



KOPSAVILKUMS PAR PĒTĪJUMA (2015. 2.PUSGADS – 2020. GADS) REZULTĀTIEM

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: MEŽA KOKU SELEKCIJAS PĒTĪJUMI
ĢENĒTISKI AUGSTVĒRTĪGA MEŽA
REPRODUKTĪVĀ MATERIĀLA ATLASEI

IZPILDĪTĀJS: LATVIJAS VALSTS MEŽZINĀTNES INSTITŪTS “SILAVA”

PASŪTĪTĀJS: AKCIJU SABIEDRĪBA “LATVIJAS VALSTS MEŽI”
LĪGUMA NR. 5.5-5.1_002u_101_15_58

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS
VADĪTĀJS: ARNIS GAILIS, LVMI SILAVA PĒTNIEKS

SALASPILS, 2020

Meža koku selekcijas pētījumi ģenētiski augstvērtīga meža reprodūktīvā materiāla atlasei

Ievads

Kopsavilkums sagatavots par zinātniski pētnieciskā līgumdarba “**Meža koku selekcijas pētījumi ģenētiski augstvērtīga meža reprodūktīvā materiāla atlasei**” 2015. - 2020. gada darbu nozīmīgākajiem un publicētajiem rezultātiem. Šajā periodā selekcijas darbi turpināti saskaņā ar „Saimnieciski nozīmīgo koku sugu (parastā priede, parastā egles, kārpainais bērzs) un apses selekcijas darba programmu AS „Latvijas valsts meži” 30 gadiem” (apstiprināta ar AS „Latvijas valsts meži” valdes 2008. gada 23. septembra lēmumu Nr.193), kura aktualizēta 2015. gadā (Jansons, 2008¹), (apstiprināta AS „Latvijas valsts meži” Programmu valdē 2015. gada 22. oktobrī), un papildus darbiem (25.06.2019. Vienošanās Nr. 5.5-5.1_002u_101_15_58_10). Kopsavilkumā raksturots selekcijas materiāls un darbu veikšanas metodika.

Pētījumi, kas veikti vienlaikus ar ikdienas meža selekcijas darbu ilglaicīgās programmas realizāciju, saistīti ar diviem nozīmīgākajiem jautājumiem:

- 1) *kāds ir praktiskais ieguvums no meža selekcijas un kā iespējams to kāpināt?*
- 2) *kāda ir dažādu pazīmju ģenētiskā nosacītība un kā šīs pazīmes ņemt vērā perspektīvāko genotipu atlasē?*

Ieguvums no meža selekcijas atkarīgs no praksē realizējamā selekcijas efekta (konkrēto pazīmju uzlabojuma) un ik gadus ar selekcionētu stādmateriālu atjaunotās platības. Meža īpašnieks ir vairāk ieinteresēts atjaunot mežu stādot, nevis atstāt platību pašsējai, ja ieguvums no šī ieguldījuma sasniedzams iespējami īsā laikā, nevis aprites cikla noslēgumā. Turklāt daudz labāku priekšstatu par ieguvumu rada praktiski sasniegti, nevis tikai aprēķināti rezultāti (prognozēts selekcijas efekts). Tādēļ veikts pirmās retināšanas bērza un priedes stādījumā novērtējums, atspoguļojot to gan selekcijas efekta, gan monetārā (EUR) izteiksmē un parādot, ka jau tik relatīvi īsā laikā stādīšana attaisnojas. Iegūtie rezultāti izmantoti stādījumos meža nozares darbiniekiem, t.sk. konferencēs, semināros meža īpašniekiem, mācību praksēs studentiem.

Sadarbībā ar “Koku augšanas gaitas modelēšanas” pētījuma grupu meklēts precīzākais selekcijas efekta ietveršanas augšanas gaitas modeļos matemātiskais risinājums. Iegūti sākotnēji rezultāti, kas balstīti un pārbaudīti uz atkārtoti pārmērītu iedzimtības pārbaužu stādījumu datiem. Tomēr šis darbs turpināms, uzturot un vēl vismaz 1-3 reizes pārmērot labākos (tādus, kur vairāk saglabājušos koku ģimenē) stādījums un veicot paraugkoku analīzi. Paraugkoku analīzei un selekcionētu koku adaptācijas atsevišķu aspektu pētījumiem sagatavots pieteikums un iegūts ERAF finansējums. Tāpat, papildus piesaistot ārējo (ERAF) finansējumu, attīstīta bērzu veģetatīvās pavairošanas metodoloģija tieši tiem kloniem, kas atzīti par labākajiem saskaņā ar pēcnācēju pārbaužu stādījumu rezultātiem, radot iespēju paša augstvērtīgākā ģenētiskā materiāla izmantošanai praksē. Analīzes liecina, ka veģetatīvi pavairota materiāla praktiska izmantošana nodrošinās nozīmīgi augstāku praksē realizēto selekcijas efektu: lielāku ražību un īsāku aprites ciklu. Tā būs aizvien vairāk nepieciešama, jo citu sabiedrības interešu (t.sk. ar Eiropas Savienības mēroga stratēģijām saistīto) dēļ samazinās saimniecisko mežu (tādu, kur koksnes ieguve ir galvenais mērķis) platība, vienlaikus saglabājoties un pat pieaugot pieprasījumam pēc koksnes. Veikta egles klonu dažādu pazīmju detalizēta analīze, atspoguļojot nepieciešamību un iespējas veikt rūpīgas pārbaudes arī ar adaptāciju un koksnes kvalitāti saistītām pazīmēm (kā plaisas). Veģetatīvi pavairojamu klonu atlase veicama lielākā vecumā, nekā ģeneratīvai pavairošanai (sēklu plantācijām) paredzēto, tomēr, arī ņemot vērā šo aspektu, nodrošina straujākas selekcijas rezultātu praktiskas izmantošanas iespējas. Ņemot vērā pastāvošās bažas par selekcijas ietekmi uz ģenētisko daudzveidību, arī šajā pētījuma posmā veikta sēklu plantāciju pēcnācēju un mežaudžu (t.sk. ģenētisko resursu mežaudžu) ģenētiskās daudzveidības salīdzināšana, nekonstatējot nozīmīgas atšķirības. Tāpat ģenētiskās daudzveidības vērtējums, kā viens no pasākumiem, iekļauts ikgadējā Bioloģiskās daudzveidības monitoringā, kas uzsākts 2019. gadā. Sagatavota literatūras analīze par klonu izmantošanas ietekmi uz ģenētisko

¹ http://www.lvm.lv/lat/lvm/zinatniskie_petijumi/jaunumi/?doc=10262

daudzveidību meža masīva līmenī. Sākotnēji secinājumi neliecina par apdraudējumu daudzveidībai. Šajā aspektā plānots darbu turpinājums, veicot dažādu meža atjaunošanas scenāriju ilgtermiņa ietekmes modelēšanu.

Veikta augšanu un stumbra kvalitātes ietekmējošo pazīmju vispusīga vērtēšana lielākajā pēcnācēju pārbaužu stādījum sērijā Baltijā. Tāpat analizēti koku rezistenci nosakošie faktori, kā modeli izmantojot sakņu trupi un skujuhiri un konstatējot nozīmīgas iespējas mazināt šo slimību ilgtermiņa ietekmi mežaudzes nākotnē, ietverot rezistenci pret tām selekcijas indeksā. Par daļu no šī pētījuma aspektiem izstrādāta doktora disertācija, kas aizstāvēta 2018. gadā, piesaistīta papildus finansējuma – pēcdoktorantūras pētniecības granta – ietvaros. Ģenētisko resursu centrā turpināti fundamentālie pētījumi par rezistenci nosakošajiem ģenētiskajiem mehānismiem. To rezultāti nākotnē varētu tikt ieviesti meža selekcijas praksē, kā rekombinēta materiāla agrīno testu sastāvdaļa, padarot darbu efektīvāku. Tādēļ nākamā pētījumu posmā nozīmīgs ir šo aspektu analīzes turpinājums un tiks sekots līdzi tehnoloģiju attīstībai, regulāri vērtējot molekulāro marķieru asistētas selekcijas praktiskas izmantošanas iespējas.

Veikta veco provenienču stādījumu atkārtota analīze, vērtējot ar adaptāciju saistītās pazīmes, t.sk., izmantojot dendrohronoloģijas metodes. Iegūts ārējais (LZP) finansējums šo pētījumu atsevišķu aspektu turpināšanai, atlasot un pārbaudot tādu materiālu, ko varētu papildus ieviest Latvijas selekcijas populācijā, veicinot pielāgošanos klimata pārmaiņām. Priekšmetam veikta atsevišķu izvēlēto koku no citu valstu proveniencēm potēšana plantācijas koku vainagos ziedēšanas veicināšanai un izdarīti pirmie krustojumi ar Latvijas priežu pluskokiem.

Nozīmīgākās publikācijas:

1. Arnis Gailis, Annija Kārklīņa, Andis Purviņš, Roberts Matisons, Pauls Zeltiņš and Āris Jansons (2020) **Effect of Breeding on Income at First Commercial Thinning in Silver Birch Plantations**. *Forests*, 11, 327; doi:10.3390/f11030327
2. Gailis A., Zeltiņš P., Purviņš A., Augustovs J., Vīndedzis V., Zariņa I., Jansons Ā. (2020). **Genetic parameters of growth and quality traits in open-pollinated silver birch progeny tests**. *Silva Fennica* vol. 54 no. 2 article id 10220. <https://doi.org/10.14214/sf.10220>
3. Rieksts-Riekstiņš R., Zeltiņš P., Baliuckas V., Brūna L., Zaļuma A., Kāpostiņš R. (2020) ***Pinus sylvestris* breeding for resistance against natural infection of the fungus *Heterobasidion annosum***. *Forests* 2020, 11(1), 23; doi:10.3390/f11010023
4. Elva Girgžde, Ineta Samsone, Arnis Gailis (2019) **Peroxidase, polyphenol oxidase activity and total phenolic concentration in birch (*Betula pendula*) in vitro shoots during rejuvenation**. *Environmental and Experimental Biology* (2019) 17: 15–19; DOI: 10.22364/eeb.17.04
5. Gailis A., Jansone B., Racenis E., Sisenis L., Jansons A. (2019) **Assessment of silver birch (*Betula pendula* Roth.) geographical provenances in Latvia**. In: 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019: Conference Proceedings Vol. 19 “Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems. Issue: 3.2 Soils, Forest Ecosystems, 29 June - 6 July, 2019, Albena, Bulgaria, pp. 625-632.
6. Zeltiņš P., Katrevičs J., Gailis A., Maaten T., Desaine I., Jansons Ā. (2019) **Adaptation capacity of Norway spruce provenances in Western Latvia**. *Forests*, 10, 840; doi:10.3390/f10100840
7. Jansone B., Kapostins R., Racenis E., Sisenis L., Pilvere I. (2018) **Influence of genetics (family) and forest type on productivity of Scots pine stands on dry mineral soils**. SGEM2018 Vienna GREEN Conference Proceedings, 3 – 6 December, 2018, Vol. 18, Issue 1.5, 687 - 694 pp.; DOI:10.5593/sgem2018/1.5
8. Zeltiņš, P., Katrevičs, J., Gailis, A., Maaten, T., Baders, E., and Jansons, A., (2018) **Effect of stem diameter, genetics, and wood properties on stem cracking in Norway spruce**. *Forests* 9(9), no.546.

9. Zeltiņš, P., Matisons, R., Gailis, A., Jansons, J., Katrevičs, J., and Jansons, Ā., (2018) **Genetic parameters of growth traits and stem quality of Silver birch in a low-density clonal plantation.** *Forests* 9(2), no.52.
10. Neimane U., Polmanis K., Zaļuma A., Kļaviņa D., Gaitnieks T., Jansons Ā. (2018) **Damage caused by Lophodermium needle cast in open-pollinated and control-crossed progeny trials of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.).** *The Forestry Chronicle*, 2018, 94(2), 155-161, <https://doi.org/10.5558/tfc2018-024>.
11. Girgžde, E., Samsone, I. (2017). **Effect of cytokinins on shoot proliferation of silver birch (*Betula pendula*) in tissue culture.** *Environ Exp Biol* (2017) 15: 1–5.
12. ZALUMA, A., GAILIS, A., BURŅEVIČA, N., KORHONEN, K., and GAITNIEKS, T., (2016) **Susceptibility of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* seedlings of various origins to *Heterobasidion annosum* and *H. parviporum*.** *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Section B: Natural, Exact, and Applied Sciences* 70(1), 29 – 33.
13. Zeltiņš, P., Šņepsts, G., Gailis, A., Zariņa, I., Katrevičs, J., Jansons, Ā. (2017). **Whole-rotation gain from use of improved Norway spruce: case study in Latvia.** *Proceedings of IUFRO Seed Orchard Conference 2017*. p57.
14. Zeltiņš, P., Katrevičs, J., Gailis, A., Maaten, T., Jansons, J., and Jansons, Ā., (2016) **Stem cracks of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) provenances in Western Latvia.** *Forestry Studies* 65, 57 – 63.
15. Jansons A., Neimane U., Dzerina B., Adamovics A. (2016). **Influence of lammas shoots on height of young Scots pines in Latvia.** *Agronomy Research* 14(2), 407–417.

Saturs

Ievads	1
1. Selekcijas materiāls un darbu veikšanas shēma	5
2. Selekcijas materiāla vērtēšanas metodika	7
2.1. Pēcnācēju pārbauzu stādījumu uzmērīšana	7
2.2. Kamerālo darbu metodika	7
3. Darbs ar selekcijas materiālu.....	10
3.1. Parastās priedes selekcijas materiāla kontrolētā krustošana un sēklu ievākšana, klonu arhīvu veidošana un uzturēšana.....	10
3.2. Parastās egles selekcijas materiāla kontrolētā krustošana, krustojumu un brīvapputes sēklu ieguve.....	12
3.3. Parastās egles selekcijas materiāla veģetatīvā pavairošana ar spraudņiem	13
3.4. Kārpainā bērza selekcijas materiāla mikropavairoto un potēto klonu ziedēšanas veicināšana un kontrolētā krustošana	18
3.5. Kārpainā bērza selekcijas materiāla klonu mikropavairošana un stādu audzēšana pēcnācēju pārbauzu ierīkošanai.....	19
3.5.1. Kārpainā bērza selekcijas materiāla <i>in vitro</i> kolekcija.....	19
3.5.2. Bērzu mikrospraudņu apsākšana <i>ex vitro</i>	19
3.6. Parastās egles, parastās priedes un kārpainā bērza stādu izaudzēšana un pēcnācēju pārbauzu stādījumu ierīkošana no 2016.-2020. gadam	21
4. Klonu komplektu raksturošana sēklu plantāciju atestācijai	26
5. Selekcijas darba popularizēšana - publicēti selekcijas pētījumu rezultāti.....	27
5.1. Praktiskais ieguvums no meža selekcijas.....	27
5.1.1. Selekcijas rezultāts pirmās retināšanas vecumā	27
5.1.2. Selekcionēta materiāla augšanas gaitas novērtēšana un modelēšana.....	29
5.1.3. Veģetatīvi pavairota materiāla izmantošanas potenciāla novērtēšana un kāpināšana	31
5.2. Dažādu koku pazīmju ģenētiski noteiktās atšķirības.....	36
5.2.1. Kārpainā bērza brīvapputes ģimeņu ģenētiskie parametri	36
5.2.2. Selekcijas iespējas rezistences kāpināšanā.....	36
5.3. Provenienču adaptācijas kontekstā	43
5.3.1. Parastās egles un parastās priedes provenienču adaptācija Latvijas rietumos	43
5.3.2. Āra bērza (<i>Betula pendula</i> Roth) ģeogrāfisko provenienču novērtējums	47

1. Selekcijas materiāls un darbu veikšanas shēma

Pārskata periodā selekcijas darbi veikti saskaņā ar „Saimnieciski nozīmīgo koku sugu (parastā priede, parastā egle, kārpainais bērzs) un apses selekcijas darba programmu AS „Latvijas valsts meži” 30 gadiem”, kura aktualizēta 2015. gadā (Jansons, 2008²).

Sadaļā apkopota informācija par selekcijas procesam izmantojamo materiālu. Sākotnējais selekcijas darba izejmateriāls ir pluskoki, kas ir “attiecīgās sugas koka ideāls” no mežsaimnieciskā viedokļa (Gailis, 1964³). Šādu koku atlase tiek veikta tikai produktīvās un kvalitatīvās mežaudzēs un pēcnācēju pārbaužu stādījumos, pluskoki izceļas starp pārējiem viena vecuma un vienādos apstākļos blakus augošiem attiecīgās koku sugas kokiem. Šajā kategorijā izvēlas tikai veselīgus kokus (bez trupes vai citu slimību pazīmēm), kuriem nav acīm redzamu defektu.

Katrai sugai selekcijas darbam pieejamais materiāls programmā nosacīti sadalīts 2 grupās:

- 1) pamatmateriāls – lielākais materiāla apjoms, kas atrodas vienā un tajā pašā selekcijas stadijā;
- 2) papildus materiāls – dažādās selekcijas stadijās esošās nelielās selekcijas materiāla grupas, kurām turpmākais darbs veicams pēc citāda scenārija nekā pamatmateriālam.

Selekcijas darba turpināšana arī ar papildus materiālu ir svarīga, jo tiek nodrošinātas iespējas:

- 1) ātrāk (īsākā periodā) iegūt materiālu augstākas kārtas plantācijām (visām sugām);
- 2) veikt jauno plantāciju ģenētisko kopšanu, paaugstinot no tām iegūstamā materiāla selekcijas efekta vērtību un plantācijas kategoriju (P,E, daļēji B);
- 3) paaugstināt atlasē intensitāti (apvienojot ar pamatmateriālu selekcijas cikla beigās) – reizē ar to selekcijas efekta vērtību gan sēklu plantācijām, gan selekcijas populācijai (P, E, B);
- 4) paplašināt klonu arhīvus, saglabājot pieejamu ģenētiski daudzveidīgāku materiālu – gan fundamentāliem pētījumiem (piemēram, vērtējot rezistenci), gan, nepieciešamības gadījumā, selekcijas populācijas paplašināšanai (visām sugām).

Priedei selekcijas darbam pieejamais materiāls sadalīts 4 grupās:

- A. Pamatmateriāls: 860 pluskoki (lielākā daļa no tiem ir sēklu plantāciju kloni) un kvalitatīvu mežaudžu koki ar brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumiem;
- B. 412 kloni sēklu plantācijās bez pēcnācēju pārbaudēm un to ierīkošanai ievākta materiāla;
- C. 530 no jauna atlasītie pluskoki, kas izmantoti galvenokārt populāciju tipa sēklu plantācijās. Šiem kloniem ir ievākts brīvapputes sēklu materiāls un uzsākta iedzimtības pārbaužu stādījumu ierīkošana;
- D. dažādas pakāpes kontrolētās krustošanas materiāls 21-36 gadus vecos eksperimentālajos stādījumos, no kura iespējams atlasīt kvalitatīvas neradniecīgu krustojumu kombinācijas: eksperimenta Nr. un potenciāli atlasāmo koku skaits iekavās – Nr. 20 (3), 21-22 (5), 27 (9), 357 (10), 356 (2-3), 24-25 (7), kā arī Smiltenes klonu kontrolēto krustojumu stādījums (3-5) un sēklu plantāciju vidējie paraugi vairākos eksperimentos (~20-28); kopumā 57-67 koki.

Eglei selekcijas darbam pieejamais materiāls sadalīts 4 grupās:

- A. Pamatmateriāls: 1700 pluskoku un kvalitatīvu mežaudžu koku brīvapputes pēcnācēju ģimenes, no kurām tikai 77 koki iekļauti plantācijās, pārējām vecāku koki nav pieejami. Sēklas no 1989. – 2006. g. ražām, pēcnācēju pārbaudes ierīkotas 2003. – 2010. gadā;
- B. 200 plantāciju kloni ar brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumiem, kuri atrodas izvērtēšanas stadijā;
- C. 200 kloni ražojošās sēklu plantācijās bez pēcnācēju pārbaudēm;
- D. 360 kloni jaunās, sākot no 2000. gada ierīkotās, populāciju tipa sēklu plantācijās bez pēcnācēju pārbaudēm un bez to ierīkošanai ievākta brīvapputes sēklu materiāla.

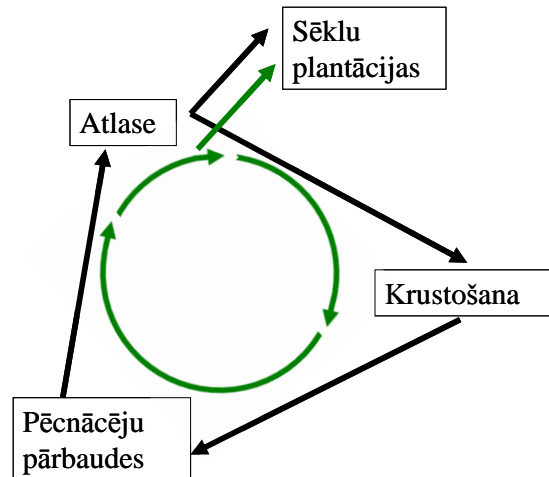
² http://www.lvm.lv/lat/lvm/zinatniskie_petijumi/jaunumi/?doc=10262

³ Gailis, J. (1964) Meža koku selekcija un sēklu plantācijas. Latvijas Valsts izdevniecība, Rīga, Latvija, 194. lpp.

Kārpainā bērza selekcijas darbam pieejamais materiāls sadalīts 2 grupās:

- A. Pamatmateriāls: 650 pluskoku un kvalitatīvu mežaudžu koku brīvapputes pēcnācēju ģimenes. Eksperimenti ierīkoti 1998.-1999. gadā, to mātes koki nav pieejami;
- B. 360 kontrolēto krustojumu un 100 brīvapputes pēcnācēju ģimenes no fenotipiski atlasītiem pluskokiem.

Darbs ar selekcijas materiālu tiek veikts atbilstoši programmā izvēlētajai shēmai – parastajai priedei, parastajai eglei un kārpainajam bērzam lieto atkārtotas atlases shēmu, kuras pamatā ir ģenētiskā materiāla rekombinācija (kontrolētā krustošana) paaugstinot ieguvumu (atlasīto koku selekcijas indeksa vērtību) katrā ciklā (1.1. att.).



— pirmajā selekcijas ciklā veiktie pasākumi
— perspektīvie pasākumi saskaņā ar šo shēmu
- - - - - nepārtraukta līnija apzīmē materiāla plūsmu, pārtraukta – informācijas plūsmu

1.1. attēls. Parastās priedes, parastās egles un kārpainā bērza selekcijas shēma

2. Selekcijas materiāla vērtēšanas metodika

2.1. Pēcnācēju pārbaužu stādījumu uzmērīšana

Pēcnācēju pārbaužu stādījumos uzmērīts katra koka augstums, caurmērs krūšu augstumā, resnākā zara līdz 2 m augstumam caurmērs un zaru leņķis. Stumbra taisnums un zaru resnums vizuāli novērtēti 3 ballu skalā, kur 1 – tievi zari, taisns stumbrs, 2 – vidēji resni zari, stumbrs ar 1 līkumu, 3 – resni zari, stumbram vairāk nekā 1 līkums. Par līkumu tiek uzskatīta novirze no iedomātas vertikālas līnijas gar stumbra malu, kas pārsniedz 5 cm. Zaru resnuma novērtējums tiek izdarīts relatīvi – salīdzinot ar citiem līdzīga caurmēra kokiem attiecīgā stādījuma ietvaros. Vērtējot tiek fiksētas stumbra un zarojuma vainas – dubultgalotnes, padēli, slotveida zarojums (bērzam), sasveļojums (skuju kokiem). Parastās egles pēcnācēju pārbaužu stādījumos tiek vērtēti arī plaukšanas laiks pavasarī (agrs, vidējs, vēls) un augusta dzinumu veidošanās rudenī. Parastā ozola pēcnācēju pārbaužu stādījumos tiek vērtēta arī vainaga forma (6 veidi), stumbra forma (5 veidi) un plaukšanas laiks pavasarī.

2.2. Kamerālo darbu metodika

Stumbra tilpums kokiem tiek aprēķināts pēc I. Liepas (Liepa, 1996⁴) formulām.

Dispersijas komponentes aprēķinātas ar SAS proc mixed procedūru (REML-Restricted Maximum Likelihood – metode), saskaņā ar aditīvu lineāru modeli:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + b(t)_{ij} + f_k + ft_{ik} + fb(t)_{ijk} + e_{ijk}, \quad (1)$$

kur:

- Y_{ijk} – individuāls fenotipiskais mērījums;
- μ – pazīmes vidējā vērtība visā analizētajā eksperimentā;
- t_i – stādījuma vietas (ja eksperiments ierīkots vairākās stādījuma vietās) ietekme;
- $b(t)_{ij}$ – atkārtojuma (stādījuma vietas ietvaros) ietekme;
- f_k – aditīvā ģenētiskā efekta (ģimenes) ietekme;
- ft_{ik} – aditīvā ģenētiskā efekta (ģimenes) un stādījuma vietas mijiedarbības ietekme;
- $fb(t)_{ijk}$ – aditīvā ģenētiskā efekta (ģimenes) un atkārtojuma (stādījuma vietas ietvaros) mijiedarbības ietekme;
- e_{ijk} – nekontrolēto (modelī neietvertu) faktoru ietekme.

Iedzimstamības koeficients („šaurā nozīmē” – ietverot tikai aditīvā ģenētiskā efekta ietekmi), kas determinē pēc fenotipa veiktās atlases ietekmi uz pazīmes vērtību nākamajā paaudzē, raksturojot fenotipisko un ģenētisko vērtību skaitliskās attiecības, aprēķināts pēc formulas (Falconer, Mackay, 1996⁵):

$$h^2 = \frac{4\sigma_f^2}{\sigma_f^2 + \sigma_{fb(t)}^2 + \sigma_{ft}^2 + \sigma_e^2}, \quad (2)$$

kur:

- σ_f^2 – aditīvā ģenētiskā efekta noteiktā (ģimeņu) dispersijas komponente;
- $\sigma_{fb(t)}^2$ – atkārtojuma (stādījuma vietas ietvaros) un ģimeņu mijiedarbības (parceles) dispersijas komponente;
- σ_{ft}^2 – ģimeņu un stādījuma vietas mijiedarbības dispersijas komponente (iekļauta gadījumos, kad kompleksi analizēti vairāki eksperimenti);
- σ_e^2 – nekontrolēto (modelī neietvertu) faktoru dispersijas komponente;

Koeficients 4 izmantots pieņemot, ka brīvapputes ģimenēs koki ir pussibi (tiem kopīgs tikai viens no vecākiem).

Iedzimstamības koeficienta standartklūda aprēķināta pēc formulas (Falconer, Mackay, 1996):

$$se = \frac{4\sigma_f^2}{\sigma_f^2 + \sigma_{fb(t)}^2 + \sigma_{ft}^2 + \sigma_e^2}, \quad (3)$$

⁴ Liepa, I. (1996) *Pieauguma mācība*. LLU, Jelgava, Latvija, 123 lpp.

⁵ Falconer, D.S., Mackay, T.F.C. (1996) *Introduction to Quantitative Genetics*: Fourth Edition. Longman Group Ltd, London, England, 465 p.

apzīmējumi kā 2. formulā.

Ģimenes selekcijas vērtība, kas raksturo tās novirzi no eksperimenta vidējās vērtības (kura pieņemta par 0) pēc noteiktas pazīmes, 2 reizes pārsniedz selekcijas starpību, jo sēklu plantācijā attiecīgais koks nodos savus gēnus pēcnācējiem gan ar putekšņiem, gan sēklām. Tā aprēķināta izmantojot SAS proc mixed/solution funkciju, BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) metodiku (White, Hodge, 1989⁶). Tādā veidā tiek novērtētas neprecizitātes, kuras var rasties veicot vienkāršu (aritmētisku) selekcijas vērtību aprēķinu, jo:

- 1) ne visas ģimenes pārstāvētas visos atkārtojumos, tātad ģimenei, kura pārstāvēta tikai dažos atkārtojumos ar labākajiem augsnes apstākļiem, būtu nepamatotas priekšrocības (augstāka selekcijas vērtība) salīdzinot ar visos atkārtojumos pārstāvētu ģimeni. Tas pats princips attiecas arī uz pārstāvēniecību dažādā skaitā eksperimentu kompleksas datu no vairākiem stādījumiem analīzes gadījumā;
- 2) ne visas ģimenes pārstāvētas visos atkārtojumos ar vienādu koku skaitu, tātad ģimenei, kurai atkārtojumos ar labākajiem augsnes apstākļiem ir proporcionāli vairāk koku, būtu nepamatotas priekšrocības (augstāka selekcijas vērtība) salīdzinot ar visos atkārtojumos ar vienādu koku skaitu pārstāvētu ģimeni.

Possību ģimeņu vidējo vērtību iedzimstamības koeficients (turpmāk tekstā „ģimeņu iedzimstamības koeficients”), aprēķināts pēc formulas:

$$h_f^2 = \frac{\sigma_f^2}{\left(\sigma_f^2 + \frac{\sigma_{fb(t)}^2}{bt} + \frac{\sigma_{ft}^2}{t} + \frac{\sigma_e^2}{btn} \right)}, \quad (4)$$

kur:

n – vidējais koku skaits parcelē;

b – vidējais atkārtojumu skaits ģimenei;

t – vidējais eksperimentu skaits ģimenei;

pārējie apzīmējumi kā 2. formulā.

Komponenti t un σ_{ft}^2 iekļauti formulā tikai gadījumos, kad kompleksi tiek analizēti vairāki eksperimenti.

Ģimeņu iedzimstamības koeficienta standartkļūda aprēķināta pēc formulas (Falconer, Mackay, 1996):

$$se_f = \frac{\sigma_f^2}{\sigma_f^2 + \frac{\sigma_{fb(t)}^2}{bt} + \frac{\sigma_{ft}^2}{t} + \frac{\sigma_e^2}{btn}}, \quad (5)$$

apzīmējumi kā 4. formulā.

Aditīvās ģenētiskās mainības variācijas koeficients aprēķināts pēc formulas (Falconer, Mackay, 1996):

$$cv_a = \frac{200\sigma_f}{\mu}, \quad (6)$$

kur:

σ_f – aditīvā ģenētiskā efekta noteiktā standartnovirze;

μ – pazīmes vidējā vērtība.

Ģimeņu vidējo vērtību fenotipiskās variācijas koeficients aprēķināts pēc formulas (Falconer, Mackay, 1996):

$$cv_{pf} = \frac{100\sqrt{\sigma_f^2 + \frac{\sigma_{fb(t)}^2}{bt} + \frac{\sigma_{ft}^2}{t} + \frac{\sigma_e^2}{btn}}}{\mu}, \quad (7)$$

apzīmējumi kā 4. un 6. formulā.

Fenotipiskās variācijas koeficients (cv_{pi}) aprēķināts no fenotipisko mērījumu datiem, neņemot vērā eksperimenta ģimeņu struktūru.

⁶ White, T.L., Hodge, G.R. (1989) *Predicting Breeding Values with Application in Forest Tree Improvement*. Kluwer, 423 p.

Aditīvā ģenētiskā efekta noteiktā korelācija starp 2 viena un tā paša indivīda pazīmēm (x un y) aprēķināta pēc formulas (Falconer, Mackay, 1996):

$$r_a = \frac{\text{cov}_{xy}}{\sqrt{\sigma_{f(x)}^2 \sigma_{f(y)}^2}}, \quad (8)$$

kur:

cov_{xy} – kovariācija starp pazīmēm.

Aditīvā ģenētiskā noteiktās korelācijas standartklūda aprēķināta pēc formulas (Falconer, Mackay, 1996):

$$se_{r_a} = \frac{1 - r_a^2}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{se_{(x)} se_{(y)}}{h_{(x)}^2 h_{(y)}^2}}, \quad (9)$$

Ģenētiskā korelācija starp vienas un tās pašas pazīmes vērtībām dažādos eksperimentos (t.s. b-tipa ģenētiskā korelācija) aprēķināta saskaņā ar Yamada I formulu, kas nodrošina mazāko novirzi no faktiskās ģenētiskās korelācijas (Lu et al., 2001⁷):

$$r_b = \frac{\sigma_{f(12)}^2}{\sigma_{f(1)}^2 + \sigma_{f(2)}^2 - \frac{(\sigma_{f(1)} + \sigma_{f(2)})^2}{2}}, \quad (10)$$

kur:

σ_f^2 – ģimenes dispersijas komponente, atbilstoši indeksiem stādījuma vietā 1 un 2, kā arī analizējot abus eksperimentus kopā (1,2).

Selekcijas efekts (ģenētiskais ieguvums) veicot atlasī starp ģimenēm pēc pēcnācēju pārbaužu rezultātiem aprēķināts pēc formulas (Falconer, Mackay, 1996):

$$\Delta g \% = i h_f^2 cv_{pf} 2, \quad (11)$$

kur:

i – atlases intensitāte. Koeficients 2 izmantots, jo analizētas pussibu ģimenes.

Selekcijas efekts pazīmei y, ja atlase veikta pēc pazīmes x (korelatīvais selekcijas efekts), aprēķināts pēc formulas (Falconer, Mackay, 1996):

$$\Delta cg \% = i h_{f(y)} h_{f(x)} r_{a(xy)} cv_{pf(y)} 2 \quad (12)$$

Vidējās ģenētisko parametru vērtības no vairākiem eksperimentiem aprēķinātas pēc formulas (Haapanen et al., 1997⁸):

$$x = \frac{\sum_i^n x_i w_i^{-1}}{w^{-1}}, \quad (13)$$

kur:

x_i – ģenētiskā parametra vidējā vērtība i-tajā eksperimentā;

w_i – ģenētiskā parametra standartklūdas vērtība i-tajā eksperimentā.

Aprēķinot cv_a , cv_{pi} , cv_{pf} vidējo vērtību starp eksperimentiem izmantota ģimeņu iedzīstamības koeficienta standartklūda.

⁷ Lu, P., Huber, D.A., White, T.L. (2001) Comparison of Multivariate and Univariate Methods for the Estimation of Type B Genetic Correlations. *Silvae Genetica*, Nr. 50, pp. 13-22.

⁸ Haapanen, M., Velling, P., Annala, M-L. (1997) Progeny Trial Estimates of Genetic Parameters for Growth and Quality Traits in Scots Pine. *Silva Fennica*, Nr. 31, pp. 3-12.

3. Darbs ar selekcijas materiālu

3.1. Parastās priedes selekcijas materiāla kontrolētā krustošana un sēklu ievākšana, klonu arhīvu veidošana un uzturēšana

Kontrolētās krustošanas mērķis ir nodrošināt sēklu materiālu nākamajam selekcijas ciklam. Kontrolētās krustošanas principi:

1. ģenētiskā materiāla rekombinācijai selekcijas grupā izmanto minimālo krustojumu skaitu, pielietojot viena pāra vai dubultpāru krustošanas shēmu. Lielāku krustojumu skaitu izmanto tikai kokiem ar augstāko selekcijas vērtību, ja prognozējama materiāla rūpnieciska pavairošana, izmantojot kontrolēto krustošanu vai veģetatīvi;
2. krustošanu veic saskaņā ar koku selekcijas vērtībām – labāko ar otru labāko, trešo ar ceturto utt., tādējādi palielinot varbūtību atlasīt īpaši augstvērtīgus īpatņus sēklu plantācijām;
3. atlasī veic ģimeņu ietvaros, tādējādi iespējami maz palielinot radniecību starp selekcijas grupas kokiem katrā selekcijas ciklā. Atlasī starp ģimenēm iespējams veikt, ja selekcijas grupā esošais koku skaits lielāks par to, kāds nepieciešams ilgtermiņā ģenētiskās daudzveidības nodrošināšanai;
4. atlase pēc fenotipa produktivitāti un jo īpaši kvalitāti raksturojošajām pazīmēm ir ar zemu precizitāti, tādēļ izmanto atlasī pēc izvēlēto kandidātu (augstvērtīgu koku katras kontrolētās krustošanas ģimenes ietvaros) pēcnācēju pārbaužu rezultātiem.

Pārskata periodā katru gadu veikta **kontrolētā krustošana**: sagatavotas krustojumu kombinācijas, veikti meteoroloģiskie un ziedēšanas fenoloģijas novērojumi, veikts krustošanas process un čiekuru aizmetņu uzskaitē. Iepriekšējā pārskata periodā tika pabeigta perspektīvo klonu identifikācija, ievācot skuju paraugus no viena klona vairākiem rametiem vairākās sēklu plantācijās atbilstoši klonu izvietojuma shēmām, veicot to ģenētisko analīzi un savstarpēju salīdzināšanu, rezultātā iegūstot identificēto klonu komplektu. Atbilstoši šai informācijai, turpmāk, t.i. pārskata periodā 2016-2020, kontrolētā krustošana tika realizēta tikai ģenētiski identificētiem kloniem, izmantojot tikai genotipētos rametus. Pārskata perioda pirmajos gados (2016-2018) krustošana notika divās II kārtas sēklu plantācijās – Dravu un Sāvienas. Tā kā krustošanu praktiski iespējams realizēt tikai kokiem ar pietiekami labi attīstītu un salīdzinoši zemu vainagu, un krustošanas iespējas šajās plantācijās strauji samazinājās, tad krustošanas darbam tika sagatavotas divas jaunas sēklu plantācijas/klonu arhīvi. 2017. gadā tika veikta klonu identifikācija klonu arhīvā “Kaupres”, kā arī visā pārskata periodā sēklu plantācijā/klonu arhīvā “Misa” tika nodrošināta iepriekš veikto potējumu inventarizācija, papildināšana un koku vainagu veidošana ar mērķi veicināt sievišķo strobilu veidošanos uz uzpotētajiem zariem. Sākot ar 2018. gadu, krustošana tiek veikta Kauprēs un Misā; tā kā Misā tā notiek uz koku vainagos potētiem zariem, tad pietiekamu sēklu daudzumu krustojumu kombinācijai iespējams iegūt, vairākus gadus to atkārtojot un uzkrājot.

Katru gadu veikto krustojumu apjoms parādīts 3.1.1. tabulā. Pārskata perioda beigās 75 kombinācijām bija uzkrāts pietiekams sēklu daudzums to iekļaušanai pēcnācēju pārbaužu stādījumos: izveidotie sēklu paraugi iesēti 2020. gada pavasarī. Katru gadu ievākti putekšņi krustošanai nākamajām sezonām tiem kloniem, kuriem krājumā putekšņu nebija pietiekamā daudzumā. Pašreiz saldētavā tiek uzglabāti putekšņi no 154 identificētiem kloniem.

Lai nākotnē saglabātu pagājušajā gadsimtā izvēlēto pluskoku klonus, kā arī gūtu iespēju iesaistīt kontrolētajā krustošanā lielāku daudzumu augstvērtīgu klonu, nepieciešams veidot klonu arhīvus.

Pārskata periodā tika veikti darbi klonu arhīva veidošanai (t.s. **Nepārbaudīto klonu arhīvs**), kurā būtu ietverti tie kloni, kas iepriekš nav iekļauti pēcnācēju pārbaužu stādījumos. Šajā klonu komplektā pārstāvēti 210 kloni, t.sk., 142 pēc “standarta” kritērijiem atlasīti pluskoki, 46 koki ar augstu sveķu ražību un 22 koki, kas kā pārāki atlasīti mežaudzēs ar kūdras augsnēm. Šie 210 kloni pārstāvēti gan pašreiz apsaimniekotās (12 plantācijas), gan neapsaimniekotās (šobrīd jau likvidētās vai potenciāli likvidējamās) sēklu plantācijās (14). Katram klonam no viena konkrēta rameta (bez genotipēšanas), sākot ar 2016. gadu, vākti potzari un čiekuri (pēcnācēju pārbaužu ierīkošanai). Visā pārskata periodā (2016-2020) atsevišķiem kloniem papildus vākti potzari – nesekmīgo potējumu aizstāšanai – un čiekuri –

nepietiekama iepriekš iegūtā sēkļu apjoma gadījumā. “Nepārbaudīto klonu arhīvs” ar vienādu klonu komplektu ierīkots divās platībās: LVM 508. kvartālapgabala 463. kvartāla 1. nogabalā (Iecavas sēkļu ieguves plantācija; LKS92: 514180; 271805) 2018. gada rudenī un LVM 610. kvartālapgabala 311. kvartāla 1. nogabalā (Garozas sēkļu ieguves plantācija; LKS92: 492457; 281195) 2019. gada rudenī. Katrs klons katrā platībā pārstāvēts ar trim rametiem, abās platībās veikta klonu marķēšana, salīdzinoši nelielā apjomā nepieciešama papildināšana (Iecavā ~1 %, Garozā ~17 % no kopējā stādvieta skaita). Sēkļu paraugus sēšanai pēcnācēju pārbaudēm paredzēts gatavot 2021. gada pavasarī; būs pārstāvēta lielākā daļa (~94 %) klonu.

Pārskata periodā uzsākta arī klonu arhīva veidošana (t.s. **Pārbaudīto klonu arhīvs**), kurā būtu ietverti tie kloni (koki), kas pēcnācēju pārbaudžu rezultātu vērtējumā jau agrāk atzīti par pārākiem. Šajā klonu komplektā pārstāvēti 206 varianti, t.sk., 159 identificēti kloni, kuriem potzari arhīvam ievākti 17 sēkļu plantācijās no genotipētiem rametiem, kā arī 47 individuāli koki, kuriem potzari ievākti 8 pēcnācēju pārbaudžu stādījumos no konkrētiem kokiem (klonu brīvapputes pēcnācēji – 23 koki; kontrolētie krustojumi – 12; Eiropas proveniences – 12).

3.1.1. tabula

Priedes selekcijas nozīmīgāko darbu apjoma kopsavilkums 2016-2020

	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	Darba rezultāts uz 31.12.2020.	
Krustojumu kombinācijas, skaits, t.sk.:	41	17	47	55	44	Iesētas 75 krustojumu kombinācijas	
a) Dravu pl.	20	5	17	-	-		
b) Sāvienas pl.	21	12	-	-	-		
c) Kaupres pl./arh.	-	-	23	31	12		
d) Misas pl./arh.	-	-	7	24	32		
Ievākti putekšņi, klonu skaits, t.sk.:	27	20	6	22	21	Krājumā 154 klonu putekšņi	
a) Dravu pl.	11	9	-	-	-		
b) Sāvienas pl.	16	11	-	-	-		
c) Misas pl./arh.	-	-	-	-	7		
d) Avotkalna pl.	-	-	6	8	2		
e) Juglas pl.	-	-	-	14	12		
Nepārbaudīto klonu arhīvs, klonu skaits (potējumi/sēklas), t.sk.:	109/-	99/195	10/33	42/9	36/35	210 kloni	
a) pluskoki	109/-	34/130	7/27	32/6	18/25		142/132
b) sveķu priedes	-	43/43	3/4	5/-	11/6		46/45
c) kūdras priedes	-	22/22	-/2	5/3	7/4		22/21
Pārbaudīto klonu arhīvs, potēto klonu skaits, t.sk.:				159	116	206 varianti	
a) identificēti kloni	-	-	-	159	69		159
b) pārāki indivīdi	-	-	-	-	47	47	

Brīvapputes pēcnācēju pārbaudžu stādījumu ierīkošanai veikta čiekuru ievākšana iepriekš nepārbaudītiem priedes kloniem vairākās “populāciju” sēkļu plantācijās no genotipētiem rametiem (plantācijā ietvertais kopējais populācijas klonu skaits norādīts iekavās): Svente (106 kloni), Silva (241 klons), Brenguļi (83 kloni), Misa (131 klons), Norupes (18 gab. ir tādi kloni, kas nav Misas). Nepietiekama vienā ražas gadā iegūstamā sēkļu apjoma dēļ, kā arī – dažās sezonās – saistībā ar zemu sējeņu saglabāšanos kokaudzētavā un zemu iestādīto koku saglabāšanos ierīkotajos pēcnācēju pārbaudžu stādījumos, čiekuru vākšana turpinājusies katru gadu visā pārskata periodā: 2016. g. – 564 kloniem, 2017. g. – 326 kloniem, 2018. g. – 359 kloniem, 2019. g. – 40 kloniem, 2020. g. – 102 kloniem.

Atjaunots marķējums 23 priedes selekcijas eksperimentos.

3.2. Parastās egles selekcijas materiāla kontrolētā krustošana, krustojumu un brīvapputes sēklu ieguve

Pārskata periodā egles ziedēja vairākkārt un klonu kontrolēto krustošanu bija iespējams veikt 2017., 2019. un 2020. gadā. Visbagātīgākā egles vīrišķā ziedēšana bija vērojama 2017. gadā, kad arī tika ievākti putekšņi vairākās sēklu ieguves plantācijās - „Suntaži”, „Liepa”, „Liuza” un „Tadaine”. Iegūti 44 klonu putekšņi (kopā 1852 ml), kas izmantoti kontrolētai krustošanai, bet atlikumi novietoti ilgstošai uzglabāšanai Augu fizioloģijas laboratorijas saldētavā. Putekšņu kolekcija papildināta arī 2019. gadā ar 10 sēklu plantācijas “Svente” klonu un 2020. gadā ar 4 plantācijas “Tirza” klonu putekšņiem (3.2.1. tab.).

3.2.1. tabula

Egles putekšņu kolekcija 2017.- 2020. gadā

Ziedēšanas gads	Sēklu plantācija	Putekšņu klonu skaits, gab	Iegūti putekšņi, ml
2017.	Liepa	6	177
	Tadaine	3	117
	Suntaži	4	137
	Liuza	31	1421
2019.	Svente	10	294
2020.	Tirza	4	6
Kopā:		58	2152

Egles kontrolētai krustošanai izmantoti putekšņi no iepriekšējo gadu kolekcijām un arī svaigie, konkrētajā ziedēšanas gadā ievāktie. Krustošana tikusi veikta jaunajās sēklu plantācijās – “Liuza”, “Šarlote”, “Tirza” (ierīkotas pēc 2000. gada), kurās rametu augstums ļauj piekļūt sievišķajiem ziediem vainagā bez papildus aprīkojuma (pacēlāja), un 1986. gadā ierīkotajā spraudenstādu sēklu plantācijā “Svente”, kurā ir grieztas galotnes, egļu zari sniedzās līdz zemei un bez pacēlāja iespējams aizsniegt sievišķos ziedus. Tā kā egles sievišķo ziedu izolācijas laiks ir ļoti ierobežots – ziedu plaukšana pēc to parādīšanās, atkarībā no laika apstākļiem, var noritēt ļoti strauji (dažās stundās līdz pāris dienām), tad lielā plantāciju savstarpējā attāluma un cilvēkresursu ierobežojuma (pavasara darbu sezona) dēļ, vienā ziedēšanas gadā nav iespējams aptvert visas ziedošās egles sēklu plantācijas. 2017. gadā krustošana veikta sēklu plantācijā “Liuza”, izvēlēti 34 klonu māteskoki (19 Rēzeknes ĢRM un 15 Maltas ĢRM izcelsmes) un izveidotas 102 kombinācijas, izmantojot 25 klonu putekšņus no 2014. un 2017. gada kolekcijām. Veiksmīgas bija 90 kombinācijas, kurās iegūti 154,3 g sēklu. 2019. gadā plantācijās “Svente” un “Šarlote” sievišķo ziedu izolācija, uzliekot attiecīgi 33 un 50 izolācijas maisus, veikta identificēto klonu rametiem. Krustošanā izmantoti putekšņi no 2014., 2017. un 2019. gada kolekcijām. No veiksmīgajām krustojumu kombinācijām - “Svente” - 31, “Šarlote” - 43, iegūtas sēklas - attiecīgi 48,5 un 45,3 g. Egles ziedēšanas intensitāte 2020. gadā vērtējama, kā visai neliela. Pirmo reizi sēklu plantācijā “Tirza” ziedēšanas apjoms, kaut arī neliels, deva iespēju veikt kontrolēto krustošanu. No identificētiem rametiem ievākti 4 klonu putekšņi, kas līdz ar 18 klonu putekšņiem no iepriekšējo gadu kolekcijām (2014., 2017., 2019. g.), izmantoti krustojumu kombināciju veidošanā. No 55 izveidotajām kombinācijām veiksmīgas izrādījās 49, sēklu ieguve no tām vēl nav pabeigta. Egles kontrolētās krustošanas rezultātu kopsavilkums par pārskata periodu - 3.2.2. tabulā. Visos egles ziedēšanas gados no 2016.-2020. gadam veikta arī brīvapputes sēklu ieguve no plantāciju kloniem. Kopsavilkums 3.2.3. tabulā.

Egles kontrolētā krustošana 2017.-2020. gadā

Ziedēšanas gads	Sēklu plantācija	māteskoki /kloni, gab	Putekšņi (kloni), gab	Krustojumu kombināciju skaits, gab*	Iegūtas sēklas, g
2017.	Liuza	34/34	25	102 (90)	154,331
2019.	Svente	9/9	23	33 (31)	48,52
	Šarlote	14/13	25	50 (43)	45,34
2020.	Tirza	18/13	22	55 (49)	**

*xx izveidoto kombināciju skaits; (xx) izdekušos kombināciju skaits

** sēklu ieguve nav pabeigta

Egles brīvapputes sēklu ieguve 2017.-2020. gadā

Ziedēšanas gads	Sēklu plantācija	rameti/kloni, gab	Iegūtas sēklas, g
2017.	Šarlote	47/32	317,88
	Remte	29/29	334,81
	Liuza	39/37	269,99
Kopā:		115/98	
2019.	Tirza	11/11	59,04
	Liuza	14/14	55,41
	Svente	7/7	10,36
	Šarlote	28/28	155,81
Kopā:		60/60	
2020.	Tirza	11/7	**

** sēklu ieguve nav pabeigta

Kontrolētajā krustošanā un brīvappūtē iegūto egles sēklu paraugi izmantoti stādu izaudzēšanai 2018.; 2019.; 2020. gadā pēcnācēju pārbaužu ierīkošanai un mātesaugu izaudzēšanai egles veģetatīvajai pavairošanai (spraudēņu ieguvei apsākšanas veikšanai).

3.3. Parastās egles selekcijas materiāla veģetatīvā pavairošana ar spraudēņiem

Kandidātu ar augstāku aditīvo ģenētisko vērtību atlase katram nākošajam selekcijas ciklam notiek izvērtējot pēcnācēju pārbaužu rezultātus. Būtiski ir saīsināt laiku, kas nepieciešams, lai kandidāti sasniegtu noteiktu vecumu, kurā iespējama salīdzinošā izvērtēšana. Tādas iespējas dod dažādas veģetatīvās pavairošanas metodes. **Augu veģetatīvā pavairošana** ir augu pavairošana izmantojot tā orgānus vai orgānu pārveidnes, kuras satur meristemātiskos audus. Tādejādi vairojot augus, jaunais augs ir ģenētiski identisks mātes augam.

LVMI Silava egles veģetatīvā pavairošana uzsākta 2013. gadā ar jauno sēklu plantāciju (ierīkotas pēc 2000. gada) klonu bez pēcnācēju pārbauzēm spraudēņu apsākšanu. Laikā no 2013. - 2015. gadam sakņoti 346 sēklu plantācijās "Liuza", "Vecumi", "Tirza" augoši kloni: 107 kloni sakņoti 1 reizi, 179 kloni 2 reizes, 56 kloni sakņoti 3 reizes, 1 klons - četras reizes. No šiem kloniem 19 kloni (5,5 %) vai nu nesakņojās nemaz (vairākās sakņošanas reizēs), vai neuzrādīja apsākšanas lielāku kā 3 %. Zemā apsākšanās spēja izskaidrojama ar mātesaugu lielo vecumu (> 10 gadi), jo mātesaugu vecums > 6 gadiem spraudēņu apsākšanās spēju strauji samazina, bet apsākņojušos augu dzīvotspēja kloniem nav stabila līdz aptuveni 4 gadu vecumam. Vērojama arī lēna augšanas gaita un plaģiotropisms (zaram raksturīga augšanas gaita). Apsākņoto augu skaitam sarūkot ar katru gadu, nākamās F2 paaudzes spraudēņu (spraudēņi no spraudēņstādiem) ieguvei pārskata periodā (2020. gadā) izmantoti 63 klonu 1285 augi (3.3.1. tab.).

2016. gadā turpināta 2015. gadā apsakņoto egles spraudņstādu (materiāls iegūts sēklu plantācijās “Liuza”, “Vecumi” un “Tirza”, un pēcnācēju pārbaužu stādījumos Rembates pag. Vecumbās (Nr.748), Jelgavas MN (Nr.626,) un Kalsnavas MN (Nr.716; 694), un no astoņu Zviedrijas izcelsmes klonu 5 gadīgiem stādiem (pavairoti embriģenēzes ceļā)) audzēšana MPS stādaudzētavā Jaunkalsnavā.

Kopējais 2015. gadā apsakņošanai iesprausto spraudņu apjoms bija 39,2 tūkstoši. Būtiski, ka sakņu veidošanās bija vērojama arī fizioloģiski vecākajam – no sēklu plantācijām iegūtajam materiālam, kas iepriekšējos gados bija ļoti vāja. Apsakņojušies augi, saglabājot katra klona marķējumu, ieskoloti uz lauka turpmākai audzēšanai. Audzēšanas mērķis – mātesaugu juvenilizēšana spraudņu ieguvei 2018. gadā. Būtiski atšķirās apsakņošanas rezultāti fizioloģiski jaunam un vecam spraudņu materiālam. Zviedrijas izcelsmes embriģenie kloni (visjuvenīlākais materiāls) ir ar visaugstāko vidējo apsakņošanas (85 %), no sēklu plantācijās ievāktā spraudņu materiāla visvājākie rezultāti ir Tirzas plantācijas spraudņiem – vidējā apsakņošanās 9 %, Vecumu plantācijai - 12 %, Liuzai nedaudz labāki - 14 %. Vērojamas ļoti lielas apsakņošanās atšķirības starp kloniem. No sēklu plantācijās (“Vecumi”, “Liuza”, “Tirza”) iegūtajiem spraudņiem lielākais klonu skaits ir ar apsakņošanas līdz 10 % - attiecīgi 42 no 112; 21 no 59; 24 no 47 kloniem. Pēcnācēju pārbaudēs iegūtajam – fizioloģiski jaunākajam spraudņu materiālam, ir ievērojami augstāki apsakņošanās rezultāti: Rembates pag. - 98 no 116 kloniem apsakņošanās 61-100 %, Kalsnavas MN - 109 no 141 klona apsakņošanās 51-100 %; Jelgavas MN - 19 no 69 kloniem apsakņošanās 51-80 % (dati 1. gadā pēc apsakņošanās). Spraudņu 2015. gada kolekcijas audzēšanas rezultāti pārskata periodā apkopoti 3.3.2. tabulā.

2017. gadā turpināta iepriekšējo gadu kolekciju spraudņstādu audzēšana spraudņu ieguvei.

D grupas selekcijas materiāla veģetatīvai pavairošanai 2018. gadā sagatavoti un MPS kokaudzētavas spraudņu apsakņošanas siltumnīcā iesprausti 14,7 tūkst. parastās egles spraudņi. Spraudņu ieguvei izmantoti: veģetatīvai pavairošanai rekomendēto klonu potējumi Andumu sēklu plantācijā un Strenču kokaudzētavā; Sventes sēklu plantācijas brīvapputes pēcnācēji Podiņu kokaudzētavā; Zviedrijas klonu komplekts veģetatīvai pavairošanai Strenču kokaudzētavā; apsakņoto Liuzas, Vecumu un Tirzas sēklu plantāciju klonu un brīvapputes ģimeņu pēcnācēju F1 paaudzes spraudņstādi MPS stādaudzētavā. 2018. gada kolekcijas audzēšanas rezultāti pārskata periodā apkopoti 3.3.3. tabulā.

2019. gadā jaunu spraudņu apsakņošana netika veikta, saskaņā ar darba uzdevumiem, turpināta klonēto egles spraudņstādu audzēšana nākamās – F2 paaudzes spraudņu ieguvei. Papildināta mātesaugu kolekcija, iepodojot 2014. gada kontrolēto krustojumu 57 ģimeņu sējeņus nākamo gadu spraudņu kolekciju veidošanai.

3.3.1. tabula

2013. un 2014. gada kolekciju egles spraudenstādu audzēšana

Spraudēņu ieguves plantācija	paaudze	2013. gada kolekcija			2014. gada kolekcija					Saglab. 2018. g., gab	% no iespraustajiem	Izaudzēti mātesaugi spraudēņu ieguvei 2020. g.; gab/kloni	paaudze	Iesprausti 2020. g., gab/kloni
		Iesprausti 2013. g., gab/kloni	Apsakņojušies 2014. g., gab/kloni	Vid. apsakņ. %	Iesprausti 2014. g., gab/kloni	Apsakņojušies 2015. g., gab/kloni	Vid. apsakņ. %	Saglab. 2017. g.; gab	% no iespraustajiem					
Liuza	F1	11031/92	1198/62	12,8						491	4,5	280/55	F2	2215/49
Liuza	F1				21032/186	832/49	13,6	966	4,6	640	3,0	111/34	F2	1285/63
Vecumi	F1				12874/106	1711/95	14	612	4,8	468	3,6	79/28		
Tirza	F1				3066/38	461/34	17,02	140	4,6	106	3,5	17/8		

3.3.2. tabula

2015. gada kolekcijas egles spraudenstādu audzēšana

Spraudēņu ieguves vieta	spraudēņu paaudze	2015. gads		2016. gads		2017. gads		2018. gads		2019. gads	2020. gads	
		Iesprausti spraudēņi, gab/kloni	apsakņoš. %	saglab. 2016. g. rudenī, gab.	% no iespraustajiem	saglab. 2017. g. rudenī, gab/kloni	% no iespraustajiem	kopā uz lauka 2018. g. rudenī, gab.	% no iespraustajiem	Izaudzēti mātesaugi 2020. g. kolekc. spraudēņiem	spraudēņu paaudze	iesprausti 2020. g.; gab/kloni
s.pl. Vecumi	F1	11224/112	12,4	994	8,9	633/86	5,6	264	2,4	79/33	F2	610/36
s.pl. Liuza	F1	5808/59	14,6	587	10,1	351/45	6,0	174	3,0	41/19	F2	
s.pl. Tirza	F1	3456/47	9,0	255	7,4	154/32	4,5	89	2,6	30/9	F2	
Rembate, Nr. 748	F1	5040/116	77,3	3716	73,7	3446/115	68,4	3126	62	557/107	F2	6548/103
Jelgavas MN, Nr. 626	F1	6738/69	36,7	1937	28,7	1630/63	24,2	1322	19,6	229/52	F2	2214/45
Kalsnavas MN, Nr. 694, 716	F1	6696/141	63,9	4016	60,0	3562/138	53,2	3131	46,8	665/132	F2	7674/123
Zviedrijas izc. embriog. kloni	F1	323/8	85,1	192	59,4	169/8	52,3	169	52,3	33/8	F2	449/8
Kopā:		39285/552	34,4	11697		9945/487	25,3	8275		1634/360		29565/827

2018. gada kolekcijas egles spraudeņstādu audzēšana

Spraudeņu ieguves vieta	2018. gads		audzēti 2019. gadā		audzēti 2020. gadā		Izaudzēti stādi mātesaugiem 2021. g., gab/kloni	Izaudzēti stādi pēcnācēju pārbaudēm 2021. g., gab
	Spraudeņu paaudze	iesprausti spraudeņi, gab/kloni	iepodoti 1 l podos 2019. g. jūnijā, gab/kloni	apsak. % no iespraustajiem spraud.	augu skaits 2020. g. augustā, gab/kloni	saglab. % no iespraustajiem		
Klonu potējumi Andumu sēklu pl.	F1	1382/31	205/20	14,8	144/19	19,9	52/18	82
Klonu potējumi LVM Strenču kokaudz.	F1	1000/9	298/9	29,8	109/9	13,2	36/8	39
Zviedrijas klonu komplekts veģ. pavairošanai Strenču kokaudzētavā	F2	2200/10	1618/10	76,4	1564/10	76,5		1554
Sventes sēklu plantācijas brīvapputes pēcnācēji – sējeņi Podiņu kokaudzētavā	F1	350/350	340/350	97,1	339/350	96,8		339
Spraudeņstādi MPS stādaudzētavā (2015. g. kolekcija)	F2	9791/203	7769/195	79,19	7414/194	75,7	965/193	6420
Kopā:								8434

2020. gada pavasarī D grupas selekcijas materiāla veģetatīvai pavairošanai MPS kokaudzētavas spraudeņu siltumnīcā apsākņošanai iesprausti 29,5 tūkst. parastās egles spraudeņi. Spraudeņi iegūti: no F1 2015. gada kolekcijas kloniem – 17,5 tūkst.; no 2014. gada kontrolēto krustojumu 57 ģimenēm – 4,1 tūkst. spraudeņu; no 2013. gada F1 kolekcijas (Liužas s.pl. kloni) – 2,2 tūkst. spraudeņu; no 2014. gada F1 kolekcijas (Liužas un Vecumu s.pl. kloni) – 1,2 tūkst. spraudeņu; no veģetatīvai pavairošanai atlasīto klonu potējumiem – 4,4 tūkst. spraudeņu (3.3.4. tabula). Apsākņošanas sekmes varēs novērtēt 2021. gada pavasarī. Turpināta 2018. gadā apsākņoto F1 un F2 spraudeņstādu audzēšana 1 l podos poligonā. Ap 1000 augu no 9,5 tūkst. izaudzēto spraudeņstādu 2021. gada pavasarī paredzēts iepodot 5 l podos mātesaugu audzēšanai, pārējos ~ 8 tūkst. – pēcnācēju pārbaužu ierīkošanai.

Nemot vērā mātesaugu straujo fizioloģisko novecošanos, mātesaugu kolekcija nemitīgi ir jāatjauno. 2020. gadā jaunu mātesaugu audzēšanai 5 l podos iepodoti 2017. gada 84 kontrolēto krustojumu ģimeņu pēcnācēji (2018. gada sējeņi) un Sventes sēklu plantācijas veģetatīvi pavairoto klonu 63 brīvapputes ģimeņu pēcnācēji (2018. gada sējeņi), kopā 1465 augi. Visu jauno mātesaugu kopsavilkums 3.3.5. tabulā. Spraudeņu ieguve no tiem plānota 2021. gada pavasarī.

3.3.4. tabula

2020. gada spraudeņu kolekcija

Mātesaugu izcelsme	Spraudeņu paaudze	Iesprausti 2020.g., gab/kloni
2014. gada kontrolēto krustojumu ģimenes (2017. g. sējeņi)	F1	4154/377
Jelgavas MN, Nr.626 (2015. g. kolekcija)	F2	2214/45
Kalsnavas MN, Nr.694; 716 (2015. g. kolekcija)	F2	7674/123
Rembate, Nr.748 (2015. g. kolekcija)	F2	6548/103
Sēklu pl. Vecumi, Liuza, Tirza 2015. g. klonu kolekcija	F2	610/36
Zviedrijas izcelsmes embriogēnie kloni (2015. g.)	F2	449/8
Sēklu pl. Liuza 2013. gada kolekcija	F2	2215/49
Sēklu pl. Vecumi, Liuza, Tirza 2014. gada kolekcija	F2	1285/63
Klonu potējumi LVM kokaudzētavā	F1	4416/23
Kopā:		29565

3.3.5. tabula

Izaudzēti mātesaugi 2021. gada spraudeņu kolekcijai

Mātesaugu izcelsme	mātesaugu sk., gab.	klonu/ģim. sk., gab
2014. gada kontrolēto krustojumu ģimenes	377	56
2017. gada kontrolēto krustojumu un brīvapputes ģimenes	1465	148
Jelgavas MN, Nr.626 (2015. g. kolekcija)	209	45
Kalsnavas MN, Nr.694; 716 (2015. g. kolekcija)	637	123
Rembate, Nr.748 (2015. g. kolekcija)	493	92
Sēklu pl. Vecumi, Liuza, Tirza 2015. g. klonu kolekcija	74	18
Zviedrijas izcelsmes embriogēnie kloni (2015. g.)	33	8
Kopā:	3288	490

3.4. Kārpainā bērza selekcijas materiāla mikropavairoto un potēto klonu ziedēšanas veicināšana un kontrolētā krustošana

Bērza kontrolētā krustošana veikta 2018., 2019. un 2020. gadā klonu arhīvā 2013.–2017. gadā potētiem un veģetatīvi (*in vitro*) pavairotiem, identificētiem klonu rametiem, izmantojot klonu arhīvā ievāktus un saldētavā uzglabātus, kā arī svaigi ievāktus putekšņus (3.4.1. un 3.4.2. tab.). Klonu arhīvs katru gadu tiek papildināts ar jauniem *in vitro* pavairotiem kloniem, aizstājot vairs neražojošos klonu potējumus. Šobrīd arhīvā ir 155 klonu 528 koki.

2018. gadā ziedošo koku (20 kloni) vainagos izveidotas 74 krustojumu kombinācijas. Iegūtas sēklas no 47 veiksmīgām krustojumu kombinācijām, 10 kombinācijas neizdevās lietot un vēja bojātu izolācijas maisu dēļ, bet 17 kombinācijās apputeksnēšana bija neveiksmīga. 2019. gadā ziedēja 8 kloni, tika izveidotas 29 krustojumu kombinācijas, izmantojot 2018. gada kolekcijas un 2019. gadā ievāktos putekšņus. Sēklas izdevās iegūt no 10 kombinācijām. 2020. gadā jau ziedēja 19 kloni, izveidotas 87 krustojumu kombinācijas, sēklas iegūtas no 60 kombinācijām.

3.4.1. tabula

Bērza klonu arhīvā ievāktie putekšņi 2018.-2020. gadā

Ražas gads	plantācija	Putekšņu rametu/klonu skaits, gab
2018.	klonu arhīvs	21/21
2019.	klonu arhīvs	20/13
2020.	klonu arhīvs	21/14

3.4.2. tabula

Bērza kontrolētā krustošana 2018.-2020. gadā

Ražas gads	plantācija	Māteskoki/kloni, gab	Putekšņi (kloni), gab	Kombināciju skaits, gab *	Iegūtas sēklas, g
2018.	klonu arhīvs	21/20	21	74 (47)	43,11
2019.	klonu arhīvs	8/8	18	29 (10)	3,14
2020.	klonu arhīvs	21/17	34	87 (60)	31,091
Kopā:					77,34

*xx izveidoto kombināciju skaits; (xx) veiksmīgo kombināciju skaits

Katru gadu no visiem ziedošajiem kloniem arhīvā ievāktas arī brīvapputes sēklas (3.3.3. tab.).

3.3.3. tabula

Bērza brīvapputes sēklu ieguve 2018.-2020. gadā

Ražas gads	plantācija	Ražojoši rameti/kloni, gab	Iegūtas sēklas, g
2018.	klonu arhīvs	48/41	246,77
2019.	klonu arhīvs	48/27	208,76
2020.	klonu arhīvs	80/31	535,5
Kopā:			991,03

Iegūtās bērza kontrolēto krustojumu un brīvapputes sēklas izmantotas stādu izaudzēšanai 2020. gadā pēcnācēju pārbaužu ierīkošanai.

3.5. Kārpainā bērza selekcijas materiāla klonu mikropavairošana un stādu audzēšana pēcniecēju pārbaužu ierīkošanai

3.5.1. Kārpainā bērza selekcijas materiāla *in vitro* kolekcija

Kārpainā bērza selekcijas materiāla *in vitro* kolekcijā pašreiz atrodas 145 bērzu genotipi. Kolekcijas materiāls tiek uzturēts mēģenēs audzēšanas kamerās +25 °C temperatūrā un ik pēc 4-5 nedēļām pārlikts jaunā barotnē. Lai samazinātu pārlikšanas biežumu un samazinātu iztērētos resursus kolekcijas uzturēšanai, veikts eksperiments par bērzu *in vitro* kultūras uzturēšanas iespējām pazeminātā temperatūrā.

Aukstumkamerā +4,5 °C temperatūrā tika ievietotas 162 mēģenes ar bērzu mikrozdinumiem. Augi iestādīti WPM barotnē ar 0,2 mg/l zeatīna un 20 g/l cukura. Pēc 3, 5, 6, 7, 10 un 18 mēnešiem tika izņemtas 27 mēģenes ar augiem, tie pārlikti jaunā barotnē un uzskaitīti dzinumi, kas pilnībā atjaunoja augšanu un attīstību (3.5.1. tab.).

3.5.1. tabula

Izdzīvojušo *in vitro* bērzu skaits pēc uzglabāšanas aukstumkamerā +4,5 °C temperatūrā

Glabāšanas ilgums (mēneši)	Izdzīvojušo augu daudzums (%)
3	100
5	78,4
6	79,2
7	87,5
10	77,8
18	55,6

Pēc pārvietošanas atpakaļ audzēšanas telpā +25 °C temperatūrā, augšana īsā laikā atjaunojas, strauji veidojas jauni dzinumi. Pēc iegūtajiem rezultātiem redzams, ka pilnīgi visi augi bija izdzīvojuši un turpināja augšanu trīs mēnešus, audzējot pazeminātas temperatūras apstākļos. Turpinot uzglabāšanu nākamās 5 līdz 10 mēnešus, neliela daļa augu gāja bojā, tomēr 77,8 līdz 87,5 % augu bija labā fizioloģiskajā stāvoklī. Pēc 18 mēnešu augu turēšanas +4,5 °C temperatūrā, izdzīvojuši bija tikai 55,6 % augu. Tātad bērzu kolekciju bez pārlikšanas jaunā barotnē pazeminātā temperatūrā varētu glabāt apmēram vienu gadu.

3.5.2. Bērzu mikrospraudeņu apsākšana *ex vitro*

Bērzu mikrospraudeņu apsākšanai tika izmantoti četri firmas *Kekkila* kūdras substrāti DSM 05, OPM 525, OPM 540 un OPM 015. Visiem substrātiem pamatā bija brūnā purva kūdra ar pH 5,9, bet atšķīrās pievienotais minerālvielu daudzums, kūdras daļiņu lielums, sausnas blīvums un elektrovadītspēja EC. Lai noskaidrotu piemērotāko kūdras substrātu bērzu mikrospraudeņu apsākšanai, tika veikts izmēģinājums ar trīs klonu bērzu spraudņiem, kas pavairoti augu audu kultūrās, 589-936, 54-616-783, 55-110. Apmēram 1 cm gari mikrospraudeņi tika iestādīti četros substrātu variantos un audzēti 1 mēnesi. Tad tika uzskaitīts apsākņojušos augu skaits un izmērīts stumbra garums. Iegūtie mērījumi rāda, ka vislabākos apsākņošanās rezultātus 88,1 % uzrādīja augi, kas audzēti substrātā DSM 05 (3.5.2. tab.). Šim substrātam ir vismazākā minerālvielu koncentrācija un elektrovadītspēja, kā arī smalka struktūra. Taču augu garums šajā substrātā bija vismazākais – tikai 1,75 cm. Divas reizes garāki bija augi, kas auguši substrātos OPM 525 un OPM 540. Tajos minerālvielu koncentrācija un kopējais sāļu daudzums bija augstāks, kā arī kūdras daļiņu lielums bija lielāks nekā DSM 05. Lai arī apsākņojušos augu skaits bija nedaudz mazāks, tomēr tas tāpat bija pietiekoši augsts – 74,9 un 78,4 % (3.5.2. tab.). Substrāts OPM 540 saturēja ļoti lielas kūdras daļiņas, kas apgrūtināja mikrozdinumumu stādīšanu, tāpēc vispiemērotākais substrāts *in vitro* bērzu apsākšanai ir OPM 525 ar augstu minerālvielu saturu un vidēju rupjuma pakāpi.

Bērzu mikrospraudeņu apsākņošanās un augšana pēc 30 dienu audzēšanas dažādos kūdras substrātos.

Kūdras veids	Apsākņošanās (%)	Stumbra garums (cm)
DSM 05	88,1	1,75
OPM 015	78,4	2,84
OPM 540	74,9	3,23
OPM 525	78,4	3,91

Augu audu kultūrās audzētu bērzu apsākņošanas ietekmē arī tas, kā mikrodzinumi tiek apstrādāti pirms stādīšanas substrātā. Parasti tiek izmantoti augsni saturoši šķīdumi vai pulveri, kā arī dažādi bioloģiskas izcelsmes augu augšanas veicinātāji. Šoreiz tika izmēģināta augu apstrāde pirms stādīšanas, stundu mērcējot indolilsviestskābes (ISS) šķīdumā, koncentrācijā 0,1, 0,5, 1,0, 5,0, 10,0 mg/l, giberelskābē 1,0 mg/l, komerciālā preparātā Kelpak, kas iegūts no jūraszālēm un satur augsni, un citokinīnus, un ūdenī, ko izmantoja kā kontroli. Visi apstrādes varianti uzrādīja pozitīvu efektu uz bērzu mikrodzinumu apsākņošanas, salīdzinot ar kontroli (3.5.3. tab.). Vislabāk apsākņojās augi, kas apstrādāti ar ISS augstākajās koncentrācijās 5,0 un 10,0 mg/l un giberelskābi. Arī apstrāde ar bioloģisko preparātu Kelpak bija pietiekoši efektīva un varētu tikt izmantota apsākņošanās veicināšanai.

Apsākņojušos bērzu mikrospraudeņu skaits atkarībā no apstrādes varianta pirms stādīšanas

Apstrādes variants	Apsākņojušos augu skaits (%)
ISS 0,1	70,0
ISS 0,5	85,0
ISS 1,0	76,0
ISS 5,0	98,8
ISS 10,0	94,8
GA 1,0	97,9
Kelpak	82,6
H ₂ O	68,8

Audzējot augus *in vitro* apstākļos mākslīgā barotnē, tai tiek pievienotas gan minerālvielas, gan augšanas hormoni. Pēc izņemšanas no šīs barotnes, auga augšanu un attīstību turpina ietekmēt barotnē bijušās vielas, sevišķi augšanas regulatori. Bērzu mikropavairošanai tiek izmantots citokinīns zeatīns, kas bremzē sakņu attīstību. Parasti pirms izstādīšanas *ex vitro* īpaša apsākņošanās barotne bērziem netiek gatavota. Lai noskaidrotu vai pēdējā barotne pirms stādīšanās kūdrā ietekmē sakņu veidošanos, salīdzināta bērzu mikrospraudeņu apsākņošanās pēc audzēšanas trīs dažādās barotnēs – ar zeatīnu koncentrācijā 0,1 un 0,2 mg/l, un bezhormonu barotnē.

Labākie rezultāti iegūti ar augiem, kas auguši uz bezhormonu un zeatīnu 0,1 mg/l saturošas barotnes, bet sliktāk apsākņojās spraudēni, kas audzēti uz barotnes ar augstāku zeatīna koncentrāciju (3.5.4. tab.). Tas pierāda to, ka ir svarīga pēdējā kultivēšanas barotne un tajā būtu jābūt iespējami mazākai citokinīnu koncentrācijai.

Apsākņojušos bērzu mikrospraudeņu skaits atkarībā no barotnes, kas izmantota pirms apsākņošanas

Barotne pirms apsākņošanas	Apsākņojušos augu skaits (%)
Zeatīns 0,1 mg/l	97,7
Zeatīns 0,2 mg/l	82,2
Bezhormonu barotne	95,8

Tātad augu audu kultūrās audzētu bērzu mikrodzinumu apsākņošanai vispiemērotākā ir Kekkila kūdra OPM 525 ar augstu minerālvielu saturu un vidēju rupjuma pakāpi. Labāk apsākņojās mikrospraudeņi, kas pirms stādīšanas vienu stundu mērcēti indolilsviestskābes šķīdumā 5,0 vai 10,0 mg/l vai giberelskābes šķīdumā 1,0 mg/l. Pēdējā *in vitro* kultivēšanas

barotne ietekmē bērzu tālāku augšanu un attīstību, tāpēc tai nevajadzētu saturēt augstu citokinīnu koncentrāciju un vispiemērotākā būtu bezhormonu barotne.

3.5.5. tabula.

No augu audu kultūrām izstādīto bērzu stādu skaits piecos gados.

Gads	Izstādīto klonu skaits	Iestādīti	Apsakņojušies	Apsakņojušies (%)
2016.	71	13000	8311	63,9
2017.	88	22976	14536	63,3
2018.	54	10588	5604	52,9
2019.	55	20057	16712	83,3
2020.	41	10987	8185	74,5

Piecu gadu laikā klonu pēcnācēju pārbažu ierīkošanai augu audu kultūrās izaudzēti 77608 bērzu mikrospraudeņi. No tiem apsakņojušies 53348 stādi (3.5.5. tab.). Augu apsakņošanas un aklimatizāciju ietekmē vairāki faktori – kūdras kvalitāte, audzēšanas apstākļi (gaisma, temperatūra, mitrums) un kaitēkļi. Bērzu apsakņošanas uzlaboja mikroorganismus saturoša līdzekļa – *Bacilona* un augu augšanas veicinātāju – *Kelpak* izmantošana, kas stimulēja augu sakņu veidošanos, kā arī samazināja sūnu un aļģu augšanu. Viens no faktoriem, kas samazināja apsakņoto augu skaitu, bija trūdodiņa kāpuri, kas bojā auga jaunās saknes un lapas. To ierobežošanai tika izmantoti dzeltenie līmes vairoggi, kā arī plēsējceres (*Hypoaspis miles*). Papildus tika veikta regulāra kūdras iridīnāšana, kas novērš pārlietu liela mitruma uzkrāšanos kūdras virskārtā, kas veicina trūdodiņa kāpuru attīstību.

3.6. Parastās egles, parastās priedes un kārpainā bērza stādu izaudzēšana un pēcnācēju pārbažu stādījumu ierīkošana no 2016.-2020. gadam

Zinātniskās izpētes mežu Auces, Jelgavas, Mežoles un Kalsnavas mežu novados laikā no 2016.-2020. gadam ierīkoti: kārpainā bērza brīvapputes ģimeņu, kontrolēto krustojumu un *in vitro* pavairotu klonu pēcnācēju pārbažu stādījumi 62,699 ha platībā, egles brīvapputes un kontrolēto krustojumu ģimeņu pēcnācēju pārbažu stādījumi 84,97 ha platībā un priedes brīvapputes ģimeņu pēcnācēju pārbažu stādījumi 138,353 ha platībā. Kopējā ierīkoto pēcnācēju pārbažu stādījumu platība ir 286,022 ha (3.6.1. tab.). Veikta stādījumu inventarizācija, parcelu un stādvieta marķēšana, shēmu pārbaude, precizēšana un datorizēta apstrāde. Stādījumi reģistrēti LVMI „Silava” Ilglaicīgo izmēģinājumu reģistrā. Stādāmais materiāls pēcnācēju pārbažu ierīkošanai izaudzēts Zinātnisko mežu stādaudzētavā Jaunkalsnavā. Sēklu un stādmateriāla marķēšanai noliktavā un kokaudzētavā ieviestas svītrkodu etiķetes, kas, arvien pieaugot stādu apjomam, atvieglo to uzskaiti stādaudzētavā un identificēšanu stādījumos. Kopsavilkums par stādu izaudzēšanu pārskata periodā – 3.6.2.-3.6.5. tabulās.

Pēcncēju pārbaužu ierīkošana laikā no 2016.-2020. gadam

periods	suga	Mežu novads	Platība, ha	Varianti			Ierīkoto stādījumu numuri
				kloni	ģimenes	krustojumi	
2016-2020	bērzs	Auces	9,975	x	x		928;1374;1375;1376;1437;1438
		Jelgavas	23,674	x	x		931;932;933;934;967;978;962;963;1409;1410;1411;1412;1434;1435;1436
		Kalsnavas	16,46	x	x		929;930;974;975;964;965;1386;1387;1388;1389;1439;1440;1441;1442
		Mežoles	12,2	x	x		1382;1383;1432;1433
		Šķēdes	0,39	x			1378
Kopā:		62,699	149	110			
2019-2020	egle	Auces	9,65		x	x	1430;1431
		Jelgavas	26,69		x	x	1397;1398;1399;1400;1401;1402;1422;1423;1424;1425;1426
		Kalsnavas	24,87		x	x	1390;1391;1392;1393;1427;1428;1429
		Mežoles	19,68		x	x	1384;1385;1413;1414;1415;1416;1417;1418;1419;1420;1421
		Šķēdes	4,08		x		1377
Kopā:		84,97		342	145		
2016-2019	priede	Jelgavas	48,543		x		966;1403;1404;1405;1406;1407;1408
		Kalsnavas	66,1		x		968;969;970;971;972;973;976;1394;1395;1396;1443
		Šķēdes	23,71		x		1379;1380;1381
Kopā:		138,353		417			
Pavisam kopā:			286,022				

Priedes stādu izaudzēšana pēcnācēju pārbažu ierīkošanai

MRM izcelsme	2016.g.		2018.g.		2019.-2020. g.		2020. g.		Kopā izaudzēti stādi 2016.-2020. gadā
	variantu skaits	stādi, gab	variantu skaits	stādi, gab	variantu skaits	stādi, gab	variantu skaits	stādi, gab	
s.pl. "Svente"	41	29036	34	18479	77	38860	18	12310	98685
s.pl. "Silva"	74	53345	71	58691	134	88580	72	73706	274322
s.pl. "Sāviena"	10	5789	32	24207					29996
s.pl. "Norupes"	59	47192	1	720	1	214			48126
s.pl. "Misa"	42	32429	9	4849					37278
s.pl. "Kurmale" jaun.d.	4	3068							3068
s.pl. "Brenģuļi"	23	14406	60	47902	17	9817	58	52821	124946
mežaudžu vid.p.					4	2981			2981
klonu kontr. krustojumi							75	16902	16902
Kopā:	253	185265	207	154848	233	140452	148	138837	636304

Egles stādu izaudzēšana pēcnācēju pārbaužu ierīkošanai

MRM izcelsme	2017.-2018. g.				2018.-2020. g.				2019.-2020. g.		2020. g.				Kopā izaudzēti stādi 2017.- 2020.
	brīvapp. ģim., gab	stādi, gab	kontr. krust., gab	stādi, gab	brīvapp. ģim., gab	stādi, gab	kontr. krust., gab	stādi, gab	brīvapp. ģim., gab	stādi, gab	brīvapp. ģim., gab	stādi, gab	kontr. krust., gab	stādi, gab	
s.pl. "Katvari"	8	2360									5	949			3309
s.pl. "Liepa"	29	6388	14	133							4	901			7422
s.pl. "Liuza"	4	475	23	367	39	15583	85	13528			46	15414	3	66	45433
s.pl. "Remte"	20	8716	23	2052	29	11345					37	16568	1	454	39135
s.pl. "Stradi"	19	6183									4	1352			7535
s.pl. "Suntaži"	86	35914									23	7901			43815
s.pl. "Tirza"	10	1096									11	5199			6295
s.pl. "Vecumi"	11	1148													1148
s.pl. "Šarlote"					32	11334					52	22907	39	5042	39283
s.pl. "Svente"					63	21165			70	13969	17	5232	27	5554	45920
Liepnas GRM									11	5249					10498
plantāciju mix									1	410					820
Norvēģija									6	3082					3082
Igaunija									2	1041					1041
Zviedrija									8	4682					4682
Baltkrievija									4	1062					1062
mežaudžu vid.p.									13	2591					2591
plantāciju vid. p.									15	3671					3671
	199	67939	60	2552	163	59427	85	13528	118	35757	199	76423	70	11116	266742

3.6.4. tabula

Bērza stādu izaudzēšana pēcnācēju pārbaūžu ierīkošanai

MRM izcelsme	2017.-2018. g.			2019.-2020. g.		2020. g.				Kopā izaudzēti stādi 2017.-2020. g.
	brīvapp. ģim., gab	kontr. krust., gab	stādi, gab	brīvapp. ģim., gab	stādi, gab	brīvapp. ģim., gab	stādi, gab	kontr. krust., gab	stādi, gab	
s.pl. "Kalsnava-1"; "Kalsnava-2"		36	14173	48	1473					15646
s.pl. "Kalsnava-1" vid.p.	1		585							585
Rembate	32		18208							18208
Limbaži mežaudze	29		16213							16213
dažādas izc.	12		6339							6339
s.pl. "Kalsnava-4R"						24	19243			19243
s.pl. "Kalsnava-5A"						35	27236			27236
klonu arhīvs						70	41092	47	26510	67602
Zviedrija								22	1605	1605
kopā	74	36	55518	48	1473	129	87571	69	28115	172677

3.6.5. tabula

Bērza *in vitro* pavairotu stādu izaudzēšana pēcnācēju pārbaūžu ierīkošanai

Gads	Klonu skaits, gab	Izaudzēti stādi, gab
2016.	70	9325
2017.	93	11866
2018.	52	4629
2019.	58	16667
2020.	37	7630
Kopā:		50117

4. Klonu komplektu raksturošana sēklu plantāciju atestācijai

Saskaņā ar darba uzdevumiem piecu gadu periodā sagatavoti 12 sēklu plantāciju klonu komplektu raksturojumi plantāciju atestācijai un reģistrācijai Meža reproduktīvā materiāla ieguves avotu reģistrā. Klonu raksturošanai un identificēšanai ar molekulārās pasportizācijas metodi, ievākti klonu rametu paraugi (skuļas vai lapas). Metodes apraksts, DNS izdalīšanas protokols, genotipēšanas gaita un pielietotie mikrosatelītu kodola DNS praimeru uzskaitīti attiecīgā gada darbu pārskatā. Molekulārās pasportizācijas metode nodrošina šajās plantācijās iegūtā meža reproduktīvā materiāla identifikāciju jebkurā tā ražošanas, tirdzniecības vai izmantošanas stadijā. Kopsavilkums par atestācijai sagatavotajiem MRM avotiem – 4.1. tabulā. Pēc klonu identificēšanas un klonu pases sastādīšanas, aktualizētas un precizētas plantāciju klonu izvietojuma shēmas un nosūtītas sēklkopības speciālistiem darbam.

4.1. tabula

Klonu komplektu raksturošana sēklu plantāciju sagatavošanai atestācijai

Gads	suga	MRM avots	ievākti paraugi	augošu klonu skaits	Identificēto klonu skaits
2017.	E	s.pl. "Šarlote 1"	549	82	80
		s.pl. "Šarlote 2"		87	87
	E	s.pl. "Tirza"	311	106	102
	Le	s.pl. "Vecumi"	94	31	31
	B	klonu komplekti: "Kalsnava-3"; "Kalsnava-4"; "Kalsnava-5"	186	186	186
2018.	Oz	s.pl. "Cīrava"	216	39	30
	Oz	s.pl. "Jaunjelgava"	316	90	80
	M	s.pl. "Vecumi"	386	103	97
2019.	P	s.pl. "Kurmale" jaun.d.	117	31	31
	E	s.pl. "Skutuļi"	202	79	65
2020.	E	s.pl. "Skutuļi"	178		73
	B	s.pl. "Kalsnava-4"; "Kalsnava-5"	151	61	60
Kopā:			2706		

5. Selekcijas darba popularizēšana - publicēti selekcijas pētījumu rezultāti

5.1. Praktiskais ieguvums no meža selekcijas

5.1.1. Selekcijas rezultāts pirmās retināšanas vecumā

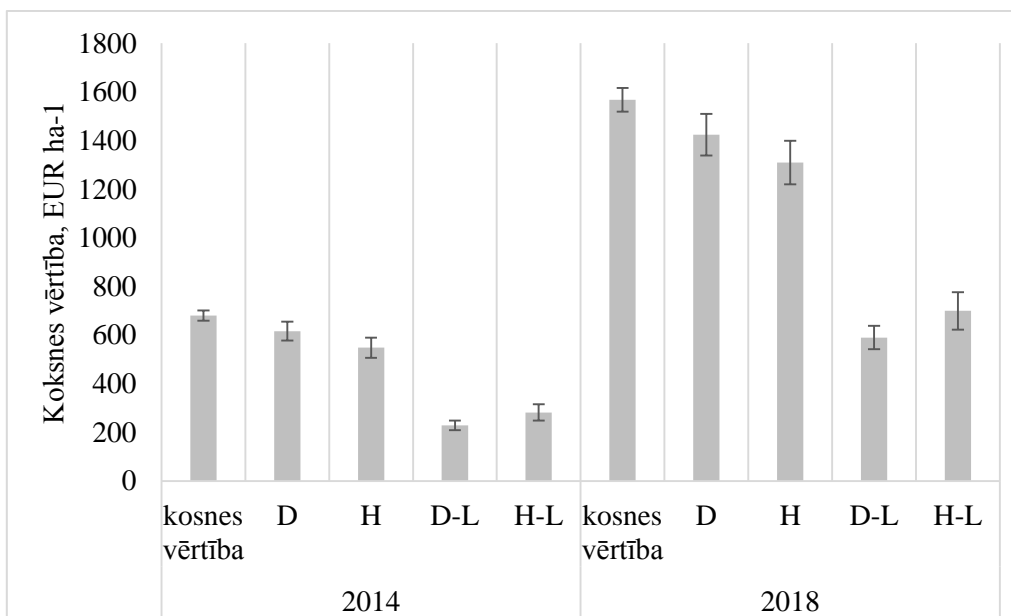
Meža selekcija dod iespēju palielināt zemes izmantošanas efektivitāti – selekcionēta materiāla izmantošana, nodrošinot koku ātraudzību, dod iespēju saīsināt stādījuma rotācijas periodu, tādējādi samazinot laiku, kurā stādījums pakļauts riska faktoru ietekmei, kā arī sniedzot iespēju īpašniekam izvēlēties ciršanai piemērotāko laiku kokmateriālu tirgus svārstību apstākļos. Tomēr selekcionēta stādmateriāla izmantošana ir salīdzinoši dārga, tāpēc svarīgi, lai zemes īpašniekam būtu informācija par potenciālo ienākumu palielināšanas iespējām, pielietojot selekcionētu stādmateriālu. Līdz šim selekcijas rezultātu un potenciālo ieguvumu vērtēšana pēcnācēju pārbaužu stādījumos galvenokārt veikta kokiem salīdzinoši agrīnā vecumā. Iespējamā vecāku stādījumu analīze, it īpaši – pirmajā komerciālajā kopšanas cirtē reāli iegūstamo koksnes sortimentu novērtējums, ir nozīmīga informācija teorētiskā un praktiskā selekcijas darba rezultāta salīdzināšanai. Viena no izplatītākajām koku sugām, ko izmanto ne vien meža atjaunošanā, bet arī neapsaimniekotu lauksaimniecības zemju apmežošanā, ir kārpainais bērzs (*Betula pendula* Roth). Pētījuma mērķis bija noskaidrot ekonomisko ieguvumu no pirmās komerciālās retināšanas selekcionēta bērza stādījumā 14 gadu vecumā.

Bērza selekcijas izmēģinājuma stādījums ierīkots 1999. gadā bijušajā lauksaimniecības zemē, un tajā iekļautas 524 pluskoku brīvapputes ģimenes. Izvēlētie pluskoki pārstāv visu Latvijas teritoriju (55°40'–58°05'N, 20°58'–28°14'E). Stādījumā izmantoti viengadīgi ietvarstādi, sākotnējais biežums 2500 koki ha⁻¹ (2 x 2 m). Katra ģimene pārstāvēta vienā līdz piecos atkārtojumos (32 koku blokos). Koku augstums un caurmērs 1,3 m augstumā tika mērīts visiem dzīvajiem kokiem pirms retināšanas; pēc kopšanas tika reģistrēti izcirstie koki. Kopumā pirms retināšanas saglabāšanās stādījumā bija vidēji 84 %. Lai samazinātu iespējamību, ka atstājamie koki tiek mehāniski bojāti retināšanas laikā, retināšana veikta ar motorzāģi.

Ienākumi no pirmās komerciālās retināšanas bija 1275±29 EUR ha⁻¹ salīdzinoši zemas tirgus cenas gadījumā (2014. gadā), un 1863±33 EUR ha⁻¹ salīdzinoši augstas tirgus cenas gadījumā (2018. gadā). Neto koksnes vērtība 10 % labāk augošo (atlase pēc caurmēra) ģimeņu pēcnācējiem bija 616±39 EUR ha⁻¹ (2014. g.) un 1424±86 EUR ha⁻¹ (2018. g.), bet 10 % sliktāk augošo ģimeņu pēcnācējiem – 230±20 EUR ha⁻¹ (2014. g.) un 590±48 EUR ha⁻¹ (2018. g.). Tādējādi, atlasot 10 % labākās ģimenes, atkarībā no izvēlēta selekcijas kritērija var iegūt par 27-60 % lielāku neto koksnes vērtību (5.1.1.att.).

Labāk augošajām ģimenēm tagadnes vērtība pie 3 % diskonta likmes bija no 370 līdz 741 EUR ha⁻¹. Turklāt šīm ģimenēm tagadnes vērtība 3 % diskonta likmes un augstas tirgus cenas gadījumā bija par 50 % augstāka nekā vidēji visā selekcijas stādījumā, bet zemas tirgus cenas gadījumā – par 35 % augstāka. Ieguldījuma rentabilitāte (IRR) 10 % labāk augošajām ģimenēm bija no 8,3 % līdz 9,4 % gan zemu, gan augstu kokmateriālu tirgus cenu gadījumā, savukārt 10 % sliktāk augošajām ģimenēm – no 2,9 % līdz 4,5 %.

Selekcijas rezultāts pirmās krājas kopšanas vecumā novērtēts arī parastajai priedei (*Pinus sylvestris* L.), kas ir īpaši nozīmīgi, jo priedi Latvijā pārsvarā atjauno stādot, un sēklas stādu audzēšanai iegūst tikai sēklu plantācijās. Selekcijas stādījumos pieejamo jaunāko datu novērtēšana ir svarīga efektīvai selekcijas darba rezultāta pārnesei praksē, turpinot vispiemērotāko priedes genotipu izvēli sēklu plantācijām. Pētījuma mērķis bija novērtēt meža tipa un iedzimtības ietekmi uz koku augšanu un retināšanas rezultātiem.



V – visām ģimenēm kopumā;
 D – 10% labāk augošajām ģimenēm, atlase pēc caurmēra;
 H – 10% labāk augošajām ģimenēm, atlase pēc augstuma;
 D-L – 10% sliktāk augošajām ģimenēm, atlase pēc caurmēra;
 H-L – 10% sliktāk augošajām ģimenēm, atlase pēc augstuma.

5.1.1.attēls. Pirmajā komerciālajā retināšanā iegūtās koksnes vērtība zemas kokmateriālu cenas (2014. g.) un augstas cenas (2018. g.) gadījumā.

Koku mērījumi veikti priedes pluskoku brīvapputes pēcnācēju stādījumos minerālaugsnes, kas atšķiras pēc augsnes auglības (nabadzīgā silā un auglīgā damaksnī), ietverot 35 ģimenes 4 atkārtojumos katrā stādījumā, 40 gadu vecumā.

Koku parametriem, kas raksturo koku augšanu (caurmērs, augstums) novērotas statistiski būtiskas atšķirības starp meža tiptiem. Rādītāji visražīgāko ģimeņu pēcnācējiem, kas auga nabadzīgos apstākļos, pārsniedza rādītājus zemas ražības ģimeņu pēcnācējiem, kas auga labākos augšanas apstākļos. Genotipa x vides mijiedarbības ietekme uz koku augšanu bija nozīmīga, taču to nav iespējams praktiski izmantot – atsevišķu sēklu plantāciju izveide stādāmā materiāla ražošanai meža atjaunošanai dažādos meža tipos prasītu pārāk lielus izdevumus. Tādēļ ieteicama to ražīgāko genotipu selekcija, kas uzrāda labākos rezultātus dažādos meža tipos. Selekcijas efekts (pie 10 % atlases intensitātes) bija līdzīgs abos pētītajos meža tipos: 6,3-8 % koku augstumiem un diametriem. Vērtējot koku zarojumu, padēlu sastopamību un sasaloša lietus radītus bojājumus, konstatēts, ka zināmā mērā ar selekcijas metodēm iespējams uzlabot arī stumbra kvalitāti – veicot atlasīti pēc koku augstuma, tiek sekmēta arī no koksnes izmantošanas viedokļa vēlamā zaru kvalitāte.

Secinājumi

Bērza stādījumā, kura ierīkošanā izmantots selekcionēts stādāmais materiāls, pirmajā komerciālajā retināšanā iegūtās koksnes vērtība bija no 190 līdz 390 EUR ha⁻¹ atkarībā no koksnes tirgus cenas. Veicot 10 % labāko ģimeņu atlasīti pēc caurmēra, iegūtās koksnes vērtība sasniedza no 390 līdz 830 EUR ha⁻¹. Tātad meža īpašniekam šādā stādījumā iespējams gūt ievērojamus ienākumus jau pirmajā krājas kopšanas cirtē un nodrošināt pozitīvu tagadnes vērtību pie 3 % diskonta likmes jau 14 gadu vecumā.

Priedei konstatēts augsts selekcijas efekts arī pēc pirmās retināšanas. Tiek izstrādāti daudz detalizētāki pētījumi, kuros apskatīsim atšķirības krājas kopšanas cirtē iegūstamo sortimentu struktūrā un audzes monetārās vērtības iedzīstamību, kas sniegs vairāk informācijas lēmumu pieņēmējiem par ieguvumiem, veicot ieguldījumus koku selekcijā, tai skaitā selekcionēta meža reproduktīvā materiāla lietošanā.

5.1.2. Selekcionēta materiāla augšanas gaitas novērtēšana un modelēšana

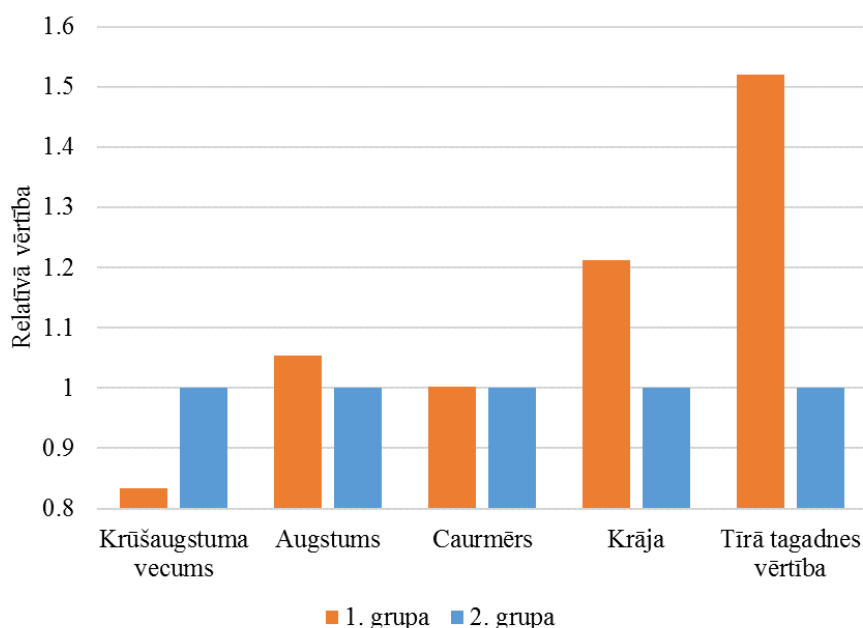
Jaunaudžu augšanas gaitas modelēšana, tāpat kā selekcijas efekta iekļaušana koku augšanas gaitas modeļos, Latvijā ir maz aplūkots temats. Pašreiz izmantotie modeļi, kas balstās uz pagājušā gadsimta vidū ievāktiem empīriskajiem datiem no vienreiz mērītiem parauglaukumiem, kad meža atjaunošanā vēl netika izmantots selekcionēts reproduktīvais materiāls, var nespēt pietiekami precīzi prognozēt koku augstuma pieaugumu. Lai arī jaunu modeļu izstrāde balstās uz meža statistiskās inventarizācijas vairākkārt pārmērītu parauglaukumu datiem, taču jaunaudžu vecuma grupās šādu parauglaukumu nav daudz. Selekcionēta meža reproduktīvā materiāla augšanas gaitas modelēšana ir aktuāla tendence pasaulē. Pietiekami precīzi taksācijas rādītāju pieauguma un audzes attīstības modeļi ir nepieciešami, jo intensīva meža apsaimniekošana prasa būtiskas investīcijas. Līdz ar to ir svarīgi modelēt audzes attīstības gaitu, lai atbilstošā laikā tiktu projektētas mežsaimnieciskās darbības.

Pētījuma mērķis bija Latvijas apstākļos apbūt Zviedrijā izstrādātu individuāla koka augstuma pieauguma modeli selekcionētai eglei juvenilā vecumā. Modelis paredzēts, lai prognozētu piecu gadu augstuma pieaugumu, kamēr sākotnējais koka augstums nepārsniedz 9 m. Savukārt, lai novērtētu selekcijas efektu visā aprites ciklā, izmantots Latvijā izstrādāts augšanas gaitas modelis.

Pētījumā vērtēti parastās egles brīvapputes ģimeņu un klonu pēcnācēju pārbaužu stādījumi. Modeļa pārbaudei izmantoti divi augstuma mērījumi 5–18 gadu vecumā, kas veikti ar 4–5 gadu intervālu. Izmantoto materiālu veido aptuveni 20000 koku no 600 genotipu kopām (ģimenēm un kloniem).

Vērtētais modelis prognozēja augstuma pieaugumu ar pietiekamu precizitāti: ģimeņu līmenī 92 % gadījumu prognozes kļūda bija mazāka par 10 %, un 66 % gadījumu tā bija mazāka par 5 %. Visos eksperimentos vidējā prognozes kļūda nepārsniedza $\pm 0,4$ m, vairumā no stādījumiem esot $\pm 0,2$ m robežās. Netika novērotas vispārējas tendences modeļa precizitātei samazināties, pieaugot koku sākotnējam augstumam un prognozējamam selekcijas efektam. Tomēr, lai izmantotu modeli, būtu nepieciešams precizēt empīrisku koeficientu kopu virsaudzuma bonitātei jaunaudžu vecumā Latvijas apstākļiem.

Prognozējamais selekcijas efekts augstumam atlasītajām 10 % augstākajām ģimenēm un kloniem bija 11 %, salīdzinot ar pārējām genotipu kopām. Labākajām ģimenēm un kloniem modelētajā galvenās cirtes brīdī bija par 5 % lielāks koku augstums, par 21 % lielāka krāja un par 52 % lielāka tīrā tagadnes vērtība, vienlaikus cirtes aprītei esot par 17 % īsākai (5.1.2. att.).

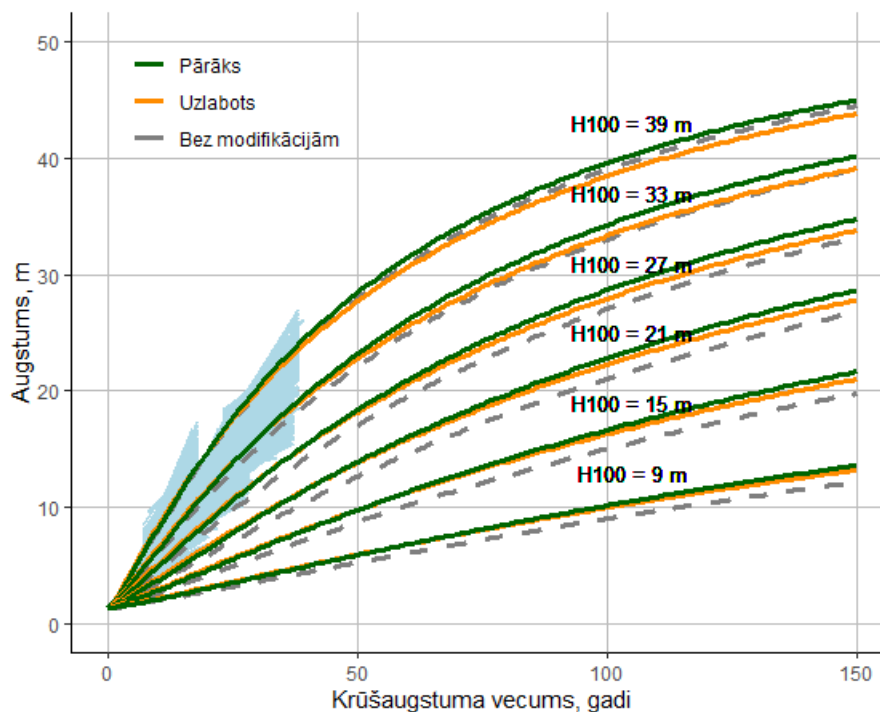


5.1.2. attēls. Modelētās relatīvās atšķirības starp 10 % atlasītajām augstākajām parastās egles ģimenēm un kloniem (1.grupa) un pārējo pēcnācēju pārbaužu stādījumos vērtēto materiālu (2.grupa) prognozētajā cirtmeta vecumā.

Biežāk lietotie paņēmieni selekcijas efekta iekļaušanai esošajos augšanas gaitas un krājas prognožu modeļos ir selekcijas efekta koeficienta ieviešana vai virsaudzuma bonitātes pielāgošana. Šajā pētījumā juvenilā vecumā netika konstatētas pazīmes, kas liktu apsvērt selekcijas efekta koeficienta iekļaušanu modelī, jo netika novērotas tendences precizitātei samazināties, pieaugot prognozējamajam selekcijas efektam. Izmaiņas attīstības dinamikā, izmantojot selekcionētu materiālu, varētu tikt izskaidrotas ar novērotajām virsaudzuma bonitātes izmaiņām, kad pārāko genotipu straujākā augšanas gaita sakrīt ar neselekcionēta materiāla augšanas gaitu auglīgākos apstākļos. Pašlaik tiek turpināti pētījumi, vērtējot selekcijas efekta ietekmi uz koku augšanas gaitu ilgākā laika periodā līdz pat cirtmeta vecumam, kas savukārt norāda uz selekcijas koeficienta efektivitāti.

Zema sākotnējā biezuma (5×5 m) parastās egles veģetatīvi pavairotu klonu stādījumā, kurā koki sasnieguši galvenās cirtes dimensijas (50 gadu vecumā), vērtēta ģenētikas ietekme uz caurmēra augšanas gaitas parametriem. Rezultāti norāda uz nepieciešamību pārbaudīt selekcijas efekta koeficienta nepieciešamību visām izmantotā augšanas gaitas vienādojuma parametru kombinācijām.

Selekcijas efekta ietekmes iekļaušana augšanas gaitas vienādojumā parastajai priedei, parastajai eglei un kārpainajam bērzam vērtēta arī divām meža reproduktīvā materiāla kategorijām – “uzlabots” un “pārāks”. Izmantoti vismaz divreiz pārmērītu koku augstuma dati, kas iegūti brīvapputes ģimeņu pēcnācēju pārbažu stādījumos meža koku selekcijas programmas ietvaros. Kā kategorija “pārāks” atlasīti 10 % ģimeņu ar lielāko vidējo augstumu katrā stādījumā, bet kā kategorija “uzlabots” pieņemti pārējie 90 % ģimeņu. Izmantota Hossfeld IV (King-Prodan) vienādojuma GADA forma, kas tiek pielietota LVMI “Silava” augšanas gaitas modeļu sistēmā, kalibrējot vienādojumus ar Meža statistiskās inventarizācijas datiem. Selekcijas efekta iekļaušana GADA vienādojumā veikta, vērtējot no kategorijas (“uzlabots” vai “pārāks”) atkarīgu empīrisku koeficientu iekļaušanu vienādojumā. Ar aproksimētajām koeficientu vērtībām priedes augstuma augšanas gaitas modelis prognozē mežsaimnieciski loģiskas augstuma izmaiņas (5.1.3. att.).



5.1.3. attēls. Priedes selekcijas uzlabojuma pakāpes (“uzlabots” vai “pārāks”) specifiska aproksimētā augšanas gaita atkarībā no nemodificētās GADA funkcijas augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m). Gaiši zilā krāsā fonā attēlota izmantotā datu kopa funkcijas modificēšanai.

Secinājumi

Eglei un bērzam augstuma augšanas gaitas modeļi prognozē straujāku augšanu agrākā vecumā selekcionētam materiālam. Abām koku sugām modificētais modelis būtu izmantojams prognozēm mežos ar auglīgām augsnēm, t.i. nozīmīgākajā daļā selekcionēta stādmateriāla izmantošanas platību.

5.1.3. Veģetatīvi pavairota materiāla izmantošanas potenciāla novērtēšana un kāpināšana

Klonu pavairošana samazina laiku, kas vajadzīgs selekcijas mērķu sasniegšanai, novēršot reproduktīvo ciklu nepieciešamību vēlamo pazīmju iekļaušanai. Līdz ar to koki ar uzlabotu augšanu un slimību rezistenci iegūstami relatīvi ātri (Kriebel 1983). Teorētiski skujkokiem ir iespējams papildu 15–20 % selekcijas efekts, testējot un izmantojot veģetatīvi pavairotus klonus, salīdzinot ar ģimeņu izmantošanu. Šī starpība galvenokārt atkarīga no populācijas izmēra, ģimenē testēto klonu skaita, pēcnācēju pārbaužu precizitātes (Wu 2019). Spēja realizēt selekcijas efektu, klonāli pavairojot konkrētu genotipu, var paaugstināt meža īpašuma vērtību. Mūsdienās koku kloni var tikt pavairoti kā apsakņoti spraudņi no vecāku kokiem vai izmantojot somatiskās embriogēneses un audu kultūru tehnoloģiju. Latvijā veģetatīvās klonu pavairošanas metodes tiek attīstītas parastajai eglei un kārpainajam bērzam. Klonu plantācijas arī dod iespēju ātrāk pielāgot produktu mainīgam tirgum (Bettinger *et al.* 2009).

5.1.3.1. Praktiskā veģetatīvās pavairošanas metodikas attīstīšana

Selekcijas vajadzībām bērza pluskoku atlase tiek veikta no nobriedušiem kokiem. Lai veģetatīvi pavairotu šo materiālu, tiek izmantota mikropavairošana. Tā sniedz iespēju iegūt rejuvenilizētus, nostabilizētus dzinumus, kurus pavairojot iegūst lielu skaitu ģenētiski viendabīga stādāmā materiāla. Diemžēl veiksmīga *in vitro* kultūras uzsākšana no nobriedušiem kokiem ir apgrūtināta un variē no 30 līdz 80 %, ko nosaka tādi faktori, kā mātes auga genotips, vecums, eksplantu atrašanās vieta augā, eksplantu ievākšanas laiks u.c. (Welander, 1993). Arī nostabilizētas kultūras pavairošanās spēju ietekmē genotips un barotnes sastāvs (Jokinen and Törmälä, 1991).

Šī pētījuma mērķis bija noskaidrot mātes auga vecuma, eksplantu ievākšanas laika ietekmi uz bērzu kultūras iniciāciju *in vitro*, kā arī salīdzināt dažādu bērzu genotipu pavairošanas spējas un noteikt piemērotāko proliferācijas barotni katram genotipam.

Pētījumā analizēts materiāls, kas klonam 54-95 ievākts no potētiem, viengadīgiem kokiem, kā arī no 15 gadus veciem bērziem, dažādos mēnešos. Bērzu kultūras iniciācija *in vitro* un pavairošanās spējas, kā arī barotņu WPM (Lloyd and McCown, 1980), MS (Murashige, Skoog, 1962), un augu augšanas regulatoru piemērotība salīdzināta 50 genotipiem.

Mātes auga vecums un eksplantu ievākšanas laiks būtiski ($p < 0,001$) ietekmēja dzinumu iniciāciju *in vitro*. No potēta viengadīga bērza eksplantiem attīstījās 66 % dzinumu, bet no 15 gadus veca bērza eksplantiem attīstījās tikai 39 % dzinumu. No pavasarī ievāktiem eksplantiem attīstījās vairāk dzinumu (64 % martā un 67 % aprīlī) nekā no vasaras vidū un rudenī ievāktiem eksplantiem (31 % jūnijā un 29 % septembrī). Dzinumu veiksmīga iniciācija *in vitro* ir kritiski svarīga tālākai dzinumu kultivēšanai. Tomēr dzinumu nobriedušās fāzes dēļ audu atbildes reakcija uz *in vitro* manipulācijām bieži ir problemātiska (George *et al.*, 2008a). Viena no metodēm, kā veicināt rejuvenilizāciju pirms ievadīšanas *in vitro*, ir nobrieduša dzinuma potēšana uz juvenīla potcelma (Benson, 2000). Šajā pētījumā novēroja būtiski labāku iniciācijas rezultātu no viengadīga potēta auga, salīdzinot ar 15 gadus vecu koku. Papildus pētījumi būtu nepieciešami, lai novērtētu potēšanas ietekmi uz dzinumu juvenilitātes pakāpi. Eksplantu ievākšanas laiks spēj ietekmēt audu atbildes spēju uz *in vitro* apstākļiem, un lielākajai daļai kokaugu labāku dzinumu augšanu iegūst no pavasarī ievāktiem eksplantiem, kas apstiprinājās arī šajā pētījumā. Tomēr ir iegūti arī pretēji rezultāti, kad labāku augšanu ieguva no rudenī ievāktiem eksplantiem (Jokinen and Törmälä, 1991), kas liecina par vēl citiem iespējamiem faktoriem, kas ir iesaistīti šajā procesā. Sezonas laikā

kokaugos notiek endogēno augšanas regulatoru koncentrācijas izmaiņas, kas atspoguļojas arī, ievadot dzinumus kultūrā. Piemēram, zema BAP koncentrācija veicināja labāku dzinumus attīstību no februārī un martā ievāktiem dzinumiem, bet lielāka koncentrācija veicināja labāku dzinumus attīstību no maijā un jūlijā ievāktiem dzinumiem (Civínová and Sladský, 1990).

Augšanas parametri nostabilizētās kultūrās starp 50 dažādiem genotipiem ievērojami atšķīrās. Mikrodzinumu pavairošanas koeficients variēja no 1,0 līdz 6,8 vienam augam. Augstu pavairošanas koeficientu ieguva gan kloniem, kas uzrādīja garu galveno dzinumus un maz sāndzinumu, gan kloniem, kam bija īss galvenais dzinums, bet daudz sāndzinumu. Ceturtdaļai klonu bija zems pavairošanas koeficients, bet septiņi kloni vispār neuzrādīja pavairošanās spēju. Galvenā dzinuma garums variēja no 1,3 līdz 7,8 cm, bet sāndzinumu skaits – no 0 līdz 3,8 vienam augam.

Salīdzinot barotnes minerālelementu ietekmi uz bērzu *in vitro* dzinumiem, novēroja, ka MS barotne veicināja lielāku pavairošanas koeficientu, kā arī garāku galvenā dzinuma garumu, salīdzinot ar WPM barotni. Efektu vislabāk novēroja dzinumus grupai ar lielāko pavairošanas koeficientu. Uz MS barotnes novēroja būtiski vairāk vitrificēto dzinumus (vidēji 13,2), salīdzinot ar WPM barotni (vidēji 2,9). Savukārt sāndzinumu skaitam un garumam nebija saistības ar barotnes sastāvu. Salīdzinot augu augšanas regulatoru ietekmi uz MS barotnes, novēroja, ka zeatīns veicināja par apmēram 23 % lielāku pavairošanas koeficientu un garāku galvenā dzinuma garumu, salīdzinot ar BAP, kā arī mazāku vitrificēto dzinumus skaitu. Lielāko pavairošanas koeficientu un garāko galvenā dzinuma garumu gandrīz visās grupās ieguva, izmantojot zeatīnu $0,5 \text{ mg L}^{-1}$. Uz WPM barotnes augstāko pavairošanas koeficientu ieguva, izmantojot zeatīnu koncentrācijā $0,5 \text{ mg L}^{-1}$, kā arī $0,1 \text{ mg L}^{-1}$. Pārsniedzot noteiktu citokinīnu līmeni, augos veidojas abnormālas struktūras, kā nespēja pagarināties, vitrifikācija un deformēta lapu forma (George et al., 2008b). Šajā pētījumā 34 % klonu novēroja vitrificētu dzinumus veidošanos. Vitrifikāciju vairāk izraisīja BAP, kā arī zeatīns koncentrācijā $0,5 \text{ mg L}^{-1}$, kas veicināja arī augstāku pavairošanās spēju, norādot, ka pavairošanās spēja ir saistīta ar vitrifikācijas biežumu.

Secinājumi

Iniciācijai piemērotāki ir ontoģenētiski jaunāki koki, savukārt vispiemērotākais eksplantu ievākšanas laiks ir pavasarī. Nostabilizētās dzinumus kultūras atšķirīgi genotipi uzrāda variēšanu augšanas parametros. Gan minerālelementu daudzums, gan augu augšanas regulatori būtiski ietekmē nostabilizētu bērzu dzinumus augšanu un pavairošanās spēju *in vitro*, barotnei MS uzrādot labāku rezultātu, salīdzinot ar WPM. Savukārt piemērotākā citokinīnu koncentrācija uzmanīgi jāizvēlas, lai iegūtu līdzsvaru starp augstāko pavairošanas koeficientu un mazāko vitrifikāciju, kas šajā pētījumā sasniegts, izmantojot zeatīnu $0,5 \text{ mg L}^{-1}$. Turpmāki pētījumi nepieciešami, lai noskaidrotu konkrēto genotipu un barotnes ietekmi uz tālāku dzinumus apsākšanās un aklimatizāciju *ex vitro*, kā arī augšanu lauka apstākļos.

5.1.3.2. Klonu atlase un to izmantošanas potenciāls

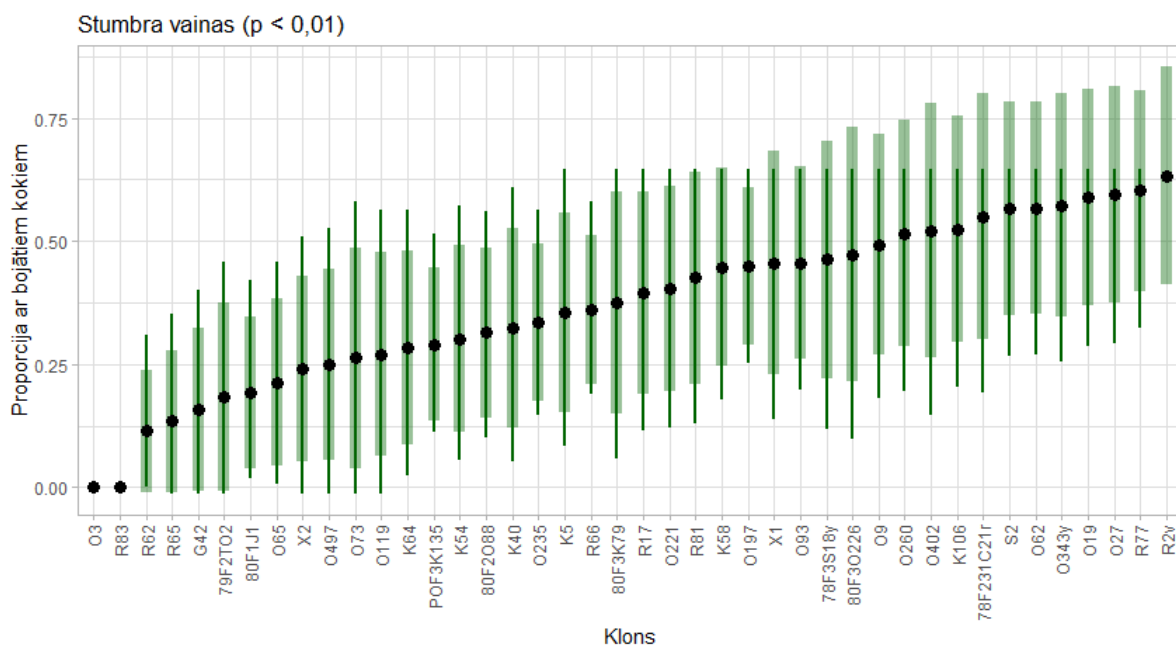
Veģetatīvi pavairotu (potētu) kārpainā bērzu klonu ģenētiskie parametri produktivitātei un stumbra kvalitātei, kā arī monetārā vērtība, noteikti 40 gadus vecā zema biežuma (400 koki ha^{-1}) 22 pluskoku klonu plantācijā (Limbaži), kurā koki sasnieguši galvenās cirtes dimensijas (caurmērs $27,7 \pm 5,5 \text{ cm}$). Plantācijā, kurā nav veiktas kopšanas cirtes, bija 85 % saglabāšanās un vidējā produktivitāte sasniedza $5,25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā. Iedzīstamības koeficients (H^2) vērtētajām saimnieciski nozīmīgajām pazīmēm variēja no 0,02 padēlu veidošanās iespējamībai līdz 0,40 zaru leņķim. Vidēji liels H^2 tika noteikts koku augstumam, zemākā zaļā zara augstumam un caurmēram (attiecīgi 0,14, 0,14 un 0,21). Aprēķinātajai stumbra monetārajai vērtībai H^2 bija 0,16. Kopumā korelācija starp produktivitātes (augstums, caurmērs, stumbra tilpums) un stumbra kvalitātes (stumbra taisnums, stumbra vainu esamība) pazīmēm bija vāja, kas norāda, ka tās ģenētiski tiek kontrolētas neatkarīgi viena no otras. Vienīgā noteiktā nevēlamā cieša pozitīvā korelācija bija starp zarainumu un caurmēru. Stumbra monetārā vērtība cieši pozitīvi korelēja ar produktivitātes pazīmēm ($r > 0,66$). Šie rezultāti norāda uz iespēju ar selekcijas metodēm vienlaicīgi uzlabot produktivitāti (līdz ar to arī monetāro vērtību) un stumbra kvalitāti. Samazinātā konkurence starp kokiem un atlasīta

reproduktīvā materiāla izmantošana plantācijā nodrošināja salīdzinoši lielu augstvērtīgo sortimentu iznākumu.

Zema biežuma (5×5 m) parastās egles veģetatīvi pavairotu klonu stādījumā (Druvēni), kurā koki sasnieguši galvenās cirtes dimensijas (50 gadu vecumā), vērtēti ģenētiskie parametri produktivitātes pazīmēm un koksnes blīvumam, realizētais selekcijas efekts galvenajai cirtei atbilstošu dimensiju sasniegšanas vecumā (50 gadi), kā arī ģenētikas ietekme uz caurmēra augšanas gaitas parametriem. Novērtētais iedzīstamības koeficients koku augstumam un caurmēram bija augsts ($H^2 > 0,33$). Vidējais koksnes blīvums, kā arī vidējais agrīnās un vidējais vēlinās koksnes blīvums, raksturojams ar zemāku iedzīstamību – H^2 attiecīgi bija 0,11, 0,12 un 0,13. Tomēr ģenētiski noteiktais variācijas koeficients caurmēram un koksnes blīvumam bija līdzīgs, sasniedzot aptuveni 8–10 % (augstumam šis rādītājs zemāks $CV_g = 6$ %). Augstuma un caurmēra korelācijas ar koksnes blīvuma rādītājiem bija negatīvas klonu līmenī, tomēr nebija cieša (-0,45... -0,06), kas dod iespēju atlasīt ātraudzīgus klonus bez būtiski samazināta koksnes blīvuma.

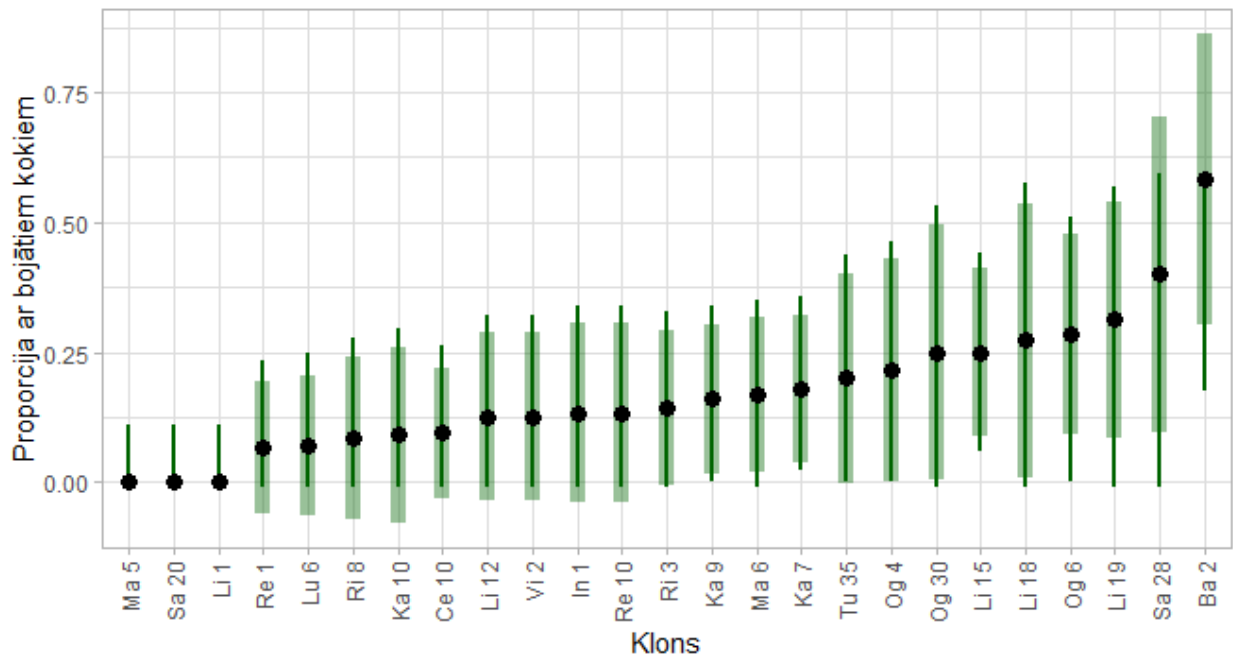
Realizētais selekcijas efekts caurmēram variēja no -6,3 līdz +24,0 %, salīdzinot ar stādījuma vidējo rādītāju. Klons būtiski ietekmēja visus trīs individuāla koka caurmēra augšanas gaitas vienādojuma parametrus Chapman-Richards funkcijai, augšanas tempa ģenētiskajai variācijai starp kloniem sasniedzot $CV_g = 17$ %, kas norāda uz iespēju atlasīt klonus ar straujāku augšanu agrīnā vecumā. Jāmin, ka modeļa asimptotas koeficienta (β_1) ģenētiski noteiktā variācija $CV_g = 11,0$ % bija lielāka par šo rādītāju caurmēram 50 gadu vecumā (8,1 %), kas parāda augšanas gaitas modelēšanas izmantošanas efektivitāti selekcijas procesā, kā arī potenciālu selekcijas efektu (klonu līmeņa atšķirības) līdz pat maksimālo dimensiju sasniegšanai.

Vairākos zema biežuma parastās egles klonu stādījumos noteikta arī ģenētikas ietekme uz dažādu bojājumu iespējamību. Gan Jurģu, gan Skutuļu stādījumos starp kloniem konstatētas būtiskas koku ar stumbra defektiem (padēli, dubultgalotnes, vairāki stumbri) īpatsvara atšķirības (5.1.4., 5.1.5. att.), savukārt Jurģu stādījumā būtiskas klonu atšķirības novērtētas arī dažādu bojājumu īpatsvaram – stumbra plaisas, sasveķojums, mizgrauža un dzīvnieku bojājumi (5.1.6. att.). Rezultāti norāda, ka selekcijas procesā iespējams atlasīt klonus, kuri mazāk pakļauti dažādiem stumbra vainu un bojājumu riskiem.

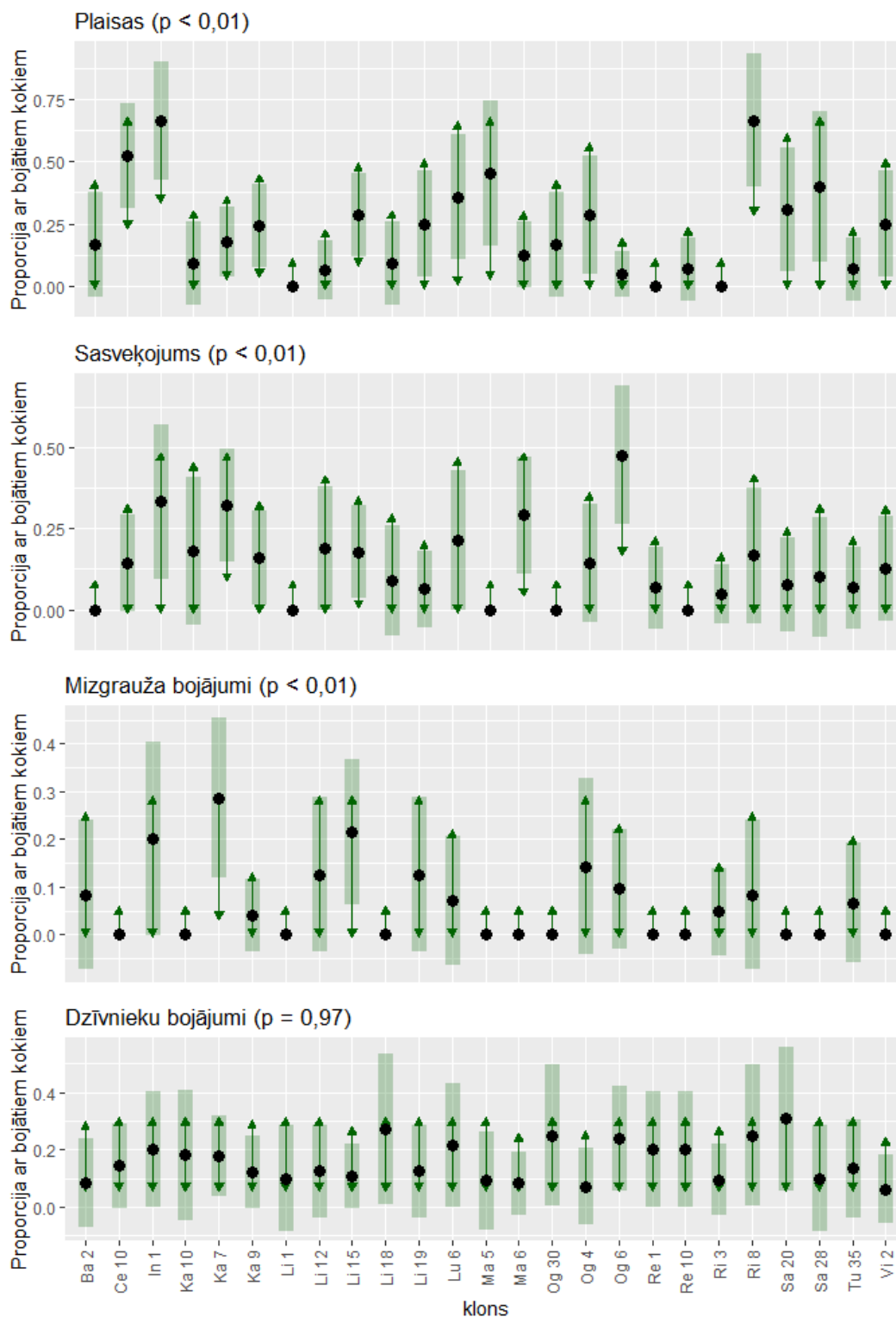


5.1.4. attēls. Koku īpatsvars ar stumbra defektiem (padēli, dubultgalotnes, vairāki stumbri) dažādiem kloniem Skutuļu stādījumā

Stumbra vainas ($p = 0,03$)



5.1.5. attēls. Koku īpatsvars ar stumbra defektiem (padēli, dubultgalotnes, vairāki stumbri) dažādiem kloniem Jurgu stādījumā.



5.1.6. attēls. Koku īpatsvars ar stumbra defektiem (padēli, dubultgalotnes, vairāki stumbri) dažādiem kloniem Jurģu stādījumā.

Secinājumi

Pētījumu rezultāti norāda uz iespēju ar selekcijas metodēm vienlaicīgi uzlabot produktivitāti (līdz ar to arī monetāro vērtību), stumbra un koksnes kvalitāti, kā arī selekcijas procesā iespējams atlasīt klonus, kuri mazāk pakļauti dažādiem stumbra bojājumu riskiem.

5.2. Dažādu koku pazīmju ģenētiski noteiktās atšķirības

5.2.1. Kārpainā bērza brīvapputes ģimeņu ģenētiskie parametri

Koku augstuma, caurmēra, stumbra tilpuma un stumbra kvalitātes pazīmju (stumbra taisnums, stumbra vainu esamība, zaru leņķis, resnākā zara diametrs) ģenētiskie parametri tika noteikti kārpainā bērza brīvapputes ģimeņu pēcnācēju stādījumos Rembatē, Ukros un Taurenē 10 un 14 gadu vecumā. Augstumam un stumbra tilpumam iedzimstamības koeficients (h^2) bija augsts (0,41–0,66). Stumbra vainas raksturojamas ar zemu iedzimstamību, bet h^2 resnākā zara diametram, stumbra taisnumam un kopējam stumbra kvalitātes vērtējumam variēja no zema līdz augstam atkarībā no stādījuma. Augsts aditīvā ģenētiskā efekta noteiktais variācijas koeficients CV_a aprēķināts stumbra tilpumam (25,3–32,5 %), norādot uz augstu selekcijas potenciālu šai pazīmei. Ģenētiskās korelācijas (r_G) starp produktivitātes pazīmēm bija ciešas un pozitīvas (0,90–0,99). Galvenokārt vājā ģenētiskā korelācija starp produktivitāti un kvalitātes pazīmēm norāda uz iespēju veikt atlasīti vienlaicīgi pēc vairākām pazīmēm, vienīgi ciešā negatīvā korelācija starp zaru leņķi un stumbra taisnumu norāda uz paaugstinātu koksnes vainu iespējamību genotipiem ar taisnākiem stumbriem. Ciešā ģenētiskā korelācija starp stādījumiem saistāma ar vāju genotipa un vides mijiedarbību un labāko genotipu augšanas stabilitāti dažādās vietās. Katra no vērtētajām pazīmēm uzrādīja ievērojamu selekcijas efektu (25–62 % virs stādījuma vidējā stumbra tilpumam; 2–21 % stumbra kvalitātes pazīmēm).

5.2.2. Selekcijas iespējas rezistences kāpināšanā

5.2.2.1. *Lophodermium* skujbires īstermiņa un ilgtermiņa ietekme

Parastā priede ir biežāk sastopamā koku suga Latvijā, aizņemot 34 % no meža platības. Katru gadu stādot tiek atjaunoti aptuveni 6 tūkstoši ha, galvenokārt (74 %) izmantojot viengadīgus, salīdzinoši nelielus konteinerstādus. Viens no visbiežāk sastopamajiem apdraudējumiem priedei stādaudzētavās un jaunaudzēs ir skujbire, ko visbiežāk izraisa sēne *Lophodermium seditiosum*. Sēne inficē tekošā gada skujas, samazinot koka fotosintētisko aktivitāti, tādējādi negatīvi ietekmējot stādu augšanu un saglabāšanos. Samazināta koku augšana saglabājas vairākus gadus pēc skujbires uzliesmojuma, un novājinātie koki ir vairāk uzņēmīgi pret citiem patogēniem. Stādu aizsardzību apgrūtina ierobežojumi fungicīdu izmantošanai, turklāt klimata pārmaiņas var radīt labvēlīgākus apstākļus skujbires plašākai izplatībai.

Slimības ilgtermiņa ietekmes novērtējums uz koku augšanu sniedz informāciju klimata pārmaiņu ietekmes modelēšanai un risku mazināšanai. Infekcijas radīto ekonomisko zaudējumu aprēķins ir būtisks slimības ierobežošanas pasākumu plānošanā un nepieciešamības pēc rezistentu genotipu selekcijas izvērtēšanā. Mežsaimniecisko darbību ietekmes novērtējums finansiālo zaudējumu mazināšanai ir nepieciešams uzliesmojuma skarto audžu tālākās apsaimniekošanas stratēģijas pilnveidei. Apkopoto pētījumu mērķis ir novērtēt ģenētikas ietekmi uz koku noturību pret *Lophodermium* skujbires bojājumiem, kā arī slimības ilgtermiņa ietekmi uz priedes radiālo un augstuma pieaugumu jaunaudzēs un to finansiālo vērtību.

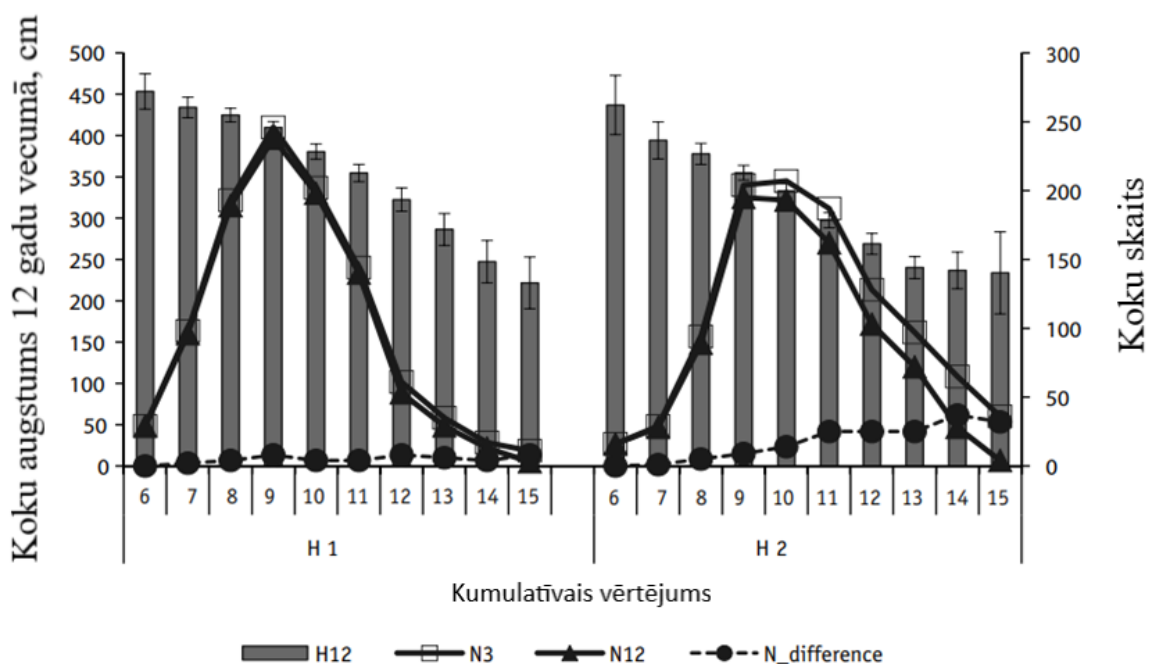
Skujbires bojājumi vērtēti vairākos priedes pēcnācēju pārbaužu stādījumos. Ģenētikas ietekme galvenokārt vērtēta divos priedes brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumos Tukumā un Kalsnavā un divos kontrolētās krustošanas pēcnācēju pārbaužu stādījumos Zvirgzdē un Kalsnavā. Brīvapputes stādījumos kopumā pārstāvētas 226 ģimenes. Kontrolētās krustošanas stādījumos pārstāvēti krustojumi starp 10 vietējas izcelsmes kloniem, analizē iekļautas 72 ģimenes. Skujbires bojājumi brīvapputes stādījumos vērtēti otrajā augšanas sezonā, kontrolētās krustošanas stādījumos – sestajā augšanas sezonā. Kontrolētās krustošanas stādījumos trešajā, ceturtajā un piektajā augšanas sezonā mērīts koku augstuma pieaugums un caurmērs pie sakņu kakla, noteikta saglabāšanās. Stādījumos skujbires bojājumi vērtēti jūnijā piecu ballu skalā, atkarībā no tekošā gada dzinuma bojāto skuju īpatsvara: 1 – bojāto skuju

īpatsvars 0 %– 5 %; 2 – bojāto skuju īpatsvars 6 %–35 %; 3 – bojāto skuju īpatsvars 36 %–65 %; 4 – bojāto skuju īpatsvars 66 %–95 %; 5 – bojāto skuju īpatsvars 96 %–100 %.

Kumulatīvi skujbires bojājumi trīs sekojošās augšanas sezonās vērtēti 65 priedes brīvapputes ģimenēm pēcnācēju pārbaužu stādījumā Daugmalē. Koku augstums mērīts trīs līdz septiņu un 12 gadu vecumā. Skujbire pirmoreiz konstatēta ceturtajā augšanas sezonā. Tās bojājumi vērtēti ceturtajā, piektajā un sestajā augšanas sezonā. Kumulatīvās ietekmes raksturošanai izmantota trīs novērojumu gadu ballu summa (vērtība no 6 līdz 15).

Ilgtermiņa skujbires ietekme uz koku augšanu 11 gadus pēc infekcijas (skujbire konstatēta 5 gadu vecumā) un tās ietekme uz finanšu rādītājiem vērtēta parastās priedes kontrolēto krustojumu pēcnācēju pārbaužu stādījumā Kalsnavā. Analīzē iekļautas 98 sibu ģimenes. Skujbires radītie bojājumi vērtēti sestajā augšanas sezonā. Koku augstums un caurmērs pie sakņu kakla mērīts piecu gadu vecumā, un koku augstums un caurmērs krūšaugstumā mērīts 17 gadu vecumā. Galvenās cirtes finansiālā vērtība aprēķināta, izmantojot piecu gadu periodu simulācijas, kur koku dimensijas noteiktā vecumā iegūtas no augšanas gaitas modeļiem (Donis un Šņepsts, 2019).

Skujbire stiri bojāja kokus gan brīvapputes (vidējais vērtējums $4,7 \pm 0,01$ un $4,6 \pm 0,03$), gan kontrolētās krustojšanas (vidējais vērtējums $4,6 \pm 0,02$ un $3,4 \pm 0,04$) stādījumos. Stādu saglabāšanās brīvapputes stādījumos Tukumā un Kalsnavā bija attiecīgi 72 % un 78 %, un kontrolētās krustojšanas stādījumos Zvirgzdē un Kalsnavā – 83 % un 80 %. Abos gadījumos būtiski ($p < 0,001$) mazāki bojājumi konstatēti stādījumos austrumu reģionā. Korelācija starp bojājumu vērtējumu un saglabāšanos bija negatīva un būtiska ($p < 0,01$) gan ģimeņu, gan proveniENCES līmenī: attiecīgi $r = -0,69$ un $-0,42$. Arī skujbires kumulatīvā ietekme uz koku saglabāšanos (Daugmales stādījumā) bija būtiska ($p < 0,001$) un negatīva (5.2.1. att.).

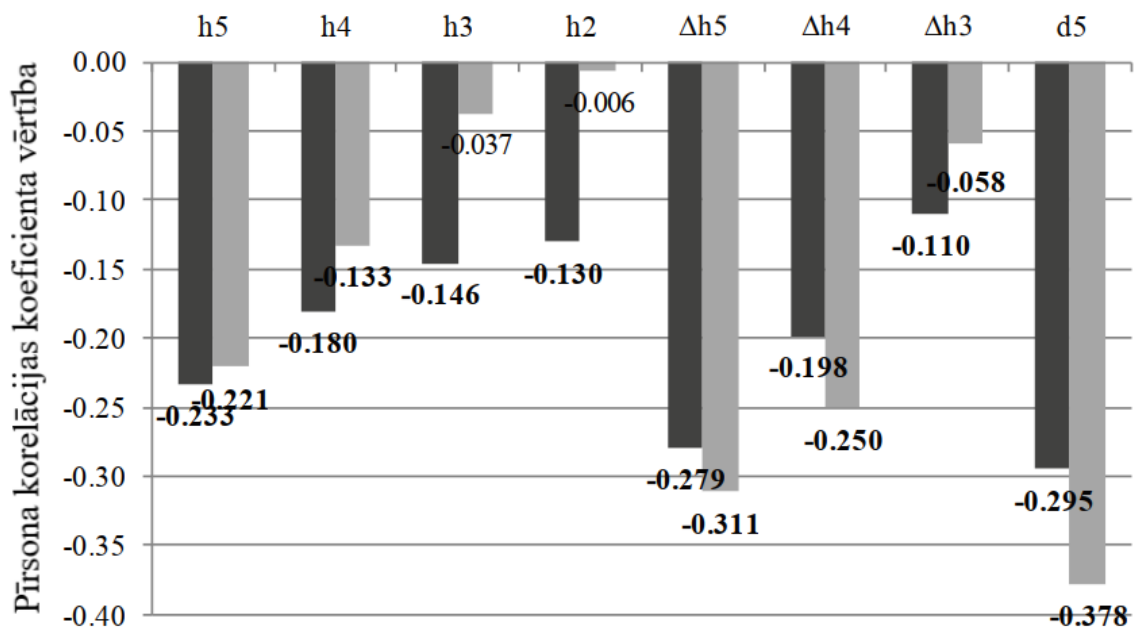


5.2.1.attēls. Koku skaits trīs un 12 gadu vecumā (attiecīgi N3 un N12), starpība starp koku skaitu šajos vecumos (N_difference) un koku augstums 12 gadu vecumā (H12; ± 95 % ticamības intervāls) atkarībā no kumulatīvā vērtējuma (6–15) kokiem, kas sākotnēji (trīs gadu vecumā) bija augstāki par vidējo (H1), un kokiem, kas sākotnēji bija vienādi vai zemāki par vidējo (H2) brīvapputes stādījumā Daugmalē.

Skujbires vērtējuma balles Daugmales stādījumā būtiski ($p < 0,001$) ietekmēja tās vērtējumu nākamajā augšanas sezonā; korelācijas koeficients starp vērtējumu ceturtajā un piektajā, piektajā un sestajā un ceturtajā un sestajā augšanas sezonā bija attiecīgi 0,55, 0,53 un 0,37. Vērtējuma balles izmaiņas starp ceturto un piekto augšanas sezonu būtiski ($p < 0,01$) ietekmēja arī koka augstums. Sākotnēji augstākiem kokiem bija divreiz lielāks tādu koku

Īpatsvars, kas piektajā augšanas sezonā bija mazāk bojāti nekā ceturtajā augšanas sezonā, salīdzinot ar sākotnēji zemākiem kokiem (attiecīgi 34 % un 17 %).

Bojājumu vērtējums sestajā augšanas sezonā kontrolētās krustošanas stādījumos Zvirgzdē un Kalsnavā būtiski korelēja ar koku augšanas parametriem pirms infekcijas gan individuālu koku, gan ģimeņu līmenī. Visciešākā saistība konstatēta starp bojājumu vērtējumu un stumbra caurmēru pie sakņu kakla piecu gadu vecumā, kā arī starp bojājumu vērtējumu un augstuma pieaugumu sezonā pirms skujbires (5.2.2. att.).



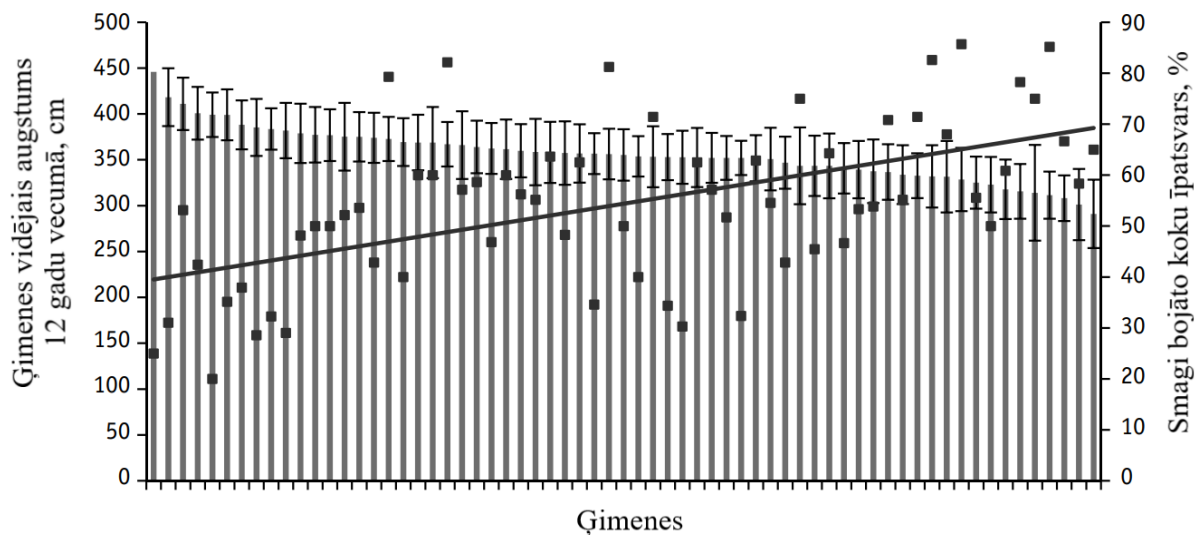
Koku parametri

5.2.2. attēls. Pīrsona korelācijas koeficienta (r) vērtības starp bojājumu vērtējumu (piecu ballu skala) un individuālu koku parametriem kontrolētās krustošanas stādījumos Latvijas austrumu (melni stabiņi) un centrālajā (pelēki stabiņi) daļā.

h5 – koku augstums piecu gadu vecumā; h4 – koku augstums četrus gadu vecumā; h3 – koku augstums trīs gadu vecumā; h2 – koku augstums divu gadu vecumā; Δh5 – augstuma pieaugums piektajā augšanas sezonā; Δh4 – augstuma pieaugums ceturtajā augšanas sezonā; Δh3 – augstuma pieaugums trešajā augšanas sezonā; d5 – caurmērs pie sakņu kakla piecu gadu vecumā. Būtiskās koeficienta vērtības atzīmētas treknrakstā.

Daugmales brīvapputes stādījumā atkārtotas skujbires (ceturtajā līdz sestajā augšanas sezonā) infekcijas kumulatīvais vērtējums būtiski ($p < 0,01$) ietekmēja koku augstumu 12 gadu vecumā (5.2.1. att.). Koki, kas sākotnēji bija augstāki, bet uzņēmīgāki pret skujbiri (kumulatīvais vērtējums 15), 12 gadu vecumā bija ievērojami zemāki nekā sākotnēji zemāki, bet skujbires rezistentāki koki (kumulatīvais vērtējums 6), attiecīgi $222 \pm 31,3$ cm un $437 \pm 35,8$ cm. Ģimeņu līmenī korelācija starp stipri bojāto koku īpatsvaru un koku augstumu pirms skujbires bija vājāka nekā starp šādu koku īpatsvaru un koku augstumu 12 gadu vecumā (attiecīgi $r = -0,35$ un $r = -0,58$; abi $p < 0,001$), liecinot par negatīvu skujbires ilgtermiņa ietekmi uz koku augstumu.

Stādījumā Daugmalē smagi bojāto (kumulatīvais vērtējums >9) koku īpatsvars starp ģimenēm bija no 20 % līdz 86 % (5.2.3. att.). Gan brīvapputes, gan kontrolētās krustošanas stādījumos konstatēta būtiska ģenētikas ietekme: gan ģimene ($p < 0,001$), gan proveniencē (brīvapputes ģimenēm) un klona izcelsme (kontrolētajiem krustojumiem) būtiski ($p < 0,01$) ietekmēja bojājumu vērtējumu.



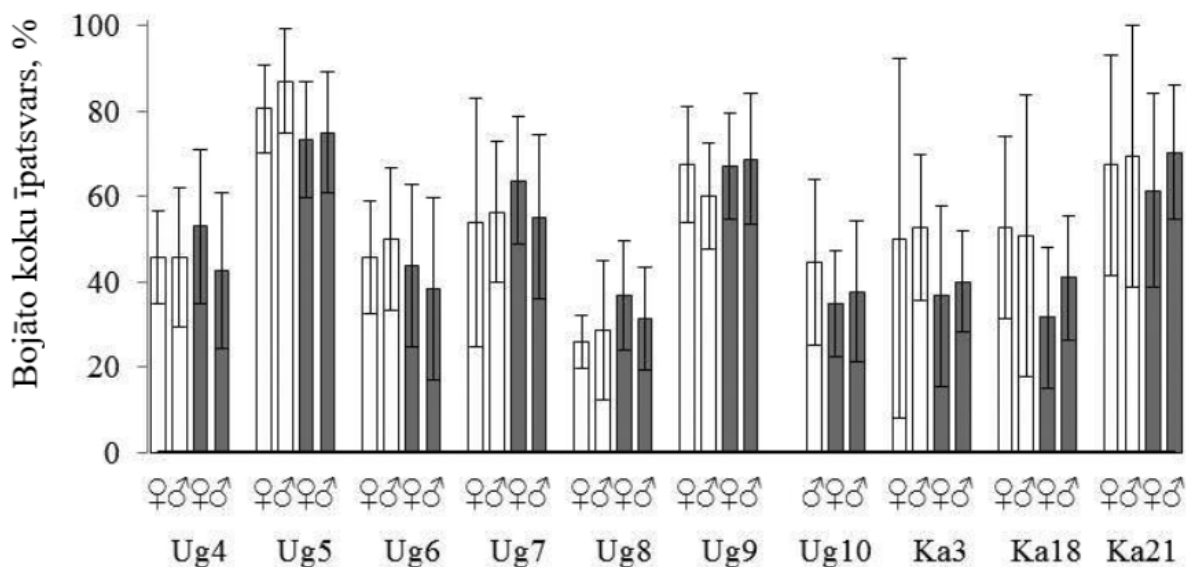
5.2.3. attēls. Ģimenes vidējais koku augstums (stabiņi; ± 95 % ticamības intervāls) 12 gadu vecumā un stipri bojāto (kumulatīvais vērtējums >9) koku īpatsvars (punkti un taisne) 12 gadu vecumā.

Ģimenes vidējais bojājumu vērtējums būtiski ($p < 0,001$) korelēja starp stādījumiem, un bija augstāks ģenētiski homogēnākam materiālam: brīvapputes stādījumos $r = 0,40$, kontrolētās krustošanas stādījumos $r = 0,72$. Konstatēta arī būtiska ģenētikas \times stādījuma vietas ietekme, t.i., atsevišķām ģimenēm augsta bojājumu intensitāte konstatēta tikai vienā no stādījumiem. Līdzīgi arī individuālu koku līmenī brīvapputes stādījumiem konstatēta būtiska ($p < 0,001$) proveniencas \times stādījuma vietas un ģimenes \times stādījuma vietas mijiedarbības ietekme. Individuālu koku līmenī kontrolētās krustošanas stādījumiem konstatēta būtiska ($p < 0,001$) ģimeņu grupas \times stādījuma vietas un ģimenes \times stādījuma vietas mijiedarbības ietekme.

Kontrolētajiem krustojumiem konstatētas būtiskas atšķirības starp pluskoku ģimenēm neatkarīgi no tā, vai pluskoks (klons) iesaistīts krustojumā kā māteskoks vai tēvakoks (5.2.4. att.). Piemēram, pluskoka Ug8 pēcnācējiem bija būtiski ($p < 0,05$) zemāks stipri bojāto koku īpatsvars, salīdzinot ar pluskoka Ug5 pēcnācējiem. Savukārt, noteikta pluskoka pēcnācējiem nav konstatētas būtiskas atšķirības ($p > 0,05$) bojāto koku īpatsvaram ģimenē neatkarīgi no stādījuma un neatkarīgi no tā, vai krustojumā tas ir māteskoks vai tēvakoks (5.2.4. att.). Lai arī pastiprināta sveķu izdalīšanās spēja dažkārt tiek saistīta ar labāku koka rezistenci pret patogēniem, tomēr mūsu pētījumā netika konstatētas statistiski būtiskas atšķirības starp sveķu ieguvei īpaši atlasītu pluskoku ģimenēm un pēc standarta kritērijiem atlasītu pluskoku ģimenēm (no viena reģiona) – līdzīgs bija gan skujbires bojājumu vērtējums, gan smagi skarto koku īpatsvars (visi $p > 0,05$).

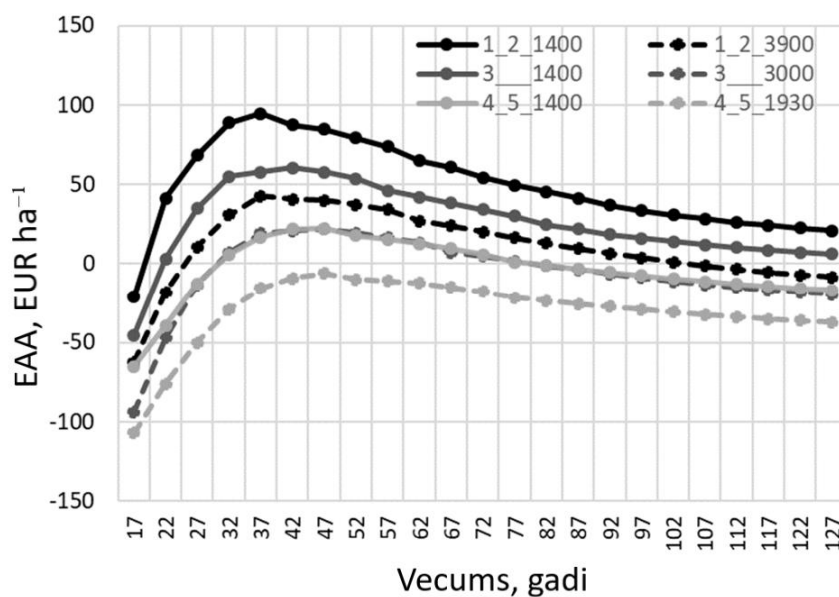
Cieša, negatīva korelācija starp stipri bojāto koku īpatsvaru un koku augstumu, un saglabāšanos ģimeņu līmenī (attiecinīgi $r = -0,62$ un $r = -0,70$) liecina, ka labāk augošu un vienlaikus rezistentu genotipu selekcija var tikt veikta skujbires uzliesmojuma skartos pēcnācēju pārbaužu stādījumos.

Stipri bojātajām priedēm galvenās cirtes brīdī ekvivalentie ikgadējie ienākumi (*equivalent annual annuity*) bija samazināti par gandrīz 100 %. Visos simulētajos scenārijos ekvivalentie ikgadējie ienākumi sasniedza maksimumu 35 līdz 45 gadu vecumā. Ekvivalentie ikgadējie ienākumi koku grupai, kurā bija iekļauti mazāk bojāti koki ar mazāku audzes biezumu 17 gadu vecumā, uzrādīja tendenci kulminēt ātrāk (5.2.5. att.), norādot, ka intensīvākas mežsaimnieciskās darbības koku skaita samazināšanai jaunaudžu posmā var daļēji kompensēt skujbires radītos zaudējumus. Neatkarīgi no simulētajiem mežsaimniecības scenārijiem, skujbires rezistentajiem kokiem bija augstāki ekvivalentie ikgadējie ienākumi, norādot uz ekonomiski pamatotu ieguvumu no rezistentu genotipu selekcijas.



Kontrolētās krustošanas pluskoki

5.2.4. attēls. Bojāto koku īpatsvars ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) pluskoku pēcnācējiem Zvirgzdē (baltie stabīni, tādu koku īpatsvars, kuriem vērtējums 5) un Kalsnavā (pelēkie stabīni, tādu koku īpatsvars, kuriem vērtējums 4 vai 5), ja tas krustojumā iesaistīts kā māteskoks (♀) vai tēvakoks (♂).



5.2.5. attēls. Ekvivalento ikgadējo ienākumu (EAA) dinamika (4% likme, vidējs cenu līmenis) kopšanas režīmam ar biežības samazinājumu no 0,95 uz 0,70, atkarībā no atšķirīgas sākotnējās biežības (1400 koki ha^{-1} vai audzes biežība 17 gadu vecumā) un bojājumu balles. Simulētie scenāriji: 1_2_1400 – bojājumu balle 1 un 2, biežība 1400 koki ha^{-1} ; 3_1400 – bojājumu balle 3, biežība 1400 koki ha^{-1} ; 4_5_1400 – bojājumu balle 4 un 5, biežība 1400 koki ha^{-1} ; 1_2_3900 – bojājumu balle 1 un 2, biežība 3900 koki ha^{-1} ; 3_3000 – bojājumu balle 3, biežība 3000 koki ha^{-1} ; 4_5_1930 – bojājumu balle 4 un 5, biežība 1930 koki ha^{-1} .

Secinājumi

Skujbirei ir ilgstoša, nozīmīga negatīva ietekme uz mazāk noturīgo ģimeņu monetāro vērtību. Noturība pret to ir iedzimstoša un ņemama vērā genotipu atlasē.

5.2.2.2. Noturības pret sakņu trupi ģenētiskā nosacītība

Parastās priedes (*Pinus sylvestris*) noturība pret sakņu trupi

Nozīmīgs selekcijas mērķis ir uzlabot nākamās mežaudzes rezistenci pret nelabvēlīgiem biotiskajiem un abiotiskajiem faktoriem, kaut arī līdz šim praktiski izmantojamu rezultātu ir maz – galvenokārt par noturību pret skujbiri un stumbra vēzi. Sakņu trupe ir plaši izplatīta priežu jaunaudzū slimība, kuru galvenokārt izraisa sakņu piepe *Heterobasidion annosum*, kuras dēļ notiek koku atmiršana. Priedes jaunaudzēs koki iet bojā 2-3 gadu laikā, bet vecākās audzēs – 10-20 gadu laikā. Lai arī iespējams pielietot bioloģiskās aizsardzības metodes, tomēr daudz efektīvāka metode būtu rezistentu priedes stādu izmantošana meža atjaunošanā – ar ģenētiski noteiktu noturību pret sakņu trupi. Jaunākajos pētījumos noskaidrots, ka terpēnu sastāvs nosaka koku rezistenci pret sakņu trupi. Secināts, ka sekundāro metabolītu (piemēram, terpēni) sintēze ir atšķirīga dažādiem genotipiem, līdz ar to atšķiras šo genotipu spēja mobilizēt to izdalīšanu, saskaroties ar patogēnu. Lai arī tiek rekomendēts stādīt noturīgākos genotipus, tomēr ir sarežģīti veikt plašas rezistentāko genotipu pārbaudes selekcijai un tālākai izmantošanai praksē, jo nepieciešams mērķtiecīgi ierīkot stādījumus un veikt pārbaudes plašā mērogā, kas ir darbietilpīgs un dārgs process, un iegūtie dati parāda infekcijas līmeni jau bojātos kokos, nevis koku spēju izvairīties no inficēšanās.

Ņemot vērā ievērojamos ekonomiskos zaudējumus, kas rodas sakņu piepes radīto bojājumu dēļ, pētījuma mērķis ir izstrādāt sakņu trupes rezistences indeksu parastās priedes selekcijas programmā un novērtēt tā efektivitāti.

Pētījums veikts sadarbībā ar meža fitopatoloģijas radošo grupu. Pētījumā analizēts priedes pēcnācēju pārbaužu stādījums ar 154 brīvapputes ģimenēm no 13 populācijām Latvijā, kas ierīkots 1979. gadā Kalsnavas novadā, silā, stādot viengadīgus kailsakņu stādus. Stādīšanas attālums 2 x 1 m. Kopšana vai citas mežsaimnieciskās darbības stādījumā nav veiktas, tāpēc vienīgais dabiskais inficēšanās avots ar sakņu piepi (*H. annosum*) iespējams no iepriekšējās audzes (pieaugušās audzes cirte). Kopumā analizēti 4695 koki 38 gadu vecumā, vērtējot koku augstumu un caurmēru, resnākā zara (līdz 2 m augstumam) caurmēru, padēlu esamību, kā arī koka stumbra taisnumu un zarojumu trīs ballu skalā – 1= tievi zari, taisns stumbrs; 3 = resni zari, stumbrs likumains.

Vizuāli novērtējot koku potenciālo noturību pret *H. annosum*, koki sagrupēti trīs kategorijās: 1) kokiem nav novērojamas trupes pazīmes (asimptomātiski koki); 2) kokiem novēro trupes pazīmes vainagā, augļķermeņi uz sakņu kakla (simptomātiski koki); 3) nokaltis koks. Lai noteiktu faktiski inficēto koku īpatsvaru, visi 2. un 3. kategorijas koki tika nozāģēti (kopumā 421 koks). Koksnes paraugi (šķērsriezuma ripas) no šo koku celmiem tika savākti un laboratorijā veikta analīze pēc patogēna konidijnesējiem. Iegūstot informāciju par platību, kurā koki ir inficēti ar *H. annosum*, noteiktas inficētās zonas, kurās izveidots sakņu trupes rezistences indekss.

Sakņu piepe *H. annosum* (kopā 28 dažādi genotipi) konstatēta 149 kokiem 1,55 ha platībā. Izdalītas 35 zonas, kurās konstatēta inficēšanās ar *H. annosum* 108 m² platībā. Inficētās zonas viena no otras atradās 2 līdz 74 m attālumā, kopumā aizņemot 27,5 % no kopējās pēcnācēju pārbaužu stādījuma platības. Sakņu trupes rezistences indeksam konstatēta augsta iedzimstamības koeficienta vērtība (0,37), un tā ir salīdzināma ar ražības pazīmēm konstatētajām vērtībām, kas arī ir salīdzinoši augstas (no 0,25 līdz 0,45). Stumbra kvalitāti raksturojošajām pazīmēm – stumbra taisnumam, zarojuma novērtējumam, resnākā zara diametram, padēlu esamībai – iedzimstamības koeficientu vērtības ir nozīmīgi zemākas (0,02-0,13). Netika konstatēta būtiska vidējā korelācija starp sakņu trupes rezistences indeksu un citām analizētajām pazīmēm, izņemot vāju, pozitīvu korelāciju ar caurmēru ($r = 0,16$; $p = 0,05$), stumbra tilpumu ($r = 0,19$; $p = 0,02$) un resnākā zara (līdz 2 m augstumam) diametru ($r = 0,28$). Visticamāk, augstākā noteiktā korelācija – starp sakņu trupes rezistences indeksu un resnākā zara (līdz 2 m augstumam) diametru – saistāma ar pētījuma uzbūvi – kokiem ar augstāku rezistenci pret sakņu trupi var veidoties resnāki zari, jo nenoturīgākie koki ap tiem iet bojā, atstājot brīvu augšanas telpu. Kaut arī vāja, tomēr būtiska korelācija novērota starp sakņu trupes rezistences indeksu un stumbra tilpumu, iespējams, palēninātas nozīmīgāk inficēto ģimeņu augšanas dēļ. Novēroja ciešu korelāciju starp produktivitāti raksturojošajiem

rādītājiem (koka augstumu, koka caurmēru un stumbra tilpumu) ($r \geq 0,88$; $p = 0,01$), un tie vidēji cieši korelēja ar resnākā zara (līdz 2 m augstumam) diametru.

Piemērotie dažādie selekcijas kritēriji deva ļoti atšķirīgus selekcijas rezultātus. Atlase pēc selekcijas indeksa, ko veidoja tikai koku augstums un stumbra tilpums (S I), visdrīzāk nemainītu sakņu trupes bojājumu īpatsvaru labākajiem 25 kokiem/labākajām 25 ģimenēm (selekcijas efekts 2,3 % un 4,9 %). Iekļaujot selekcijas indeksā arī sakņu trupes rezistences indeksu (S II), koku noturība pret sakņu trupi pieaug – selekcijas efekts ir attiecīgi 30,0 % un 33,7 % atlasītajiem labākajiem 25 kokiem un labākajām 25 ģimenēm. Ja selekcijas indeksā iekļauj sakņu trupes rezistences indeksu, iegūtais selekcijas efekts galvenajām pazīmēm – koku augstumam, stumbra caurmēram un tilpumam – nozīmīgi samazinājās, bet pārējām pazīmēm to nenovēroja. Realizējot divpakāpju atlasī (30 % labākās ģimenes), pieauga arī iegūtais selekcijas efekts gan S III, gan S IV selekcijas indeksiem. Selekcijas indekss, ko veidoja divpakāpju atlases koku augstums un stumbra tilpums (S III), kāpināja sakņu trupes rezistences selekcijas efektu līdz 15,4 % (labākajiem kokiem) un 27,0 % (labākajām ģimenēm), bet S IV (koku augstums, stumbra tilpums un sakņu trupes rezistences indekss) selekcijas efekts – 27,7 % (labākajiem kokiem) un 35,2 % (labākajām ģimenēm). Kopumā izvēloties labākās 25 ģimenes, nevis labākos 25 kokus, aprēķinātie selekcijas efekti koka augstumam, stumbra caurmēram un stumbra tilpumam mazāk mainījās, selekcijas indeksā iekļaujot arī sakņu trupes rezistences indeksu. Visdrīzāk to izskaidro mainīgie vides apstākļi, kas nodrošina pietiekami augstu fenotipisko variāciju starp ģimenēm.

Lai gan nav tādas skujkoku sugas, kurai ģenētiski būtu noteikta rezistence pret sakņu piepi *Heterobasidion* spp., novērtētais augstais iedzimstamības koeficients liecina, ka parastās priedes inficēšanās atšķirības ar šo patogēnu ir stingri ģenētiski kontrolētas. Pētījumā tika atklātas ļoti vājas sakarības starp sakņu trupes rezistences indeksu un citām nozīmīgām pazīmēm, kas liecina par iespējam vienlaicīgi uzlabot tās. Tomēr, iekļaujot sakņu trupes rezistences indeksu selekcijas indeksā, samazinās koku augstuma un stumbra tilpuma selekcijas efekts. Selekcijas efekts koku produktivitāti raksturojošajiem rādītājiem šādā gadījumā saglabājas pozitīvs (6,5-10,4 %), savukārt selekcijas efekts rezistences nodrošināšanai pieaug no 2-5 % līdz pat 30-33,7 %.

Sakņu trupes rezistences indeksu var uzskatīt par nozīmīgu pazīmi līdzās produktivitāti raksturojošajiem rādītājiem (koku augstums un stumbra tilpums) selekcijas indeksā, jo tam ir ievērojama genotipiskā mainība (augsts iedzimstamības koeficients, kas ir līdzīgs produktivitāti raksturojošajiem rādītājiem), kā arī tam ir liela ekonomiskā ietekme uz kokmateriālu vērtību. Divpakāpju atlase (30 % labākās ģimenes; S III un S IV) izrādījās tikpat efektīva kā vienkāpju atlase (S I un S II), nodrošinot nelielu ietekmi uz produktivitāti un kvalitāti raksturojošiem rādītājiem. Priekšroka būtu jādod S II selekcijas indeksam, jo tajā selekcijas efekti novēroti nedaudz augstāki kā S IV. Papildus iegūstamais selekcijas efekts no sakņu trupes rezistences indeksa jāatspoguļo ekonomiskajā ieguvumā, salīdzinot to ar selekcijas efektu tikai no produktivitāti raksturojošajām pazīmēm, tāpēc nepieciešams turpināt pētījumu, izvērtējot katras pazīmes optimālo ekonomisko ieguldījumu selekcijas indeksā, lai rezultātā iegūtu vislielāko kopējo ekonomisko ieguvumu, kaut arī mainīgie ekonomiskie apstākļi to būtiski sarežģī. Novērtēt tikai sakņu trupes radīto ekonomisko zaudējumu apmēru mežsaimniecībai ir ļoti grūti, jo ir virkne citu faktoru, piemēram, vēja bojājumi, kas var nozīmīgi mainīt patogēna izplatības ātrumu, līdz ar to bojājumu īpatsvaru.

Secinājumi

Pētījumā secināts, ka sakņu trupes rezistences indekss ir efektīvs rādītājs iekļaušanai atlases kritērijos tā ievērojamās ģenētiskās variācijas dēļ, kā arī ņemot vērā, ka šāda pieeja nozīmīgi nesamazina atlasītās kopas produktivitāti un kvalitāti raksturojošos rādītājus. Tāpēc, lai uzlabotu koku rezistenci pret sakņu trupi un samazinātu koku atmiršanu, vienlaikus saglabājot augstu selekcijas efektu koku augšanai, pētījumā rekomendē iekļaut sakņu trupes rezistences indeksu selekcijas indeksā.

5.3. Proveniences adaptācijas kontekstā

5.3.1. Parastās egles un parastās priedes provenienču adaptācija Latvijas rietumos

Provenienču stādījumu salīdzināšana ir svarīga un vēsturiski plaši izmantota kokaugu selekcijas metode, kuras mērķis ir noskaidrot piemērotākos sēklu pārvietošanas reģionus, lai nenodarītu kaitējumu mežsaimniecībai, kā arī nodrošinātu augstāku stādīto mežu produktivitāti. Līdzīgi kā visās Baltijas valstīs, arī Latvijā pirmās provenienču pārbaudes notika 1970. gados, un aktīvi turpinājās periodā no 1972. līdz 1974. gadam. Šajā laikā ierīkoti visaptveroši dažādos vides apstākļos augoši ārvalstu un vietējo stādmateriālu stādījumi, izmantojot Starptautiskās meža pētīšanas organizāciju apvienības (IUFRO) stādmateriālu kolekciju. Eksperimentus ierīkoja pēc vienotas IUFRO metodikas. Šajā laikā eksperimentos iegūtie rezultāti šobrīd jau tiek izmantoti praktiskajā mežsaimniecībā, palielinot kokaudzes vērtību. Ļoti nozīmīgi ir bijuši starptautiskie IUFRO ierīkotie eksperimenti, sniedzot vērtīgu informāciju par dažādu populāciju diferenciaciju attiecībā uz koku augšanu un stumbra kvalitāti dažādos reģionos – pārsvarā analizējot jaunus kokus. Tomēr vecākās audzēs provenienču pieaugumu rādītāji var būtiski mainīties, īpaši klimata pārmaiņu kontekstā, kad novēro mainīgus meteoroloģiskos apstākļus un ekstrēmus (intensīvas lietusgāzes, sausums, vētra). Līdz šim dažās vietās Centrālajā Eiropā ir analizēti arī vecāki provenienču stādījumi, bet Baltijas jūras valstīs šādi mērījumi nav veikti.

Klimata pārmaiņu rezultātā ir prognozēts vidējās gaisa temperatūras pieaugums, bet pieaug arī ilgstoša sausuma periodu un periodu ar augstu nokrišņu intensitāti biežums. Šiem faktoriem var būt savstarpēji pretēja ietekme uz koku augšanu. Tāpēc klimata pārmaiņu ietekme uz koku augšanu, kaut arī to pielāgošanās spējai ir salīdzinoši plašas robežas, nav zināma. Tāpēc pagājušā gadsimtā ierīkotie provenienču stādījumi (izmantojot ražīgākās, kā arī izturīgākās proveniences) var kalpot, kā vērtīgs pētījuma materiāls, lai raksturotu to adaptīvās pazīmes mainīgajos klimatiskajos apstākļos konkrētajā teritorijā – īpaši tām koku sugām, kuru atjaunošana pārsvarā notiek ar stādmateriālu. Šādi pētījumi var sniegt vērtīgu informāciju par provenienču pielāgošanos dažādos vides apstākļos ilgtermiņā, kā arī novērtēt izmaiņu tendences vides pārmaiņu rezultātā. Tāpat kā citviet Eiropā, arī Latvijā šādi vecāki provenienču stādījumi ir saglabājušies nelielā skaitā, dažādu faktoru dēļ.

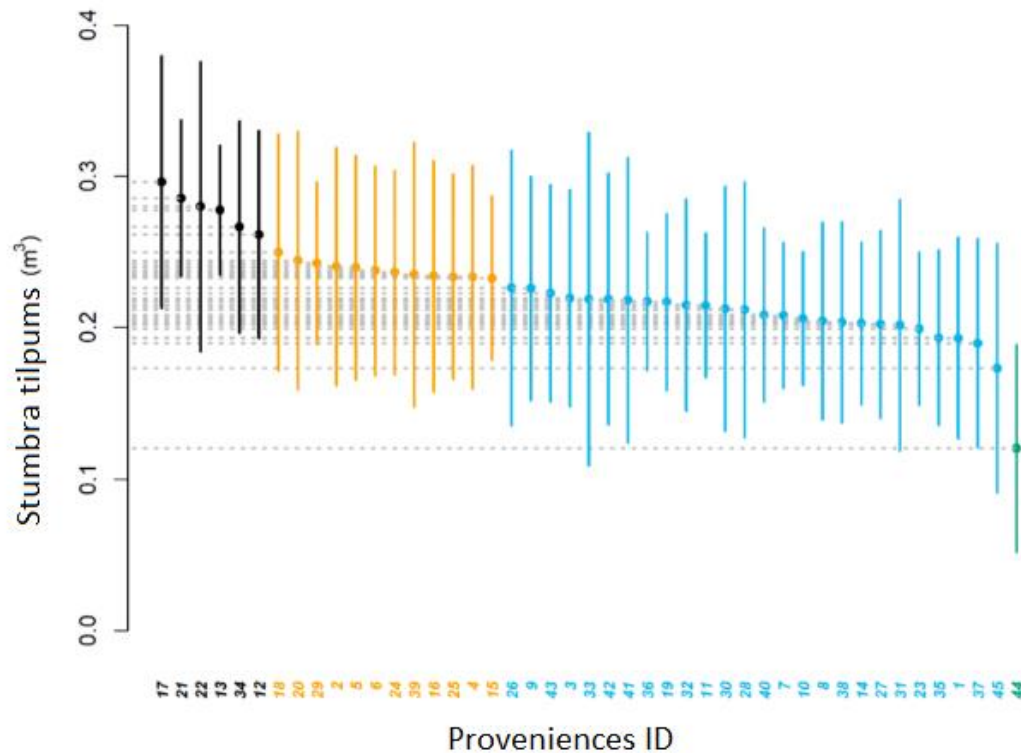
Kurzemē analizēts 32 gadus vecs parastās egles (*Picea abies* L. Karst.) provenienču stādījums, kas neilgi pēc tam vētrā tika nopostīts. Stādījums sākotnēji ierīkots uz bijušās lauksaimniecības zemes bloku parcelēs (15 koki parcelē) astoņos atkārtojumos (stādīšanas attālums 2 x 1 m; sākotnējais biežums 5000 koki ha⁻¹). Stādījumā 19 gadu vecumā veikta retināšana, samazinot sākotnējo biežumu par 50 %, bet 32 gadu vecumā samazināts koku skaits līdz 950 kokiem ha⁻¹ (atstāti 20 lielāko dimensiju koki katrā proveniencē vienmērīgi starp atkārtojumiem; ~ 17 % no sākotnējā koku skaita). Stādījumā pārstāvētas 14 proveniences no IUFRO kolekcijas, 14 vietējās Latvijas izcelsmes proveniences, 7 Ukrainas, 9 Vācijas un viena Lietuvas provenience. Stādījumā mērīts koku augstums, koku caurmērs 1,3 m augstumā virs sakņu kakla visiem dzīvajiem kokiem. Aprēķināts stumbra tilpums turpmākai analīzei. Pētījumā veikta provenienču grupēšana 6 grupās.

Liepājā un Kalsnavā analizēti divi parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.) provenienču stādījumi, kas ierīkoti 1975. gadā (analizēti 42 gadu vecumā), IUFRO eksperimentā iekļaujot sēklu materiālu no Centrāleiropas un Austrumeiropas. Stādījums ierīkots ar viengadīgiem kailsakņu stādiem, stādot 2 x 1 m attālumā bloku parcelēs (7 x 5) sešos atkārtojumos. Stādījumā 21 gada vecumā veikta retināšana, samazinot biežumu par 30 % (salīdzinot ar sākotnējo) un tas uzmērīts 21 28 gadu vecumā. Ņemot vērā sākotnējo mērījumus rezultātus, 42 gadu vecumā (2017. gadā) veikta uzmērīšana divām Vācijas proveniencēm, kuras uzrādīja augstu produktivitāti (analizējot krāju, koku caurmēru) gan Liepājā, gan Kalsnavā. Stādījumā katrai proveniencē ievākti koksnes urbumi 18 labākajiem kokiem (3 koki katrā atkārtojumā) – katram kokam iegūti divi pretēji urbumi 1,3 m augstumā virs sakņu kakla, un analizēti gadskārtu platumi.

Visos trīs izmēģinājuma objektos stādījumi ierīkoti pēc IUFRO izstrādātās metodikas. Meteoroloģiskie dati – vidējā ikgadējā gaisa temperatūra (T), ikgadējā nokrišņu summa (N), sala dienas, maksimālās (Max) un minimālās (Min) gaisa temperatūras aukstākajā un siltākajā mēnesī - iegūti no tuvākās mērījumu stacijas CRU TS2.01 (laika periodā no 1901. līdz 2016.

gadam). Izmantojot T un N, aprēķināts ikgadējais siltuma-mitruma indekss (I), lai labāk raksturotu iztvaikošanu un augsnes mitruma sastāvu.

Parastās egles provenienču pētījumā secināts, ka proveniencē efekts ir būtisks arī 32 gadu vecumā gan analizējot koku augstumu, gan stumbra tilpumu ($p < 0,001$) (5.3.1. att.).



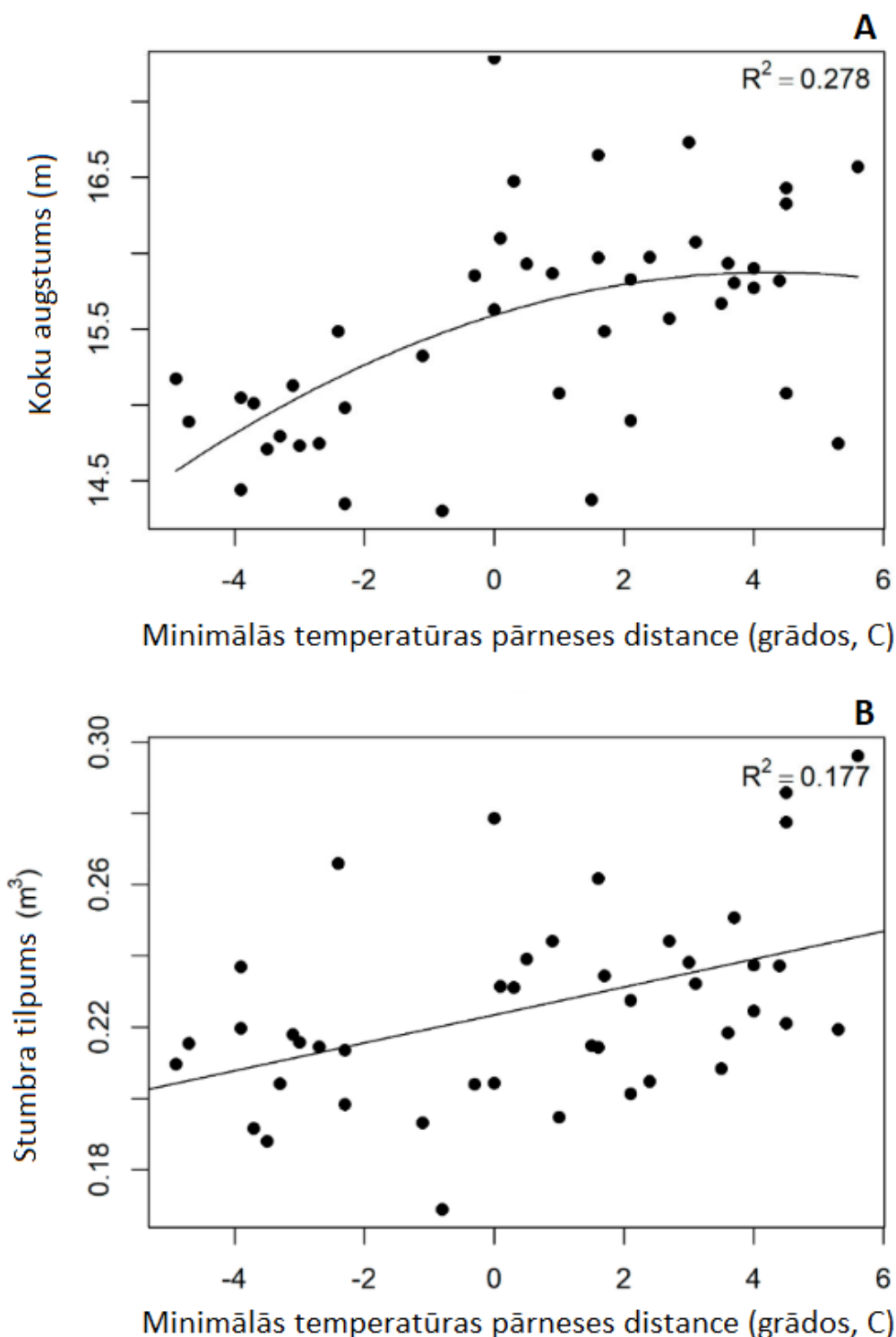
5.3.1. attēls. Proveniencē vidējais stumbra tilpums (\pm standartnovirze) egles provenienču grupās (atšķirīgas krāsas).

Būtiski lielākais stumbra tilpums (līdz 35 % augstāks kā vidēji starp visām proveniencēm) konstatēts kokiem no sēklām no Karpatu kalniem (Ukraina), Vācijas un vietējām rietumu proveniencēm – Remtes un Raņķiem. Nozīmīgi sliktāku augšanu konstatēja Somijas proveniencē (-45 % no stumbra tilpuma un -14,4 % no koku augstuma kā vidēji starp visām proveniencēm).

Lai raksturotu klimatisko rādītāju ietekmi uz koku augšanu, analizēta pārneses funkcija. Kopumā pārneses funkcija izskaidroja 7,8 % līdz 27,8 % no kopējās variācijas starp proveniencēm – stumbra tilpumam tā ir mazāka (7,8 % līdz 17,7 %). Minimālā gaisa temperatūrā aukstākajā mēnesī (Min) novēro augšanas izmaiņu koku augstumam un stumbra tilpumam par 27,8 % un 17,7 % (5.3.2. att.). Arī vidējā temperatūra (T) un sala dienas izskaidro koku augstuma izmaiņas par 21,5 % un 18,8 %. Prognozēts, ka klimatisko apstākļu izmaiņas uzlabos koku augstuma rādītājus par 0,3 m tām proveniencēm, kuru izcelsme ir no teritorijām, kur T ir ap 3 °C, Min ir ap 3 °C un garākais sala periods ir 40 dienas, bet siltuma-mitruma indekss (I) ir par 4 vienībām zemāks, salīdzinot ar vietējām proveniencēm. Pārnese no teritorijām ar aukstāku un sausāku klimatu ar mazāk sala dienām, salīdzinot ar vietējām proveniencēm, saistīta ar (izraisa) palēninātu augšanu.

Analizējot stumbra tilpuma izmaiņas atkarībā no klimatiskajiem rādītājiem, konstatēts, ka lielāki tilpumi (pārneses funkcija pieaug pat līdz 14 %) novērojami proveniencēm ar zemākām Min un vidējām T temperatūrām, vairāk sala dienām, bet mazāku I un N, salīdzinot ar vietējām proveniencēm (5.3.2. att.). Tomēr lineārā regresija norāda, ka visticamāk, ierobežotā klimatisko apstākļu izmaiņa analizētajām proveniencēm neaptver visu parastās egles izplatības areālu un klimatisko faktoru parametrus, tāpēc konkrētajā vietā testētā populācija nav savā atbilstošajā klimatiskajā joslā. Kaut arī novērotās klimata pārneses distances ir īsas (proveniencē atrodas vienā reģionā), izmantoti salīdzinoši vienkārši regresijas vienādojumi (lineārā un kvadrātiskā regresija). Kopumā konstatēts, ka visiem klimatisko apstākļu parametriem novēro būtisku korelāciju savā starpā. Pētījumā apstiprināts jau jaunākā vecumā novērotais, ka Ukrainas (Karpatu kalnu) un vietējās proveniencē kokiem ir lielāks koku augstums un stumbra tilpums – tomēr konstatēta arī samērā liela variācija starp

proveniencēm no viena reģiona. Iegūtie rezultāti norāda arī uz to, ka Ukrainas proveniencēs augstie produktivitātes rādītāji, iespējams, sasniegti maigā klimata dēļ Kurzemē (Latvijas dienvidrietumu daļā, nevērtējot bargāku klimatu Latvijas austrumdaļā). Tāpat jāņem vērā arī retināšanas ietekme, lai gan tās rezultātā saglabājušiem vitālākie koki – tāpat tie, kas potenciāli piemērotāki vietējiem apstākļiem.

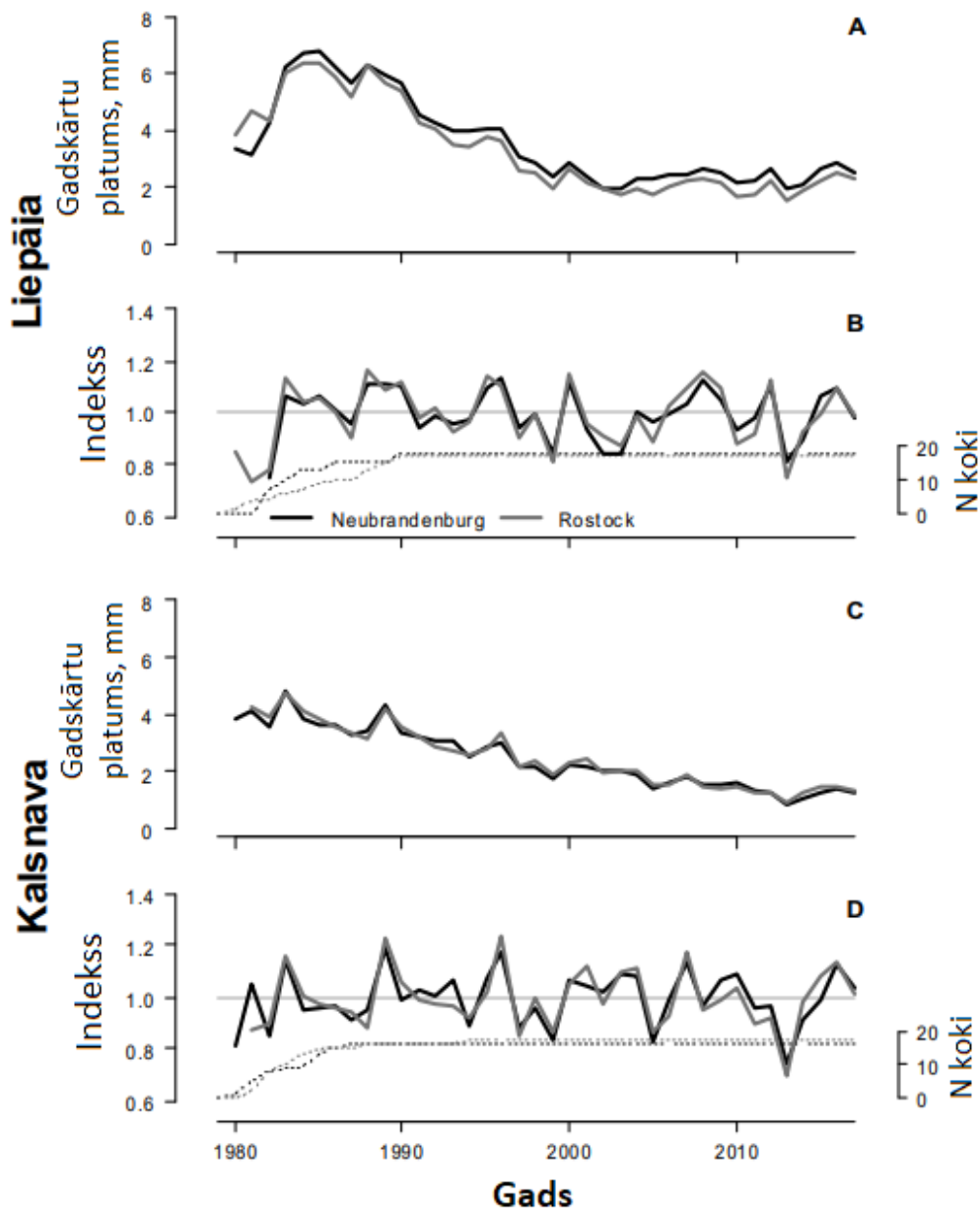


5.3.2. attēls. Vislabāk piemērotā lineārā un kvadrātiskā klimata pārnese funkcija koku augstumam (A) un stumbra tilpumam (B) egles proveniencēm.

Parastās priedes izmēģinājuma stādījumos, vērtējot koksnes urbumus, secināts, ka augšanas gaita atšķiras – Liepājā, kur konstatēti lielāki koki (koku augstums, caurmērs), gadskārtu platumi konstanti samazinās. Analizējot klimatisko apstākļu parametru mainību, konstatēts, ka tā būtiski korelē ar gadskārtu platumiem (augšanas gaitu) – ciešāka korelācija atsevišķā objektā. Līdzīga gadskārtu platumu samazināšanās abos objektos novērota 1997., 1999. un 2013. gados, kad pavasaros bija ekstrēmas temperatūru svārstības (silts pavasaris,

aukstuma vilnis). Bet lielāki gadskārtu platumi abos objektos novēroti 1983., 1996., 2016. gados, kad maijs bija netipiski silts (5.3.3. att.).

Liepājas objektā, kur ir maigāks klimats, abas proveniencas bija jutīgas pret Max un Min temperatūrām decembrī un jūlijā, bet Kalsnavā, kur novērojami bargāki klimatiskie apstākļi, abas proveniencas bija jutīgākas pret gaisa temperatūru martā un septembrī. Pretēji Liepājai, Kalsnavā jūlija temperatūra pozitīvi ietekmēja gadskārtu platumus. Liepājā konstatēts, ka dominējošo koku radiālais pieaugums atšķiras, norādot uz katras proveniencas individuālo reakciju uz klimatisko apstākļu mainību. Kaut arī Kalsnavā konstatēti mazāki koki, vērtējot to gadskārtu platumus, secināts, ka abos objektos novērojama līdzīga klimatisko faktoru limitējošā ietekme uz koku augšanu, bet atšķirīgā augšanas gaita norāda uz atšķirībām augšanas apstākļos. Iespējams, maigākā klimatā (Liepājas objektā) iespējams skaidrāk izdalīt koku ģenētisko atbildes reakciju un adaptāciju mainīgajiem klimatiskajiem apstākļiem. Lai arī abas proveniencas abos objektos bija vienas no produktīvākajām, klimatiskie apstākļi būtiski ietekmēja gadskārtu platumus, norādot uz atšķirīgu klimatisko jutību (Neubrandenburg provenience izrādījās vairāk piemērota Latvijas mainīgajiem klimatiskajiem apstākļiem, īpaši ziemā, un spēj efektīvāk izmantot veģetācijas sezonas pagarinājumu) (5.3.3. att.).



5.3.3. attēls. Parastās priedes provenienču radiālais pieaugums stādījumos Latvijā

Abos pētījumos iegūtie rezultāti apliecina, ka būtiskas atšķirības starp provenienču produktivitāti novērojamas arī vairākas desmitgades pēc stādījumu ierīkošanas (selekcijas efekts izpaužas arī vēlākos gados). Tāpat atsevišķas pazīmes – minimālā gaisa temperatūra

aukstākajā mēnesī, siltums pavasarī un rudenī atšķirīgi ietekmē analizētās proveniencas, norādot, ka ir iespējams izmantot nozīmīgāk ietekmētas pazīmes, lai uzlabotu selekcionētā materiāla adaptāciju klimata pārmaiņām un nodrošinātu klimatam piemērotu selekcijas efekta pārneši. Uzsākta šīs pieejas ieviešana praksē, potējot perspektīvāko parastās priedes proveniencu koku zarus sēkļu plantācijas koku vainagos ziedēšanas veicināšanai un jau 2020. gadā realizējot pirmo kontrolēto krustošanu.

5.3.2. Āra bērza (*Betula pendula* Roth) ģeogrāfisko proveniencu novērtējums

Šajā pētījumā analizēti bērza proveniencu stādījumi, kas izveidoti Latvijas centrālajā daļā (56° N) un ietver proveniencas no ziemeļu un dienvidu reģioniem: Somijas un Polijas, ģeogrāfiskie platumi 51° līdz 61° N. Sākotnējais stādīšanas biežums 2 x 1,2 m, nav veiktas retināšanas, mērījumi veikti 37 gadu vecumā. Stādījums kopumā ietver 16 proveniencas, kas stādītas 24 koku parcelēs 6 atkārtojumos.

Proveniencai bija statistiski būtiska ietekme uz koku augstumu, krāju un masas punkta augstumu. Lielāko augstumu sasniedza bērza proveniencas no Latvijas ($18,2 \pm 0,5$ m), nedaudz mazāku – no Polijas ($15,8 \pm 0,7$ m), un vismazāko augstumu – no Somijas ($14,7 \pm 1,4$ m). Somijas proveniencas uzrādīja vissliktākos augšanas rādītājus, tādēļ tās nav ieteicams tālāk vērtēt un arī izmantot Latvijas apstākļos. Lai gan proveniencas no Polijas ziemeļu daļas (53-54° N) uzrādīja lēnāku augšanu nekā labākās Latvijas proveniencas, tomēr tās uzrādīja labākus rezultātus nekā sliktākās vietējas izcelsmes proveniencas, tādēļ materiāls no šī reģiona var turpmāk tikt pētīts un potenciāli iekļauts selekcijas programmā, ja konstatētas labākas adaptācijas spējas modelētajiem Latvijas nākotnes klimatiskajiem apstākļiem.

Mērķa caurmērs (25 cm) var tikt sasniegts jau 48 gadu vecumā audzēs ar mazāku biežību, modelējot labākos augšanas rādītājus un labus augšanas apstākļus āra bērza augšanai Latvijā. Vienādos modelēšanas scenārijos Polijas bērza proveniencas mērķa caurmēru sasniedza 57 gados un to krāja uzrādīja līdzīgus rezultātus, kā Latvijas proveniencas 10 gadus agrāk ($272 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ un $263 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, attiecīgi) – norādot, ka potenciālā augšana bērziem no Polijas bija nedaudz zemāka nekā vietējām proveniencēm. Krājas atšķirībai starp proveniencēm no šīm valstīm bija līdzīga tendence, modelējot gan pie simtprocentīgas, gan pie 90 % koku izdzīvošanas. Bērzi no Somijas nevienā no analizētajām parametru kombinācijām nespēja sasniegt mērķa caurmēru agrāk par 100 gadu vecumu, kas ir ievērojami vēlāk nekā Latvijā noteiktais ciršanas vecums (71 gads). Modelī ar esošajiem klimatiskajiem apstākļiem mērķa caurmērs nav sasniedzams agrāk par ciršanas vecumu, tas pagarina periodu, kad relatīvi straujāk augoši koki (vietējās proveniencas) tiek pakļauti vēja bojājumu riskam.