu ienešana var ietekmēt arī koksnes fizikālos rādītājus, tai skaitā spēju nodrošināt barības vielu transportēšanas funkciju pa trahejām. Egles ir jutīga pret sausumu (Lévesque et al., 2013), turklāt mainīga klimata apstākļos sausuma periodu biežums var pieaugt (Allen et al., 2010; Seidl et al., 2017). Līdz ar to nepieciešams izvērtēt, vai papildus barības vielu ienešana ietekme vismaz juvenilā vecumā ir pozitīva. Klimata pārmaiņas Ziemeļeiropā var veicināt augstāku mežu ražību galvenokārt garāka veģetācijas perioda dēļ (Menzel & Fabian, 1999; Stöckli & Vidale, 2004; Kolari et al., 2007), tomēr šo labvēlīgo ietekmi var mazināt vai izslēgt biežāki ilgstoša sausuma periodi un/vai salnas (Gu et al., 2008; Lindner et al., 2010; Zeps et al., 2017). Vairums adaptāciju raksturojošās pazīmes (kā plaukšanas laiks, sausuma izturība, salciētība u.c.) ir ģenētiski determinētas (Hannerz, 1998, 1999; Hannerz et al., 1999; Chen et al., 2017; Trujillo-Moya et al., 2018), bet konkrētu populāciju ietvaros šo pazīmju ģenētiskā variācija var būt ierobežota. Straujākai adaptācijai un audžu ražības nodrošināšanai tiek meklēti risinājumi, kombinējot sēkļu materiāla pārvietošanu (uz klimatiski piemērotākiem reģioniem) un selekciju (O'Neill et al., 2014; Klisz et al., 2019; Zeltiņš et al., 2019). Tomēr šo risinājumu efektivitāte ir tieši atkarīga no meža

selekcijas darba rezultātu praktiskas izmantošanas – stādot atjaunoto platību īpatsvara (kas eglei Latvijā ir augsts) un no izpratnes par pieauguma veidošanās (gada ietvaros) ģenētisko determināciju, kas līdz šim maz vērtēta. Tāpat līdz šim relatīvi maz analizēti augusta dzinumi – papildus (brīvā) augšana labvēlīgos meteoroloģiskajos apstākļos pēc iepriekšnoteiktā pieauguma izveidošanās. Biežāk šādi pētījumi veikti Ziemeļvalstīs un saistīti ar paaugstinātu salnu bojājumu varbūtību (Kvaalen et al., 2010; Søgaard et al., 2011). Tomēr trūkst informācijas kā par apikālo augusta dzinumu (veidojas, atkārtoti uzplaukstot galotnes centrālajam pumpuram) saikni ar sala bojājumiem hemiboreālajos mežos, tā saikni ar kopējo kārtējā gada pieauguma garumu un detalizēta novērtējuma par lokālās vides un iedzimtības ietekmi uz to veidošanos. Šāda informācija nozīmīga kā meža selekcijai, tā mežkopībai, lai veicinātu egles audžu adaptāciju un lielāku to pieaugumu juvenilā vecumā.

1.2. Pētījuma mērķis

Promocijas darba mērķis ir raksturot lokālo apstākļu un iedzimtības ietekmi uz juvenila vecuma parastās egles (*Picea abies* (L.) H. Karst.) augstuma pieaugumu stādot atjaunotos hemiboreālajos mežos Latvijā.

1.3. Pētnieciskie uzdevumi

Promocijas darbā izvirzīti trīs uzdevumi:

- 1) raksturot lokālo apstākļu (zemesdzīves veģetācijas konkurence un augsnes mitrums) un iedzimtības ietekmi uz egles apikālajiem augusta dzinumiem (I un II);
- 2) raksturot barības vielu nodrošinājuma uzlabošanas ietekmi uz egles augstuma pieaugumu (III, IV un V);
- 3) raksturot egles pluskoku brīvapputes pēcnācēju ģimeņu ikgadējā augstuma pieauguma veidošanās atšķirības (VI un VII).

1.4. Zinātniskā novitāte

Promocijas darbā izvirzītas divas tēzes:

- 1) lokālo apstākļu uzlabošana jaunaudzēs veicina egles apikālo augusta dzinumu veidošanos;
- 2) iedzimtība ietekmē gan iepriekš noteiktā augstuma pieauguma veidošanās dinamiku sezonas ietvaros, gan apikālo augusta dzinumu veidošanos.

1.5. Promocijas darba struktūra un apjoms

Promocijas darbs veidots kā tematiski vienotu zinātnisko publikāciju apkopojums.

Promocijas darbs sastāv no septiņām tematiski vienotām zinātniskajām publikācijām, un to rezultāti liecina iespējām ievērojami uzlabot egles augšanu jaunaudzēs vecumā. Koku augstumu ievērojami un būtiski ietekmē augsnes sagatavošanas veids un augsnes ielabošana ar koksnes pelniem gadu pirms stādījuma ierīkošanas vai papildus barības vielu pievienošana reizē ar stādīšanu, turklāt šo mežsaimniecības darbību ietekme saglabājas vismaz 10 gadus ilgā laika posmā. Labvēlīga lokālo apstākļu kombinācija nodrošināšana ievērojami paaugstinātu egļu ar apikālajiem augsta dzinumiem īpatsvaru jaunaudzēs, kas, savukārt, palielina kopējo koku augstuma pieaugumu. Starp apikālajiem augsta dzinumiem un koku augstumu pastāv pozitīva atgriezeniskā saite, palielinot koku augstumu jaunaudzēs vecumā. Gan augsta dzinumu, gan augstuma pieauguma veidošanās ir ģenētiski determinēta, un egles pluskoku brīvapputes pēcnācēju ģimenēm ar lielāku augstuma pieaugumu augšanas intensitāte kulminē vēlāk un saglabājas augsta ilgāk.

Datu materiāls publikācijām ievākts LVMI Silava realizētos pētījumos, kuru izpildē autore piedalījies; promocijas darba sagatavošana veikta LVMI Silava un Latvijas Lauksaimniecības universitātes Memoranda par sadarbību Latvijas meža nozares augstākās izglītības un mežzinātnes attīstībā ietvaros.

Promocijas darbs veidots kā tematiski vienota publikāciju kopa, kuras apjoms ir 160 lappuses; informācijas apkopšanai izmantota 1 tabula un 21 attēls; izmantoti 183 literatūras avoti.

1.6. Zinātniskā darba aprobācija

Promocijas darba pamatā ir septiņas publikācijas, uz kurām atsaucies tekstā veidotas, izmantojot romiešu ciparus:

- I Katrevičs J., Neimane U., **Dzerina¹ B.**, Kitenberga M., Jansons J., Jansons Ā. (2018). Environmental factors affecting formation of lammas shoots in young stands of Norway spruce (*Picea abies* Karst.) in Latvia. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 11(6), 809–815. 10.3832/ifer2539-011
- II Neimane U., Zadiņa M., Sisenis L., **Dzerina¹ B.**, Pobiaržens A. (2015). Influence of lammas shoots on productivity of Norway spruce in Latvia. *Agronomy Research*, 13(2), 354–360.
- III **Dzerina¹ B.**, Girdziušas S., Lazdiņa D., Lazdiņš A., Jansons J., Neimane U., Jansons Ā. (2016). Influence of spot mounding on height growth and tending of Norway spruce: case study in Latvia. *Forestry Studies*, 65(1), 24–33. 10.1515/fsmu-2016-0009

¹ mainīts uzvārds no Džeriņa uz Jansone

- IV Jansone B., Samariks V., Okmanis M., Kļaviņa D., Lazdiņa D. (2020). Effect of high concentrations of wood ash on soil properties and development of young Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Sustainability*, 12, 9479. 10.3390/su12229479
- V Jansons Ā., Matisons R., Krišāns O., **Džeriņa¹ B.**, Zeps M. (2016). Effect of initial fertilization on 34-year increment and wood properties of Norway spruce in Latvia. *Silva Fennica*, 50(1), id 1346. 10.14214/sf.1346
- VI Matisons R., Zeltiņš P., Danusevičius D., **Džeriņa¹ B.**, Desaine I., Jansons Ā. (2019). Genetic control of intra-annual height growth in 6-year-old Norway spruce progenies in Latvia. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 12(2), 214–219. 10.3832/ifor2777-012
- VII Jansone B., Neimane U., Šēnhofa S., Matisons R., Jansons Ā. (2020). Genetically determined differences in annual shoot elongation of young Norway spruce. *Forests*, 11, 1260. 10.3390/f11121260

Pētījuma rezultāti prezentēti astoņās zinātniskajās konferencēs:

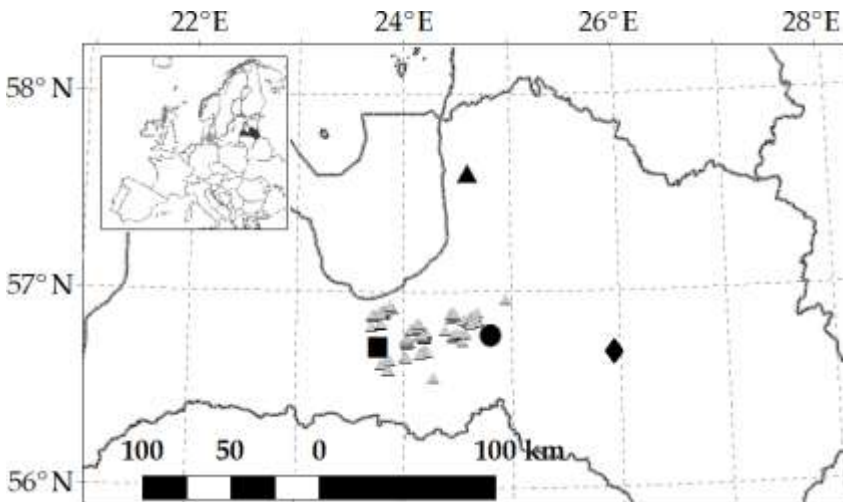
- 1) **Jansone B.**, Samariks V., Okmanis M., Kļaviņa D., Lazdiņa D. (2020) Effect of wood ash application on soil properties and development of young Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). International Scientific Conference *Forest and forest sector in changing climate*, 18th of September, 2020. Jelgava, Latvia, referāts.
- 2) **Jansone B.**, Neimane U., Šēnhofa S., Jansons Ā. (2020) Genetically determined differences in annual shoot elongation of Norway spruce. International Scientific Conference *Forest and forest sector in changing climate*, 18th of September, 2020. Jelgava, Latvia, referāts.
- 3) **Jansone B.** (2019) Influence of flushing differences on height of Norway spruce at juvenile age. 25th Annual International Scientific Conference *Research for Rural Development 2019*, 15–17 May, 2019, Jelgava, Latvia, referāts.
- 4) **Jansone B.**, Rungis D. (2018) Influence of seed year on genetic diversity of progenies of Norway spruce seed orchard. 24th Annual International Scientific Conference *Research for Rural Development 2018*, 16–18 May, 2018, Jelgava, Latvia, referāts.
- 5) **Jansone B.**, Girdziušas S., Lazdiņa D, Lazdiņš A., Neimane U., Jansons Ā. (2016) Influence of spot mounding on height growth and tending of Norway spruce: case study in Latvia. 4th International Conference of Dendrochronologists and Dendroecologists from the Baltic Sea Region *BaltDendro 2016*. 22–25 August, 2016, Annas Tree School, Latvia, referāts.
- 6) Jansons Ā., Neimane U., Rieksts-Riekstiņš J., Puriņa L., **Jansone B.** (2013) Influence of genetic and climatic factors on formation of lammas growth of Norway spruce and Scots pine. International Scientific Conference *Climate change and tree responses in Central European forests*, 1–5 September, 2013,

ETH, Zurich, Switzerland, stenda referāts.

- 7) Jansons Ā., Neimane U., Baumanis I., **Jansone B.** (2011) Factors influencing formation of lammas growth in young Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) plantation in Latvia. International Scientific Conference *Climate change: agro- and forest systems sustainability*, Lithuanian research center for agriculture and forestry, Babtai, Lithuania, stenda referāts.
- 8) Jansons, Ā., Rieksts-Riekstiņš, R., **Jansone B.**, Baumanis, I. (2010) Long term tree breeding trials as tool to monitor tree responses to climate changes. International Scientific Conference *Research, Monitoring and Modeling in the Study of Climate Change and Air Pollution Impacts on Forest Ecosystems*, 5–7 October, 2010, COST FP0309, Rome, Italy, referāts.

2. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODIKA

Egles augstuma pieaugums (iepriekšnoteiktais pieaugums un apikālais augsta dzinums) atkarībā no lokālajiem apstākļiem un citiem faktoriem (**I**, **II** un **VII**), stādvieta sagatavošanas veida un papildu barības vielu nodrošinājuma (**III**, **IV** un **V**) un iedzimtības (**VI** un **VII**) vērtēts galvenokārt Latvijas centrālajā daļā (2.1. attēls), hemiboreālo mežu zonā (Barbati et al., 2007).



2.1. att. Pētījuma objektu izvietojums

Pelēkie trijstūri (▲) – mežaudzes (**I**), melnais aplis (●) – Rembate (**II** un **VII**), melnais kvadrāts (■) – Jelgava (**II**, **VI** un **VII**), melnais trijstūris (▲) – Viļķene (**III**), melnais rombs (◆) – Kalsnava (**IV** un **V**).

2.1. Augusta dzinumi

2.1.1. Datu ievākšanas metodika

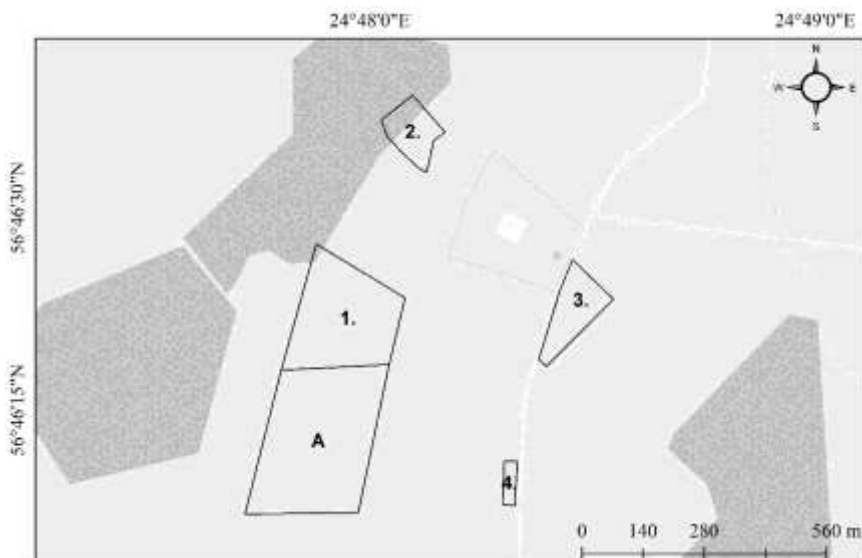
Egles apikālā augsta dzinuma sastopamība, tā veidošanās saikne ar koku augšanas apstākļiem un to izmaiņām, kā arī saistība ar koku augstumu novērtētā stādītās mežaudzēs (**I**) un brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumos (**II** un **VII**).

Kopumā nejauši izvēlētas 102 mežaudzes (**I**) trīs līdz septiņu gadu vecumā astoņos meža tipos: damaksnī (Dm, *Hylocomiosa*), vērī (Vr, *Oxalidosa*), slapjajā damaksnī (Dms, *Myrtilloso-sphagnosa*), slapjajā vērī (Vrs, *Myrtilloso-polytrichosa*), šaurlapju ārenī (As, *Myrtillosa mel.*), platlapju ārenī, (Ap, *Mercurialiosa mel.*), šaurlapju kūdrenī (Ks, *Myrtillosa turf. mel.*), platlapju kūdrenī

(Kp, *Oxalidoso turf. mel.*). Dati ievākti 2011. gada nogalē. Atkārtota datu ievākšana veikta daļā šo audžu (21 audzē) 2012. gada nogalē. Visas mežaudzēs atjaunotas stādot, mežaudžu platība $\geq 0,5$ ha.

Katrā mežaudzē uz tās garākās diagonāles izveidoti 20 apļveida parauglaukumi (platība 25 m²). Katrā parauglaukumā noteikts egļu skaits ar un bez augusta dzinumiem. Par augusta dzinumu šajā promocijas darbā uzskatīts tikai apikālais augusta dzinums, t.i., galvenā dzinuma galotnes pumpura atkārtota plaukšana un augšana pēc iepriekšnoteiktā augstuma pieauguma pārtraukšanas. Uzskaitīti tikai tie augusta dzinumi, kuru garums sasniedzis vismaz vienu centimetru. Atsevišķi 70 mežaudzēs no augstākminētajām vērtēta lokālo apstākļu piemērotība egles augšanai (t.sk., trīs faktori – konkurējošā veģetācija, augsnes mitrums un briežu dzimtas dzīvnieku radīti bojājumi) (2011. gadā 56 mežaudzēs, 2012. gadā 14 mežaudzēs), šos parametrus nosakot katrā parauglaukumā. Katrs faktors vērtēts trīs ballu skalā: a) egles augstuma attiecība pret konkurējošās veģetācijas (t.i., lakstaugi, puskrūmi, krūmi, koki) augstumu 0,5 m rādiusā (1 balle: $< 0,75$; 2 balles: $0,75-1,25$; 3 balles: $> 1,25$); b) augsnes mitrums (1 balle: sugai piemērots (atbilstošs) mitruma līmenis; 2 balles: periodiski paaugstināts mitruma līmenis; 3 balles: pastāvīgi paaugstināts mitruma līmenis); c) parauglaukumā bojāto (t.i., bojājumi galvenajam un/vai vairāk nekā 50% sānu dzinumu) koku īpatsvars (1 balle: $< 1\%$; 2 balles: $1\% - 10\%$; 3 balles $> 10\%$). Kopējās lokālo augšanas apstākļu un dzīvnieku radīto bojājumu ietekmes vērtēšanai katram parauglaukumam visu iepriekšminēto faktoru balles summētas, iegūstot no trim (egles augšanai visatbilstošākā) līdz deviņām (visneatbilstošākā) ballēm. Mežaudžu līmenī koku ar augusta dzinumiem īpatsvars aprēķināts kā parauglaukumu vidējā vērtība ($\pm 95\%$ ticamības intervāls); tāpat aprēķināts arī koku ar dzīvnieku radītiem bojājumiem īpatsvars. Meteoroloģiskie dati iegūti no trim tuvākajām meteoroloģiskajām stacijām (Rīgā, Dobeļē un Skrīveros).

Egles pluskoku pēcnācēju ģimeņu atšķirības apikālo augusta dzinumu veidošanā, kā arī šo dzinumu attīstības saikne ar koku augstumu, augstuma pieaugumu, pumpuru plaukšanas laiku un sala radītiem bojājumiem vērtēta brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumos Ķeguma novada lauku teritorijā, turpmāk tekstā – Rembatē (**II** un **VII**). Rembatē dati ievākti 2 stādījumos: Rembate-A (**II**) un Rembate-B (**II** un **VII**) (2.2. attēls). Stādījums Rembate-A ierīkots auglīgā lauksaimniecības zemē (atbilst Vr meža tipam) 2010. gada pavasarī ar trīsgadīgiem kailsakņu stādiem. Pārstāvētas 60 ģimenes 4–8 atkārtojumos, 12 koki parcelē (vienā rindā), stādīšanas attālums $2,5 \times 2,5$ m. Rembate-B stādījums izvietots četrus savstarpēji netālu esošos laukos (turpmāk tekstā “Lauks 1–4”) auglīgā lauksaimniecības zemē (atbilst Vr meža tipam) ar nedaudz atšķirīgu augsni un mikroreljefu. Stādījums ierīkots 2005. gada pavasarī ar trīsgadīgiem kailsakņu stādiem, kopumā pārstāvētas 140 ģimenes 3–4 atkārtojumos (attiecīgi pa Laukiem 1– 4: 138, 77, 95 un 16 ģimenes) 24 koku parcelēs (četras sešu koku rindas), stādīšanas attālums $2 \times 2,5$ m. Datu analīzei (**II**) no stādījuma Rembate-B izmantoti mērījumi, kas iegūti Laukos 1, 3, 4 (publikācijā **II** apzīmēti attiecīgi kā 1, 2, 3).



2.2. att. Rembates brīvapputes pēcnācēju stādījumu izvietojuma shēma: Rembate-A (A), un Rembate-B Lauki (1–4)

Koku augstums, augstuma pieaugums un augsta dzinumu sastopamība stādījumā Rembate-A vērtēta astotās augšanas sezonas beigās (2014. gada oktobris) 3887 kokiem no 60 ģimenēm, un stādījumā Rembate-B – 10. (2011. gada novembris), 11. (2012. gada oktobris) un 13. (2014. gada novembris) augšanas sezonas beigās, vērtējumam atlasot 3412 kokus no 112 ģimenēm. Pumpuru plaukšana vērtēta stādījumā Rembate-B 11. augšanas sezonas sākumā četru ballu skalā: 1 balle – ļoti vēlu plaukstoši (tekošais pieaugums ≤ 3 cm); 2 bales – vēlu plaukstoši (3 līdz 6 cm); 3 bales – agri plaukstoši (7 līdz 10 cm); 4 bales – ļoti agri plaukstoši (≥ 10 cm). Noteikta salnu bojājumu sastopamība.

Ģenētiski determinētās augsta dzinumu veidošanās atšķirības (VII) vērtētas stādījumā Rembate-B.

2.1.2. Datu statistiskā apstrāde

Mežaudžu (I) koku ar augsta dzinumiem īpatsvara saistība ar audzes biežumu novērtēta ar Spīrmena korelācijas analīzi. Lokālo apstākļu (konkurējošā veģētācija, augsnes mitrums) un dzīvnieku radīto bojājumu ietekme uz koku ar augsta dzinumiem īpatsvaru vērtēta ar bināro loģistisko vispārējo jaukta efekta lineāro modeli (GLMM) programmā R (versija 3.4.3; R Core Team, 2017), izmantojot paketi “lme4” (Bates et al., 2015). Izveidoti trīs modeļi, kuros attiecību starp kokiem ar un kokiem bez augsta dzinumiem parauglaukuma līmenī izmantoja kā atbildes mainīgo. Katrā modelī mežaudzes identifikācijas numurs ņemts vērā kā nejaušais

efekts, lai iekļautu iespējamu korelāciju (atkārtoti mērījumi) starp parauglaukumiem no vienas un tās pašas mežaudzes. Pirmajā modelī vērtēta audzes vecuma un meža tipa ietekme, izmantojot datu kopu par 102 mežaudzēm (dati ievākti 2011. gadā). Otrajā modelī vērtēta lokālo apstākļu, dzīvnieku radīto bojājumu un novērojumu veikšanas gada ietekme, izmantojot datu kopu par 70 mežaudzēm (dati ievākti 2011. un 2012. gadā). Balstoties uz šo pašu datu kopu, vērtēta kopējā lokālo apstākļu (atsevišķu faktoru vērtējumu summa) piemērotības ietekme. Vispārināto lineāro hipotēžu tests (pakete “multcomp” (Hothorn et al., 2008)) izmantots gradācijas klašu savstarpējai salīdzināšanai, ja GLMM analīzē faktoru mijiedarbība vai faktors ar vairāk nekā divām gradācijas klasēm uzrādīja būtisku rezultātu.

Parastās egles brīvapputes pēcnācēju koku datu statistiskā apstrāde veikta, izmantojot vienfaktora dispersijas analīzi (**II** un **VII**), Pīrsona korelācijas analīzi (**II** un **VII**) un Hī-kvadrāta (χ^2) testu (**II**).

2.2. Stādvieta sagatavošanas veids un barības vielu nodrošinājums

2.2.1. Datu ievākšanas metodika

Izmantotā stādvieta sagatavošanas veida (**III**) un barības vielu nodrošinājuma (**IV** un **V**) ietekme uz augstuma pieaugumu vērtēta vairākos atsevišķos eksperimentos (2.1. attēls).

Augsnes sagatavošanas veida ietekme uz koku augšanu (**III**) vērtēta divās platībās (izdalīti četri meža tipi: Dm, Vr, Vrs un Ks), katrā divos atkārtojumos. Pēc atjaunošanas cirtes veikšanas vienā platībā (Dm un Ks) daļa augsnes sagatavota ar rotējošo pacilotāju un daļa sagatavota vagās ar disku arklu, bet otrā platībā (Vr un Vrs) daļa augsnes sagatavota ar rotējošo pacilotāju un daļa atstāta bez augsnes apstrādes. Pēc augsnes sagatavošanas (2008. gada rudenī) stādīti divgadīgi konteinerstādi (augstums no 16 līdz 36 cm (vidēji $23 \pm 0,5$ cm), sakņu kakla caurmērs no 1,5 līdz 4,5 mm). Turpmākās četras augšanas sezonas abās platībās veikta agrotehniskā kopšana.

Koku kopējais augstums un trīs pēdējo gadu augstuma pieaugumi uzmērīti 2014./2015. gada ziemā, ar precizitāti līdz vienam centimetram. Zarojuma defekti (galotnes bojājumi, padēli) konstatēti nelielam koku īpatsvaram ($< 2\%$) bez saistības ar augsnes sagatavošanas veidu vai platību, un šie koki tālākajā datu analīzē nav iekļauti.

Barības vielu nodrošinājuma uzlabošanas ar pelniem ietekme uz parastās egles augšanu (**IV**) vērtēta platībā ar nosusinātu minerālaugsnī (As). Stādījumā ietvertas 18 egles parces ar 15 m buferjoslām starp tām. Pēc nejaušas izvēles katrā no tām gadu pirms stādīšanas izkaisīta viena no koksnes pelnu devām: 0 (kontrolē), 5 un 10 t ha⁻¹, katra deva lietota sešās parcelēs. Pelnu ķīmiskais saturs (2.1. tabula) bija līdzīgs literatūrā aprakstītajam (Campbell, 1990; Ozolinčius et al., 2011), pH līmenis 12,4. Stādījums ierīkots augsnē ar augstu slāpekļa saturu (Bārdule et al., 2009), tādēļ papildus slāpekļa mēslojums nav pievienots.

2.1. tabula

Ekspērimētā izmantoto un literatūrā aprakstīto pelnu ķīmiskais sastāvs

Ķīmiskais elements	Ķīmiskā elementa saturs izmantotajos pelnos, % ¹	Literatūrā aprakstītais ķīmiskā elementa saturs pelnos, % ^{2,3}
P	0.92	0.30–1.40
K	2.30	1.40–4.20
Ca	22.00	7.40–33.10
Mg	1.50	0.70–2.20
S	0.38	0.40–0.70
Fe	0.39	0.30–2.10
Mn	0.67	0.30–1.30
Zn	0.11	0.0004–0.0820
Cu	0.0054	0.0052–0.0289
Mo	0.0001	-
B	0.0158	0.0022–0.0225
Na	0.09	-

¹ Brūvelis (2005), ² Campbell (1990); ³ Ozolinčius et al. (2011).

Divgadīgi egles stādi stādīti gadu pēc pelnu izkaisīšanas (2004. gada pavasarī). Divpadsmit mēnešus pēc stādījuma ierīkošanas aptuveni puse stādu izrakti, un tiem noteikta sakņu un stubra biomasa. Palikušajiem kokiem 10 gadus pēc stādījuma ierīkošanas (2014. gadā pirms veģetācijas sezonas) mērīts augstums un caurmērs krūšaugstumā. Katrā parcelē ievākti augsnes paraugi atkārtotai augiem pieejamo barības vielu saturu un augsnes vides reakcijas noteikšanai. Paraugi sagatavoti atbilstoši LVS ISO 11464 (2005) standartam. Noteikts kopējais slāpekļa (N) saturs (LVS ISO 11261 (2002)), augiem pieejamā fosfora (P-PO₄³⁻) saturs (LVS 398 (2002)) un kālija (K) saturs (ekstrahēts ar amonija acetātu un noteikts ar atomu spektroskopiju).

Augsnes ielabošanas ar kompleksajiem minerālmēsliem ietekme (**V**) uz egles augstuma pieaugumu vērtēta egles stādījumā damaksnī. Stādījums ierīkots 1982. gadā ar vietējās proveniencas četrgadīgiem kailsakņu stādiem, presētas kūdras briketēs “Brika” (Rubtsow, 1979) iepriekš sagatavotā augsnē ar biežumu 4000 koki ha⁻¹, četros 200 koku blokos. Pēc stādīšanas katram kokam visapkārt 10 cm attālumā apbērts minerālmēslojums, nodrošinot devu 14 g N (NH₄NO₃), 6 g P (superfosfāts) un 11 g K (KNO₃) vienam kokam, kas atbilst attiecīgi 56, 24 un 44 kg ha⁻¹. Pirmajā augšanas sezonā divreiz veikta ķīmiskā veģetācijas ierobežošanas ap koku, izmantojot simazīnu koncentrācijā 3 kg ha⁻¹.

Koku augstums un caurmērs krūšaugstumā mērīts 2012. gada februārī 586 kokiem, kuriem veikta augsnes ielabošana stādīšanās brīdī, un 592 kontroles kokiem. Augsnes ielabošanas ilgtermiņa ietekmes vērtēšanai 2013. gada oktobrī (mežaudzes vecums 34 gadi) 30 kokiem, ap kuriem tā veikta, un 30 kontroles valdaudzes kokiem bez redzamiem bojājumiem krūšaugstumā veikti 5 mm urbumi ar Preslera pieauguma svārpstu. Izurbtie koksnes paraugi laboratorijā apstrādāti koksnes analīzes sistēmā LignoStation (RinnTECH Inc., Heidelberg, Germany), katram paraugam iegūstot datus par katras gadskārtas kopējo platumu un vēlinās koksnes platumu (Schinker et al., 2003).

2.2.2. Datu statistiskā apstrāde

Meža tipa un augsnes sagatavošanas veida ietekme uz koku augstumu, kā arī konkurējošās veģetācijas projektīvā seguma un augstuma atšķirības pirms un pēc agrotehniskās kopšanas, un augsnes sagatavošanas veida ietekme uz agrotehniskajai kopšanai nepieciešamo laiku (**III**) vērtēta ar vienfaktora dispersijas analīzi, starpību būtiskuma vērtēšanai izmantots Tukey kritērijs. Augsnes sagatavošanas veida, meža tipa un abu šo faktoru mijiedarbības ietekme vērtēta ar divfaktoru dispersijas analīzi. Augsnes sagatavošanas veida ietekme uz koku augšanu vērtēta arī 100 mežaudzes augstākajiem kokiem ha^{-1} (Donis, 2014). Augsnes sagatavošanas veida ietekme uz koku augstumu vērtēta ar Hī-kvadrāta (χ^2) testu, salīdzinot koku sadalījumu augstuma gradācijas klasēs ($h \leq 1,5$ m; $1,5 < h \leq 2$ m; $2 < h \leq 2,5$ m; $h > 2,5$ m) katrā meža tipā. Aprēķini veikti programmā SPSS ar 95% ticamības līmeni.

Dažādas minerālmēsļu devas ietekme (**IV**) uz NPK sastāvu augsnē un uz koku biomasu un dimensijām salīdzināta, izmantojot vispārinātos lineāros modeļus. Devas ietekme vērtēta ar jaukta efekta modeļiem, parceles numuru pieņemot par nejaušu faktoru.

Papildus barības vielas saņēmumu un kontroles koku gadskārtu platumu mērījumu sērijas (**V**) periodam no 1985. gada līdz 2013. gadam šķērsdatētas un to kvalitāte vizuāli un statistiski pārbaudīta programmā COFECHA (Grissino- Mayer, 2001; Speer, 2010). Sērijas, kas uzrādīja nesaderību ar pārējo sēriju kopu, tika noraidītas, atstājot tālākai datu analīzei 24 koku no platības ar ielabotu augsni un 24 kontroles koku paraugus.

2.3. Pluskoku brīvapputes ģimeņu atšķirības

2.3.1. Datu ievākšanas metodika

Ģenētiski determinēto atšķirību (ģimeņu un provenienču līmenī) ietekme uz augstuma pieauguma veidošanos (**VI** un **VII**) vērtēta divos brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumos Latvijas centrālajā daļā (2.1. un 2.2. attēls).

Stādmateriāla izcelsmes reģiona ietekme uz augstuma pieauguma veidošanos (**VI**) vērtēta stādījumā Ozolnieku novada teritorijā, MPS Jelgavas mežu novadā,

turpmāk tekstā – Jelgavā. Jelgavas stādījums ierīkots 2006. gadā meža zemē (As) ar divgadīgiem kailsakņu stādiem, stādīšanas attālums 3×2 m attālumā. Pārstāvētas divas proveniencas no rietumu un četras proveniencas no austrumu meža reproduktīvā materiāla ieguves apgabala (Gailis, 1993). Katra proveniencē pārstāvēta ar 10 pussibu ģimenēm. Katra ģimene pārstāvēta piecos (atsevišķos gadījumos – četros) atkārtojumos, 12 koku parcelēs (trīs četru koku rindas).

Koku pieauguma mērījumi veikti 2010. gadā, septītajā augšanas sezonā. Izvēlēti 1273 koki bez dubultām galotnēm un redzamiem bojājumiem: 843 koki no apvienota centrālā un austrumu un 430 koki no rietumu proveniencu reģiona (meža reproduktīvā materiāla ieguves apgabala). Mērījums veikts garākajam dzinumam katru sesto līdz astoto dienu laika posmā no 25. maija līdz 20. jūlijam (deviņas reizes) ar precizitāti līdz 1 mm. Katrā mērījumu atkārtojumā visi koki mērīti vienā un tajā pašā dienā. Koku kopējais augstums pēc pieauguma pārtraukšanas mērīts 10. septembrī.

Ģimenes ietekme uz augstuma pieauguma veidošanos (**VII**) vērtēta egles brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumā Rembate-B, Laukā-1 (aprakstu sk. 2.1.1.) un Jelgavā (aprakstu un mērījumu veikšanas metodiku sk. 2.3.1.-VI). Stādījumā Rembate-B mērījumi veikti devītajā augšanas sezonā. Stādījums sākotnēji apsekots katru otro dienu, lai noteiktu pumpuru plaukšanas laiku (*bud burst*), t.i., kad aptuveni pusei no kokiem plauka pumpuri. Augstuma pieauguma mērījumi turpmāk veikti reizi nedēļā kokiem bez redzamiem dzīvnieku, kukaiņu radītiem bojājumiem vai lauztu galotni. Kopumā stādījumā Rembate-B mērījumi veikti 88 ģimenēm, 1766 kokiem (vidēji 20 koki no ģimenes). No Jelgavas stādījumā ievāktajiem datiem ģimenes ietekmes vērtēšanai izmantoti dati par 59 ģimenēm, 1239 kokiem (vidēji 21 koks no ģimenes).

2.3.2. Datu statistiskā apstrāde

Proveniencu reģiona ietekme uz augstuma pieauguma sākšanu (binomiāls mainīgais lielums), nedēļas vidējo augšanas intensitāti (mm, dienā), kopējo augstuma pieaugumu un koka augstumu novērojumu perioda sākumā un beigās vērtēta (**VI**), izmantojot lineāros jauktos modeļus (Zuur et al., 2009). Augstuma pieauguma uzsākšanas un pārtraukšanas laika atšķirības vērtētas ar vispārīgajiem modeļiem, ar atlikumu binomiālu sadalījumu un “logit link” funkciju. Proveniencas ietekmes uz augšanu vērtēšanai šie modeļi salīdzināti ar dispersijas analīzi.

Augstuma pieauguma liknes raksturošanai un salīdzināšanai (**VII**), katram kokam augstuma mērījumi aproksimēti ar Gompertz vienādojumu (2.1):

$$f(A) = \alpha \exp(-\beta \exp(-kA)), \quad (2.1)$$

kur:

α – asimptota (*asymptote parameter*) – maksimālās vērtības koeficients pieauguma izlīdzināšanās laikā jeb stacionārajā fāzē;

β – pārliekuma punkts (*displacement parameter*) – horizontālās nobīdes koeficients, kas raksturo pieauguma tempa izmaiņu uzsākšanas laiku;
k – pieauguma temps – koeficients, kas raksturo attiecību starp maksimālās vērtības koeficientu jeb asimptotu un pārliekuma punktu;
A – novērojuma diena.

Katra stādījuma ģimenes kārtotas dilstošā secībā pēc to augstuma pieauguma, un pēc ģimenes vidējām vērtībām atlasīti 10% “labāko” un 10% “sliktāko” ģimeņu. Izdalītajām ģimeņu grupām no individuālu koku datiem aprēķināti vidējie pieauguma līkni raksturojošie koeficienti, vidējais augstuma pieaugums, kumulatīvais augstuma pieaugums un kumulatīvais augstuma pieauguma īpatsvars un to 95% ticamības intervāli. Ģimenes ietekme uz šiem rādītājiem noteikta ar vienfaktora dispersijas analīzi, bet saistības starp augšanu raksturojošiem parametriem noteiktas ar Pīrsona korelācijas analīzi.

3. REZULTĀTI

3.1. Augusta dzinumi

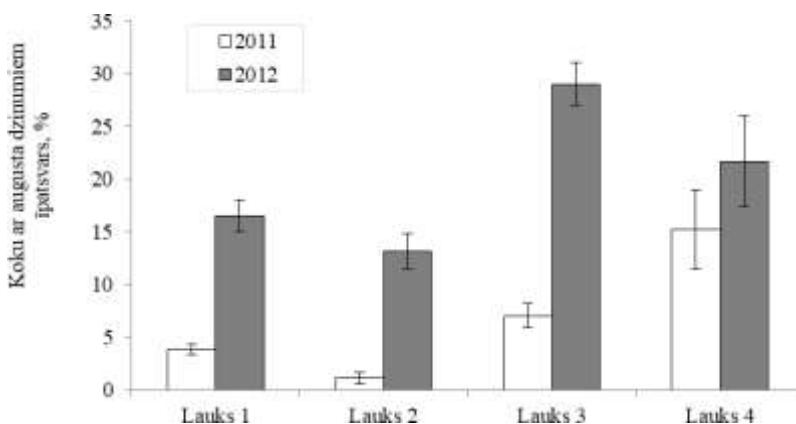
Parastās egles (*Picea abies* (L.) Karst.) jaunaudzēs vecumā novērtētajās mežaudzēs un pēcnācēju pārbažu stādījumos datu ievākšanas periodā (4 gadi) konstatētais koku ar augusta dzinumiem īpatsvars bija robežās no 0% līdz 27%. Brīvapputes pēcnācēju pārbažu stādījumos konstatētais koku ar augusta dzinumiem īpatsvars bija 6% stādījumā Rembate-A astoņu gadu vecumā un 8,7%, 26,9% un 8,1% stādījumā Rembate-B attiecīgi 10, 11 un 13 gadu vecumā (**II**). Koku īpatsvars ar augusta dzinumiem vismaz vienā no novērojumu gadiem stādījumā Rembate-B bija 32,3% (**II**). Apsekotajās mežaudzēs koku ar augusta dzinumiem īpatsvars vidēji 6,5%, variējot no 0% līdz 25% (**I**). Līdzīgs koku ar augusta dzinumiem īpatsvars (7%) konstatēts Baltijas valstu proveniencēm piecu gadu vecumā stādījumā Zviedrijā (Danusevičius & Persson, 1998), un tādā pašā vecumā Latvijas proveniencēm Norvēģijā (Søgaard et al., 2011), bet atsevišķos gadījumos Norvēģijā mežaudzēs koku ar augusta dzinumiem īpatsvars bijis pat līdz 80% (Kvaalen et al., 2010).

Gan pēcnācēju pārbažu stādījumos, gan mežaudzēs koku ar augusta dzinumiem īpatsvaram konstatēta nozīmīga starpgadu mainība. Egles mežaudzēs koku ar augusta dzinumiem īpatsvars 2011. gadā bija nedaudz ($p > 0,05$) zemāks nekā 2012. gadā: attiecīgi – 9,1% un 12,9% (**I**). Savukārt pēcnācēju pārbažu stādījumā Rembate-B (visi lauki kopā) atšķirības starp novērojumu gadiem bija būtiskas ($p < 0,05$) un nozīmīgas: attiecīgi 6,8% un 20,1%. Augusta dzinumu sastopamības mainība tiek saistīta ar meteoroloģisko apstākļu ietekmi, īpaši – gaisa temperatūru to veidošanās laikā (Skrøppa & Steffenrem, 2016). Konstatēts, ka novērojumu veikšanas teritorijā 2011. gadā augusta temperatūra bija nedaudz (vidēji par 3°C) zemāka nekā nākamajā gadā. Analizējot jūlija un augusta temperatūru īsākos laika posmos, 2012. gadā – atšķirībā no 2011. gada – redzams straujš tās pieaugums starp jūlija trešo un ceturto nedēļu (**I**). Iespējams, ka šīs relatīvās meteoroloģisko faktoru izmaiņas atbilstošā augšanas cikla brīdī (ne faktoru vidējās vērtības) ir veicinājušas augusta dzinumu veidošanos. Līdzīgi, šāda īstermiņa izmaiņu ietekme palielinātam nokrišņu daudzumam veģetācijas sezonas beigās ir viens no literatūrā biežāk minētajiem augusta dzinumu attīstību stimulējošiem faktoriem (Carvell, 1956; McCabe & Labisky, 1959; Hallgren & Helms, 1988).

Mežaudžu rādītājiem – biežumam, meža tipam un meža tipa-mežaudzēs vecuma mijiedarbībai – nebija būtiskas ietekmes uz koku ar augusta dzinumiem īpatsvaru (visos gadījumos $p > 0,05$; **I**), tomēr šāda ietekme iepriekš konstatēta gan vecumam (Ehrenberg, 1963; Aldén, 1971; Rone, 1985; von Wühlisch & Muhs, 1986; Ununger et al., 1988; Søgaard et al., 2011), gan augsnes auglībai (Søgaard et al., 2011). Savukārt stādījumā Rembate-B, kas izvietots savstarpēji netālu esošos laukos auglīgā lauksaimniecības zemē (visi atbilst Vr meža tipam) ar nelielām augsnes un mikroreljefa atšķirībām, koku ar augusta dzinumiem īpatsvars atšķirās

būtiski. Tas bija no 1,2% līdz 15,2% desmit gadu vecumā un no 13,1% līdz 29,0% 11 gadu vecumā, parādot lokālo apstākļu ietekmi uz apikālo augsta dzinumu sastopamību.

Egles mežaudzēs koku ar augsta dzinumiem īpatsvaru ievērojami ietekmējuši gan lokālie apstākļi (zemsedzes veģetācijas konkurence, augsnes mitrums), gan dzīvnieku radīti bojājumi (3.1. attēls, I). Konkurējošās zemsedzes veģetācijas un augsnes mitrums ietekme uz augsta dzinumu veidošanos bija statistiski būtiska ($\chi^2 = 45,0$, $p < 0,001$). Mežaudzēs bez zemsedzes veģetācijas konkurences (vērtējums 1 balles) bija būtiski lielāks koku ar augsta dzinumiem īpatsvars nekā mežaudzēs ar vidēju un lielu konkurenci (2 un 3 balles): attiecīgi – 14,5%, 6,0% un 2,2%. Līdzīgi arī audzēs ar eglei piemērotu augsnes mitrumu koku ar augsta dzinumiem īpatsvars bija lielāks nekā audzēs ar periodiski vai pastāvīgi paaugstinātu augsnes mitrumu: attiecīgi 11,7%, 4,8% un 1,7%. Abos gadījumos statistiski būtiski ($p < 0,05$) no pārējām vērtējuma grupām atšķīrās tikai vislabvēlīgākajos lokālajos apstākļos augošie koki, bet starp pārējām grupām atšķirības nebija būtiskas (I). Koku ar augsta dzinumiem īpatsvars bija mazāks dzīvnieku vairāk bojātās audzēs (11,3%, 8,2% un 7,7%, attiecīgi pieaugot vērtējuma ballei), bet atšķirības starp vērtējuma grupām nebija statistiski būtiskas ($p > 0,05$).

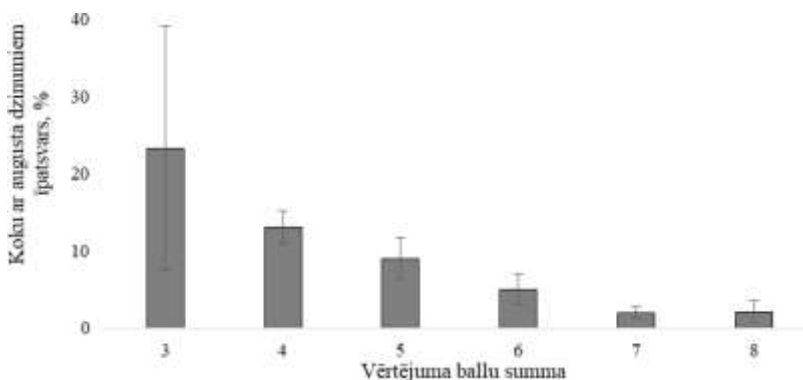


3.1. att. Vidējais egļu ar augsta dzinumiem īpatsvars ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) stādījumā Rembate-B divos uzmērīšanas gados

Katrs faktors vērtēts trīs ballu skalā, kur (1) faktora negatīva ietekme uz egles augšanu nav novērota, (2) faktors nedaudz negatīvi ietekmēja egles augšanu un (3) faktors ievērojami negatīvi ietekmēja egles augšanu.

Faktoru mijiedarbības analīzes rezultāti liecina, ka katram no šiem faktoriem bija atsevišķa loma augsta dzinumu veidošanās veicināšanā (I). Līdz ar to lokālo apstākļu savstarpējai kombinācijai, t.i., zemsedzes veģetācijas konkurences, augsnes mitrums un dzīvnieku radīto bojājumu summāram vērtējumam, bija izteikta būtiska

ietekme uz augusta dzinumu veidošanos (3.2. attēls, **I**). Kokiem, kas auga vislabvēlīgākajos lokālajos apstākļos (vismazākā ballu summa), bija vislielākais augusta dzinumu īpatsvars. Savukārt, ja vismaz viens no faktoriem kādā audzē novērtēts ar trīs ballēm (ievērojama negatīva ietekme), augusta dzinumu īpatsvars nepārsniedza 10% (**I**). Piemēram, piecus gadus vecā jaunaudzē (Dm) ar izteiktu veģētācijas konkurenci un 22% koku ar redzamiem dzīvnieku radītiem bojājumiem koku ar augusta dzinumiem īpatsvars bija tikai 1,8%, kamēr tāda paša vecuma jaunaudzē tajā pašā meža tipā ar redzamām regulāras zemsedzes veģētācijas ierobežošanas pazīmēm un bez dzīvnieku radītiem bojājumiem koku ar augusta dzinumiem īpatsvars bija 25,5%.



3.2. att. Vidējais egļu ar augusta dzinumiem īpatsvars ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) mežaudzēs atkarībā no lokālo apstākļu (zemsedzes veģētācijas konkurences, augsnes mitruma) un briežu dzimtas dzīvnieku radīto bojājumu vērtējumu summas

Katrs faktors vērtēts trīs ballu skalā, kur (1) faktora negatīva ietekme uz egles augšanu nav novērota, (2) faktors nedaudz negatīvi ietekmēja egles augšanu un (3) faktors ievērojami negatīvi ietekmēja egles augšanu

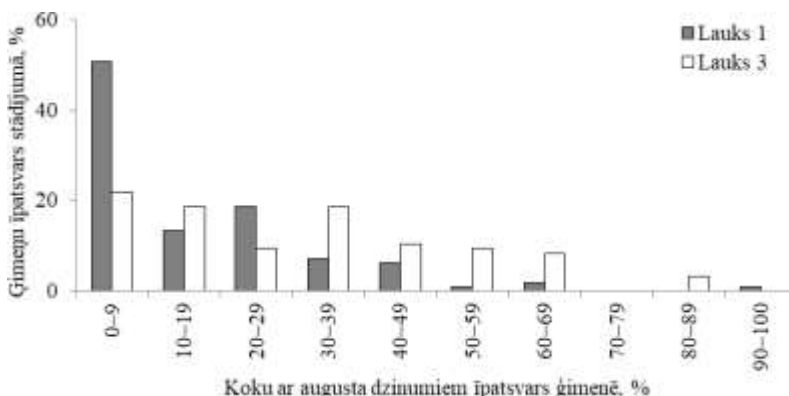
Atkārtoto novērojumu rezultāti liecina, ka augusta dzinumu sastopamības pieaugums varētu būt saistīts ar agrotehnisko kopšanu, kas veikta 2011. gadā (**I**). Piemēram, pēc agrotehniskās kopšanas augšanas sezonas beigās trīs gadus vecā jaunaudzē (Kp) koku ar augusta dzinumiem īpatsvars pieauga no 10% 2011. gadā līdz 26% 2012. gadā, bet piecus gadus vecā jaunaudzē (Dm) – no 18% 2011. gadā līdz 33% 2012. gadā. Līdzīgi, ievērojami lielāka augusta dzinumu sastopamība novērota duglāzijas audzēs pēc konkurējošās veģētācijas ierobežošanas (Roth & Newton, 1996).

Konstatēta būtiska ($p < 0,05$) ģimenes ietekme uz koku ar augusta dzinumiem īpatsvaru, un šādu koku īpatsvars ģimenēs stādījumā Rembate-B bija no 0% līdz 42%. Labvēlīgos apstākļos, kā tas bija 2012. gadā stādījuma Rembate-B Laukā-3 (auglīgā augsnē, vasarā ar izteiktu gaisa temperatūras paaugstināšanos

iepriekšnoteiktā pieauguma veidošanās beigās), apikālo augusta dzinumu veidoja ne tikai lielāks koku īpatsvars ģimenē, bet arī lielāks ģimeņu īpatsvars (3.3. attēls).

Pumpuru plaukšanas laiks ir lielā mērā ģenētiski noteikts (Hannerz et al., 1999; Skrøppa & Steffenrem, 2019), un tam konstatēta saikne ar augusta dzinumu veidošanos (II). Starp agrāk plaukstošajiem kokiem bija proporcionāli vairāk tādu, kas veidoja augusta dzinumus, nekā starp vēlāk plaukstošajiem. Piemēram, otrajā laukā ļoti agri plaukstošo koku grupā (4. plaukšanas balle) 56% veidoja augusta dzinumus, savukārt ļoti vēlu plaukstošo koku grupā (1. plaukšanas balle) – tikai 22%. Katrā no plaukšanas vērtējuma ballēm vidējais augstuma pieaugums bija būtiski ($p < 0,001$) lielāks kokiem ar augusta dzinumiem nekā kokiem bez tiem (II). Zviedrijas centrālajā daļā, pretēji šiem rezultātiem, lielāks augusta dzinumu īpatsvars novērots kokiem no vēlu plaukstošām proveniencēm (Danusevičius & Persson, 1998).

Kopumā agrāka plaukšana nodrošināja kokiem priekšrocības, un to augstuma pieaugums bija lielāks nekā vēlāk plaukstošiem kokiem. Tomēr agri plaukstošiem kokiem arī salnu bojājumu risks bija lielāks: bojājumu īpatsvars ļoti agri un agri plaukstošiem kokiem (4. un 3. balle) bija attiecīgi 87% un 2%, kamēr vēlu un ļoti vēlu plaukstošiem kokiem (2. un 1. balle) bojājumi netika konstatēti (II). Salnu bojājumiem bija būtiska negatīva ietekme uz augstuma pieaugumu: visagrāk plaukstošo koku (4. balle) augstuma pieaugums kokiem bez salnu bojājumiem bija vislielākais, bet ar sala bojājumiem – vismazākais, atpaliekot pat no visvēlāk plaukstošo koku (1. balle) vidējā pieauguma (II). Augusta dzinumu veidošana lielā mērā spēja kompensēt salnu bojājuma negatīvo ietekmi, un kokiem ar augusta dzinumiem salnu radītais augstuma samazinājums bija mazāks nekā kokiem bez augusta dzinumiem (II).

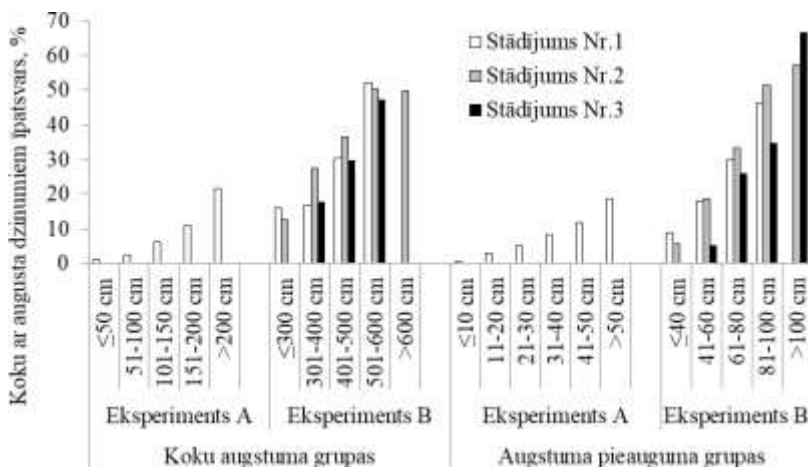


3.3. att. Ģimeņu īpatsvars ar noteiktu koku ar augusta dzinumiem īpatsvaru stādījumā Rembate-B 11 gadu vecumā

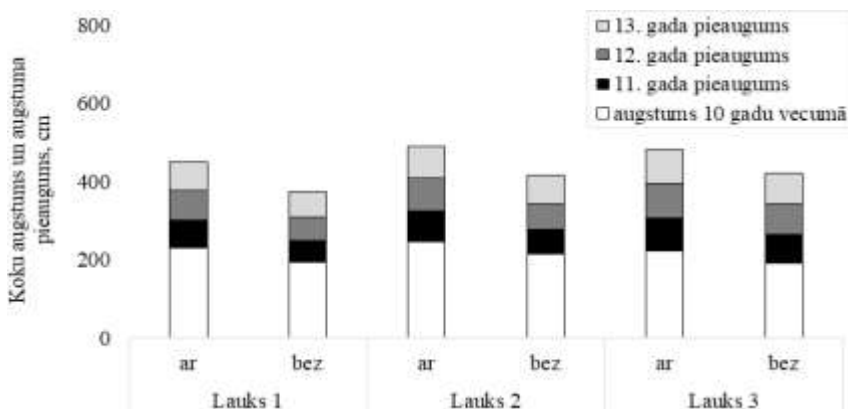
Augusta dzinumu veidošanās saistīta ar koku augstumu. Stādījumā Rembate-A būtiski ($p < 0,001$) lielāks koku ar augusta dzinumiem īpatsvars bija kokiem ar lielāku augstumu, kā arī kokiem ar lielāku pēdējā gada augstuma pieaugumu (3.4. attēls), grupās ar augstākām produktivitāti raksturojošo pazīmju vērtībām sasniedzot aptuveni 20%, bet grupās ar zemākajām šo pazīmju vērtībām – tikai aptuveni 1%. Arī stādījuma Rembate-B visos laukos konstatēta līdzīga sakarība – koku grupās ar lielāko augstumu un augstuma pieaugumu augusta dzinumi bija vidēji 47–68% koku, bet lēni augošu koku grupās tie bija tikai 5–18% koku; atšķirības starp grupām bija statistiski būtiskas ($p < 0,001$).

Augstuma pieaugums astotajā augšanas sezonā stādījumā Rembate-A bija ievērojami (par 68%) un būtiski ($p < 0,001$) lielāks kokiem ar augusta dzinumiem nekā kokiem bez tiem – attiecīgi $44 \pm 2,4$ cm un $26 \pm 1,7$ cm (II). Līdzīgi arī stādījumā Rembate-B kokiem ar augusta dzinumiem trīs pēdējo gadu augstuma pieaugums bija statistiski būtiski ($p < 0,001$) lielāks nekā kokiem bez augusta dzinumiem, sasniedzot starpību 10–14 cm. Šādu šķietami samērā nelielu kvantitatīvu atšķirību kumulatīvā ietekme uz koku augstumu ir nozīmīga.

Kumulatīvais efekts šīm augstuma pieauguma atšķirībām bija būtisks ($p < 0,001$): koku augstums 13. augšanas sezonas beigās kokiem ar augusta dzinumiem un kokiem bez tiem stādījumā Rembate-B atsevišķos laukos bija attiecīgi $450 \pm 11,8$ cm un $374 \pm 7,8$ cm (Lauks 1), $490 \pm 8,1$ cm un $416 \pm 7,4$ cm (Lauks 3, Trial 2) un $481 \pm 16,0$ cm un $420 \pm 12,2$ cm (Lauks 4, Trial 3; 3.5. attēls, II). Koki ar augusta dzinumiem tātad bija par 14–20% augstāki nekā koki bez šiem dzinumiem. Arī stādījumā Rembate-A rezultāti bija līdzīgi: astoņu gadu vecumā koku ar augusta dzinumiem vidējais augstums par 29% ($p < 0,001$) pārsniedza koku bez augusta dzinumiem augstumu (attiecīgi $148 \pm 5,8$ cm un $115 \pm 1,4$ cm).



3.4. att. Koku ar augusta dzinumiem īpatsvars atkarībā no to augstuma un iepriekšējā gada augstuma pieauguma



3.5. att. Koku augstums desmit gadu vecumā un trīs pēdējo gadu (11.– 13. gada) augstuma pieaugums eglēm ar augsta dzinumiem un bez tiem stādījumā Rembate-B

Ģimeņu līmenī, stādījumā Rembate-A (II) koku īpatsvars ar augsta dzinumiem bija būtiski saistīts ar augstuma pieaugumu ($r = 0,44$; $p < 0,001$), bet ar augstumu korelācija nebija statistiski būtiska ($r = 0,22$; $p = 0,09$). Stādījumā Rembate-B koku īpatsvars ar augsta dzinumiem bija būtiski ($p < 0,01$) saistīts ar augstuma pieaugumu un kopējo augstumu gan stādījumā kopumā (attiecīgi $r = 0,49$ un $r = 0,51$), gan katrā laukā atsevišķi (attiecīgi $r = 0,41\dots0,71$ un $r = 0,48\dots0,70$). Sakarība starp koka augstumu un augsta dzinumu veidošanos konstatēta arī iepriekš koku selekcijas stādījumos Latvijā (Rone, 1975) un provenienču pārbaužu stādījumos Zviedrijā (Danusevičius & Persson, 1998).

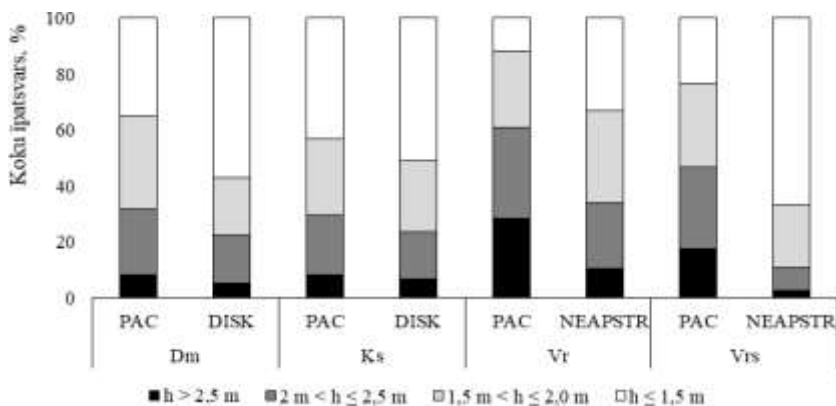
3.2. Stādvieta sagatavošanas veids

3.2.1. Augsnes sagatavošanas ietekme uz augšanu

Koka augstumu astoņu gadu vecumā būtiski ietekmēja meža tips, augsnes sagatavošanas veids un abu šo faktoru mijiedarbība (visi $p < 0,001$, III), bet stādījuma atkārtojumam nebija būtiskas ietekmes ($p > 0,05$). Vislielākais koku augstums (neatkarīgi no augsnes sagatavošanas veida) konstatēts kokiem vērī ($198 \pm 3,8$ cm). Līdzīgi arī Lietuvā šāda vecuma koki šajā meža tipā (*Oxalidosā*) sasniedz lielāko augstumu (Gradeckas & Malinauskas, 2005), apliecinot meža tipa piemērotību ražīgu parastās egles mežaudžu veidošanai.

Kokiem, kas stādīti uz pacilām, augstums bija ievērojami un būtiski lielāks nekā kokiem, kas stādīti iepriekš neapstrādātā augsnē (augstuma starpība 27 cm jeb 17,8%) vai vagās (augstuma starpība 55 cm jeb 35,7%). Vērtējot koku īpatsvaru

četrās augstuma grupās, visos meža tipos pacilās sagatavotajās platībās konstatēts lielāks augstāko koku īpatsvars salīdzinājumā ar vagās sagatavotajām vai neapstrādātajām platībām (3.6. attēls). Koku augstuma atšķirības ar dažādām metodēm gatavotā augsnē bija statistiski būtiskas ($p < 0,05$) vēri un slapjajā vēri, un šāda tendence konstatēta arī damaksnī ($p = 0,05$) un šaurlapju kūdrēnī. Līdzīga augsnes sagatavošanas veida ietekme uz egles augstumu konstatēta Somijā (Uotila et al., 2010).



3.6. att. Koku īpatsvara sadalījums augstuma grupās astoņu gadu vecumā ar pacilotāju (PAC) un disku arklu (DISK) sagatavotā augsnē un iepriekš neapstrādātā (NEAPSTR) augsnē damaksnī (Dm), šaurlapju kūdrēnī (Ks), vēri (Vr) un slapjajā vēri (Vrs)

Koku augstuma atšķirības ar pacilotāju gatavotā augsnē, salīdzinot ar citiem augsnes sagatavošanas veidiem, bija būtiskas ($p < 0,05$, **III**) meža tipos minerālaugsnēs ar normālu mitruma režīmu (Dm, Vr), kā arī slapjās minerālaugsnēs (Vrs). Mazāk izteiktas ($p = 0,09$) atšķirības konstatētas šaurlapju kūdrēnī. Iespējams, tas saistīts ar sala izcilāšanas (*frost have*) ietekmi, kas Latvijā visbiežāk vērojama tieši susinātās kūdras augsnēs (Mangalis, 2004). Somijas centrālajā daļā novērots, ka sala izcilāšana visbiežāk rodas platībās, kur augsne gatavota vagās (Heiskanen et al., 2013). Līdzīgi rezultāti par augstuma pārkumu kokiem, kas stādīti uz pacilām, iegūti vairākos Zviedrijā un Somijā veiktos pētījumos (Saarinen, 2007; Lehtosalo et al., 2010; Uotila et al., 2010; Hallsby & Örlander, 2013). Šajā reģionā konstatētās koku augstuma atšķirības ar dažādām metodēm gatavotās augsnēs bija mazākas (Örlander et al., 1990, 1998) nekā mūsu pētījumā iegūtajos rezultātos (**III**), kas, iespējams, saistīts ar koku lēnāku augšanu izteiktāka ziemeļu klimata apstākļos.

Pacilu pozitīvā ietekme uz koku augšanu (**III**) saistīta ar paaugstinātu slāpekļa pieejamību (straujāku mineralizāciju) otrajā un trešajā augšanas sezonā (Smolander & Heiskanen, 2007; Nieminen et al., 2012), kas veicina koku virszemes biomasas palielināšanos un sakņu augšanu (Nordborg et al., 2003). Augsnes gatavošana

samazina arī lielā priežu smecernieka radītos bojājumus, turklāt šis efekts novērots arī gadījumos, ja stādiem kokaudzētavā veikta apstrāde ar insekticīdu (Heiskanen et al., 2013). Piemēram, pētījumā Somijā pirmajā augšanas sezonā iepriekš neapstrādātā augsnē mizas bojājumi konstatēti 76% egles stādu, savukārt ar pacilām gatavotā augsnē – tikai 1% stādu (Heiskanen & Viiri, 2005). Stādi ar smecernieka radītajiem bojājumiem ir novājināti un veido mazāku augstuma pieaugumu (Heiskanen & Viiri, 2005; Heiskanen et al., 2013). Ņemot vērā, ka pētītās platības (III) ierīkotas pēc skujkoku atjaunošanas cirtes veikšanas (t.i., platībās ar vislielāko smecernieka bojājumu risku), augsnes sagatavošana, iespējams, ierobežojusi smecernieka izplatību, tādējādi ietekmējot koku augstuma atšķirības (III). Pacilu veidošana labvēlīgi ietekmē arī augsnes temperatūru (Kankaanhuhta et al., 2009; Heiskanen et al., 2016), un kopā ar uzlabotu barības vielu pieejamību un aizsardzību pret smecernieka radītiem bojājumiem veicina stādu labāku ieaugšanu un straujāku sākotnējo augšanu, salīdzinot ar laukumos vai vagās gatavotu augsni.

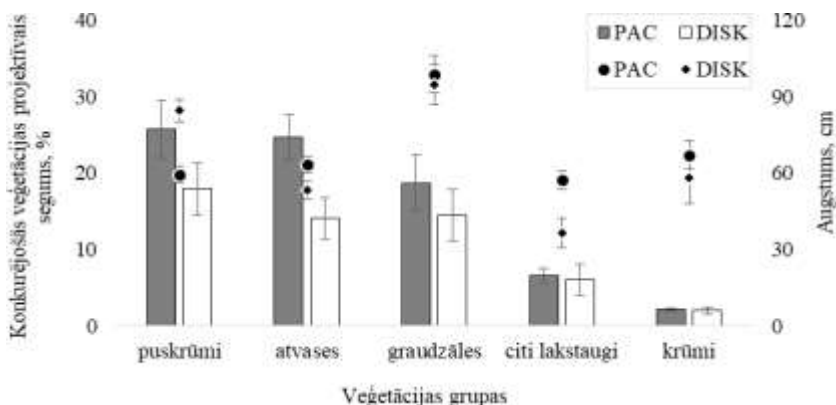
Audzes dominējošo koku pēdējo trīs sezonu augstuma pieaugums ar pacilām sagatavotā augsnē bija lielāks nekā vagās sagatavotā augsnē (III). Statistiski būtiskas atšķirības konstatētas damaksnī astotajā augšanas sezonā. Savukārt sestajā augšanas sezonā būtiskas atšķirības nav konstatētas. Astotajā un septītajā sezonā platībās ar pacilās sagatavotu augsni augstuma pieaugums bija lielāks nekā platībās, kur augsnes sagatavošana netika veikta, bet sestajā sezonā būtiskas atšķirības konstatētas tikai slapjajā vērī ($p < 0,05$, III). Kopumā iegūtie rezultāti saskan ar konstatēto Somijā: vidējais augstuma pieaugums eglēm, kas stādītas uz pacilām, bija nedaudz lielāks nekā tām, kas stādītas vagās (attiecīgi $23,7 \pm 17,4$ un $20,6 \pm 13,6$ cm), un, veidojot kumulatīvu efektu, devītās augšanas sezonas beigās augstuma atšķirības bija būtiskas (Saksa et al., 2005).

3.2.2. Augsnes sagatavošanas ietekme uz konkurējošo veģētāciju

Aizzēlums platība daļā, kur to tieši nav ietekmējis augsnes sagatavošanas agregāts (starp vagām un pacilām), abos augsnes sagatavošanas veidos bija līdzīgs (III). Savukārt, vidējais projektīvais veģētācijas segums pirms agrotehniskās kopšanas bija lielāks ar pacilām sagatavotā augsnē, salīdzinot ar vagās sagatavotu augsni: attiecīgi 78% un 54% (III). Līdzīgos klimatiskajos apstākļos Lietuvā konstatēts, ka augsnes sagatavošanas veids ietekmē stādu noēnojumu, un līdz ar to arī agrotehniskās kopšanas nepieciešamību. Vismazāk noēnoti ir stādi platās (100 cm) vagās un uz augstām (30 cm) pacilām (Suchockas et al., 2014).

Augsnes sagatavošana palielina konkurējošās veģētācijas sugu daudzveidību (Balandier et al., 2006), bet ne vienmēr augsnes gatavošana izmaina konkurējošās veģētācijas ietekmi uz stādu augšanu. Tās nelabvēlīgā ietekme saistīta tieši ar attālumu līdz stādam, un šo ietekmi var samazināt, palielinot apstrādātās vietas laukumu un apstrādes dziļumu (Suchockas et al., 2014). Platībās, kur augsne sagatavota pacilās un vagās, konkurējošās veģētācijas grupu īpatsvars bija līdzīgs (3.7. attēls), un koku/krūmu atvases, puskrūmi (avenes) un graudzāles veidoja lielāko aizzēluma daļu (85% līdz 89%). Arī vidējais svērtais (pēc projektīvā seguma)

konkurējošās veģētācijas augstums bija līdzīgs ($p > 0,05$). Pacilās sagatavotā augsnē graudzāles bija augstākas nekā citas veģētācijas grupas, savukārt vagās sagatavotā augsnē augstākās veģētācijas grupas bija graudzāles un puskrūmi, galvenokārt, avenes (III). Graudzāles tiek uzskatītas par nozīmīgāko konkurējošo veģētāciju. Straujās sakņu augšanas dēļ tās intensīvi patērē ūdeni, tādējādi ietekmējot pašsējas koku augšanu (Coll et al., 2003). Nepieciešamība ierobežot veģētācijas konkurenci pacilās sagatavotā un vagās sagatavotā augsnē bija līdzīga (III).



3.7. att. **Konkurējošās veģētācijas projektīvais segums (stabiņi) un augstums (punkti un rombi; abiem $\pm 95\%$ ticamības intervāls) pirms agrotehniskās kopšanas veikšanas šaurlapju ārenī pacilās (PAC) un vagās (DISK) sagatavotā augsnē**

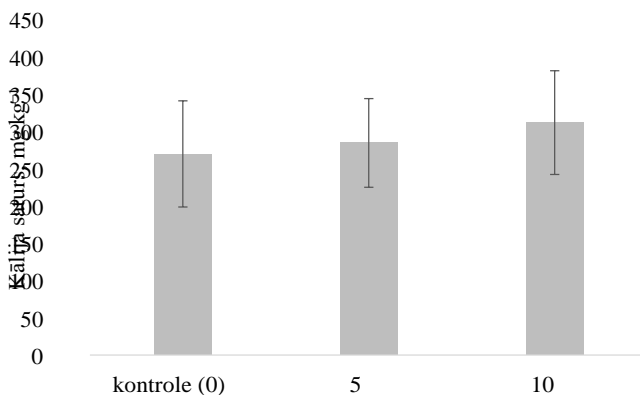
Veģētācijas projektīvais segums pēc agrotehniskās kopšanas pacilās sagatavotā augsnē bija būtiski zemāks (5%) nekā vagās sagatavotā augsnē (13%), bet tās augstums bija līdzīgs ($p > 0,05$, III). Gan pļaušanai nepieciešamais laiks, gan tā īpatsvars no kopējā darbu izpildei nepieciešamā laika bija līdzīgs abiem augsnes sagatavošanas veidiem: 478 min ha^{-1} ($67 \pm 9,7\%$) jaunaudzei pacilās sagatavotā augsnē un 462 min ha^{-1} ($68 \pm 8,3\%$) jaunaudzei vagās sagatavotā augsnē (III).

3.2.3. Augsnes ielabošanas ietekme uz koku augstumu

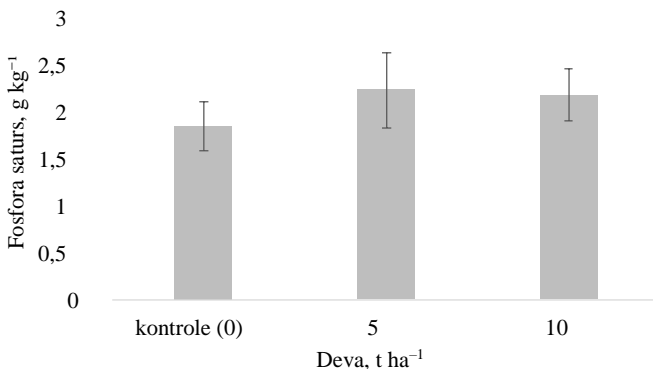
Koksnes sadegšanas procesā vairums augu barības elementu saglabājas pelnos, un tie var tikt izmantoti augsnes barības vielu nodrošinājuma uzlabošanai.

Desmit gadus pēc augsnes ielabošanas kālija saturs palielinājās proporcionāli pievienotajai pelnu devai (3.8. attēls): kontroles parcelēs kālija saturs bija $270,9 \pm 70,3 \text{ mg kg}^{-1}$, bet parcelēs, kas ielabotas ar pelnu devu 5 t ha^{-1} un 10 t ha^{-1} , kālija saturs bija attiecīgi $286,0 \pm 60,2 \text{ mg kg}^{-1}$ un $313,3 \pm 70,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (IV). Līdzīgi ielabošanas ar pelniem pozitīvā ietekme uz kālija deficīta samazināšanu augsnē jau pēc viena gada konstatēta Somijā (Moilanen et al., 2005), turklāt, atkarībā no

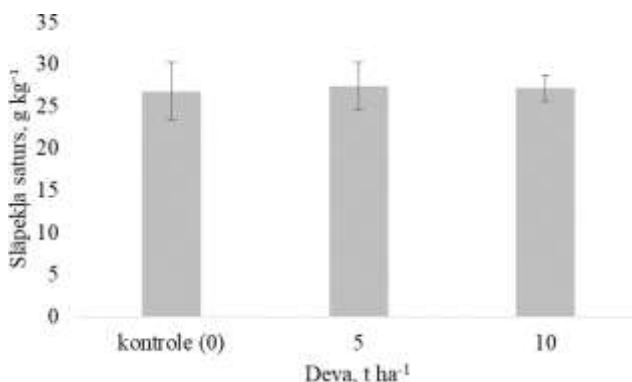
izmantotās pelnu devas uzlabotā minerālvielu pieejamība augsnē var saglabāties pat līdz 20–30 gadiem (Moilanen et al., 2002, 2004, 2005). Fosfora saturs pieaugums ielabotajās parcelēs bija redzamas jau pēc viena gada, tomēr šis ķīmiskais elements šķīst lēni (Nieminen et al., 2005; Callesen et al., 2007), un nepieciešami 3 līdz 4 gadi, lai fosfors augsnē būtu pieejams augiem izmantojamā formā (Moilanen et al., 2002; Nieminen et al., 2005). Desmit gadus pēc augsnes ielabošanas ar 5 t ha⁻¹ un 10 t ha⁻¹ koksnes pelniem fosfora saturs augsnē bija attiecīgi 2,24 ± 0,40 un 2,19 ± 0,28 g kg⁻¹, kamēr kontroles parcelēs 1,85 ± 0,27 g kg⁻¹ (3.9. attēls, **IV**). Citos pētījumos konstatēts, ka palielinātā fosfora pieejamība augsnē pēc ielabošanas ar pelniem var saglabāties pat līdz 30–50 gadiem (Moilanen et al., 2002, 2004, 2005). Slāpekļa vērtības parcelēs ar atšķirīgu pelnu devu bija līdzīgas ($p > 0,05$), no 26,79 ± 3,42 g kg⁻¹ kontroles parcelēs līdz 27,42 ± 2,84 g kg⁻¹ parcelēs, kuras ielabotas ar 5 t ha⁻¹ pelnu devu (3.10. attēls, **IV**). Koksnes sadegšanas procesā slāpeklis tiek atbrīvots atmosfērā, tādēļ pelnos šis makroelements nav pieejams. Pelnu izmantošanai var būt netiesā ietekme uz slāpekļa saturu augsnē – tā veicina pātrinātu organiskās vielas sadalīšanos un organiskā slāpekļa atbrīvošanu augiem pieejamā formā (Moilanen et al., 2002; Genenger et al., 2003; Jäggi et al., 2004). Atsevišķi pētījumi liecina, ka ielabošana ar pelniem var pakāpeniski paaugstināt augsnes organiskā slāņa biežumu (slāpekļa rezervi) palielinātā nobiru apjoma dēļ (Omil et al., 2013), bet desmit gadu periodā pēc augsnes ielabošanas šāds efekts nebija redzams (**IV**). Vienlaikus jāņem vērā, ka papildus atbrīvotais slāpeklis var izskaloties, nonākt atmosfērā slāpekļa oksīdu formā, kā arī to patērē koki un zemsedzes veģetācija. Augsnes ielabošanas mērķis nav slāpekļa saturs palielināšana, bet tā pieejamības palielināšana un līdz ar to labākas koku augšanas nodrošināšana.



3.8. att. Kālija saturs augsnē (± 95% ticamības intervāls) parcelēs, kas ielabotas ar atšķirīgu pelnu devu (0 (kontrolē), 5 un 10 t ha⁻¹) 10 gadus pēc stādījuma ierīkošanas



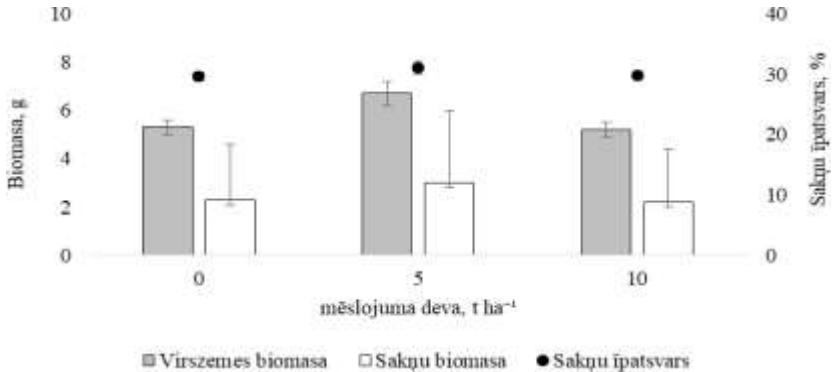
3.9. att. Fosfora saturs augsnē (\pm 95% ticamības intervāls) parcelēs, kas ielabotas ar atšķirīgu pelnu devu (0 (kontrolē), 5 un 10 t ha⁻¹) 10 gadus pēc stādījuma ierīkošanas



3.10. att. Slāpekļa saturs augsnē (\pm 95% ticamības intervāls) parcelēs, kas ielabotas ar atšķirīgu pelnu devu (0 (kontrolē), 5 un 10 t ha⁻¹) 10 gadus pēc stādījuma ierīkošanas

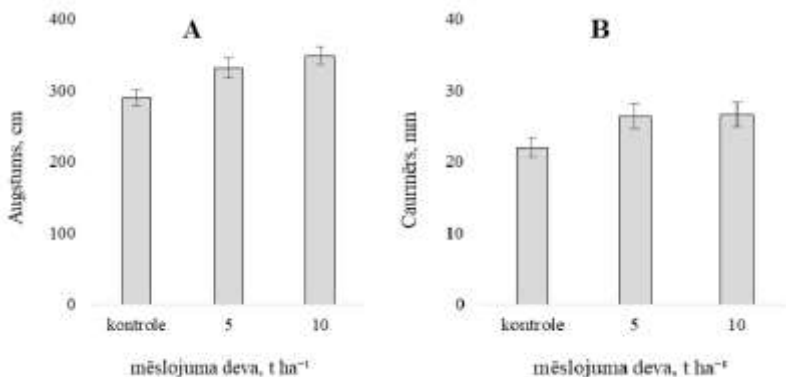
Papildus augu barības vielas veicina stādu sākotnējo augšanu, turpmākos pāris gadus uzlabojot konkurētspēju ar zemsedzes veģetācijas radīto aizzēlumu (Nilsson & Örlander, 1999; Hytönen & Jylhä, 2008). Ielabošana ar pelniem ietekmēja koku biomasas veidošanu jau vienu gadu pēc stādīšanas. Stādu virszemes daļas masas lielākās vērtības konstatētas parcelēs ar pelnu devu 5 t ha⁻¹, salīdzinājumā ar kontroli un 10 t ha⁻¹ pelnu devu (3.11. attēls, **IV**), turklāt atšķirības bija statistiski būtiskas ($p < 0,05$). Novērots, ka arī sakņu masa parcelēs ar 5 t ha⁻¹ pelnu devu bija būtiski lielāka ($p < 0,05$) nekā kontroles parcelēs vai parcelēs ar pelnu devu 10 t ha⁻¹.

Savukārt sakņu masas īpatsvars parcelēs ar 5 t ha⁻¹ ir salīdzinoši lielāks, bet būtiski neatšķirās no sakņu masas īpatsvara abos pārējos variantos (**IV**).



3.11. att. Egles morfoloģiskie parametri (\pm standartnovirze) parcelēs, kas ielabotas ar atšķirīgu pelnu devu (0 (kontrolē), 5 un 10 t ha⁻¹) 12 mēnešus pēc stādījuma ierīkošanas

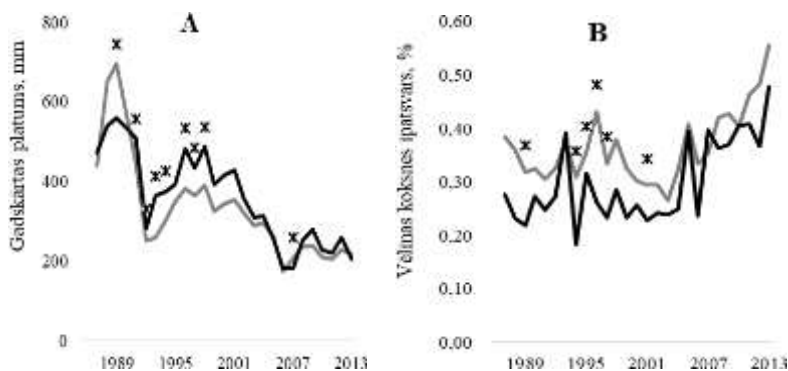
Desmit gadus pēc stādījuma ierīkošanas pelnu izkļiedēšanas ietekme saglabājās, turklāt pieauga līdz ar pelnu devu (3.12. attēls, **IV**). Caurmērs krūšaugstumā kontroles parcelēs bija $21,9 \pm 1,3$ mm, bet parcelēs, kas ielabotas ar pelniem 5 t ha⁻¹ un 10 t ha⁻¹, caurmērs bija attiecīgi $26,3 \pm 1,8$ un $26,5 \pm 1,7$ mm. Augstums kontroles parcelēs bija 289 ± 11 cm, bet parcelēs, kas ielabotas ar pelniem 5 t ha⁻¹ un 10 t ha⁻¹, augstums bija attiecīgi 331 ± 14 cm un 348 ± 12 cm. Parcelēs, kur izkļiedēti pelni, koku augstums bija par 15% un 21% (attiecīgi pelnu devai 5 t ha⁻¹ un 10 t ha⁻¹) lielāks nekā kontroles parcelēs. Ielabotajās (abas pelnu devas) parcelēs gan augstums, gan caurmērs bija būtiski lielāks (visi $p < 0,05$), nekā kontrolei, bet atšķirības starp parcelēm, kas saņēma pelnu devu 5 un 10 t ha⁻¹, bija nelielas un nebija statistiski būtiskas ($p > 0,05$; **IV**).



3.12. att. **Koku augstums (A) un caurmērs krūšaugstumā (B) ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) parcelēs ar atšķirīgu pelnu devu (0 (kontrolē), 5 un 10 t ha⁻¹) 10 gadus pēc stādījuma ierīkošanas**

Būtiska ($p < 0,01$) ilgtermiņa augsnes ielabošanas ietekme konstatēta arī komplekso minerālmēsļu pievienošanai stādīšanas brīdī (V). Papildus barības vielu ienese tikai ap stādu (V) radīja līdzīgu efektu, kāds novērots vienlaidus platības ielabošanai (Nohrstedt, 2001; Saarsalmi & Mälkönen, 2001; Cao et al., 2008), bet kopumā bija nepieciešams mazāks minerālmēslojuma daudzums uz platības vienību. Agrīnas augsnes ielabošanas ilgtermiņa efekts uz koku augšanu konstatēts arī Somijas austrumu daļā pirms stādīšanas ielabotajās priežu jaunaudzēs ar minerālaugsni, kur koku augstums 15 gadus pēc augsnes ielabošanas bija par 24% līdz 27% lielāks (pelnu deva attiecīgi 2,5 un 5 t ha⁻¹) nekā kontroles parauglaukumos bez ielabošanas (Saarsalmi & Levula, 2007). Straujāka koku augšana jau vienu gadu pēc ielabošanas ar pelniem (2,5 t ha⁻¹) konstatēta arī vidēja vecuma (pelni ienesti 36 līdz 47 gadu vecumā) egles audzēs (As un Ks meža tipi). Četrus gadus pēc koksnes pelnu izkliedēšanas kumulatīvais papildus krājas pieaugums bija no 8,5 līdz 19,2 m³ ha⁻¹ (Okmanis et al., 2016). Savukārt 64 un 69 gadus vecās priežu audzēs ar minerālaugsni 5 līdz 10 gadus pēc ielabošanas ar pelniem (3 t ha⁻¹) krājas pieaugums bija par 7% līdz 9% lielāks nekā kontroles audzēs, bet šīs atšķirības nebija būtiskas (Saarsalmi et al., 2004).

Saīdinot konkrētā gadā veidojušās gadskārtas papildus barības vielas saņēmumajiem un kontroles kokiem, vislielākās atšķirības bija redzamas novērojumu perioda pirmajā pusē (3.13. attēls).



13.13. att. Vidējie gadskārtu platumu mērījumu sērijas parametri kokiem no platības, kur veikta augsnes ielabošana (melnā līkne) un kontroles (pelēkā līkne)

(A) gadskārtas platums, (B) vēlinās koksnes īpatsvars gadskārtas platumā. Būtiskās ($p < 0,05$) atšķirības norādītas ar*.

Pirmos trīs gadus pēc papildus barības vielu ieneses gadskārtas platums bija lielāks kontroles kokiem, savukārt nākošos astoņus gadus gadskārtas platums bija būtiski lielāks papildus barības vielas saņēmušiem kokiem (V). Aizkavētā koku reakcija, iespējams, saistīta ar pārāk lielu barības vielu devu vai arī pakāpenisku to pāreju augiem viegli pieejamā formā (Nohrstedt, 2001; Saarsalmi & Mälkönen, 2001), bet tā var būt saistīta arī ar atšķirīgu oglekļa uzkrāšanas stratēģiju kokiem no platība ar ielabotu augsni (Axelsson & Axelsson, 1986).

Kopumā 34 gadu vecumā papildus barības vielas saņēmušiem kokiem šķērslaukums bija par par 14% lielāks nekā kontroles kokiem (V). Vēlinās koksnes īpatsvars kontroles kokiem bija lielāks gandrīz visā analizētajā laika posmā, būtiski atšķiroties 1989., 1994. līdz 1997. un 2001. gadā (10 līdz 20 gadu vecumā). Līdzīgus rezultātus ar mazāku vēlinās koksnes īpatsvaru papildus barības vielas saņēmušiem kokiem iegūti arī citos pētījumos (Mäkinen et al., 2002; Zhang, 1995). Kopumā šie rezultāti liecina, ka papildus barības vielu ienese stādīšanas brīdī ietekmēja kokus turpmākos aptuveni 15 gadus (V).

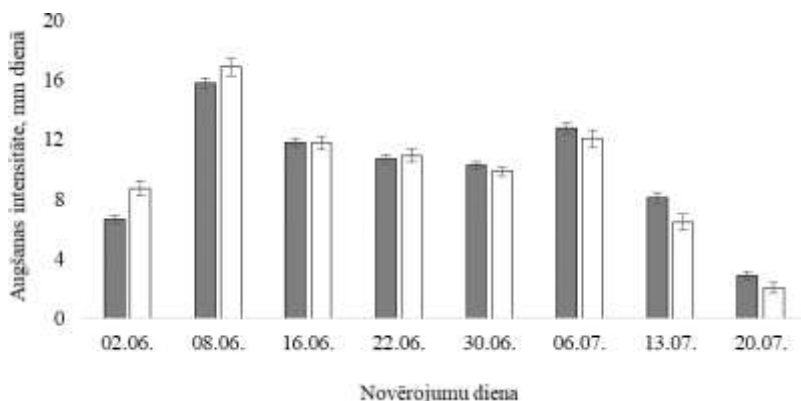
3.2. Pluskoku brīvapputes ģimeņu pieauguma veidošanās dinamikas atšķirības

Augstuma pieauguma veidošanās intensitātes novērtējums ir nozīmīgs, lai prognozētu klimata pārmaiņu ietekmi uz tā summāro garumu un precīzāk atlasītu tādus genotipus, kas šīm pārmaiņām piemērotāki. Sezonas ietvaros augstuma pieaugums nav vienmērīgs, bet tipiski sastāv no trim nosacītiem posmiem: relatīvi lēnākas augšanas uzsākšanas un pārtraukšanas, un intensīvas augšanas starp šiem abiem posmiem (Chuine et al., 2006; Lanner, 2017). Izvērtējot katra posma ietekmi

uz kopējo augstuma pieaugumu un ģimeņu augšanas atšķirības šajos posmos, iespējams noteikt to laika posmu sezonas ietvaros, kad vērtējumi jaunos stādījumos var sniegt precīzāku priekšstatu par ģenētiski noteiktajām (ģimeņu) atšķirībām.

Kokiem no atšķirīgiem izcelsmes reģioniem (austrumu un rietumu proveniencēs, kopā sešas audzes) augstums un augstuma pieaugums septiņu gadu vecumā bija līdzīgs (atšķirība 1%, $p > 0,05$), bet sezonas ietvaros konstatēta pieauguma veidošanās intensitātes mainība laikā, ko būtiski ietekmēja ģenētika (proveniencēs un ģimenes). Rietumu proveniencēs augstuma pieaugumu uzsāka veidot būtiski ($p < 0,01$) agrāk nekā austrumu proveniencēs, un attiecīgi 68,7% un 51,7% koku bija uzsākuši augšanu pirms pirmā mērījuma veikšanas 25. maijā (VI).

Augstuma pieauguma veidošanās dinamika abu proveniencu reģionu kokiem bija līdzīga. Augšanas intensitāte bija straujāka augšanas sezonas sākumā (3.14. attēls), un puse no kopējā pieauguma bija izveidojusies aptuveni 17. jūnijā, t.i., 25 dienas kopš augšanas uzsākšanas. Agrākos pētījumos straujāka augšana konstatēta eglēm no austrumu proveniencēm (Gailis, 1993). Šādu atšķirību starp proveniencēm trūkumu Jelgavas stādījumā veicināja gan līdzīgs augšanas perioda ilgums un augšanas intensitātes atšķirību izlīdzināšanās sezonas garumā, gan atšķirības pārvietošanas attālumos un stādījuma augšanas (augšnes) apstākļos (VI). Rietumu proveniencēm bija būtiski lielāka augšanas intensitāte sezonas sākumā un būtiski zemāka augšanas intensitāte sezonas beigās.



3.14. att. Vidējā augšanas intensitāte ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) eglēm no austrumu (pelēkie stabiņi) un rietumu (baltie stabiņi) proveniencēm septītajā augšanas sezonā

Norādītais datums atbilst aprēķinam izmantotā perioda pēdējai dienai.

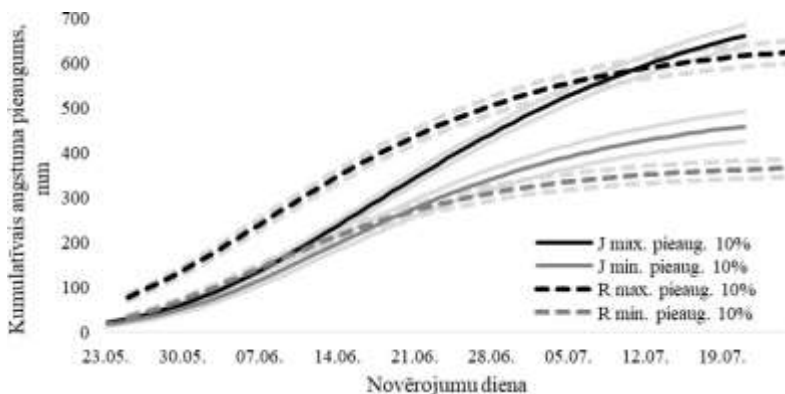
Pēc 8. jūnija augšanas intensitāte samazinājās (3.14. attēls, VI). Tam sekoja krass augšanas intensitātes pieaugums (neatkarīgi no proveniencēs) (3.14. attēls, VI), ko visdrīzāk veicinājušas meteoroloģisko apstākļu izmaiņas (Odin, 1972; Cannell & Johnstone, 1978). Augšanas pārtraukšanas laiks proveniencēm būtiski

atšķirās, un pēdējā mērījuma veikšanas dienā (20. jūlijā) izmaiņas augstuma pieaugumā nebija vērojamas 36,6% koku no rietumu proveniencēm un 28,2% koku no austrumu proveniencēm (VI).

Kopējais augstuma pieauguma veidošanās periods bija aptuveni 60 dienas ar vidējo augšanas intensitāti $9,2 \pm 0,2$ mm dienā, un tas notika laika periodā ar dienas garumu vismaz 16,5 stundas (3.14. attēls, VI). Rietumu proveniences gan uzsāka, gan pārtrauca veidot augstuma pieaugumu aptuveni divas dienas agrāk nekā austrumu proveniences, norādot uz koku adaptācijas ietekmi uz augstuma veidošanu. Eglēm no izcelsmes vietām ar dažādu ģeogrāfisko garumu augšanas fenoloģiju ietekmē ar gaisa temperatūru saistīti kontroles mehānismi (Heide, 1974; Hannerz, 1998), arī nelielu (mazāku par 300 km) ģeogrāfiskā garuma izmaiņu gadījumā (Danusevičius & Persson, 1998). Egles no austrumu proveniencēm augšanu uzsāka vēlāk, norādot uz piemērošanos izvairoties no pavasara salnām (Dietrichson, 1969; Polle et al., 1996; Langvall & Löfvenius, 2002). Proveniencēs reģionam bija lielāka ietekme uz augšanas uzsākšanas laiku (VI), pretēji novērotajam Zviedrijas centrālajā daļā, kur proveniencēi bija lielāka ietekme uz augšanas pārtraukšanas laiku (Ekberg et al., 1985).

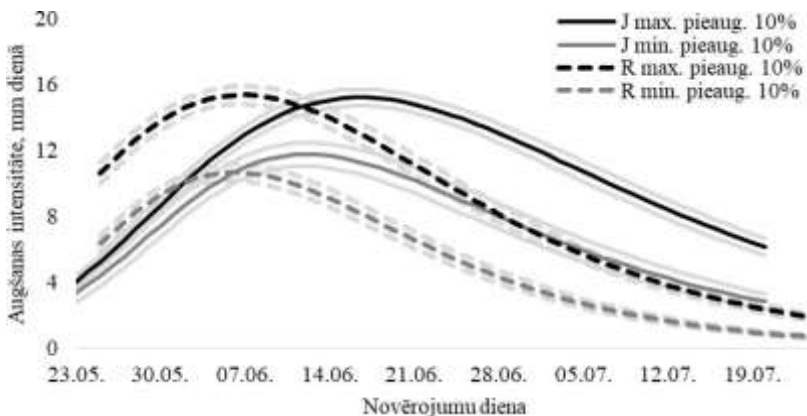
Proveniencēs ietekme uz augšanas intensitāti sezonas laikā mainījās (VI). Tā bija izteiktāka ($p < 0,05$) pieauguma veidošanās sākumā (pirms 3. jūnija) un beigās (pēc 6. jūlija), bet starp šiem posmiem proveniencēs efekts nebija būtisks ($p > 0,21$). Šīs izmaiņas saistītas ar koku piemērošanos iespējamiem sala bojājumiem pavasarī un rudenī (Avotniece et al., 2012). Savukārt laika posmā ar straujāko augšanas intensitāti (no 8. līdz 22. jūnijam) augšanu galvenokārt noteica ārēji faktori (Danusevičius et al., 1999), un atšķirības starp proveniencēm bija nelielas (VI).

Augstuma pieauguma veidošanās dinamika sezonas ietvaros (VII) sekmīgi aproksimēta ar Gompertz vienādojumu (3.15. attēls), iegūstot individuālu koku augšanas līkni raksturojošus koeficientus un to ģimeņu vidējās vērtības. Ģimene būtiski ($p < 0,05$) ietekmēja gan augstuma pieauguma garumu, gan Gompertz vienādojuma koeficientus, kas raksturo augšanas uzsākšanu, pieauguma tempu un augšanas pārtraukšanu. Izņēmums bija ģimenes ietekme uz augšanas uzsākšanu Jelgavas stādījumā ($p > 0,05$), kur koki sāka augt nedaudz vēlāk nekā Rembate-B stādījumā.



3.15. att. Aproximētās Gompertz vienādojuma līknes vidējam augstuma pieaugumam ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) Rembates (R) un Jelgavas (J) stādījumā pēc pieauguma labākajām (max. pieaug. 10%) un sliktākajām (min. pieaug. 10%) ģimenēm

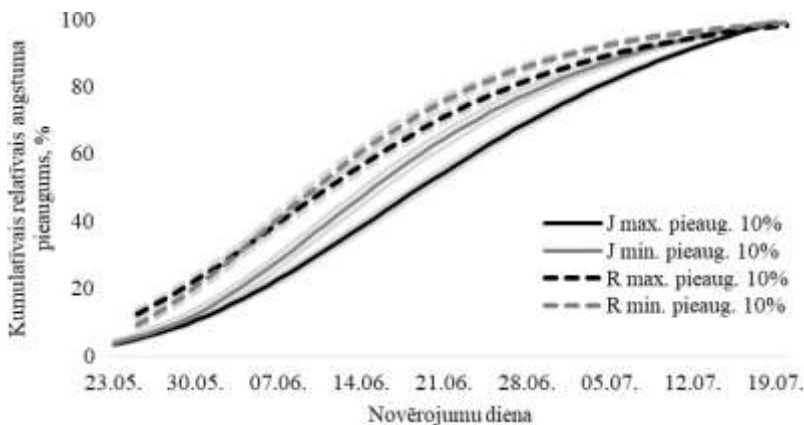
Kopējais augstuma pieaugums labāk augošām ģimenēm bija būtiski un nozīmīgi lielāks nekā sliktāk augošām ģimenēm (VII): stādījumā Rembate-B attiecīgi 624 ± 26 un 362 ± 20 mm un Jelgavā attiecīgi 664 ± 25 un 462 ± 33 mm. Labāk augošo ģimeņu vidējā augstuma pieauguma pārkums pār sliktāk augošajām ģimenēm saglabājās visu novērojumu periodu (3.16. attēls).



3.16. att. Vidējais augstuma pieaugums ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) Rembates (R) un Jelgavas (J) pēc pieauguma labākajām (max. pieaug. 10%) un sliktākajām (min. pieaug. 10%) ģimenēm

Labāk augošās ģimenes augstuma pieauguma kulmināciju sasniedza nedaudz vēlāk nekā sliktāk augošās ģimenes (3.16. attēls), turklāt pēc tā sasniegšanas labāk augošās ģimenes arī ilgāk saglabāja lielāku pieauguma intensitāti, savukārt sliktāk augošajām ģimenēm pieauguma intensitāte samazinājās straujāk. Kopumā labāk augošās ģimenes raksturoja vienmērīgāka un augstāka augšanas intensitāte un ilgāks pieauguma veidošanās periods (**VII**). Nozīmīgāka ģimenes ietekme uz augšanas intensitāti konstatēta augstuma pieauguma veidošanās otrajā pusē.

Individuālu koku līmenī, kopējam augstuma pieaugumam konstatēta cieša, būtiska korelācija ar pieauguma tempu (Gompertz vienādojuma k parametrs; attiecīgi Rembatē $r = -0,66$, Jelgavā $-0,62$, abi $p < 0,001$). Šī tendence saglabājās arī ģimeņu līmenī, un ģimenes ar mazāku pieaugumu sasniedza lielāku relatīvo pieauguma intensitāti. Šī sakarība rāda, ka labāk augošām ģimenēm augstuma pieauguma veidošanās ir vienmērīgāk sadalīta kopējā augšanas periodā (3.17. attēls), savukārt sliktāk augošās ģimenes relatīvi lielāku pieauguma īpatsvaru veido intensīvās augšanas posmā (starp uzsākšanas un pārtraukšanas posmiem).



3.17. att. Kumulatīvais relatīvais augstuma pieaugums ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) Rembates (R) un Jelgavas (J) stādījumā pēc pieauguma labākajām (max. pieaug. 10%) un sliktākajām (min. pieaug. 10%) ģimenēm

Augstuma pieaugumu ietekmēja arī koku augstums. Augstuma pieaugums cieši korelēja ar koka augstumu sezonas beigās ($p < 0,05$), bet korelācija ar augstumu sezonas sākumā bija ievērojami vājāka. Līdzīgi arī pieauguma temps (Gompertz vienādojuma k parametrs) pozitīvi korelēja ar koka augstumu sezonas beigās ($r = 0,35$), bet korelācijas ar koka augstumu sezonas sākumā lielākoties nebija būtiskas ($r = 0,07$, **VII**).

SECINĀJUMI

- I Koku ar apikālajiem augusta dzinumiem īpatsvars egles audzēs trīs līdz septiņu gadu vecumā variē no 0% līdz 25%, neatkarīgi no meža tipa (eitrofie un mezotrofie) un audzes vecuma.
- II Labvēlīga lokālo apstākļu kombinācija – novērsta zemesdzīves veģetācijas konkurence un neregulēts augsnes mitrums – ievērojami un statistiski būtiski ($p < 0,001$) palielina egļu ar apikālajiem augusta dzinumiem īpatsvaru jaunaudzēs.
- III Iedzimtībai ir nozīmīga ietekme uz apikālo augusta dzinumu sastopamību: koku ar tiem īpatsvars vienā un tajā pašā uzmērīšanas gadā un stādījumā egles pluskoku brīvapputes pēcnācēju ģimenēm bija no 0% līdz 91%, ģimenes ietekme statistiski būtiska ($p < 0,05$).
- IV Apikālie augusta dzinumi biežāk veidojas ātraudzīgiem un agri plaukstošiem kokiem. Koku ar šiem dzinumiem augstums vidēji par 14–29% lielāks nekā kokiem bez augusta dzinumiem. Nav konstatēta saikne starp apikālajiem augusta dzinumiem un salnu bojājumu varbūtību, turklāt apikālie augusta dzinumi daļēji kompensē pavasara salnu ietekmi uz kopējo pieauguma garumu.
- V Mezotrofajos un eitrofajos meža tipos augsnes sagatavošanas veids būtiski ietekmē jaunaudzes koku augstumu. Vidējais koku augstums un augstāko koku īpatsvars ir būtiski ($p < 0,05$) lielāks stādījumos, kur augsne sagatavota pacilās, nevis vagās vai negatavotā augsnē. Dominējošo koku augstuma pieauguma atšķirības pacilās un vagās sagatavotā augsnē stādītām eglēm palielinājās no 14% sešu gadu vecumā līdz 20% astoņu gadu vecumā.
- VI Divpadsmit mēnešus pirms stādīšanas veiktā augsnes ielabošana ar koksnes pelniem atstāja pozitīvu ietekmi uz augiem pieejamo makroelementu saturu augsnē (kālija un fosfora pievienošana), kā arī veicināja organiskā slāpekļa atbrīvošanos. Uzlabotai makroelementu pieejamībai bija būtiska ietekme uz koku augšanu: desmit gadu vecumā papildus barības vielas saņēmumiem kokiem augstums bija par 15% un 21% (attiecīgi pelnu deva 5 un 10 t ha⁻¹) lielāks nekā kontroles kokiem. NPK minerālmēslojums reizē ar stādīšanu līdzīgi ietekmēja koku pieaugumu līdz 15 gadu vecumam.
- VII Egles pluskoku brīvapputes pēcnācēju ģimenēm pieauguma veidošanās dinamika ir ģenētiski noteikta. Ģimenēm ar salīdzinoši lielāku augstuma pieaugumu augšanas intensitāte (mm diennaktī) kulminē vēlāk un saglabājas augsta ilgāk.

PRIEKŠLIKUMI

- I** Darba rezultāti par lokālo apstākļu uzlabošanas ietekmi uz egles apikālajiem augsta dzinumiem un kumulatīvi uz koku augstumu jāietver augšanas gaitas modelēšanas sistēmā, lai precīzāk atspoguļotu mērķtiecīgas šīs koku sugas jaunaudžu apsaimniekošanas sagaidāmo pozitīvo ietekmi.
- II** Sākotnējā augsnes ielabošanas līdzekļu – minerālmēsļu un koksnes vai koku mizas pelnu – izmantošana rekomendējama egles audžu pieauguma uzlabošanai, jo to iedarbība saglabājas vismaz 10 gadu ilgā laika periodā.
- III** Rekomendējama genotipu ar apikālajiem augsta dzinumiem atlase selekcijā, jo tā nepalielina salnu vai sala bojājumu risku, bet nodrošina iespējas iegūt lielāku augstuma pieaugumu, mērķtiecīgi veicot ar selekcionētu materiālu atjaunotu jaunaudžu agrotehnisko kopšanu un lokālo apstākļu uzlabošanu. Sagaidāms, ka šo efektu pastiprinās klimata pārmaiņas: biežāki gadi ar augstu gaisa temperatūru iepriekšnoteiktā augstuma pieauguma veidošanās noslēgumā un garāku veģetācijas periodu.

PATEICĪBA

Autore pateicas Latvijas Valsts mežzinātnes institūta “Silava” Meža selekcijas un adaptācijas radošās grupas kolēģiem, jo īpaši Unai Neimanei un Silvai Šēnhofai, kā arī visiem kopīgi sagatavoto zinātnisko publikāciju autoriem par padomiem, līdzdalību, iedvesmu, pacietību un konstruktīvām diskusijām pētījumu veikšanas laikā, kā arī izteiktajiem komentāriem un iebildumiem, kas palīdzēja nozīmīgi uzlabot sagatavotā darba kvalitāti.

Tāpat autore pateicas LLU Meža fakultātes kolēģiem par piezīmēm, atbalstu un labu vārdu doktorantūras studiju un darba tapšanas ietvaros. Paldies darba vadītājiem un visiem, kas atrada par iespējamu iepazīties ar darba sākotnējām versijām un izteikt savus iebildumus un priekšlikumus uzlabojumiem! Īpašs paldies Kasparam Liepiņam par atvēlēto laiku un kritiku, kas radīja iespēju savlaicīgi novērst daudzas neprecizitātes.

Pētījumu, kuru ietvaros ievākts datu materiāls, finansētājs ir a/s “Latvijas valsts meži”, un tie realizēti Latvijas Valsts mežzinātnes institūtā “Silava”. Darba izstrāde atbilst ERAF projekta “LLU akadēmiskā personāla pilnveidošana” (8.2.2.0/18/A/014) ietvaros. Atsevišķi darbi veikti Meža nozares kompetences centra pētījuma “Metodes un tehnoloģijas meža kapitālvērtības paaugstināšanai” (ERAF, L-KC-11-0004) un “Vitālu egļu audžu izaudzēšanas ekoloģiskie un tehnoloģiskie aspekti” (ESF, 1DP/1.1.1.2/13/APIA/VIAA/052) ietvaros.