

Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”
Latvian State Forest Research Institute „Silava”

Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Latvia University of Life Sciences and Technologies

Mg. silv. **Kaspars Polmanis**

**SKUJBIRES (*LOPHODERMIUM* SPP.) IETEKME UZ
PARASTĀS PRIEDES (*PINUS SYLVESTRIS* L.)
JAUNAUDŽU MORFOMETRISKAJIEM
PARAMETRIEM**

***INFLUENCE OF NEEDLE CAST (*LOPHODERMIUM*
SPP.) ON MORPHOLOGICAL PARAMETERS OF
YOUNG SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.)
STANDS***

Promocijas darba KOPSAVILKUMS
Dr. silv. zinātniskā grāda iegūšanai Mežzinātnes nozarē
Meža ekoloģijas un mežkopības apakšnozarē

SUMMARY of the Doctoral thesis for the scientific degree of Dr.silv.

Salaspils, Jelgava
2018

Promocijas darba zinātniskie vadītāji / *Supervisors*:
Dr.silv. Āris Jansons, Dr.silv. Tālis Gaitnieks

Promocijas darbs izstrādāts Latvijas Valsts mežzinātnes institūtā „Silava”, doktorantūras studiju Latvijas Lauksaimniecības universitātes Meža fakultātē laika periodā no 2014. līdz 2018. gadam / *The Doctoral thesis is designed at the Latvian State Forest Research Institute „Silava”, PhD studies in Latvia University of Life Sciences and Technologies, Forest Faculty in period from 2014 to 2018.*

Oficiālie recenzenti / *Official reviewers*:

- *Dr.silv. Jurgis JANSONS*, Latvijas Valsts mežzinātnes institūta „Silava” vadošais pētnieks, LZP eksperts. / *Senior researcher of Latvian State Forest Research Institute „Silava”, Expert of Latvian council of Science, Latvia;*
- *Dr.habil.biol. Īzaks RAŠALS*, Latvijas Universitātes Bioloģijas fakultātes Molekulārās bioloģijas katedras profesors, LZP eksperts. / *Department of Molecular Biology, Biology Faculty, University of Latvia. Expert of Latvian council of Science, Latvia;*
- *Dr. Rimvydas VASAITIS*, Zviedrijas Lauksaimniecības zinātņu universitātes Meža mikoloģijas un augu patoloģijas katedras, Meža patoloģijas nodaļas pētnieks. / *Swedish University of Agricultural Sciences (SLU) Department of Forest Mycology and Plant Pathology, Division of Forest Pathology, Researcher, Sweden.*

Promocijas darba aizstāvēšana notiks Latvijas Lauksaimniecības universitātes Mežzinātnes un Materiālzinātnes nozaru promocijas padomes atklātā sēdē **2018. gada 20. decembrī plkst. 12:30**, Salaspilī, Rīgas ielā 111, LVMI „Silava” bibliotēkā. *The public defence of doctoral thesis in open session of the Promotion Council of Forest Sciences and Material Sciences of Latvia University of Life Sciences and Technologies will be held on December 20, 2018 at 12:30 p.m. in Salaspils, Rīga Street 111, Latvian State Forest Research Institute „Silava” library.*

Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā Jelgavā Lielā ielā 2 un internetā http://llu.fb.llu.lv/promoc_darbi.html. Atsauksmes sūtīt promocijas padomes sekretārei *Mg.silv. Sarmītei Berņikovai - Bondarei* uz Dobeles iela 41, Jelgava, LV-3001, Latvija vai koka@llu.lv. / *The thesis are available at the Fundamental Library of Latvia University of Life Sciences and Technologies: Lielā Street 2, Jelgava and http://llu.fb.llu.lv/promoc_darbi.html. References are welcome to be sent to Mg.silv. Sarmītei Berņikovai - Bondarei the secretary of the Promotion Council: Dobeles iela 41, Jelgava, LV-3001, Latvia or email koka@llu.lv.*

SATURS / CONTENT

1. DARBA VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS	4
1.1. Tēmas aktualitāte	4
1.2. Promocijas darba mērķis, uzdevumi un tēzes	4
1.3. Darba zinātniskā novitāte un praktiskā nozīme (rekomendācijas)	5
1.4. Zinātniskā darba aprobācija	5
1.5. Promocijas darba struktūra un apjoms	7
2. MATERIĀLS UN METODEDES	8
3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA	10
3.1. Jaunaudžu augšana skujbires ietekmē	10
3.2. Ģenētisko faktoru ietekme	26
3.3. Skujbires bojājumu ietekme uz parastās priedes mežaudžu finansiālo vērtību aprites ciklā	32
SECINĀJUMI	35
PATEICĪBAS	36
1. GENERAL DESCRIPTION OF THE THESIS	37
1.1. Relevance of the topic	37
1.2. The aim, tasks and theses of the doctoral thesis	37
1.3. Scientific novelty and practical significance of the work (recommendations)	38
1.4. Approbation of the research, publications	39
1.5. Structure of the doctoral thesis	39
2. MATERIALS AND METHODS	39
3. RESULTS AND DISCUSSION	41
3.1. Influence of needlecast on growth of young stands	41
3.2. Influence of genetic factors	47
3.3. Impact of needlecast damage on the financial value of pine stands over the rotation period	50
CONCLUSIONS	52

1. DARBA VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS

1.1. Tēmas aktualitāte

Parastā priedes ir saimnieciski nozīmīga un plaši izplatīta koku suga (pēc Meža statistiskās inventarizācijas datiem 28 %). Priedi galvenokārt atjauno stādot (izmantojot selekcionētu stādmateriālu). Šāda veida stādmateriālam būtiski ir laicīgi veikt agrotehnisko kopšanu, vairākumā gadījumu arī aizsardzību pret dažādām slimībām (piem., *Lophodermium* spp.), dzīvnieku un kukaiņu bojājumiem, lai nozīmīgi samazinātu sagaidāmos riskus, jo izmaksas, veicot atkārtotu meža atjaunošanu, ir augstas. Vēl jāņem vērā arī tas, ka mūsdienās mežā stāda aizvien mazākus (izmēru ziņā) stādus, līdz ar to jebkādi bojājumi kļūst aizvien nozīmīgāki. Tādēļ būtiski samazināt jebkādus sagaidāmos riskus. Kā galveno riska faktoru var minēt: sagaidāmās klimatisko (meteoroloģisko) apstākļu izmaiņas, kas paaugstina un nākotnē paaugstinās abiotisko un biotisko faktoru radītā stresa biežumu un intensitāti kokiem, īpaši to augšanas pirmajos gados. Kā vienu no sagaidāmajiem biotiskajiem riskiem var minēt (*Lophodermium* spp.) ģints sēnes, kuru attīstību labvēlīgi ietekmē pieaugošās temperatūras un pieaugošais nokrišņu daudzums, precīzāk sakot, *Lophodermium* spp. sastopamību un attīstību nozīmīgi ietekmē pieaugošās temperatūras un nokrišņu daudzums iepriekšējā gada rudenī, ziemas meteoroloģiskie apstākļi, kā arī kārtēja gada gaisa temperatūra un nokrišņi periodā no maija līdz augustam. Savukārt *Lophodermium* spp. ģints sēņu radītie bojājumi būtiski ietekmē koku augstumu, augstuma pieaugumu un saglabāšanos.

Nākotnē jaunaudzū noturības uzlabošanā pret skujbiri liela nozīme ir noturīga materiāla atlasei selekcijas procesā un tā pielietošanai meža atjaunošanā, jo, veicot selekcijas procesu, ir iespēja noteikt un atlasīt vides apstākļiem pielāgotus īpatņus (genotipus). Īpatņu pielāgotību nosaka atšķirīgas īpašības - spēja saglabāties (t.sk. tolerances norma, fenotipiskais plastiskums) un konkurēt ar savas un citu sugu īpatņiem par barības resursiem, kā arī vairoties. Līdz ar to reālā situācija noteica promocijas darba aktualitāti, jo nepieciešami jauni pētījumi, lai varētu izziņāt skujbires aktualizēšanās iemeslus parastās priedes jaunaudzēs.

1.2. Promocijas darba mērķis, uzdevumi un tēzes

Promocijas darba mērķis: novērtēt skujbires (*Lophodermium* spp.) ietekmi uz parastās priedes jaunaudzū augšanas dinamiku un tās izraisītos mežsaimnieciskos zaudējumus. Atbilstoši pētījuma mērķim izvirzīti darba uzdevumi:

1. novērtēt skujbires ietekmi uz parastās priedes koku augstumu, saglabāšanos un pieaugumu jaunaudzēs vecumā;

2. raksturot ģenētisko faktoru ietekmi uz skujbires radītajiem bojājumiem parastās priedes jaunaudzēs;
3. raksturot skujbires bojājumu ietekmi uz parastās priedes audžu finansiālo vērtību aprites ciklā.

Promocijas darba tēzes

1. Skujbires (*Lophodermium* spp.) bojājumi parastās priedes jaunaudzēs nozīmīgi ietekmē koku saglabāšanos, augstuma pieaugumu un kumulatīvi – arī augstumu, līdz ar to audzes finansiālo vērtību.
2. Priedes ģenētikai ir nozīmīga loma skujbires bojājumu pakāpes determinēšanā.

1.3. Darba zinātniskā novitāte un praktiskā nozīme (rekomendācijas)

Novitāte

Promocijas darbā pirmo reizi analizēta atkārtotas skujbires (*Lophodermium* spp.) infekcijas kumulatīvā ietekme uz koku saglabāšanos un augšanu.

Pirmo reizi Latvijā kompleksi analizēta skujbires ietekme uz parastās priedes saglabāšanos un augstuma pieaugumu kā audžu finansiālo vērtību nosakoši faktori.

Vērtējot parastās priedes pēcnācēju pārbaužu stādījumu noturību pret skujbiri, papildināta informācija par priedes ģenētikas lomu šīs slimības ietekmes determinēšanā.

Rekomendācijas

Ņemot vērā skujbires negatīvo kumulatīvo ietekmi uz koku saglabāšanos un ātraudzību, ieteicams pēcnācēju pārbaužu stādījumos veikt bojājumi uzskaiti jau 2. līdz 4. gadā, lai atlasītu pret šo slimību noturīgākos genotipus. Rezistence pret skujbiri iekļaujama selekcijas indeksā.

Ilgtermiņa prognožu izstrādei, ieteicams veikt skujbires bojājumu starpgadu mainības monitoringu un raksturot to ietekmējošos faktorus.

Izmantošanai meža atjaunošanā un turpmākajā selekcijas darbā rekomendējami 9 jauni pret skujbiri rezistentāki kloni: Nr. 306, 146, 198, 348, 250, 261, 242, K3xU10 un K18xK21.

1.4. Zinātniskā darba aprobācija

Pētījuma rezultāti apkopoti sešās publikācijās:

1. **Polmanis, K.**, Gaitnieks, T., Beļviča, V., Rungis, D., & Baumanes, A. (2017). Occurrence of *Lophodermium* spp in Young Scots Pine Stands in Latvia. Research for Rural Development, Annual 23rd International Scientific Conference Proceedings, Jelgava, LLU, pp. 14-20. DOI:10.22616/rrd.23.2017.002.

2. **Polmanis, K.**, Klavina, D., Gaitnieks, T., Baumanis, I., & Lazdins, A. (2016). Genetic Differences in Needlecast Damage of Scots Pine (*Pinus Sylvestris* L.). Research for Rural Development, Annual 22nd International Scientific Conference Proceedings, Jelgava, LLU, pp. 34-40.
3. **Polmanis, K.**, Miežite, O., Baumanis, I., & Lazdins, A. (2016). Impact of Needlecast Damage on Sanitary Condition in Young *Pinus Sylvestris* L. Stands in Central Latvia. Research for Rural Development, Annual 22nd International Scientific Conference Proceedings, Jelgava, LLU, pp. 41-47.
4. Jansons, Ā., Neimane, U., **Polmanis, K.**, Gaitnieks, T., & Baumanis, I. (2016). Cumulative effect of needle cast on Scots pine saplings. *Forestry Studies. Metsanduslikud Uurimused*. 65, 5–15. ISSN 1406-9954. DOI: 10.1515/fsmu-2016-0007.
5. Jansons, Ā., Neimane, U., **Polmanis, K.**, & Baumanis, I. (2016). Genetic Differences Multi-Annual Impact of *Lophodermium* spp. Needle Cast on Young Scots Pine. Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Vol. 70, No. 6 (705), pp. 409–423. DOI: 10.1515/prolas-2016-0060.
6. **Polmanis, K.**, Baumanis, A., Baumanis, I., & Luguza, S. (2015). Influence of Meteorological Factors on Needle Cast Damage in Young Scots Pine Stands. *Proc.Latv.Univ.Agr.*, 33(328), 19-25. DOI:10.1515/plua-2015-0003.

Pētījuma rezultāti prezentēti 7 zinātniskajās konferencēs:

1. The Annual 23rd International Scientific Conference „Research for Rural Development 2017”, May 17th – 19th 2017, Jelgava, Latvia. Polmanis, K., Gaitnieks, T., Beļviča, V., Rungis, D., & Baumanis, A. Prezentācija - Occurrence of *Lophodermium* spp in Young Scots Pine Stands in Latvia.
2. BaltDendro 2016 - 4th International Conference of Dendrochronologists and Dendroecologists from the Baltic Sea Region August 22-25, 2016. Society of Annas Tree School - „Gaitiņi”, Klīves, Babītes pagasts, Babītes novads LV-2107:
 - a) prezentācija - Jansons, A., Neimane, U., Polmanis, K., & Baumanis, I. Cumulative effect of needle cast on Scots pine saplings;
 - b) stenda referāts - Polmanis, K., Neimane, U., Klavina, D., Baumanis, I., & Jansons, A. Occurrence of Needlecast on Young Scots Pine.
3. The Annual 22nd International Scientific Conference „Research for Rural Development 2016”, May 18th – 20th 2016, Jelgava, Latvia:
 - a) prezentācija - Polmanis, K., Klavina, D., Gaitnieks, T., Baumanis, I., & Lazdins, A. Genetic Differences in Needlecast Damage of Scots Pine (*Pinus Sylvestris* L.);
 - b) prezentācija - Polmanis, K., Miežite, O., Baumanis, I., & Lazdins, A. Impact of Needlecast Damage on Sanitary Condition in Young *Pinus Sylvestris* L. Stands in Central Latvia.
4. Starptautiska zinātniskā konference „Zināšanās balstīta meža nozare” (Knowledge Based Forest Sector), 2015. gada 4.-6. novembrī Rīgā, akciju

sabiedrības „Latvijas Valsts meži” biroja telpās Vaiņodes ielā 1. Stenda referāts – Polmanis, K., Neimane, U., Klavina, D., Baumanis, I., & Jansons, A. Skujbires ietekme uz parastās priedes jaunaudzū augšanu. Influence of Needlecast on Growth of Young Scots Pine Stands.

5. 25th NJF Congress - Nordic View to Sustainable Rural Development, Riga, Latvia, 16th-18th June, 2015. Polmanis K., Neimane U., Baumanis I., Klavina D., Gaitnieks T., & Jansons A. Prezentācija - Needle Cast Damages in Young Scots Pine Stands.
6. 21st Annual International Scientific Conference „Research for Rural Development 2015”, May 13th – 15th 2015. LLU, Jelgava, Latvija. Prezentācija - Polmanis, K., Baumanis, A., Baumanis, I., & Luguza. S. Influence of Meteorological and Genetic Factors on Needlecast Damage in Young Scots Pine *Pinus Sylvestris* L. Stands.
7. „The 9th Baltic Theriological Conference” 15.10.2014., Daugavpils, Latvija. Polmanis, K., Neimane, U., Baumanis, I., Klavina, D., Gaitnieks, T., & Jansons, A. Prezentācija - Needle Cast Damages in Open-Pollinated and Control-Crossed Trials of Scots Pine (*Pinus Sylvestris* L.).

1.5. Promocijas darba struktūra un apjoms

Promocijas darba struktūra ir pakārtota darba uzdevumiem. Pirmajā nodaļā analizēta literatūra un iepriekš veiktie pētījumi saistībā ar promocijas darba tematiku. Otrajā nodaļā aprakstītas darbā izmantotās metodes un materiāli. Trešajā nodaļā izklāstīti pētījumā iegūtie rezultāti un no tiem izrietošie secinājumi.

Promocijas darba apjoms ir 90 lappuses, informācija apkopota 6 tabulās, 42 attēlos, izmantoti 341 bibliogrāfiskie literatūras avoti. Darba noslēgumā formulēti 5 galvenie secinājumi un sniegtas 3 rekomendācijas.

2. MATERIĀLS UN METODES

Promocijas darbā skujbires ietekme vērtēta piecās eksperimentu sērijās: **Pirmā eksperimentu sērija** – atkārtoti (2012. un 2013. gadā) veģetācijas perioda laikā (no aprīļa līdz septembrim) uzmērītas parastās priedes jaunaudzes (skaits 15 gab., vecums, 3-26 gadi). Pavisam kopā ierīkoti 28 parauglaukumi. Kopējā uzmērītā jaunaudžu platība 11.6 ha. **Otrā eksperimentu sērija** – vienu reizi (2009. un 2016. gadā) veģetācijas perioda laikā uzmērītas jaunaudzes (skaits 12 gab., vecums, 3-12 gadi). Pavisam kopā ierīkoti 50 parauglaukumi. Kopējā apsekotā platība 20.7 ha. **Trešā eksperimentu sērija (Ogre, Daugmale)** – divi parastās priedes brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumi, kas I. Baumaņa vadībā ierīkoti SIA „Rīgas meži” teritorijā, Ogrē (56°50' Z pl.; 24°38' A gar.) un Daugmalē (56°47' Z pl.; 24°30' A gar., Nr 441). Stādījumos ietverti vairāku populāciju pluskoku pēcnācēji (ģimeņu skaits norādīts iekavās): Misa (47), Smiltene (6), Baldone (4) Zvirgzde (2), Kalsnava (2) un Ugāles sveķu (sv.) priede (Ugsv8 408) (1). Salīdzināšanai ietverti arī stādi no vairāku mežaudžu 20-30 koku vidējā sēklu parauga (Ogres, Daugmales, Ugāles audze) un Olaines plantācija vidējā sēklu parauga. Abos stādījumos veikta koku saglabāšanās (2 gadu vecumā) inventarizācija, sākotnējā augstuma (3 gadu vecumā) uzmērīšana, kā arī atkārtoti augstuma mērījumi un skujbires bojājumu pakāpes novērtējums 4, 5, 6 un 12 gadu vecumā (šeit un turpmāk – koku bioloģiskais vecums).

Ceturtnā eksperimentu sērija (Kalsnava, Zvirgzde) – divi parastās priedes kontrolēto krustojumu pēcnācēju pārbaužu stādījumi, kas I. Baumaņa vadībā ierīkoti aģentūras Meža pētīšanas stacija (Kalsnavā, 56°40' Z pl.; 25°57' A gar, Nr. 21) un AS „Latvijas Valsts meži” apsaimniekotajos mežos (Zvirgzdē, 56°41' Z pl.; 24°26' A gar., Nr 22). Tajos ietvertas kopumā 10 klonu (7 Ugāles un 3 Kalsnavas) kontrolēto krustojumu un brīvapputes pēcnācēju ģimenes (kopā 72). Datus analizējot, krustojumi apvienoti piecās grupās: Ugāles klonu savstarpējie krustojumi, Kalsnavas klonu savstarpējie krustojumi, Ugāles un Kalsnavas klonu krustojumi, Ugāles klonu brīvapputes pēcnācēji, Kalsnavas klonu brīvapputes pēcnācēji. Stādījumos veikta koku uzmērīšana un skujbires bojājumu novērtēšana 5 gadu vecumā (I. Baumanis) un atkārtota uzmērīšana 17 gadu vecumā.

Piektā eksperimentu sērija (Kalsnava, Tukums) – divi parastās priedes brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumi, kas I. Baumaņa vadībā ierīkoti aģentūras Meža pētīšanas stacija (Kalsnavā, 56°40' Z pl.; 25°58' A gar.) un a/s „Latvijas Valsts meži” apsaimniekotajos mežos (Tukumā 57°00' Z pl.; 23°10' A gar.) Stādījumos ietverti vairāku populāciju pluskoku pēcnācēji (ģimeņu skaits norādīts iekavās): Tukums (19), Bauska (17), Dundaga (21), Kalsnava (7), Jūrmala (21), Jaunjelgava (25), Mazsalaca (15), Mazsalaca sv. (21), Ugāle (15), Smiltene (27), Strenči (11), Jēkabpils (19) un Lubāna (15). Kopumā eksperimentā ietvertas 233 koku brīvapputes pēcnācēju ģimenes no 14 Latvijas priežu populācijām. Stādījumos veikta koku uzmērīšana un skujbires bojājumu novērtēšana 2 gadu vecumā.

Skujbires radītie bojājumi 1. 3., 4., 5. eksperimentu sērijā vērtēti ballēs, nosakot bojāto skuju īpatsvaru pēdējā gada augstuma pieaugumam: 1 balle – 0-5 %; 2 balles – 6-35 %; 3 balles – 36-65 %; 4 balles – 66-95 % un 5 balles – 96-100 % bojātu skuju. Skujbires (*Lophodermium* spp.) bojājumu pakāpes trešās eksperimentu sērijas Ogres stādījumā vērtētas 6 gadu vecumā, Daugmales stādījumā no 4-6 gadu vecumā.

Patogēnu (*Lophodermium* spp.) identificēšana **1. un 3.-5. eksperimentu sērijā** veikta, izmantojot morfoloģiskās īpašības, piem., auglķermeņa forma, izmērs, krāsa utt. Savukārt **otrajā eksperimentu sērijā** identificēšana veikta ar ģenētiskajiem marķieriem.

Visās eksperimentu sērijās, lai novērtētu dažādu faktoru ietekmi uz analizētajām īpašībām un uz šo pazīmju savstarpējo saistību, izmantota aprakstošā statistika, korelācijas analīze, vienfaktora un divfaktoru dispersijas analīze, T-tests, F-tests (Liepa, 1974; Liepa, 1996; Arhipova & Bāliņa, 2003). Pirmās, trešās, ceturtais un piektās eksperimentu sērijās veselības stāvokļa raksturošanai tika aprēķināta skujbires bojājumu sastopamība un skujbires bojājumu intensitāte. Lai raksturotu skujbires sastopamību 2. eksperimentu sērijā, izmantots jaukta tipa vispārināts lineārais modelis. Lai noteiktu parastās priedes klonu noturību pret skujbires infekciju trešajā un ceturtajā eksperimentu sērijā, veikta šo klonu ranžēšana.

Skujbires kumulatīvā īstermiņa ietekme uz parastās priedes augstumu (H_{ijk}) Daugmales stādījumā jaunaudzēs vecumā raksturota, izmantojot jaukta tipa kovariācijas analīzi (mANCOVA). Kā novērojums šajā modelī izmantots koka augstums. Faktora būtiskums noteikts, izmantojot dispersijas analīzi (Zuur et al., 2009). Datu analīze veikta datorprogrammā R v 3.5.0 (RCore Team, 2018), izmantojot pakotni „lsm4” (Bates et al., 2015).

Lai izvērtētu skujbires bojājumu finansiālo ietekmi audzes aprites ciklā trešās eksperimentu sērijas Daugmales stādījuma visi koki iedalīti divās grupās: 1. grupa pret skujbiri noturīgi koki (<35 % bojātu skuju); 2. grupa pret skujbiri nenoturīgi koki (>65 % bojātu skuju) pēc vērtējuma 5 gadu vecumā. Šo grupu koku mērījumi 12 gadu vecumā lietoti kā audzes, kas sastāv no pret skujbiri noturīgām priedēm un audzes, kas sastāv no pret šo slimību nenoturīgām priedēm, parametri un izmantoti kā ieejas dati šādu audžu augšanas gaitas modelēšanā ar LVMI Silava izstrādātu augšanas gaitas modelēšanas rīku (Donis, 2016a,b). Sortimentu iznākums šādās modelētās audzēs aprēķināts, izmantojot J. Doņa modificētu R. Ozoliņa (Ozolins, 2002) izstrādāto stumbra sortimentācijas modeli. Sortimentu cenas aprēķiniem iegūtas no Centrālās statistikas pārvaldes (CSP) datu bāzes datiem (Centrālā statistikas pārvalde, 2017). Piemēram, priedes zāgblaķi ar diametru līdz 14 cm to zemākā cena pēdējo 10 gadu periodā ir 26.9 EUR/m³, vidējā cena 43.4 EUR/m³, bet augstākā 50.3 EUR/m³. Priedes zāgblaķi ar diametru 14-18 cm cenas, attiecīgi, zema 36.9 EUR/m³, vidēja 59.8 EUR/m³, bet augsta 75.1 EUR/m³. Priedes zāgblaķi ar diametru 18-26 cm cenas - zema 39.2 EUR/m³, vidēja 62.8 EUR/m³, bet augsta 78.8 EUR/m³. Priedes zāgblaķi ar diametru virs 26 cm cenas - zema 41.4 EUR/m³, vidēja 67.4 EUR/m³, bet augsta 86.7 EUR/m³. Galvenās cirtes un starpciršu vidējās statistiskās izmaksas par veiktajiem mežsaimnieciskajiem pakalpojumiem iegūtas

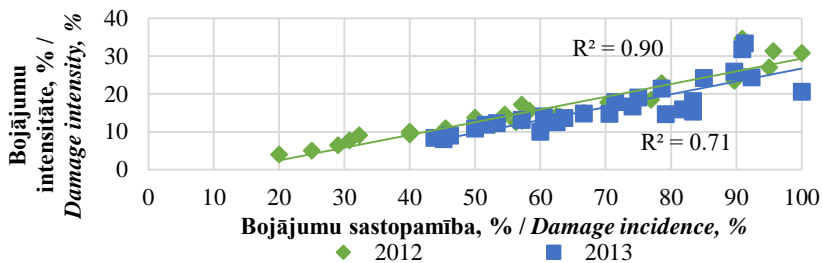
no Centrālās statistikas pārvaldes (CSP) datu bāzes datiem. Piemēram, vidējās kopējās sortimentu sagatavošanas un transportēšanas izmaksas (izdevumi) galvenajā cirtē ir 23.1 EUR/m³ bez PVN, bet vidējās kopējās sortimentu sagatavošanas un transportēšanas izmaksas (izdevumi) starpcirtē ir 29.1 EUR/m³ bez PVN (Centrālā statistikas pārvalde, 2017). Meža atjaunošanas un kopšanas izmaksas arī iegūtas no CSP datu bāzes datiem: augsnes sagatavošana 133.08 EUR ha⁻¹, stādu izmaksas 328.23 EUR ha⁻¹, stādīšanas izmaksas 82.12 EUR ha⁻¹, agrotehniskā kopšana 103.35 EUR ha⁻¹, jaunaudžu kopšana 124.05 EUR ha⁻¹ (Centrālā statistikas pārvalde, 2017). Papildus pie izmaksām iekļauts arī nekustamā īpašuma nodoklis (NĪN), 4.8 EUR ha⁻¹ gadā (Valsts zemes dienests, 2018). Skujbires bojājumu ietekmes uz parastās priedes mežaudžu finansiālo vērtību aprites ciklā analīzei, aprēķināti šādi finansiālie rādītāji - tūrā tagadnes vērtība (TTV, 4.24 %) un ekvivalentie ikgadējie ieņēmumi (EII, 0.01 %). Tie šobrīd ir vieni no plašāk izmantotajiem rādītāji (Dubrovskis, 2007). Procentu likme 4.24 % izvēlēta, jo agrāk lietota AS „Latvijas Valsts meži” aprēķinos.

3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

3.1. Jaunaudžu augšana skujbires ietekmē

Pirmā eksperimentu sērijā vērtēta skujbires bojājumu sastopamības un skujbires bojājumu intensitātes atšķirības starp gadiem (2012. un 2013.), sastopamības un intensitātes atšķirības starp meža tipi (Mr, Dm, As), audzes biežuma grupām (1. grupa ≤ 2000 gab.ha⁻¹; 2. grupa no 2001 līdz 3000 gab.ha⁻¹; 3. grupa 3001 < gab.ha⁻¹), koka vecuma grupām (koki vecumā līdz 15 gadiem un koki vecumā virs 15 gadiem) un koku augstuma grupām (koki ar augstumu līdz 5 m un koki ar augstumu virs 5 m).

Iegūtie rezultāti no šīs eksperimentu sērijas parāda, ka skujbires bojājumu sastopamība ($p < 0.001$) un skujbires bojājumu intensitāte ($p < 0.0196$) starp gadiem (2012. un 2013.) atšķiras būtiski, jo bojājumu sastopamība 2012. gadā bija 57.4 %, bet 2013. gadā tā jau sasniedza 73.6 %, savukārt, bojājumu intensitātē attiecīgi 2012. gadā 15.0 %, bet 2013. gadā 17.3 %. No iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka skujbires bojājumu sastopamība un bojājumu intensitāte ir cieši saistīti lielumi - pieaugot skujbires bojājumu sastopamībai, pieaugs arī skujbires bojājumu intensitāte (skatīt 3.1. att.). Līdzīgi savos pētījumos konstatējuši arī citi zinātnieki (Hanso & Drenkhan, 2007; Drenkhan, 2011; Hanso & Drenkhan, 2012).



3.1. att. Skujbires sastopamība un intensitāte parastās priedes jaunaudzēs/
 Fig. 3.1. Incidence and intensity of needlecast in young Scots pine stands

Analizējot skujbires bojājumu sastopamību un skujbires bojājumu intensitāti starp meža tiptiem (Mr, Dm, As), konstatēts, ka atšķirība nav būtiska ($p = 0.13$). Šāds rezultāts liecina, ka meža tips neietekmē skujbires bojājumu sastopamību un skujbires bojājumu intensitāti. Vēl šāda nebūtiska atšķirība varētu būt skaidrojama ar to, ka, visos analizētajos meža tipos (Mr, Dm, As), augsnes skābums O horizontā ir līdzīgs (pH 3.4 - 5.5) (Bārdule et al., 2009) un atbilst tam augsnes skābumam (pH 3.5 - 4.0), pie kura vislabāk ir iespējama sekmīga *Lophodermium* spp. sporu pārziemošana un tālākā attīstība (Шевченко & Чилиюзик, 1986).

Savukārt, analizējot skujbires bojājumu sastopamību un skujbires bojājumu intensitāti starp trim dažādām audzes biežuma grupām (1. grupa ≤ 2000 gab.ha⁻¹; 2. grupa no 2001 līdz 3000 gab.ha⁻¹; 3. grupa $3001 < \text{gab.ha}^{-1}$), tika konstatēts, ka nav būtisku ($p = 0.51$) atšķirību. Šāds rezultāts liecina par to, ka audzes biežums neietekmē skujbires bojājumu sastopamību un skujbires bojājumu intensitāti. Citu zinātnieku pētījumos tiek minēts, ka, pieaugot koku skaitam mežaudžu stādījumos, skujbires bojājumu sastopamība un intensitāte pakāpeniski samazinās (Voroncova & Semenova, 1982). Savukārt pētījumā Zviedrijā konstatēts, ka katra atsevišķā koka augšana un rezistence pret dažādām slimībām (arī *Lophodermium* spp.) palielinās stādījumos, ja ir mazāks audzes biežums jeb koku skaits uz hektāra (gab.ha⁻¹) (Lundqvist & Elfving, 2010). Iespējams, ka atšķirības starp promocijas darba un iepriekš minēto pētījumu rezultātiem, varētu būt saistītas ar dažādu analizēto audžu biežuma diapazonu.

Analizējot rezultātus par skujbires bojājumu sastopamību un skujbires bojājumu intensitāti starp vecuma grupām (t.i., koki vecumā līdz 15 gadiem un koki vecumā virs 15 gadiem), konstatēts, ka atšķirība nav būtiska ($p = 0.41$), attiecīgi 59.2 % un 58.4 %. Šāds iegūtais rezultāts liecina par to, ka *Lophodermium* spp. var inficēt parastās priedes dažādās vecuma grupās. Tomēr ietekme uz koka augstumu un augstuma pieaugumu var atšķirties atkarībā no koka vecuma. To apliecina pētījums Igaunijā, kur parastajām priedēm vecumā no 3 līdz 11 gadiem samazinājās koku radiālais pieaugums *Lophodermium* spp. epidēmijas gadā un 2 gadus pēc epidēmijas – attiecīgi par 12 un 18 %. Līdzīgs samazinājums tika novērots arī ar augstuma

pieaugumu – attiecīgi 18 un 17 %. Taču priedēm vecumā no 22 līdz 33 gadiem pēc *Lophodermium* spp. epidēmijas (Hanso & Drenkhan, 2012) būtisks pieauguma samazinājums reģistrēts netika. Arī pētījumā Dānijā iegūti līdzīgi rezultāti, tikai tajā analizēta sēne *Chalara fraxinea*, kura līdzīgi kā sēnes *Lophodermium* spp. ievērojami negatīvi ietekmē parastā oša (*Fraxinus excelsior*) augšanu līdz 15 gadu vecumam (Skovsgaard et al., 2010).

Līdzīgi kā vecums, tā arī koku augstums (audzes vidējais augstums) nav būtisks faktors, kas ietekmē skujbires bojājumu sastopamību un skujbires bojājumu intensitāti, to pierāda veiktā korelācijas analīze. Tajā konstatēts, ka skujbires bojājumu sastopamība ($p = 0.53$) un skujbires bojājumu intensitāte ($p = 0.41$) starp koku augstuma grupām (t.i., koki ar augstumu līdz 5 m un koki ar augstumu virs 5 m) nebija statistiski būtiska. Taču citā pētījumā, analizējot individuālu koku līmenī, analīze parādīja, ka skujbires bojājumu intensitāte ietekmē 3 un 4 gadus vecus parastās priedes stādījumu augšanu (Jansons et al., 2008).

Otrajā eksperimentu sērijā analizēta skujbires bojājumu sastopamības atšķirība starp austrumu un rietumu reģioniem Latvijas teritorijā, 2009. un 2016. gadā. Iegūtie rezultāti parādīja, ka būtiskas ($p < 0.001$) atšķirības skujbires sastopamībā uz parastās priedes skujām bija novērotas starp novērojumu gadiem (2009. un 2016. gadi; 3.1. tabula), attiecīgi $58 \pm 8 \%$ un $88 \pm 4 \%$. Lai arī skujbires bojājumu intensitātei ir tendence samazināties koku vecumam pieaugot (Jansons et al., 2008), atšķirības starp gadiem (2009. gadā analizēti nedaudz jaunāki koki; 2.2. tabula), visticamāk, saistāmas ar atšķirīgiem meteoroloģiskajiem apstākļiem (Hanso & Drenkhan, 2007; Drenkhan, 2011; Hanso & Drenkhan, 2012). Atšķirības starp reģioniem nebija statistiski būtiskas ($p = 0.21$; 3.1. tabula), un skujbires sastopamība bija līdzīga, proti $82 \pm 3 \%$, norādot uz līdzīgu sēnes klātbūtni mežaudzēs.

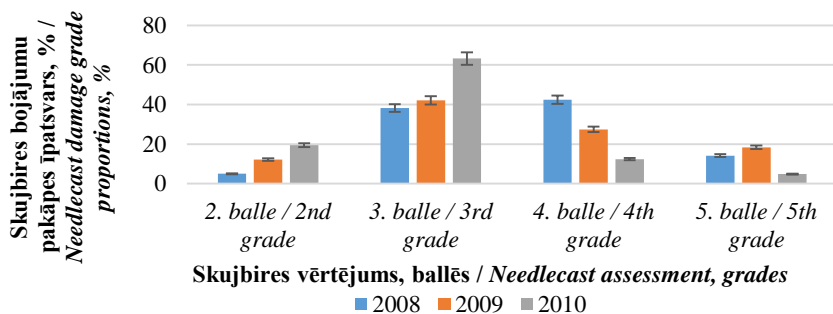
3.1. tabula / Table 3.1.

**Reģiona, novērojuma gada un to mijiedarbības ietekme uz skujbires iespējamību parastās priedes jaunaudzēs/
The effects of region, year of observation and their interaction on the probability of needlecast in young Scots pine stands**

Faktors / Factor	χ^2	p-vērtība / p-value
Reģions / Region	1.59	0.21
Gads / Year	31.31	< 0.001
Faktoru mijiedarbība (Reģions x Gads) / Interaction (Region x Year)	2.42	0.12

Trešajā eksperimentu sērijā (Daugmale, Ogre) skujbires infekcija bija konstatēta abos parastās priedes brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumos.

Daugmales stādījumā vidējā skujbires bojājumu pakāpe 2008. gadā bija 3.7 ± 0.01 balles, 2009. gadā 3.5 ± 0.01 balles un 2010. gadā 3.1 ± 0.01 balles. Veicot dispersijas analīzi, tika secināts, ka vidējā skujbires bojājumu pakāpe starp gadiem (2008., 2009., 2010.) Daugmales stādījumā ir būtiski atšķirīga ($p < 0.001$) (skatīt 3.2. att.).

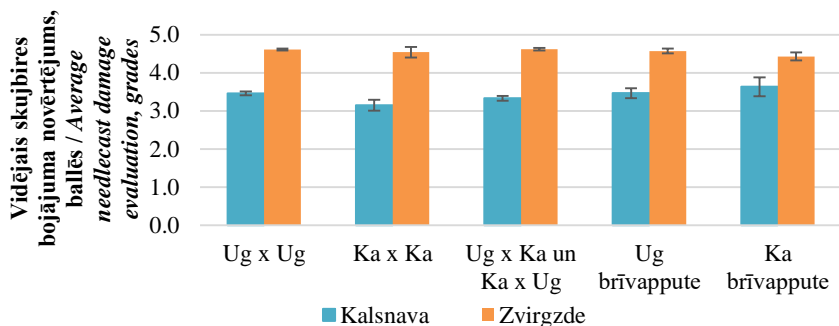


3.2. att. **Koku ar dažādu skujbires bojājuma pakāpi (\pm standartklūda) īpatsvars pa gadiem Daugmales stādījumā/**

Fig. 3.2. Proportion of trees with different damage grades (\pm standard error (SE)) in differing years in the Daugmale trial

Ogres stādījumā analīze starp gadiem netika veikta, bet tika noteikta 2010. gada vidējā skujbires bojājumu pakāpe, attiecīgi 2.0 ± 0.01 balles. Veicot dispersijas analīzi, tika konstatēts, ka starp vidējo skujbires bojājumu pakāpi Daugmales stādījumā un vidējo skujbires bojājumu pakāpi Ogres stādījumā 2010. gadā pastāv būtiskas ($p < 0.001$) atšķirības. Būtiska ($p < 0.001$) atšķirība konstatēta arī starp skujbires bojājumu intensitāti Daugmales stādījumā un Ogres stādījumā, attiecīgi 55.7 % un 39.1 %. No iegūtā rezultāta var secināt, ka skujbires infekcija augstāka ir Daugmale stādījumā nekā Ogres stādījumā.

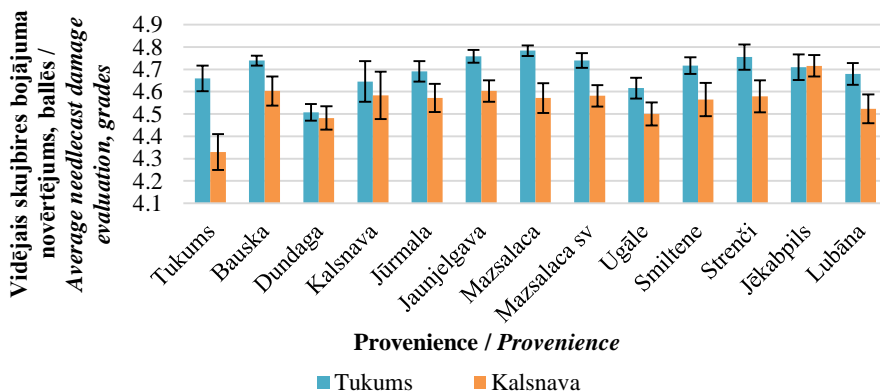
Ceturtajā eksperimentu sērijā (Kalsnava, Zvirgzde) skujbires infekcija konstatēta abos parastās priedes kontrolēto krustojumu pēcnācēju pārbaužu stādījumos. Kalsnavā vidējā skujbires bojājumu pakāpe bija 3.4 ± 0.04 balles. Zvirgzdes stādījumā vidējā skujbires bojājumu pakāpe bija 4.6 ± 0.02 balles. Veicot dispersijas analīzi, tika konstatēts, ka starp vidējo skujbires bojājumu pakāpi Kalsnavas stādījuma un vidējo skujbires bojājumu pakāpi Zvirgzdes stādījumā ir būtiskas ($p < 0.001$) atšķirības (skatīt 3.3. att.). Būtiska ($p < 0.001$) atšķirība konstatēta arī starp skujbires bojājumu intensitāti Kalsnavas stādījumā un Zvirgzdes stādījumā, attiecīgi 89.0 % un 64.9 %. No iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka skujbires infekcija augstāka ir Zvirgzdes stādījumā nekā Kalsnavas stādījumā.



Ug x Ug - krustojumi starp Ugāle kloniem/*crosses between Ugāle clones*;
 Ka x Ka - krustojumi starp Kalsnavas kloniem/*crosses between Kalsnava clones*;
 Ug x Ka un Ka x Ug - krustojumi starp Ugāles un Kalsnavas kloniem/*crosses between Ugāle and Kalsnava clones*; Ug – brīvapputes ģimenes no Ugāle kloniem/*open-pollinated families from Ugāle clones*; Ka - brīvapputes ģimenes no Kalsnavas kloniem/*open-pollinated families from Kalsnava clones*.

3.3. att. Skujbires bojājumu novērtējums (\pm ticamības intervāls) dažādās grupās kontrolēto krustojumu stādījumā Kalsnavā un Zvirgzdē/
 Fig. 3.3. Assessment of needlecast damages (\pm confidence interval) in different controlled crossing groups in Kalsnava and Zvirgzde

Līdzīgi kā ceturtajā eksperimentu sērijā (Kalsnava; Zvirgzde) arī **piektajā eksperimentu sērijā (Kalsnava, Tukums)** skujbires infekcija konstatēta abos parastās priedes brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumos. Kalsnavā vidējā skujbires bojājumu pakāpe bija 4.6 ± 0.03 balles, bet Tukumā 4.7 ± 0.01 balles. Veiktā dispersijas analīze parādīja, ka atšķirība starp vidējo skujbires bojājumu pakāpi Kalsnavas stādījuma un vidējo skujbires bojājumu pakāpi Tukuma stādījumā bija būtiska ($p < 0.001$) (skatīt 3.4. att.). Būtiska ($p < 0.001$) atšķirība konstatēta arī starp skujbires bojājumu intensitāti Kalsnavas stādījumā un Tukuma stādījumā, attiecīgi 91.2 un 87.9%. No iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka skujbires infekcija augstāka ir Tukuma stādījumā nekā Kalsnavas stādījumā.

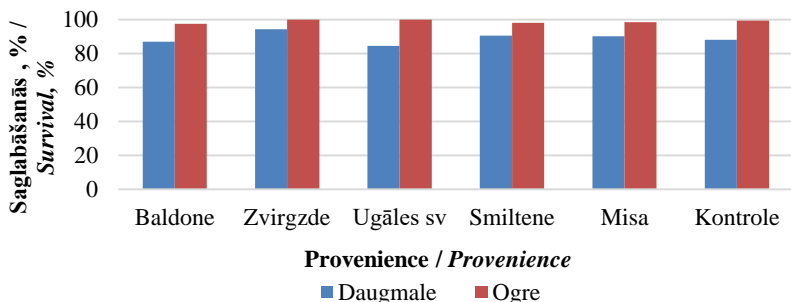


3.4. att. Skujbires bojājumu novērtējums (\pm standartklūda) proveniencēm stādījumā Tukumā un Kalsnavā/

Fig. 3.4. Assessment of needlecass damages (\pm SE) for provenances in the Tukums and Kalsnava trials

Ņemot vērā, ka tika konstatēta nozīmīga skujbires infekcija trešajā, ceturtajā un piektajā eksperimentā, tika nolemts analizēt arī koku saglabāšanos šajos eksperimentos.

Trešajā eksperimentu sērijā (Daugmale, Ogre) parastās priedes brīvapputes stādījumā Daugmalē koku saglabāšanās bija 89.9 %, bet Ogrē 98.6 %. Atšķirības starp šiem stādījumiem būtiskas ($p < 0.001$). Saglabāšanos virs 90.0 % uzrādīja Zvirgzdes (94.4 %), Smiltenes (90.6 %) un Misas (90.2 %) kloni. Savukārt, koku saglabāšanos zem 90.0 % uzrādīja Baldones (87.1 %), Ugāles sv. (84.6 %) un kontroles (88.1 %) kloni. Ogres stādījumā koku saglabāšanās īpatsvaru virs 90.0 % uzrāda gandrīz visi kloni (skatīt 3.5. att.). Smiltenes, Misas un Zvirgzdes populāciju noturība pret skujbiri apstiprinājusies abos eksperimentālajos objektos. Šāds rezultāts saskan ar iepriekšējo pētījumu rezultātiem, kuros konstatēts, ka augstāka skujbires noturība bija priedēm no Smiltenes, Misas un Zvirgzdes reģiona (Baumanis, 1993), kas savukārt liecina par nozīmīgām reģionālām atšķirībām priecību noturībā pret skujbiri, ko papildus vēl ietekmē arī meteoroloģisko apstākļu kopums, kas katrā no Latvijas reģioniem ir atšķirīgs.

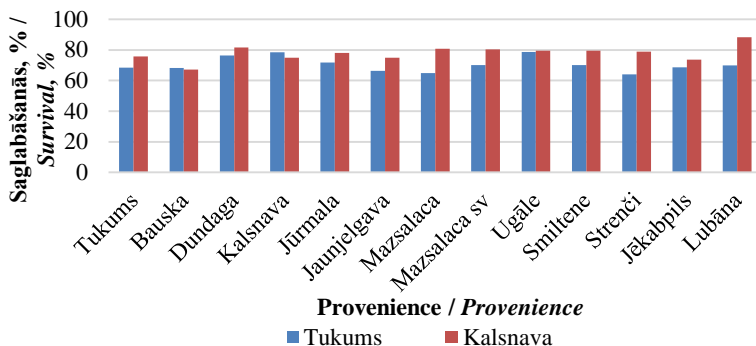


3.5. att. Saglabāšanās atšķirības starp proveniencēm (pluskoku brīvapputes pēcnācēju ģimeņu vidējās vērtības un kontroles – mežaudžu pēcnācēju – vidējās vērtības) stādījumos Ogrē un Daugmalē/

Fig. 3.5. Differences in survival rate between provenances (mean values of plus tree open pollinated progeny families) in the Ogre and Daugmale trials. Controls were forest stand progeny

Ceturtajā eksperimentu sērijā (Kalsnava, Zvirgzde) skujbires infekcija nozīmīgi bija ietekmējusi saglabāšanos parastās priedes kontrolēto krustojumu stādījumos Kalsnavā un Zvirgzdē, jo laika periodā līdz 5 gadi tie abos stādījumos vēl bija līdzīgi, bet periodā no 6 līdz 17 gadiem saglabāšanas augstāka bija Kalsnavas stādījumā 53.8 %, bet Zvirgzdē tikai 35.3 %, kas arī liecina par nozīmīgām atšķirībām prieku noturībā pret skujbiri. Šādas saglabāšanās atšķirības starp šiem stādījumiem skaidrojamas ar atšķirīgajiem skujbires bojājumu intensitātes rādītājiem, kas augstāki bija Kalsnavas stādījumā (89.0 %), Zvirgzdē attiecīgi (64.9 %), un vidējo skujbires bojājumu pakāpi, kura augstāka bija tieši Zvirgzdes stādījumā (4.2 ± 0.02), savukārt Kalsnavā (3.4 ± 0.04).

Piektajā eksperimentu sērijā (Kalsnava, Tukums) parastās priedes brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumā Kalsnavā koku saglabāšanās bija 78.0 %, bet Tukumā 70.5 %, atšķirības starp stādījumiem būtiskas ($p < 0.0006$). Kalsnavas stādījumā augstāka saglabāšanās bija Lubānas un Dundagas populācijām, attiecīgi 88.3 % un 81.5 %, bet zemāka saglabāšanās Bauskas (67.1 %) un Jēkabpils (73.8 %) populācijām. Augstāku saglabāšanos Tukuma stādījumā uzrāda Ugāles (78.6 %) un Kalsnavas (78.4 %) populācijas, bet zemāku saglabāšanos parāda Strenču (64.1 %) un Mazsalacas (64.9 %) populācijas (skatīt 3.6. att.). Saglabāšanās atšķirības starp šiem stādījumiem skaidrojamas ar atšķirīgajiem skujbires bojājumu intensitātes rādītājiem, kas augstāki bija Tukuma stādījumā (91.2 %), Kalsnavā attiecīgi (87.9 %), un vidējo skujbires bojājumu pakāpi, kura augstāka bija tieši Tukuma stādījumā (4.7 ± 0.01), savukārt Kalsnavā (4.6 ± 0.03).



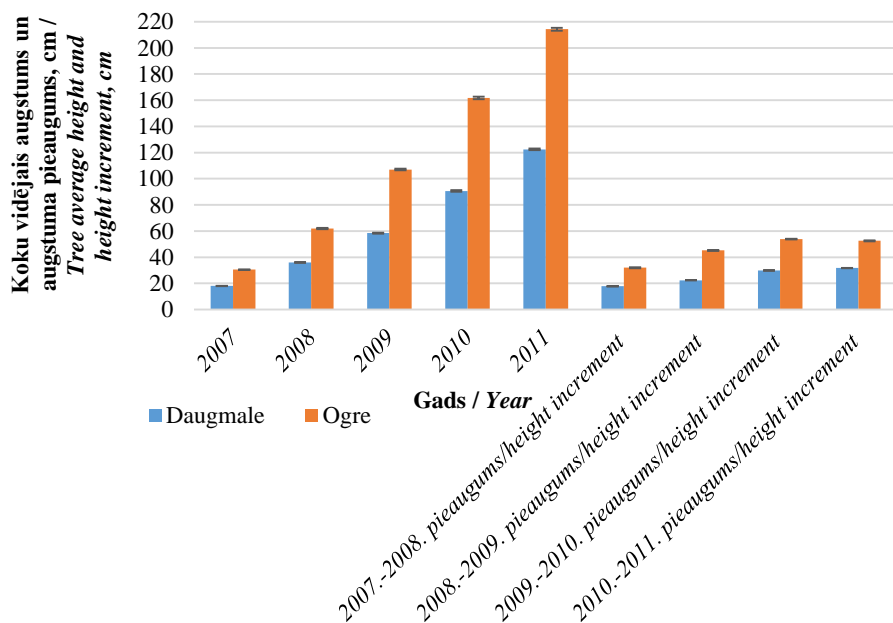
3.6. att. Saglabāšanās atšķirības starp proveniencēm stādījumos Kalsnavā un Tukumā/
 Fig. 3.6. Differences in survival rate between proveniences in the Kalsnava and Tukums trials

Taču jāņem vērā arī tas, ka koku saglabāšanos un katra individuāla koka augšanu un attīstību trešajā, ceturtajā un piektajā eksperimentā varēja ietekmēt ne tikai skujbīres infekcija, bet arī citas slimības, kaitēkļi, ģenētiskie faktori (piemēram, katra individuāla klona rezistence pret slimībām un kaitēkļiem), kā arī meteoroloģisko faktoru kopums (nokrišņi, temperatūra un gaisa mitrums).

Pēdējo gadu laika prognozēto klimata pārmaiņu rezultātā nozīmīgi ir pieaugusi skujbīres infekcijas aktivitāte, kas parādās arī analizētajos eksperimentos. Tādēļ svarīgi būtu noskaidrot, kā skujbīres infekcijas pakāpe ietekmē koku augstumu, koku caurmēru un augstuma pieaugumu, jo tieši šie rādītāji var parādīt slimību un kaitēkļu negatīvo ietekmi, jo tie ir mainīgi un var atšķirties. Piemēram, pētījuma rezultāti Igaunijā parādīja, ka nopietnas *Bupalus piniaria* izraisītas defoliācijas 1930.-1932., 1980.-1981. un 1990.-1992. gadā; *Neodiprion sertifer* radītas defoliācijas - 1938. - 1939., 1948., 1950., 1958., 1960., 1962., 1965., 1966. un 2007. gadā, kā arī *Diprion pini* izraisītas defoliācijas - 1981.-1982. gadā ievērojami samazina priedes radiālo pieaugumu vēl divus gadus pēc defoliācijas. Savukārt augstuma pieaugums ievērojami samazinājās gan defoliācijas gadā, gan nākamo 2 gadu laikā pēc tās. Taču priedēm vecumā no 25 līdz 33 gadiem gan radiālais, gan augstuma pieaugums bija ievērojami samazināts defoliācijas gados, bet augstuma pieauguma samazinājums nākamajiem diviem gadiem bija nenozīmīgs (Hanso & Drenkhan, 2012).

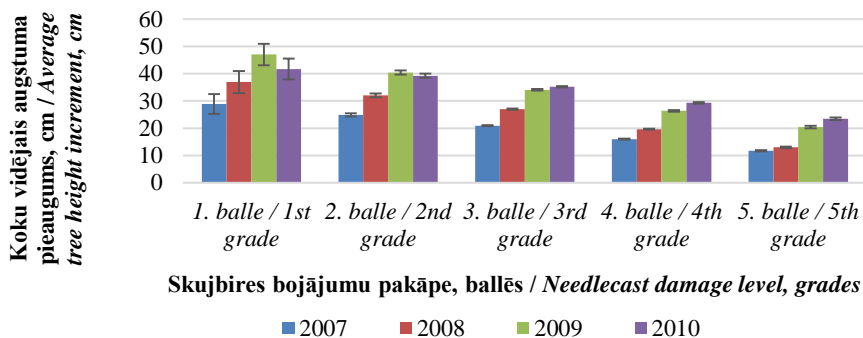
Trešajā eksperimentu sērijā (Daugmale, Ogre) Daugmales stādījumā koku vidējais augstums 2011. gadā jeb 5. augšanas sezonā bija 122.5 ± 0.6 cm, Ogres stādījumā 214.3 ± 1.1 cm, starpība starp stādījumu koku vidējo augstumu 2011. gadā bija 91.8 cm, kas ir statistiski būtiska ($p < 0.001$). Analizējot augstuma pieaugumus starp šiem pašiem stādījumiem, secināts, ka atšķirība ir būtiska ($p < 0.001$), jo Daugmales stādījumā vidējais augstuma pieaugums ir 31.8 ± 0.2 cm, Ogres stādījumā 52.5 ± 0.3 cm, bet starpība 20.7 cm. Analizējot iepriekšējo gadu (no 2007.

līdz 2010. gadam) koku vidējo augstumu un augstuma pieaugumu atšķirības starp Daugmales un Ogres stādījumiem, secināts, ka atšķirības ir statistiski būtiskas ($p < 0.001$) (skatīt 3.7. att.).



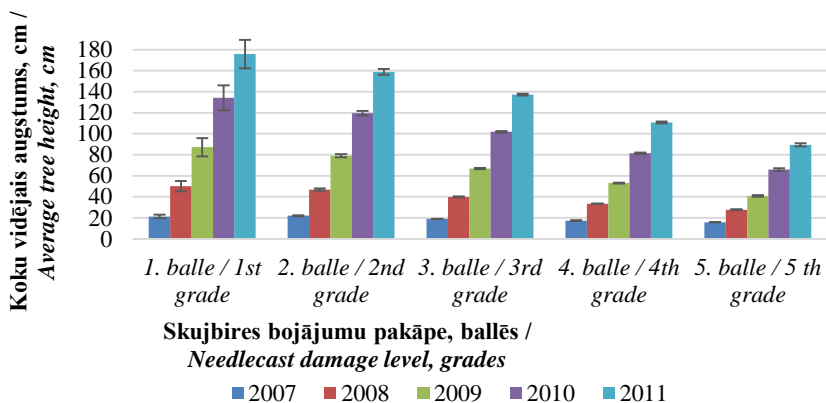
3.7. att. Koku vidējā augstuma un augstuma pieauguma atšķirības (\pm standartklūda) starp Daugmales un Ogres stādījumiem pa gadiem/
 Fig. 3.7. Differences in mean height and height increment (\pm SE) between Daugmale and Ogres trials by years

Analizējot koku augšanu skujbīres infekcijas ietekmē gan Daugmales, gan Ogres stādījumos, secināts, ka, palielinoties skujbīres bojājumu pakāpei, būtiski ($p < 0.001$) samazinās koku vidējais augstums un augstuma pieaugums (skatīt 3.8. - 3.11. att.). Šādas sakarības konstatētas, gan Latvijā veiktā pētījumā (Jansons et al., 2008), gan arī Igaunijā veiktā pētījumā (Hanso & Drenkhan, 2007; Drenkhan, 2011; Hanso & Drenkhan, 2012).



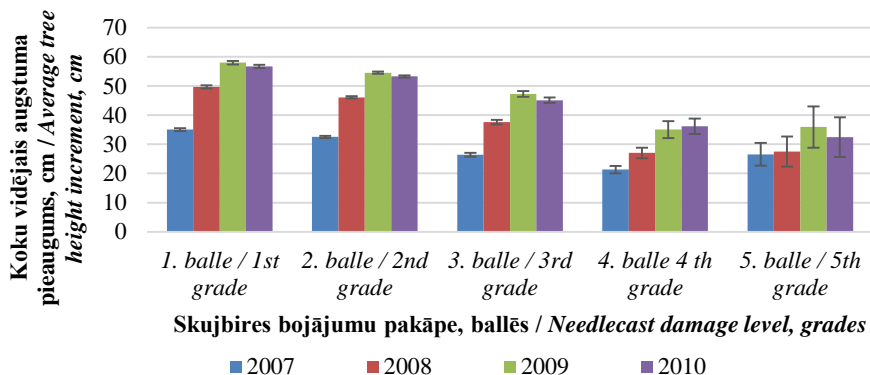
3.8. att. Skujbires ietekme uz koku augstuma pieaugumu (\pm standartklūda) Daugmales stādījumā/

Fig. 3.8. Effect of needlecast on height increment (\pm SE) in the Daugmale trial

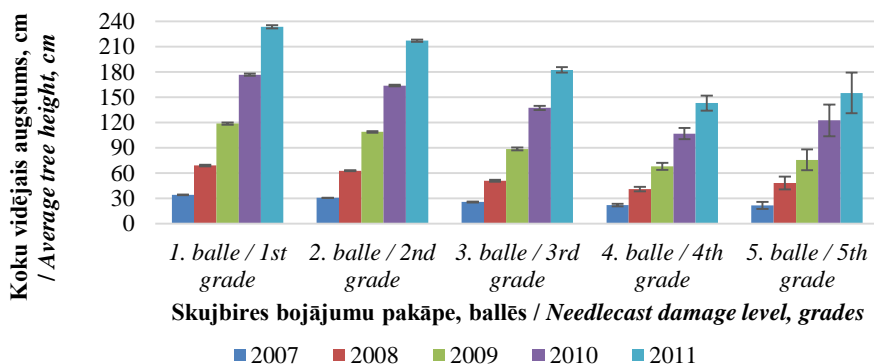


3.9. att. Skujbires ietekme uz koku vidējo augstumu (\pm standartklūda) Daugmales stādījumā/

Fig. 3.9. Effect of needlecast on average tree height (\pm SE) in the Daugmale trial



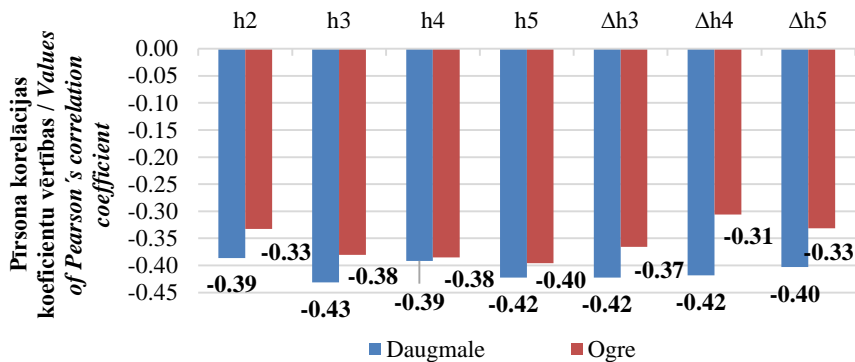
3.10. att. Skujbires ietekme uz koku vidējo augstumu pieaugumu (\pm standartklūda) Ogres stādījumā/
 Fig. 3.10. Effect of needlecast on height increment (\pm SE) in the Ogre trial



3.11. att. Skujbires ietekme uz koku vidējo augstumu (\pm standartklūda) Ogres stādījumā/
 Fig. 3.11. Effect of needlecast on average tree height (\pm SE) in the Ogre trial

Vēl skujbires infekcijas negatīvo ietekmi uz augšanas rādītājiem Daugmales un Ogres stādījumos parāda arī korelācija starp skujbires bojājumu pakāpi un koku augšanas rādītājiem. Piemēram, Daugmales un Ogres stādījumos skujbires bojājumu pakāpe statistiski būtiski korelē ar koku augšanas rādītājiem gan individuālu koku, gan ģimeņu līmenī. Būtiski ($p < 0.001$), vidēji cieši negatīvi Pīrsona korelācijas koeficienti stādījumos tika atrasti starp skujbires bojājumu pakāpi un koku augstuma pieaugumu gadu pirms skujbires vērtēšanas gan individuālu koku līmenī $r = -0.42$ un $r = -0.37$, gan ģimeņu līmenī $r = -0.40$ un $r = -0.29$ (skatīt 3.12. att.). Negatīvu korelāciju starp skujbires bojājumu pakāpi un koku augšanu savos pētījumos

konstatējuši arī citi zinātnieki (Baumanis, 1975; Squillace et al., 1975; Martinsson, 1979; Ostrý & Nicholls, 1989). Šādas atšķirības ir skaidrojamas ar dažādu ārējo faktoru ietekmi: katra stāda sākotnējie augšanas parametri un kvalitāte; augsnes sagatavošana pirms stādījuma ierīkošanas un stādu iestādīšanas kvalitāte; stādījuma kopšana pēc ierīkošanas; stādījuma mikroreljefa, ekspozīcijas un augsnes auglības atšķirības stādījuma ietvaros; koku skaita izmaiņas stādījumos, kas saistīta ar koku saglabāšanos.



h2 - koku augstums 2 gadu vecumā/height of trees at age of 2 years; h3 - koku augstums 3 gadu vecumā/height of trees at age of 3 years; h4 - koku augstums 4 gadu vecumā/height of trees at age of 4 years; h5 - koku augstums 5 gadu vecumā/height of trees at age of 5 years;

Δh3 – koku augstuma pieauguma 3. augšanas sezonā/height increment of trees in the 3rd growing season; Δh4 - koku augstuma pieauguma 4. augšanas sezonā/height increment of trees in the 4th growing season; Δh5 - koku augstuma pieauguma 5. augšanas sezonā/height increment of trees in the 5th growing season;

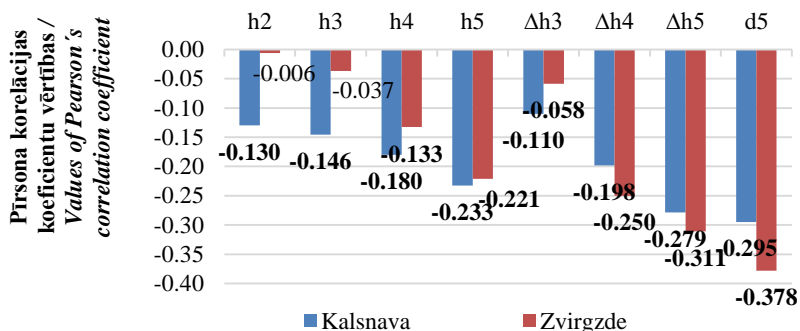
Būtiskās vērtības iekrāsotas treknrakstā/Significant values marked in bold.

3.12. att. Pīrsona korelācijas koeficientu vērtību salīdzinājums atkarībā no skujbires bojājumu pakāpes un koku augšanas parametriem individuālu koku līmenī Daugmales un Ogres stādījumos/

Fig. 3.12. Comparison of Pearson correlation coefficients depending on needlecast damage and tree growth parameters at the individual tree level in the Daugmale and Ogre trials

Ceturtajā eksperimentu sērijā (Kalsnava, Zvirgzde), analizējot koku vidējo augstumu un augstuma pieaugumu Zvirgzdes un Kalsnavas stādījumā, var secināt, ka Zvirgzdes kontrolēto krustojumu stādījumā koku vidējais augstums 5. augšanas sezonā bija 126.0 ± 0.5 cm, augstuma pieaugums bija 36.9 ± 0.2 cm, bet Kalsnavas kontrolēto krustojumu stādījumā koku vidējais augstums 5. augšanas sezonā bija attiecīgi 129.4 ± 0.5 cm, augstuma pieauguma rādītājs 37.9 ± 0.2 cm. Gan vidējā augstuma ($p < 0.001$), gan augstuma pieauguma ($p < 0.001$) rādītāji starp Zvirgzdes un Kalsnavas kontrolēto krustojumu stādījumiem atšķirās būtiski.

Arī **četurtajā eksperimentu sērijā (Kalsnava, Zvirgzde)** skujbires infekcijas negatīvo ietekmi uz augšanas rādītājiem parāda korelācija starp skujbires bojājumu pakāpi un koku augšanas rādītājiem. Zvirgzdes un Kalsnavas kontrolēto krustojumu stādījumā skujbires bojājumu pakāpe statistiski nozīmīgi korelē ar koku augšanas rādītājiem gan individuālu koku, gan ģimeņu līmenī. Būtiska ($p < 0.001$), vidēji cieša negatīva korelācija atrasta starp skujbires bojājumu pakāpi un stumbra sakņu kakla caurmēru piecu gadu vecumā gan individuālu koku līmenī $r = -0.29$ un $r = -0.38$, gan ģimeņu līmenī $r = -0.48$ un $r = -0.69$. Arī starp skujbires bojājumu pakāpi un augstuma pieaugumu gadu pirms skujbires vērtēšanas, tika konstatēti būtiski ($p < 0.001$), vidēji cieši negatīvi korelācijas koeficienti gan individuālu koku līmenī $r = -0.28$ un $r = -0.31$, gan ģimeņu līmenī $r = -0.59$ abos stādījumos (skatīt 3.13. att.).



h2 - koku augstums 2 gadu vecumā/*height of trees at age of 2 years*; h3 - koku augstums 3 gadu vecumā/*height of trees at age of 3 years*; h4 - koku augstums 4 gadu vecumā/*height of trees at age of 4 years*; h5 - koku augstums 5 gadu vecumā/*height of trees at age of 5 years*;

Δh3 – koku augstuma pieauguma 3. augšanas sezonā/*height increment of trees in the 3rd growing season*; Δh4 - koku augstuma pieauguma 4. augšanas sezonā/*height increment of trees in the 4th growing season*; Δh5 - koku augstuma pieauguma 5. augšanas sezonā/*height increment of trees in the 5th growing season*; d5 - sakņu kakla caurmērs 5 gadu vecumā/*root collar diameter of trees at age of 5 years*;

Būtiskās vērtības iekrāsotas treknrakstā/*Significant values marked in bold*.

3.13. att. **Pīrsona korelācijas koeficientu vērtību salīdzinājums atkarībā no skujbires bojājumu pakāpes un koku augšanas parametriem individuālu koku līmenī Zvirgzdes un Kalsnavas kontrolēto krustojumu stādījumos/**

Fig. 3.13. Comparison of Pearson correlation coefficients depending on needlecast damage and tree growth parameters at the individual tree level in the Zvirgzde and Kalsnava trials

Darba ietvaros **trešās eksperimentu sērijas** Daugmales stādījumā veikta skujbires infekcijas kumulatīvā (trīs gadu summārā balle) īstermiņa ietekme uz parastās priedes augstuma pieaugumu jaunaudzes vecumā.

3.2. tabula / Table 3.2.

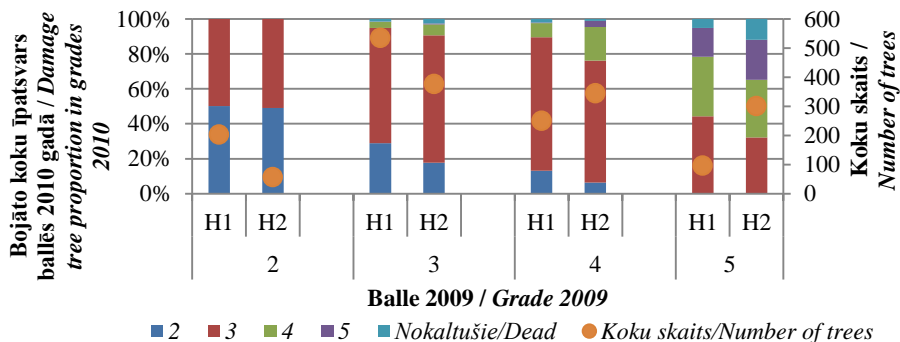
Skujbires kumulatīvā (trīs gadu summārā balle) īstermiņa ietekme uz parastās priedes augstuma pieaugumu jaunaudzēs vecumā Daugmales stādījumā/

The short-term effect of the cumulative (three-year summary grade) of needlecast infection on height increment at a young age in the Daugmale trial

Fiksētie efekti / Fixed effects		
Faktors / Factor	Koeficients, cm / Coefficient, cm	p-vērtība / p-value
Prognozētā vērtība / Predicted value		
Summārā balle / Summary grade <6	133±12.54	< 0.001
Prognozētās novirzes / Predicted deviations		
Summārā balle / Summary grade 6	-25±12.64	0.053
Summārā balle / Summary grade 7	-34±12.52	<0.007
Summārā balle / Summary grade 8	-38±12.42	<0.002
Summārā balle / Summary grade 9	-48±12.41	< 0.001
Summārā balle / Summary grade 10	-60±12.43	< 0.001
Summārā balle / Summary grade 11	-73±12.45	< 0.001
Summārā balle / Summary grade 12	-85±12.51	< 0.001
Summārā balle / Summary grade 13	-96±12.58	< 0.001
Summārā balle / Summary grade 14	-106±12.82	< 0.001
Summārā balle / Summary grade 15	-115±14.34	< 0.001
Kovariācijas koeficients / Correlation coefficient		
H ₀ (koku augstums stādīšanas brīdī; (skaitliskā kovariante), koeficients) / (tree height at planting time; (numerical covariance), coefficient)	2.7±0.08	< 0.001
Randoma efekti / Random effects		
	Variācija / Variation	Standartnovirze / Standard deviation
Varianti / Variants	2.53	1.59
Atlikums / Residual	414.77	20.37
Atkārtojums × Variants, mijiedarbība / Interaction (Repeat x Variants)	211.45	14.54

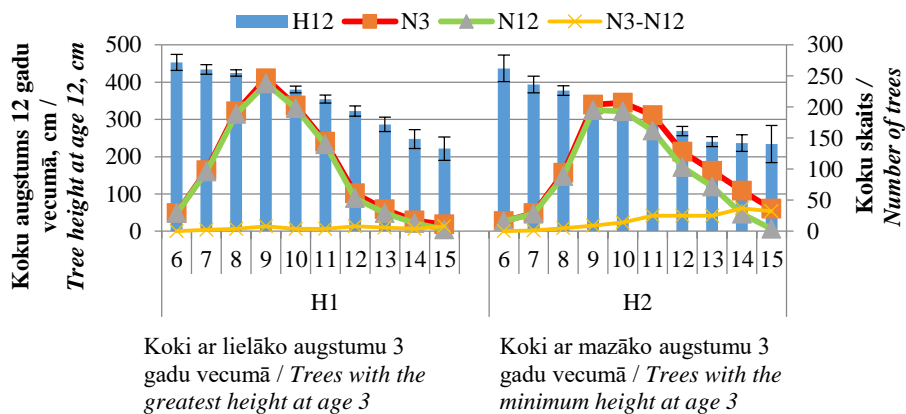
Iegūtie rezultāti parādīja, ka, atkārtojoties skujbires bojājumiem trīs gadus pēc kārtas (trīs gadu summārā balle), būtiski tiek ietekmēts koku augstums, līdz ar to arī augstuma pieaugums (skatīt 3.2. tabula). Piemēram, ja skujbires bojājumu summāra balle ir <6 vai 6, tad koku augstums netiek būtiski ietekmēts, bet ja skujbires bojājumu summāra balle ir 7 un augstāka, tad koku augstums tiek būtiski ietekmēts (skatīt 3.2. tabula).

Līdzīgi rezultāti **trešās eksperimentu sērijas** Daugmales stādījumā par skujbires infekcijas īstermiņa ietekmi uz koku augšanu un saglabāšanos iegūti, sadalot trīs gadu vecumā visus kokus pēc augstuma 2 grupās – 50 % augstākie un 50 % zemākie. Izmantojot šādu metodi, iegūtie rezultāti parādīja, ka atšķirības bojājumu pakāpēs starp abām koku augstuma grupām (50 % augstākie (H1) un 50 % zemākie (H2)) 4. augšanas sezonā un 5. augšanas sezonā atšķiras statistiski būtiski ($p < 0.01$) – attiecīgi 17 % un 34 %. Būtiska ($p < 0.001$) atšķirība bojāto koku īpatsvarā koku augstuma grupās (H1 un H2) tika konstatēta arī starp augšanas sezonām.



3.14. att. Koku izplatības salīdzinājums starp dažādām bojājumu pakāpēm (2-5 un nokaltušie) 6. augšanas sezonā (2010) un atbilstoši bojājumu pakāpēm (2-5) 5. augšanas sezonā (2009), kā arī atšķirību novērtējums starp koku augstuma grupām (augstākie koki (H1) un zemākie koki (H2)) un to atšķirībām 3. un 4. augšanas sezonā/

Fig. 3.14. Proportion of trees in damage grade classes in the 6th growing season (2010), and the corresponding damage grade in the 5th growing season (2009), as well as difference between tree height groups in the 3rd and 4th growing seasons



**3 gadu summārais skujbires vērtējums, balles/
Summarized Grades in each of groups of 3-years-height**

3.15. att. Skujbires infekcijas īstermiņa ietekme uz koku augšanu un saglabāšanos Daugmales stādījumā/

Fig. 3.15. Short-term effect of needlecast infection on tree growth and survival in the Daugmale trial

Piemēram, no koku augstuma grupas (H1) bojāto koku īpatsvars ar balli 3 ceturtajā augšanas sezonā vairumam (85 %) bija tāds pats vai ar zemāku bojājuma pakāpi nākamajā sezonā, savukārt no koku augstuma grupas (H2) tajā pašā bojājuma pakāpē 4. sezonā bojāto koku īpatsvars bija ievērojami mazāks (56 %) (skatīt 3.14. un 3.15. att.).

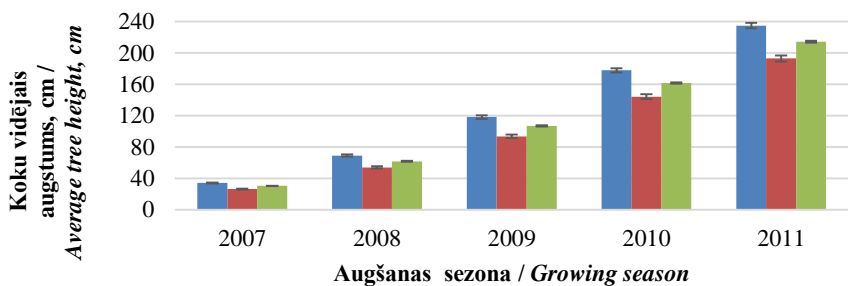
Līdz ar to no iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka atkārtoti skujbires bojājumi no 4. - 6. augšanas sezonai (ko raksturo augstāka summārā balle) būtiski negatīvi ietekmē koku augstumu 12 gadu vecumā. Līdzīgas starpgadu saiknes starp skujbires bojājumu pakāpēm tika konstatētas arī citā pētījumā, piemēram, tiem kokiem, kuriem trešajā novērtēšanas sezonā bija zemāka bojājumu pakāpe, tā zemāka novērota arī pētījuma pirmajā novērošanas sezonā, taču tiem kokiem, kuriem trešajā novērtēšanas sezonā bojājumu pakāpe bija augstāka, tā bija augstāka arī pirmajā augšanas sezonā (Martinsson, 1979). Vēl citos pētījumos konstatēts, ka atkārtota (vairākus gadus pēc kārtas) defoliācijas kumulatīvā ietekme uz koku augšanu un izdzīvošanu izpaužas ne tikai ar minēto tiešo iedarbību, bet arī ar netieši (sekundāri). Piemēram, atkārtota defoliācija samazina ogļhidrātu ražošanu, tādējādi pakāpeniski tiek samazināta arī to rezerve (Ericsson et al., 1980), tas gan ir izteiktāks kokiem ar zemāku vidējo koku augstumu (Shaw & Toes, 1977). Vēl citā pētījumā konstatēts, ka, samazinoties ogļhidrātu daudzumam koka saknēs, tiek negatīvi ietekmēta barības vielu un ūdens uzņemšana, līdz ar to tiek ietekmēta arī koka augšana un attīstība (van der Pas, 1981). Līdz ar to var apgalvot, ka sekundārā ietekme, ko rada, piemēram,

skujbires infekcija, var parādīties ne tikai uzreiz, bet arī ar laika nobīdi (Lyr & Hoffmann, 1967; Ericsson et al., 1980; van der Pas, 1981). Šo apgalvojumu apstiprina Hanso & Drenkhan (2012) veiktais pētījums, kurā uz ilgtermiņa vēsturiskajiem datiem tika konstatēts ievērojams augstuma pieauguma samazinājums 3-11 gadus vecām priedēm *Lophodermium* spp. epidēmijas gadā un divus gadus pēc tam, kā arī Kurkela et al. (2009) veiktais pētījums, kurā 12 gadus vecos parastās priedes provenienču izmēģinājumos konstatēs, ka skuju samazinājums par 50 %, kas radies *Lophodermium* spp. ietekmē trīs gadus pēc kārtas, samazina koku pieaugumu par 35 %.

3.2. Ģenētisko faktoru ietekme

Klonu atšķirību noturībā pret skujbiri raksturošanai veikta šo klonu ranžēšana, izmantojot šādas pazīmes: **trešajā eksperimentu sērijā (Daugmale, Ogre)** - skujbires bojājumu pakāpe, koku vidējais augstums un saglabāšanās, bet **ceturtajā eksperimentu sērijā (Kalsnava, Zvirgzde)**, izmantojot pazīmes - skujbires bojājumu pakāpe un koku vidējais augstums.

Trešajā eksperimentu sērijā (Daugmale, Ogre) iegūtie rezultāti parādīja, ka Ogres stādījumā augstākās vietas pēc rangu sadales ieņem kloni Nr. – 262, 303, 198, 146, 306, 250 un 252 jeb pret skujbires infekciju noturīgi kloni (<35 % bojātu skuju), bet zemākās vietas ieņem kloni Nr. – 503, 108, 501, 304, 246, 249 un 113 jeb pret skujbires infekciju nenoturīgi kloni (> 65 % bojātu skuju). Salīdzinot koku vidējo augstumu starp šīm divām klonu grupām, var secināt, ka atšķirības ir būtiskas ($p < 0.001$), jo koku vidējais augstums pret skujbires infekciju noturīgiem kloniem ir 234.8 ± 3.5 cm, bet pret skujbires infekciju nenoturīgiem kloniem ir 193.0 ± 3.9 cm. Būtiskas atšķirības tika konstatētas ($p < 0.001$) arī starp stādījuma vidējo augstumu 214.3 ± 1.1 cm un koku vidējo augstumu pret skujbires infekciju noturīgiem kloniem 234.8 ± 3.5 cm, kā arī starp stādījuma vidējo augstumu un koku vidējo augstumu pret skujbires infekciju nenoturīgiem kloniem 193.0 ± 3.9 cm (skatīt 3.16. att.).



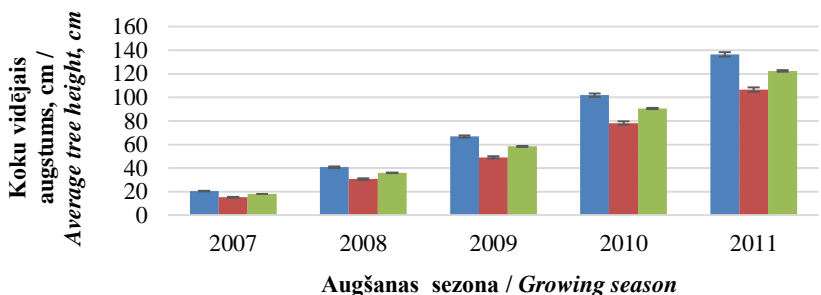
- Vidējais H, cm pret skujbires infekciju noturīgiem kloniem / Mean height of trees needlecast resistant clones
- Vidējais H, cm pret skujbires infekciju nenoturīgiem kloniem / Mean height of trees needlecast susceptible clones
- Stādījuma vidējais H, cm / Average height of trees in the Ogre trial

3.16. att. Koku vidējā augstuma atšķirības starp skujbires infekciju noturīgiem, skujbires infekciju nenoturīgiem kloniem un Ogres stādījuma vidējo augstumu (\pm standartkļūda) /

Fig. 3.16. Differences in the mean height of trees between resistant and susceptible clones and the average height of trees in the Ogre trial (\pm SE)

Analizējot vidējās skujbires bojājumu pakāpi atšķirības starp abām klonu grupām šajā stādījumā, secināts, ka atšķirības ir būtiskas ($p < 0.001$), jo zemāka vidējā skujbires bojājumu pakāpe ir pret skujbires infekciju noturīgiem kloniem - 1.9 balles, bet pret skujbires infekciju nenoturīgiem kloniem 2.2 balles. Salīdzinot koku saglabāšanos starp abām klonu grupām, secināts, ka atšķirība nebija būtiska, jo pret skujbires infekciju noturīgiem kloniem saglabāšanās bija 85.2 %, bet pret skujbires infekciju nenoturīgiem kloniem 88.6 %.

Trešā eksperimenta sērijas Daugmales stādījumā augstākās vietas pēc rangu sadales ieņem kloni Nr. - 255, 306, 239, 348, 146, 198 un 242 jeb pret skujbires infekciju noturīgi kloni (<35 % bojātu skuju), bet zemākās vietas ieņem kloni Nr. - 346, 503, 248, 245, 408, 246 un 254 jeb pret skujbires infekciju nenoturīgi kloni (> 65% bojātu skuju). Salīdzinot koku vidējo augstumu Daugmales stādījumā starp šīm divām klonu grupām, var secināt, ka atšķirības ir būtiskas ($p < 0.001$), jo koku vidējais augstums pret skujbires infekciju noturīgiem kloniem ir 136.6 ± 1.9 cm, bet pret skujbires infekciju nenoturīgiem kloniem ir 106.5 ± 2.0 cm. Būtiskas atšķirības ($p < 0.001$) ir arī starp stādījuma vidējo augstumu 122.5 ± 0.6 cm un koku vidējo augstumu pret skujbires infekciju noturīgiem kloniem 136.6 ± 1.9 cm, kā arī starp stādījuma vidējo augstumu un koku vidējo augstumu pret skujbires infekciju nenoturīgiem kloniem 106.5 ± 2.0 cm (skatīt 3.17. att.).



- Vidējais H, cm pret skujbires infekciju noturīgiem kloniem / Mean height of trees needlecast resistant clones
- Vidējais H, cm pret skujbires infekciju nenoturīgiem kloniem / Mean height of trees needlecast susceptible clones
- Stādījuma vidējais H, cm / Average height of trees in the Daugmale trial

3.17. att. Koku vidējā augstuma atšķirības starp skujbires infekciju noturīgiem, skujbires infekciju nenoturīgiem kloniem un Daugmales stādījuma vidējo augstumu (\pm standartkļūda)/

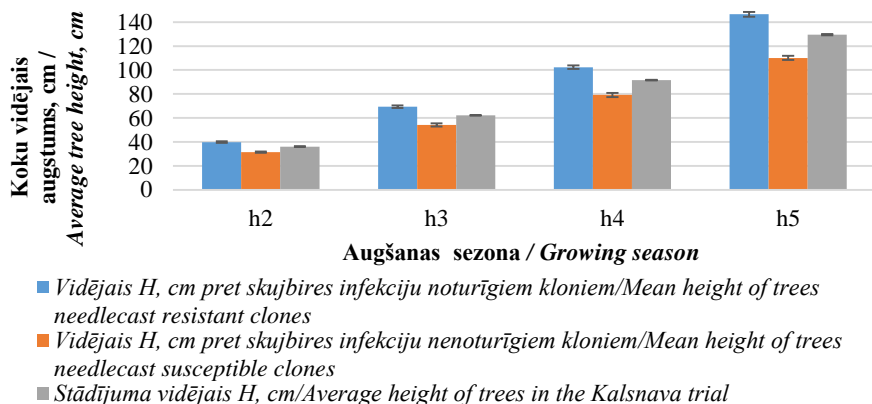
Fig. 3.17. Differences in the mean height of trees between resistant and susceptible clones and the average height of trees in the Daugmale trial (\pm SE)

Analizējot vidējās skujbires bojājumu pakāpju atšķirības starp abām klonu grupām, secināts, ka atšķirība ir statistiski būtiska ($p < 0.001$), jo zemāka vidējā skujbires bojājumu pakāpe ir pret skujbires infekciju noturīgiem kloniem ir 2.9 balles, bet pret skujbires infekciju nenoturīgiem kloniem tā ir 3.4 balles. Salīdzinot koku saglabāšanos starp abām klonu grupām, secināts, ka atšķirības ir būtiskas ($p < 0.001$), jo pret skujbires infekciju noturīgiem kloniem saglabāšanās bija 95.4 %, bet pret skujbires infekciju nenoturīgiem kloniem saglabāšanās ir 82.0 %.

Apvienojot ranžēšanas procesā iegūto informāciju gan no Ogres, gan no Daugmales stādījumiem, tika secināts, ka pret skujbires infekciju noturīgi (<35 % bojātu skuju) ir kloni ar Nr. 306, 146, 198, 348, 250, 261 un 242. Savukārt citos Latvijā veiktajos pētījumos noskaidrots, ka augstāka noturība pret skujbiri ir priedēm no Smiltenes un Strenču reģiona (Baumanis, 1993). Pētījumā 2008. gadā noskaidrots, ka pret skujbires bojājumiem noturīgi un koku augstuma ziņā pārāki ir Zvirgzdes un Smiltenes populāciju pēcnācēji, īpaši noturīgi ir Misa 255., 232., 106., 259 un Zvirgzdes 306 ģimenes kloni (Jansons et al., 2008). Pētījumā 2012. gadā pret skujbiri izturīgāki, līdz ar to arī koku augstuma ziņā pārāki, ir kloni Nr. 308, Bal303, Zv305, M198, Nr. 307 un M241 (Neimane et al., 2012).

Ceturtajā eksperimentu sērijā (Kalsnava, Zvirgzde) iegūtie rezultāti parādīja, ka Kalsnavā pēc rangu sadales augstākās vietas ieņem kloni - K3 x K18, K3 x U8, K3 x U4, K3 brīvappute, U8 brīvappute, K3 x U7, K18 x U7, K3 x K21, K3 x U10 un U6 brīvappute jeb pret skujbires infekciju noturīgi kloni (<35 % bojātu skuju),

bet zemākās vietas ieņem kloni - K21 x U8, U7 x K3, U9 x K21, U9 x U5, K21 x U4, U7 x U9, U7 x K21, U9 x U7, U7 x U5 un K21 x U7 jeb pret skujbires infekciju nenoturīgi kloni (> 65 % bojātu skuju). Salīdzinot koku vidējo augstumu Daugmales stādījumā starp šīm divām klonu grupām, var secināt, ka atšķirības ir būtiskas ($p < 0.001$), jo koku vidējais augstums kloniem ar augstākiem augšanas rādītājiem ir 146.5 ± 2.1 cm, bet kloniem ar zemākiem augšanas rādītājiem tas ir 110.1 ± 1.8 cm. Būtiskas atšķirības konstatētas arī ($p < 0.001$) starp stādījuma vidējo augstumu 129.4 ± 0.5 cm un koku vidējo augstumu kloniem ar augstākiem augšanas rādītājiem 146.5 ± 2.1 cm, kā arī starp stādījuma vidējo augstumu un koku vidējo augstumu kloniem ar zemākiem augšanas rādītājiem 110.1 ± 1.8 cm (skatīt 3.18. att.). Analizējot vidējās skujbires bojājumu pakāpi atšķirības starp abām klonu grupām, secināts, ka atšķirības ir statistiski būtiskas ($p < 0.001$), jo zemākā vidējā skujbires bojājumu pakāpe ir pret skujbires infekciju nenoturīgiem kloniem - 2.8 balles, bet pret skujbires infekciju nenoturīgiem kloniem vidējā skujbires bojājumu pakāpe ir 4.0 balles.

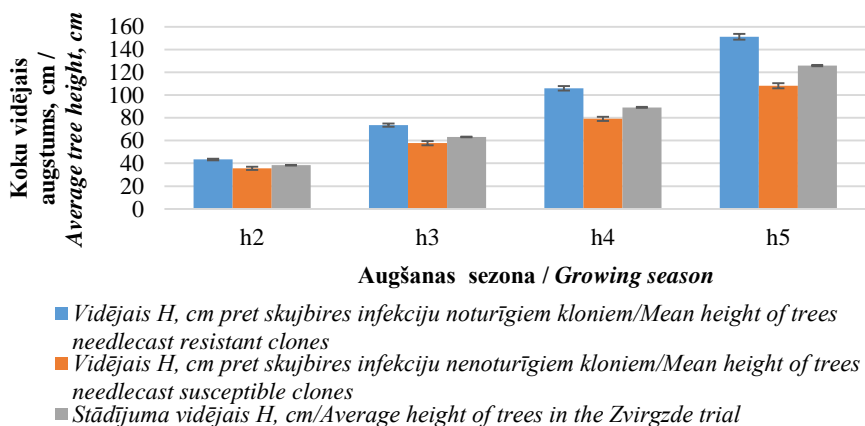


3.18. att. Koku vidējā augstuma atšķirības starp skujbires infekciju nenoturīgiem, skujbires infekciju nenoturīgiem kloniem un Kalsnavas stādījuma vidējo augstumu (\pm standartklūda)/

Fig. 3.18. Differences in the mean height of trees between resistant and susceptible clones and the average height of trees in the Kalsnava trial (\pm SE)

Ceturrtā eksperimenta sērijas Zvirgzdes stādījumā pēc rangu sadales augstākās vietas ieņem kloni - K3 x U10, K3 brīvappute, U8 x K3, K18 x U4, K18 x U6, K3 x U9, K18 x U5, U4 x K18, U10 x K3 un U4 x U10 jeb pret skujbires infekciju nenoturīgi kloni (<35 % bojātu skuju), bet zemākās vietas ieņem kloni - U6 x U9, K21 x U5, U9 x U6, K3 x U8, K21 x U9, U5 x U6, U5 brīvappute, U5 x U9, U9 x U5 un U5 x

K21 jeb pret skujbires infekciju nenoturīgi kloni (> 65 % bojātu skuju). Salīdzinot koku vidējo augstumu Zvirgzdes stādījumā starp šīm divām klonu grupām, var secināt, ka atšķirības ir būtiskas ($p < 0.001$), jo koku vidējais augstums kloniem ar augstākiem augšanas rādītājiem ir 151.2 ± 2.6 cm, bet kloniem ar zemākiem augšanas rādītājiem tas ir 108.2 ± 2.2 cm. Būtiskas atšķirības ($p < 0.001$) ir arī starp stādījuma vidējo augstumu 126.0 ± 0.5 cm un koku vidējo augstumu kloniem ar augstākiem augšanas rādītājiem 151.2 ± 2.6 cm, kā arī starp stādījuma vidējo augstumu un koku vidējo augstumu kloniem ar zemākiem augšanas rādītājiem 108.2 ± 2.2 cm (skatīt 3.19. att.). Analizējot vidējās skujbires bojājumu pakāpi atšķirības starp abām klonu grupām, secināts, ka atšķirības ir statistiski būtiskas ($p < 0.009$), jo zemāka vidējā skujbires bojājumu pakāpe ir pret skujbires infekciju noturīgiem kloniem - 4.6 balles, bet pret skujbires infekciju nenoturīgiem kloniem vidējā skujbires bojājumu pakāpe ir 4.8 balles.



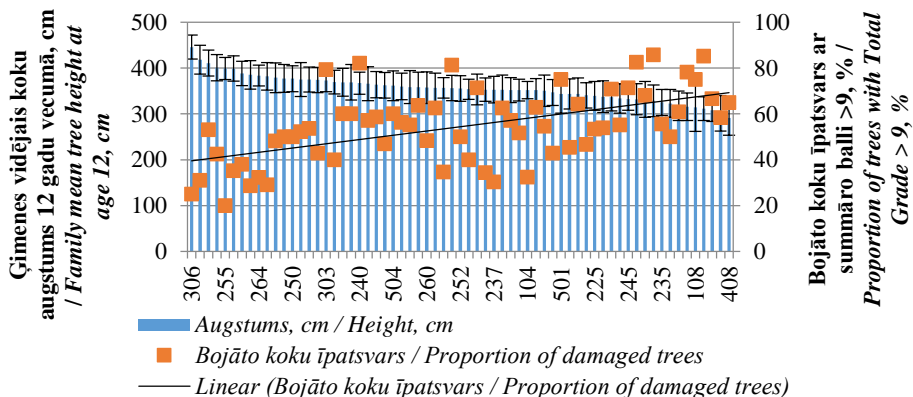
3.19. att. **Koku vidējā augstuma atšķirības starp skujbires infekciju noturīgiem, skujbires infekciju nenoturīgiem kloniem un Zvirgzdes stādījuma vidējo augstumu (\pm standartkļūda)**

Fig. 3.19. Differences in the mean height of trees between resistant and susceptible clones and the average height of trees in the Zvirgzde trial (\pm SE)

Apvienojot ranžēšanas procesā iegūto informāciju gan no Kalsnavas, gan no Zvirgzdes kontrolēto krustojumu stādījumiem, tika secināts, ka pret skujbires infekciju noturīgi (<35 % bojātu skuju) ir - K3 brīvapputes, K3 x U10, K3 x U4, K3 x U9, K18 x U5, U8 brīvapputes, K3 x U5, U8 x K3, K18x K21 un K18 brīvapputes kloni, no kuriem turpmākajam selekcijas darbam izmantojami ražīgāki neradniecīgie kloni K3xU10 un K18xK21.

No visiem iepriekš iegūtajiem rezultātiem gan **trešajā eksperimentu sērijā (Daugmale, Ogre)**, gan **ceturtajā eksperimentu sērijā (Kalsnava, Zvirgzde)** var secināt, ka pret skujbires infekciju rezistentām proveniencēm ir raksturīga augstāka produktivitāte, to norāda arī citi autori (Liesebach & Stephan, 1996). Iepriekš iegūtie rezultāti arī parāda, ka pastāv pret skujbires infekciju vairāk rezistentas un mazāk rezistentas ģimenes un kloni. To apstiprina arī iepriekš veiktie pētījumi Latvijā un Igaunijā. Kā vienas, tā arī otras valsts pētījumos iegūta informācija liecina, ka pret skujbires infekciju pilnīgi noturīgas ģimenes un klonus atlasīt nav iespējams (Baumanis, 1975; Jansons et al., 2008; Drenkhan, 2011), jo parastās priedes selekcijas procesu papildus apgrūtinā tas, ka gan pasaulē, gan Latvijas teritorijā skujbirei ir raksturīga augsta ģenētiskā daudzveidība (Moročko-Bičevska et al., 2010).

Trešā eksperimenta sērijas Daugmales stādījumā, izmantojot daudzfaktoru lineāro regresijas modeli (GLM) individuāliem kokiem, kurā kā kovariante ietverts koku augstums 3 gadu vecumā, analizēta attiecība starp ģimeņu vidējo koku augstumu 12 gadu vecumā un bojāto koku īpatsvaru ar summāro balli > 9. Konstatēts, ka ģimeņu vidējās augstums bija robežās no 291 ± 37.3 cm līdz $446 \pm \pm 26.3$ cm. Bojāto koku īpatsvars (summārajā ballē > 9) uz vienu ģimeni bija robežās no 20 % līdz 86 %. Koku vidējo augstumu 12 gadu vecumā būtiski ($p < 0.001$) ietekmē - ģenētiskais faktors (ģimene) un skujbires bojājumu pakāpes summārā balle (skatīt 3.20. att.).



3.20. att. Attiecība starp Daugmales stādījuma ģimeņu vidējo koku augstumu (\pm ticamības intervāls) 12 gadu vecumā un bojāto koku īpatsvaru ar summāro jeb kopējo balli > 9/

Fig. 3.20. Correlation of average tree height in families (\pm confidence intervals) at 12 years of age and proportion of trees with a summary damage score > 9 in the Daugmale trial

Savukārt ģimeņu vidējā korelācija starp bojāto koku īpatsvaru (summārā balle ir > 9) un koku augstumu pirms pirmās infekcijas sākuma (sākotnējais augstums) bija mērena un zemāka nekā korelācija starp bojāto koku īpatsvaru un koku augstumu 12 gadu vecumā (attiecīgi $r = -0.35$ un $r = -0.58$, $p < 0.001$). Tas liecina par ģenētikas nozīmīgo lomu noturības pret skujbiri nodrošināšanā, ko iespējams praktiski realizēt selekcijas procesā, atlasot ātraudzīgas un rezistentas ģimenes (skatīt 20. att.). Nozīmīgu ģenētisko (ģimeņu) efektu attiecībā uz koku augstumu un to izturību pret *Lophodermium* spp. infekciju 2 - 8 gadus vecām priedēm Nīderlandē konstatējuši arī Squillace et al., (1975), bet 9 gadus vecām priedēm Vācijā – Stephan & Krusche (1986).

Kopumā no iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka ir nozīmīgas atšķirības infekcijas pakāpē un ietekmēto koku īpatsvarā starp ģimenēm, turklāt gadu no gada vairāk tiek ietekmētas vienas un tās pašas ģimenes. Jaunajiem kokiem, kuru vitalitāte jau samazināta vienā gadā, atkārtota infekcija nākamajā gadā ievērojami biežāk izraisa nokalšanu. Līdz ar to rezistentāko genotipu atlase var nozīmīgi samazināt kopējo bojājumu apjomu jaunaudzēs, kā arī to, ka, mainoties klimatam, selekcijas darba loma audžu noturības un vitalitātes nodrošināšanā pieaug.

3.3. Skujbires bojājumu ietekme uz parastās priedes mežaudžu finansiālo vērtību aprites ciklā

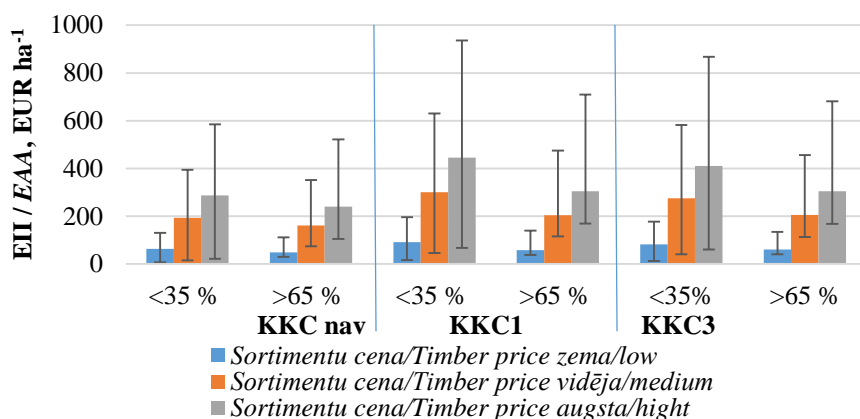
Modelējot (**pamatojoties uz trešā eksperimenta sērijas** Daugmales stādījuma datiem) mežaudžu ar dažādu noturību pret skujbires bojājumiem juvenīlā vecumā (bojātas <35 % un >65 % skuju) augšanas gaitu, novērtēta skujbires ietekme uz finansiālajiem rādītājiem rotācijas periodā.

Iegūtie rezultāti parādīja, ka ekvivalentie ikgadējie ieņēmumi (EII), pie procentu likmes 0.01 %, mežaudzēs ar augstu noturību (bojātas <35 % skuju) pret skujbires bojājumiem juvenīlā vecumā, neveicot krājas kopšanas cirti, zemu kokmateriālu cenu gadījumā bija 64 EUR ha⁻¹, vidēju kokmateriālu cenu gadījumā 194 EUR ha⁻¹, bet augstu kokmateriālu cenu gadījumā 287 EUR ha⁻¹. Turpretī mežaudzēs ar zemu noturību (bojātas >65 % skuju) pret skujbires bojājumiem juvenīlā vecumā, neveicot krājas kopšanas cirti, ekvivalentie ikgadējie ieņēmumi bija nedaudz zemāki - zemu kokmateriālu cenu gadījumā 49 EUR ha⁻¹, vidēju kokmateriālu cenu gadījumā 162 EUR ha⁻¹, bet augstu kokmateriālu cenu gadījumā 240 EUR ha⁻¹ (skatīt 3.21. att.).

Savukārt EII mežaudzēs ar augstu noturību (bojātas <35 % skuju) pret skujbires bojājumiem juvenīlā vecumā, veicot krājas kopšanas cirti līdz biežībai 0.7, zemu kokmateriālu cenu gadījumā bija 92 EUR ha⁻¹, vidēju kokmateriālu cenu gadījumā 300 EUR ha⁻¹, bet augstu kokmateriālu cenu gadījumā 446 EUR ha⁻¹. Taču EEI mežaudzēs ar zemu noturību (bojātas >65 % skuju) pret skujbires bojājumiem juvenīlā vecumā, veicot krājas kopšanas cirti līdz biežībai 0.7, tie bija mazāki,

attiecīgi - zemu kokmateriālu cenu gadījumā 58 EUR ha⁻¹, vidēju kokmateriālu cenu gadījumā 204 EUR ha⁻¹, bet augstu kokmateriālu cenu gadījumā 305 EUR ha⁻¹ (skatīt 3.21. att.).

Ekvivalentie ikgadējie ieņēmumi mežaudzēs ar augstu noturību (bojātas <35 % skuju) pret skujbires bojājumiem juvenīlā vecumā, veicot krājas kopšanas cirti līdz biežībai 0.6, zemu kokmateriālu cenu gadījumā bija 82 EUR ha⁻¹, vidēju kokmateriālu cenu gadījumā 275 EUR ha⁻¹, bet augstu kokmateriālu cenu gadījumā 410 EUR ha⁻¹. Savukārt ekvivalentie ikgadējie ieņēmumi mežaudzēs ar zemu noturību (bojātas >65 % skuju) pret skujbires bojājumiem juvenīlā vecumā, veicot krājas kopšanas cirti līdz biežībai 0.6, zemu kokmateriālu cenu gadījumā bija 61 EUR ha⁻¹, vidēju kokmateriālu cenu gadījumā 205 EUR ha⁻¹, bet augstu kokmateriālu cenu gadījumā 305 EUR ha⁻¹ (skatīt 3.21. att.).



KKC nav – kopšana veikta netika/without thinning; KKC1 – kopšana veikta līdz biežībai 0.7/thinning to a density of 0.7; KKC3 – kopšana veikta līdz biežībai 0.6 thinning to a density of 0.6; Izklīdes rādītājs – standartnovirze/Distribution index- standard deviation; <35 % - bojātas <35% skuju/damaged <35% of needles; >65 % - bojātas >65 % skuju/damaged >65 % of needles

3.21. att. Modelētie ekvivalentie ikgadējie ieņēmumi (EII) kokaudzē pie procentu likmes 0.01 %/

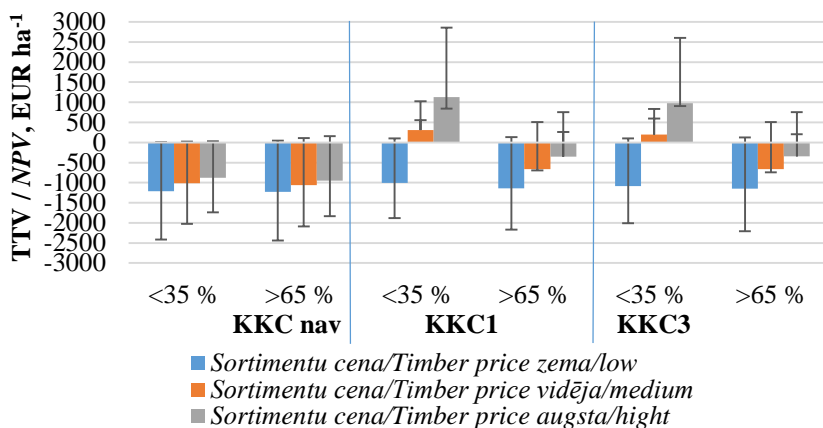
Fig. 3.22. Modelled equivalent annual annuity (EAA) at a 0.01% interest rate in the stand

No iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka sortimentu cenu svārstību ietekme uz EII bija nozīmīgāka nekā noturības pret skujbiru atšķirību ietekme, taču, pie vienādas sortimentu cenas un kopšanas režīma, skujbires noturīgu mežaudžu EII vienmēr bija augstāki nekā skujbires nenoturīgu mežaudžu EII.

Analizējot tīro tagadnes vērtību (TTV) pie AS LVM agrāk izmantotās procentu likmes 4.24 %, iegūti sekojoši rezultāti: tīrā tagadnes vērtība mežaudzēs ar augstu

noturību (bojātas <35 % skuju) pret skujbires bojājumiem juvenīlā vecumā, neveicot krājas kopšanas cirti, zemu kokmateriālu cenu gadījumā bija -1209 EUR ha⁻¹, vidēju kokmateriālu cenu gadījumā -1016 EUR ha⁻¹, bet augstu kokmateriālu cenu gadījumā -878 EUR ha⁻¹. Savukārt TTV mežaudzēs ar zemu noturību (bojātas >65 % skuju) pret skujbires bojājumiem juvenīlā vecumā, neveicot krājas kopšanas cirti, zemu kokmateriālu cenu gadījumā bija -1231 EUR ha⁻¹, vidēju kokmateriālu cenu gadījumā bija -1064 EUR ha⁻¹, bet augstu kokmateriālu cenu gadījumā -948 EUR ha⁻¹ (skatīt 3.22. att.).

TTV mežaudzēs ar augstu noturību (bojātas <35 % skuju) pret skujbires bojājumiem juvenīlā vecumā, veicot krājas kopšanas cirti līdz biežībai 0.7, zemu kokmateriālu cenu gadījumā bija -1009 EUR ha⁻¹, vidēju kokmateriālu cenu gadījumā 309 EUR ha⁻¹, bet augstu kokmateriālu cenu gadījumā 1128 EUR ha⁻¹. Savukārt TTV mežaudzēs ar zemu noturību (bojātas >65 % skuju) pret skujbires bojājumiem juvenīlā vecumā, veicot krājas kopšanas cirti līdz biežībai 0.7, zemu kokmateriālu cenu gadījumā -1144 EUR ha⁻¹, vidēju kokmateriālu cenu gadījumā ir no -665 EUR ha⁻¹, bet augstu kokmateriālu cenu gadījumā -349 EUR ha⁻¹ (skatīt 3.22. att.).



KCC nav – kopšana veikta netika/without thinning; KCC1 – kopšana veikta līdz biežībai 0.7/thinning to a density of 0.7; KCC3 – kopšana veikta līdz biežībai 0.6 thinning to a density of 0.6; Izkliedes rādītājs – standartnovirze/Distribution index- standard deviation; <35 % - bojātas <35 % skuju/damaged <35% of needles; >65 % - bojātas >65 % skuju/damaged >65 % of needles

3.22. att. Modelētā tīrās tagadnes vērtība (TTV) kokaudzē pie procentu likmes 4.24 %/

Fig. 3.22. Modelled net present value (NPV) at a 4.24% interest rate in the stand

Savukārt, veicot krājas kopšanas cirti līdz biežībai 0.6, TTV mežaudzēs ar augstu noturību (bojātas <35 % skuju) pret skujbires bojājumiem juvenīlā vecumā zemu kokmateriālu cenu gadījumā bija -1082 EUR ha⁻¹, vidēju kokmateriālu cenu gadījumā 201 EUR ha⁻¹, bet augstu kokmateriālu cenu gadījumā 982 EUR ha⁻¹. Taču mežaudzēs ar zemu noturību (bojātas >65 % skuju) pret skujbires bojājumiem juvenīlā vecumā, veicot krājas kopšanas cirti līdz biežībai 0.6, zemu kokmateriālu cenu gadījumā bija -1147 EUR ha⁻¹, vidēju kokmateriālu cenu gadījumā -663 EUR ha⁻¹, bet augstu kokmateriālu cenu gadījumā -348 EUR ha⁻¹ (skatīt 3.22. att.).

Neveicot KKC, modelēto mežaudžu TTV ir negatīva. Veicot KKC, vidēju un augstu sortimentu cenu gadījumā pret skujbiri noturīgu mežaudžu TTV ir pozitīva, savukārt nenoturīgu – negatīva. Kopumā no iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka skujbires bojājumiem ir ilgstoša, paliekoša un nozīmīga finansiālā ietekme, tādēļ ir būtiski tos turpināt vērtēt un ņemt vērā meža selekcijā.

SECINĀJUMI

1. Skujbires nozīmīgi (atmirušas >65 % skuju) bojāto koku īpatsvars priede jaunaudzēs svārstījās no 20 līdz 98 % neatkarīgi no jaunaudzes biežuma (1200 – 6900 koki ha⁻¹), meža tipa, kā arī vecuma (2-23 gadi).
2. Skujbires bojājumu pakāpe būtiski ($p < 0.001$) ietekmē koku saglabāšanos un augstuma pieaugumu. Atkārtotai infekcijai 3 gadu periodā ir tūlītēja, kā arī ilgstoša (6 gadus pēc infekcijas) kumulatīva negatīva ietekme.
3. Ģenētiskie faktori (ģimene, proveniencē) būtiski ietekmē skujbires bojāto koku īpatsvaru, līdz ar to arī priedes saglabāšanos un ātraudzību (augstuma pieaugumu, augstumu un sakņu kakla caurmēru). Skujbires intensitātei novērtā neizteikta genotipa-vides mijiedarbība.
4. Iedzīstamības ietekmi uz noturību pret skujbiri apliecina ciešāka korelācija starp bojāto koku īpatsvaru un augstumu ģenētiski viendabīgākam materiālam (kontrolēto krustojumu vs. brīvapputes ģimenes, attiecīgi $r = -0.72$ un $r = -0.40$).
5. Skujbires bojājumu pakāpe juvenīlā vecumā būtiski ietekmē audzes finansiālo vērtību (tīro tagadnes vērtību un ekvivalentos ikgadējos ieņēmumus) aprites ciklā. Maksimālas atdeves nodrošināšanai no ieguldījumiem meža atjaunošanā un kopšanā būtiski izmantot kokus, kuriem skujbires bojājumi ir <35 % skuju.

PATEICĪBAS

Autors izsaka pateicību promocijas darba vadītājiem Ārim Jansonam un Tālim Gaitniekam.

Autors izsaka pateicību LVMI „Silava” pētniekam Jānim Donim par palīdzību finansiālo aprēķinu metodikas izstrādē un rezultātu apraksta kvalitātes uzlabošanā.

Par vērtīgiem ieteikumiem darba pilnveidošanā autors pateicas LVMI „Silava” kolēģiem, īpaši Imantam Baumanim, Unai Neimanei, Robertam Matisonam, Andim Lazdiņam, Dagnijai Lazdiņai, Kasparam Liepiņam, Anitai Baumanei un Jurgim Jansonam, kā arī LLU profesorei Olgai Miežītei.

Promocijas darbs izstrādāts LVMI Silava un a/s „Latvijas valsts meži” 2011. gada 11. oktobra memoranda “Par sadarbību zinātniskajā izpētē” ietvaros. Informācijas ieguve un analīze veikta pētījumu „Meža apsaimniekošanas risku izmaiņu prognozes un to mazināšana” un „Meža koku selekcijas pētījumi ģenētiski augstvērtīga meža reproduktīvā materiāla atlasei” ietvaros. Pētījumi veikti ar Latvijas Zinātnes padomes granta „Meža koku adaptācijas potenciāls un tā paaugstināšanas iespējas” (454/2012) atbalstu.

1. GENERAL DESCRIPTION OF THE THESIS

1.1. Relevancy of the topic

Scots pine is an economically important and widespread tree species (according to the Forest Statistical Inventory 28 %). Scots pine is mainly renewed by planting (using germplasm from breeding programs). Timely agrotechnical measures for this type of plant material is important, and, in the majority of cases, protection against various diseases (e.g. *Lophodermium* spp.), and animal and insect damages, in order to significantly reduce the expected risks, as costs for reforestation are high. In addition, younger and smaller seedlings are utilised for reforestation, therefore any damages become increasingly significant. Therefore, it is essential to reduce any expected risks. The main risk factor is expected changes in climatic (meteorological) conditions that currently and in the future will increase the frequency and intensity of stress caused by abiotic and biotic factors in trees, especially in the early years of their growth. One of the expected biotic risks are fungi of the genus *Lophodermium* spp., whose development is favourably influenced by increasing temperatures and precipitation. More precisely, the occurrence and development of *Lophodermium* spp. are significantly influenced by increased temperatures and precipitation in the autumn of the previous year, winter weather conditions, and the air temperature and precipitation in the period from May to August. The damage caused by *Lophodermium* spp. significantly affects the height, height increment and survival of trees.

In the future, in order to improve the resistance of renewed forest stands to needlecast, it is important to select resistant material during the breeding process for use in reforestation, because during the breeding process it is possible to identify and select environmentally adapted individuals (genotypes). Adaptation of genotypes is determined by different traits - survival (including tolerance norm, phenotypic plasticity) and the ability compete with their own and other species for feed resources, as well as the ability to reproduce. Consequently, the actual situation determined the relevance of the doctoral thesis, because new research is needed in order determine the factors influencing the occurrence of needlecast in young Scots pine stands.

1.2. The aim, tasks and theses of the doctoral thesis

The aim of the thesis was to evaluate the impact of needlecast (*Lophodermium* spp.) on the growth dynamics of young Scots pine stands and the incurred forestry-related losses. The objectives of the study were:

1. to evaluate the impact of needlecast on the height, survival and growth of young Scots pine trees;
2. to characterize the influence of genetic factors on the damage caused by needlecast in young Scots pine stands;
3. to characterize the impact of needlecast on the financial value of Scots pine stands over the lifecycle of the stand.

Proposed theses

1. Needlecast (*Lophodermium* spp.) damages in young Scots pine stands significantly affect tree survival, height increment and cumulative height, therefore impacting the financial value of stands.
2. Scots pine genetic factors have a significant influence on the degree of damage inflicted by needlecast.

1.3. Scientific novelty and practical significance of the work (recommendations)

Scientific novelty

The cumulative effect of repeated needlecast (*Lophodermium* spp.) infection on the survival and growth of trees was analysed for the first time in this doctoral thesis.

For the first time in Latvia, an integrated analysis of the effect of needlecast on the survival and height increment of Scots pine as factors determining the financial value of the stands were analysed.

Assessing the resistance of controlled crosses to needlecast, information about the role of pine genetic factors in determining the effect of this disease has been supplemented.

Recommendations

Taking into account the negative effects of needlecast damage on tree survival and growth, it is recommended to assess needlecast damage 2-4 years after planting, to identify the most tolerant genotypes. Assessment of needlecast resistance is also to be included in breeding indices.

In order to develop long-term models, it is recommended to monitor the interannual variability of needlecast damage and to characterize the factors affecting it.

Nine new needlecast resistant Scots pine clones were identified for further utilisation in the breeding program. Nr. 306, 146, 198, 348, 250, 261, 242, K3xU10 and K18xK21.

1.4. Approbation of the research, publications

Research results have been summarised in six publications and presented at seven scientific conferences.

1.5. Structure of the doctoral thesis

The structure of the doctoral thesis organised according to the work tasks. The first chapter analyses the literature and previous studies related to the topic of the dissertation. The second chapter describes the methods and materials used in the research. The third chapter presents the results of the study and the conclusions that follow from them.

The volume of the dissertation is 90 pages, including 6 tables, 42 figures, 342 sources of bibliographical literature were cited. Five key conclusions are formulated and three practical recommendations are presented.

2. MATERIALS AND METHODS

In this thesis, the effect of needlecast on Scots pine was analysed in five experimental series. In the **first experimental series**, 15 young Scots pine stands (age 3-26 years) were repeatedly measured during the 2012 and 2013 vegetation seasons (April to September). A total of 28 trial plots were established, and 11.6 ha of young Scots pine stands measured. In the **second experimental series**, 12 young Scots pine stands (age 3-12 years) were measured a single time during the 2016 vegetation period. A total of 50 trial plots were established, and 20.7 ha of young Scots pine stands measured. In the **third experimental series (Ogre, Daugmale)**, two open pollinated progeny trials, established in “Rīgas Meži” Ltd. territories in Ogre (56°50' N.; 24°38' E) and Daugmale (56°47' N.; 24°30' E., Nr 441), were analysed. The trials include progeny of plus trees from several populations (number of families indicated in brackets): Misa (47), Smiltene (6), Baldone (4) Zvirgzde (2), Kalsnava (2) and Ugāles resin (sv.) pine (Ugsv8 408) (1). For comparison, seedlings from the average seed sample of several forest stands (20-30 trees) were included (Ogre, Daugmale, Ugāle) and the Olaine plantation average seed sample. In both plantations, tree survival (at 2 years of age), initial height (at 3 years of age) was determined, as well as re-measurement of the height and the degree of needlecast damage at 4, 5, 6 and 12 years of age (here and thereafter - the biological age of the trees).

In the **fourth experimental series (Kalsnava, Zvirgzde)**, two controlled cross progeny trials, established in the Forest Research Station territory in Kalsnava (56°40' N; 25°57' E, Nr. 21) and the JSC “Latvijas valsts meži” managed territory in

Zvirgzde (56°41' N; 24°26' E, Nr 22) were analysed. These trials include the progeny of controlled crosses and open pollination of 10 clones (7 from Ugāle, 3 from Kalsnava) (a total of 72 families). For analysis, the families were divided into 5 groups: crosses between Ugāle clones, crosses between Kalsnava clones, crosses between Ugāle and Kalsnava clones, open-pollinated Ugāle clones, open-pollinated Kalsnava clones. Measurement of trees and assessment of needlecast damage was done at 5 years of age (I. Baumanis), with repeated measurement and assessment at 17 years of age.

In the **fifth experimental series (Kalsnava, Tukums)**, two open pollinated Scots pine progeny trials, established by I. Baumanis in the Forest Research Station territory in Kalsnava (56°40' N; 25°58' E) and the JSC “Latvijas valsts meži” managed territory in Tukums (57°00' N; 23°10' E) were analysed. These trials include the progeny of plus trees from several populations (number of families indicated in brackets): Tukums (19), Bauska (17), Dundaga (21), Kalsnava (7), Jūrmala (21), Jaunjelgava (25), Mazsalaca (15), Mazsalaca sv. (21), Ugāle (15), Smiltene (27), Strenči (11), Jēkabpils (19) and Lubāna (15). In total, 233 open-pollinated families from 14 Latvian Scots pine populations were analysed. Measurement of trees and assessment of needlecast damage was done at 2 years of age.

Needlecast damage in the experimental series 1, 3, 4, 5 was determined on a scale from 1-5, by assessing the proportion of damaged needles in the most recent year's height increment: 1 point - 0-5 %; 2 points - 6-35 %; 3 points - 36-65 %; 4 points - 66-95 % and 5 points - 96-100 % damaged needles. In the third experimental series needlecast (*Lophodermium* spp.) damage was assessed in the Ogre trial at the age of 6 years, and in the Daugmale trial at the age of 4-6.

Identification of the pathogen (*Lophodermium* spp.) in the experimental series 1, 3, 4 and 5 was performed using morphological features, such as fruiting body shape, size, colour, etc. In the second experimental series, identification was done using genetic markers.

Descriptive statistics, correlation analysis, single factor and two-factor variance analysis, T-test, F-test (Liepa, 1974; Liepa, 1996; Arhipova & Bāliņa, 2003) were used for analysis of all experimental series. Health status in the first, third, fourth and fifth experimental series, was determined by assessment of the incidence and severity of needlecast damage. The incidence of needlecast in the 2nd experimental series was characterised using a mixed generalized linear model. To determine the resistance of Scots pine clones to needlecast infection in the third and fourth experimental series, the ranking of these clones was performed.

Short-term cumulative effects of needlecast on the height (H_{ijk}) of Scots pine individuals in the Daugmale trial at a young age were characterized by mixed covariance analysis (mANCOVA). Tree height was utilised as an observation in this model. Significance was determined using a dispersion analysis (Zuur et al., 2009). Data analysis was performed in R v 3.5.0 (RCore Team, 2018) using the “lem4” package (Bates et al., 2015).

In order to evaluate the financial impact of needlecast damage over the rotation period of a stand, all trees in the third experimental series Daugmale trial were divided into two groups: Group 1 - needlecast resistant trees (<35 % of damaged needles); Group 2 – needlecast susceptible trees (>65 % of damaged needles), evaluated at 5 years of age. Measurements of these groups of trees at the age of 12 were analysed as separate needlecast resistant and susceptible stands, and used as input data for the modelling of growth rates using the growth process modelling tool developed at the LSFRI Silava (Donis, 2016a, b). Timber assortments in these simulated stands was calculated using the stem assortment model developed by R. Ozoliņš (Ozoliņš, 2002), and modified by J. Donis. Assortment prices were obtained from the Central Statistical Bureau (CSB) database (Central Statistical Bureau, 2017). For example, the lowest price for pine logs with a diameter of up to 14 cm the last 10 years is 26.9 EUR/m³, the average price is 43.4 EUR/m³, and the highest is 50.3 EUR/m³. The price of pine saw logs with a diameter of 14-18 cm, were: lowest 36.9 EUR/m³, average 59.8 EUR/m³, highest 75.1 EUR/m³. Prices of pine saw logs with a diameter of 18-26 cm - lowest 39.2 EUR/m³, average 62.8 EUR/m³, highest 78.8 EUR/m³. Prices of pine saw logs with a diameter above 26 cm - lowest 41.4 EUR/m³, average 67.4 EUR/m³, highest 86.7 EUR/m³. Average costs of the main felling and intermediate thinning were obtained from the Central Statistical Bureau (CSP) database. For example, the average total preparation and transport costs for main felling is 23.1 EUR/m³ without VAT, and 29.1 EUR/m³ without VAT for intermediate thinning (Central Statistical Bureau, 2017). Forest renewal and maintenance costs were also derived from the CSB database: soil preparation 133.08 EUR ha⁻¹, plant costs 328.23 EUR ha⁻¹, planting costs 82.12 EUR ha⁻¹, agrotechnical treatment 103.35 EUR ha⁻¹, maintenance of young stands 124.05 EUR ha⁻¹ (Central Statistical Bureau, 2017). In addition, costs include real estate tax of 4.8 EUR ha⁻¹ per year (State Land Service, 2018). The financial indicators Net Present Value (NPV, 4.24 %) and equivalent annual annuity (EAA, 0.01 %) were calculated for analysis of the impact of needlecast damage over the rotation period of Scots pine stands. These are currently among the most widely used indicators (Dubrovskis, 2007). The interest rate 4.24 % was chosen as it was previously used for calculations by the JSC "Latvian State Forests".

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Influence of needlecast on growth of young stands

In the **first experimental series**, the incidence and intensity of needlecast damage was compared between years (2012 and 2013), forest type (Mr, Dm, As), stand density classes (Group 1 ≤ 2000 ind.ha⁻¹; Group 2 2001-3000 ind.ha⁻¹; Group

3 \geq 3001 ind.ha⁻¹), stand age classes (stands less than 15 years of age and stands older than 15 years of age) and tree height classes (up to 5m and over 5m).

The results obtained from the first experimental series indicated that there were significant differences between 2012 and 2013 in the incidence of needlecast damage ($p < 0.001$) and the damage intensity ($p < 0.0196$), as the incidence of damage in 2012 was 57.4 %, but in 2013 it was 73.6 %, while the damage intensity was 15.0 % in 2012 and 17.3 % in 2013. From the results obtained, it can be concluded that needlecast incidence and damage intensity are closely related and, as damage intensity increases, the proportion of damaged trees will increase (see Figure 3.1). Similar conclusions have been reported previously (Hanso & Drenkhan, 2007; Drenkhan, 2011; Hanso & Drenkhan, 2012).

The incidence of needlecast damage ($p = 0.13$) and the damage intensity ($p = 0.11$) did not differ significantly between forest types (Mr, Dm, As), indicating that forest type did not influence needlecast incidence or damage intensity. The fact that the no differences were found in the incidence and intensity of needlecast damages in the analysed forest types could be due to the fact that the soil acidity (pH) in the O horizon was similar in all forest types (pH 3.4 - 5.5) (Bardule et al., 2009) and corresponds to conditions (pH 3.5 - 4.0), which favour *Lophodermium* spp. hibernation and further spore development (Шевченко & Чилюзик, 1986).

In turn, analysing the incidence rates of needlecast damage between the three different forest stand density classes (Group 1 up to 2000 trees ha⁻¹; Group 2 from 2001 to 3000 trees ha⁻¹; Group 3 over 3001 trees ha⁻¹), it was found that there were no significant differences ($p = 0.51$), indicating that stand density did not influence needlecast incidence or damage intensity. Other studies have reported that as the number of trees increases in forest stands, the incidence and intensity of needlecast damage gradually decreases (Voroncov & Semenkova, 1982). However, studies in Sweden found that the growth of each individual tree and the resistance to various diseases (including *Lophodermium* spp.) increases in plantations with lower densities (trees ha⁻¹) (Lundqvist & Elfving, 2010). It is possible that the differences between our research results and the results of other studies may be related to the range of forest stand densities analysed.

Analysis of the incidence and intensity of needlecast damage in the Scots pine stands in the central part of Latvia between two age groups (i.e., trees up to 15 years of age and trees older than 15 years old) do not differ significantly ($p = 0.41$), respectively 59.2 % and 58.4 %. This result shows that *Lophodermium* spp. can infect Scots pine trees in different age groups. However, the effect on the height and height increment of the tree may vary depending on the age of the tree, as evidenced by the study in Estonia where the radial increment of 3 to 11 year old Scots pine trees declined in the *Lophodermium* spp. epidemic year and 2 years after the epidemic - by 12 % and 18 % respectively. A similar decrease was observed in height increment - 18 % and 17 % respectively. However, trees aged 22 to 33 years did not show a significant decrease in growth after *Lophodermium* spp. epidemics (Hanso & Drenkhan, 2012). Similar results have also been obtained in a study in Denmark,

where the fungus *Chalara fraxinea* similarly to *Lophodermium* spp. has a significantly negative effect on the growth of common ash (*Fraxinus excelsior*) up to the age of 15 (Skovsgaard et al., 2010).

Similarly to age, the tree height (average height of stands) is not a significant factor affecting the incidence and intensity of needlecast damages, as shown by correlation analysis, as the differences between the two tree height groups (i.e. trees with a height of up to 5 m and trees with a height of over 5 m), for the incidence of needlecast damage ($p = 0.53$) and damage severity ($p = 0.41$) were not statistically significant. However, in another study, analysing individual trees, the analysis showed that there is a relationship between tree height and needlecast damage: the damage intensity affects the height increment of 3-4 year old Scots pine trees (Jansons et al., 2008).

In the **second experimental series**, differences in incidence of needlecast damage between the eastern and western regions were assessed in 2009 and 2016. Significant differences ($p < 0.001$) in the incidence of needlecast on Scots pine needles were observed between observation years (2009 and 2016; Table 3.1), $58 \pm 8 \%$ and $88 \pm 4 \%$, respectively. Although the intensity of needlecast damages tends to decrease with increasing age of trees (Jansons et al., 2008), differences between the years (slightly younger trees were analysed in 2009, Table 2.2) are likely to be associated with different meteorological conditions (Hanso & Drenkhan, 2007; Drenkhan, 2011; Hanso & Drenkhan, 2012). The differences between regions were not statistically significant ($p = 0.21$; Table 3.1), and the incidence of needlecast was similar, namely $82 \pm 3 \%$.

In the **third experimental series (Daugmale, Ogre)**, needlecast infection was detected in both open-pollinated progeny trials. The obtained results showed that in the Daugmale trial in 2008, the average grade for needlecast damage was 3.7 ± 0.01 points, in 2009, 3.5 ± 0.01 points and in 2010, 3.1 ± 0.01 points. Analysis of variance, indicated that the average damage grade between years (2008, 2009, 2010) in the Daugmale trial were significantly different ($p < 0.001$) (see Figure 3.2)

Inter-year analysis was not done in the Ogre trial, but the average damage grade for 2010 was 2.0 ± 0.01 . In the analysis of variance between the two (Daugmale and Ogre) trials, it was concluded that there is a significant difference ($p < 0.001$) between the needlecast damage grade in the Ogre trial and the average damage grade in 2010 in the Daugmale trial. Significant ($p < 0.001$) differences were also observed between needlecast damage intensity in the Daugmale and Ogre trials, 55.7% and 39.1% respectively. From the obtained results it can be concluded that the needlecast infection level was higher in the Daugmale trial than in the Ogre trial.

In the **fourth experimental series (Kalsnava, Zvirgzde)**, needlecast infection was detected in both controlled cross progeny trials. In the Kalsnava controlled cross trial, the average damage grade was 3.4 ± 0.04 . In the Zvirgzde controlled cross trial, the average damage grade was 4.6 ± 0.02 . Variance analysis showed that there were significant differences ($p < 0.001$) between the damage grades (see Fig. 3.3). In addition, there were significant differences ($p < 0.001$) in the average damage

intensities between trials (Kalsnava 89.0 %, Zvirgzde 64.9 %). From the obtained results it can be concluded that the needlecast infection level was higher in the Zvirgzde trial than in the Kalsnava trial.

Similarly to the fourth experimental series (Kalsnava, Zvirgzde), needlecast infection was detected in both open-pollinated progeny trials in the **fifth experimental series (Kalsnava, Tukums)**. In Kalsnava, the average needlecast damage grade was 4.6 ± 0.03 points, while in Tukums it was 4.7 ± 0.01 . Dispersion analysis showed that the differences between the damage grades in these trial were significant ($p < 0.001$) (see Figure 3.4). In addition, there were significant differences ($p < 0.001$) in the average damage intensities between trials (Kalsnava 91.2 %, Tukums 87.9 %). From the obtained results it can be concluded that the needlecast infection level was higher in the Tukums trial than in the Kalsnava trial.

Considering that a significant needlecast infection was detected in the third, fourth and fifth experimental series, it was decided to analyse tree survival in these experiments.

In the **third experimental series (Daugmale, Ogre)**, the survival in the open-pollinated progeny trials was 89.9 % in Daugmale and 98.6 % in Ogre, and the difference was significant ($p < 0.001$). Survival above 90.0% were found in the Zvirgzde (94.4 %), Smiltene (90.6 %) and Misa (90.2 %) clone families. In contrast, survival rates below 90.0 % were found in the Baldone (87.1 %), Ugāle sv. (84.6 %) and control (88.1 %) clone families. In the Ogre trial, almost all clones had a survival of over 90 % (see Figure 3.5). The higher needlecast resistance of the Smiltene, Misa and Zvirgzde populations was confirmed in both experimental sites, which is in line with the results of previous studies, when higher resistance to needlecast was detected in the pine stands in the Smiltene, Misa and Zvirgzde regions (Baumanis, 1993). This indicates significant regional differences in the resistance to needlecast, which in addition is further affected by meteorological conditions, which are different in each region of Latvia.

Needlecast infection significantly influenced tree survival in the **fourth experimental series (Kalsnava, Zvirgzde)**. Survival in the controlled cross trials in Kalsnava and Zvirgzde up to 5 years of age was similar in both plantations, while in the period from 6 to 17 years of age, survival was higher in the Kalsnava trial 53.8 %, while in Zvirgzde it was only 35.3 %, which also indicates significant regional differences in the resistance of pine to needlecast. The difference in survival can be explained differences between the damage intensity in the Kalsnava (89.0 %) and Zvirgzde (64.9 %) controlled cross trials and the average damage levels in the Zvirgzde (4.2 ± 0.02) and Kalsnava (3.4 ± 0.04) trials.

In the **fifth experimental series (Kalsnava, Tukums)**, trees survival in the open-pollinated progeny trial in Kalsnava was 78.0 %, while in Tukums it was 70.5 %, the difference between the trials was significant ($p < 0.0006$). In the Kalsnava trial, the highest survival rates were found in the Lubāna and Dundaga provenances, respectively 88.3 % and 81.5 %, while the lowest survival were found in the Bauska (67.1 %) and Jekabpils (73.8 %) provenances. The highest survival

rate in the Tukums trial was found in the Ugāle (78.6 %) and Kalsnava (78.4 %) provenance, while the lowest survival were found in the Strenči (64.1 %) and Mazsalaca (64.9 %) provenances (Figure 3.6). Differences in the survival between these trials can be explained by the differences in the intensity of the needlecast infection, that were higher in the Tukums trial (91.2 %), than in Kalsnava (87.9 %) and the needlecast damage grade, which were higher in the Tukums trial (4.7 ± 0.01), compared to Kalsnava (4.6 ± 0.03). However, it should also be taken into account that tree survival and the growth and development of each individual tree in the third, fourth and fifth experimental series could have been affected not only by needlecast infection but also by other diseases, pests, genetic factors (for example, the resistance of each individual clone to diseases and pests), as well as meteorological factors (precipitation, temperature and humidity).

As a result of climate change in recent years, needlecast infection has increased significantly. Therefore, it is important to determine how the level of needlecast infection affects tree height, tree diameter and height increment, because these indicators can show the negative effects of diseases and pests on yield. For example, the results of a study in Estonia showed that severe defoliation caused by *Bupalus piniaria* in 1930-1932, 1980- 1981. and 1990-1992; *Neodiprion sertifer* defoliations in 1938-1939, 1948, 1950, 1958, 1960, 1962, 1965, 1966 and 2007, as well as defoliation caused by *Diprion pini* in 1981-1982 significantly reduced radial increment of pine for two years after defoliation. In addition, the height increment significantly decreased both during the defoliation year and in the following 2 years. However, for pine trees aged 25 to 33 years, both radial and height increments were significantly reduced during defoliation years, but the decrease in height increment for the following two years was negligible (Hanso & Drenkhan, 2012).

In the **third experimental series (Daugmale, Ogre)**, the average height of trees in the Daugmale trial in 2011 or the 5th growing season was 122.5 ± 0.6 cm, in the Ogre trial it was 214.3 ± 1.1 cm, the difference between the average height of the trials in 2011 was 91.8 cm, which is statistically significant ($p < 0.001$). When analysing the height increment in the same trials, it was concluded that the difference was significant ($p < 0.001$), since in the Daugmale trial the average height increment was 31.8 ± 0.2 cm, and in the Ogre trial it was 52.5 ± 0.3 cm, a difference of 20.7 cm. The difference between the average height and height increment of the Daugmale and Ogre trials in previous years (2007-2010) were statistically significant ($p < 0.001$) (Figure 3.7). When analysing the effect of needlecast infection on tree growth parameters in both the Daugmale and Ogre trials, it was concluded that as needlecast damage levels increase, the mean height and height increment of trees is significantly reduced ($p < 0.001$) (Figures 3.8 – 3.11). Such a relationship was also found in a study conducted in Latvia (Jansons et al., 2008) and in an Estonian study (Hanso & Drenkhan, 2007; Drenkhan, 2011; Hanso & Drenkhan, 2012).

The negative impact of needlecast infection on growth rates in the Daugmale and Ogre trials was demonstrated by the correlation between needlecast damage grade

and the growth parameters of the trees. For example, in the Daugmale and Ogre trials, the degree of needlecast damage is statistically significantly correlated with the growth parameters of trees, both at the individual trees and family level. Significant ($p < 0.001$), moderate negative Pearson correlation coefficients were found between the degree of needlecast damage and the height increment of trees during the year before the assessment of needlecast, at the level of the individual trees $r = -0.42$ and $r = -0.37$ and at the family level $r = -0.40$ and $r = -0.29$ (Figure 3.12). Negative correlations between the degree of needlecast damage and growth parameters of trees have been reported previously (Baumanis, 1975; Squillace et al., 1975; Martinsson, 1979; Ostrý & Nicholls, 1989). Such differences can be explained by the influence of various external factors: the initial growth parameters and quality of each individual tree; site preparation prior to planting and planting quality; site maintenance after planting; variations in microenvironment, exposure and soil fertility within the site; changes in tree numbers within the plantation, associated with survival rates.

The negative impact of needlecast infection on growth rates was also demonstrated in the **fourth experimental series (Kalsnava, Zvirgzde)** by the correlation between needlecast damage grade and the growth parameters of the trees. In the Zvirgzde and Kalsnava controlled cross trials, the needlecast damage level was statistically significantly correlated with tree growth parameters at both individual tree and family level. Significant ($p < 0.001$), moderate negative Pearson correlation coefficients were found between the degree of needlecast damage and the stem root collar diameter at the age of five years, both at the individual tree level $r = -0.29$ and $r = -0.38$ and at the family level $r = -0.48$ and $r = -0.69$. Also, significant ($p < 0.001$), moderate negative correlation coefficients were found between the needlecast damage level and height increment in the year prior to needlecast assessment, both at the individual tree level $r = -0.28$ and $r = -0.31$ and at the family level $r = -0.59$ in both trials (Figure 3.13).

In the **third experimental series**, the short-term effect of the cumulative (three-year summary score) of needlecast infection on height increment at a young age in the Daugmale trial was also investigated. The results showed that tree height and height increment were significantly affected by needlecast damage for three consecutive years (see Table 3.2). For example, if the total needlecast damage grade is <6 or 6 , then tree height was not significantly affected, but if the total damage grade was 7 and higher then tree height is significantly affected (Table 3.2).

In the **third experimental series**, similar results were obtained from the Daugmale trial on the short-term effect of needlecast infection on the growth and survival of trees were obtained by dividing 3 year old trees in 2 height groups – 50 % higher and 50 % lower. Differences in the degree of damage between the two tree height groups (50 % higher (H1) and 50 % lowest (H2)) in the 4th and 5th growing seasons differed significantly ($p < 0.01$) - 17 % and 34 %. A significant difference ($p < 0.001$) in the proportion of damaged trees in tree height groups (H1 and H2) was also observed between growing seasons. For example, the proportion of trees in

tree height group (H1) with a damage score of 3 during the fourth growing season for most (85 %) was the same or with a lower degree of damage in the following season, while in the tree height group (H2), the proportion of trees at the same damage level as in the 4th growing season was significantly lower (56 %) (Figure 3.14, 3.15).

From the results obtained, it can be concluded that repeated needlecast damage from the 4th to the 6th growing season (characterized by a higher summary grade) has a significant negative effect on tree height at the age of 12 (see Figure 3.21). Similar inter-year associations between the needlecast damage grade were also found in other studies, for example, those trees that had a lower damage grade during the third assessment season, also had a lower assessment in the first observation season, but for trees that had higher damage grade during the third assessment season, also had higher damage grade in the first growing season (Martinsson, 1979). Other studies have found that the cumulative effect of repeated defoliation on tree growth and survival does not only have a direct effect, but also indirect (secondary) effects. For example, repeated defoliation reduces carbohydrate production, thus gradually reducing their reserves (Ericsson et al., 1980), although it is more pronounced for trees with lower average tree height (Shaw & Toes, 1977). Another study found that, as the amount of carbohydrates in the roots decreases, nutrient and water intake is negatively affected, and thus the growth and development of the tree is affected (van der Pas, 1981). It can therefore be argued that secondary effects caused by, for example, needlecast infection may appear not only immediately but also with a delayed effect (Lyr & Hoffmann, 1967; Ericsson et al. 1980; van der Pas, 1981). This assertion is corroborated by a study by Hanso & Drenkhan (2012), which found a significant decrease in height increment for 3-11 year old Scots pine trees during a *Lophodermium* spp. epidemic year and two years afterwards, as well as a report by Kurkela et al. (2009), in which 12-year-old Scots pine provenance trials revealed that a 50 % reduction in needles caused by *Lophodermium* spp. for three consecutive years reduces tree growth by 35 %.

3.2. Influence of genetic factors

For the characterization of differences between clones in needlecast resistance the following parameters were for ranking clones – in the **third experimental series (Daugmale, Ogre)** - needlecast damage grade, average tree height and survival, and in the **fourth experimental series (Kalsnava, Zvirgzde)** - needlecast damage grade and average tree height.

Results obtained from the **third experimental series (Daugmale, Ogre)** showed that the highest ranked clones or clones resistant to needlecast infection (<35 % damaged needles) in the Ogre trial were 262, 303, 198, 146, 306, 250 and 252, but clones 503, 108, 501, 304, 246, 249 and 113, were the lowest ranked or clones susceptible to needlecast infection. Comparing the average height of trees between

these two clone groups, it can be concluded that the differences are significant ($p < 0.001$), as the average height of needlecast resistant clones was 234.8 ± 3.5 cm, and 193.0 ± 3.9 cm for susceptible clones. Significant differences ($p < 0.001$) were also observed between the average height of the clones (214.3 ± 1.1 cm) and the average height of needlecast infection-resistant clones (234.8 ± 3.5 cm), as well as between the average height of susceptible clones (193.0 ± 3.9 cm) (Figure 3.16) (> 65 % damaged needles). The differences in the average needlecast damage grade between these the resistant and susceptible clones are significant ($p < 0.001$), the average damage grade was 2.9 in-resistant clones, whereas it was 3.4 in susceptible clones. Comparing the survival of trees between the two clone groups, it was concluded that the difference was not significant because the survival of resistant clones was 85.2 %, while the survival of susceptible clones was 88.6 %.

In the **third experimental series**, the highest ranking or clones resistant to needlecast infection (<35 % damaged needles) in the Daugmale trial were 255, 306, 239, 348, 146, 198 and 242, but the lowest ranked or clones susceptible to needlecast infection (> 65 % damaged needles) were 346, 503, 248, 245, 408, 246 and 254. Comparing the average tree height in the Daugmale trial between these two clone groups, it can be concluded that the differences are significant ($p < 0.001$), since the average tree height of resistant clones was 136.6 ± 1.9 cm, and 106.5 ± 2.0 cm for susceptible clones. Significant differences ($p < 0.001$) were also found between the average tree height in the trial of 122.5 ± 0.6 cm and the average height of resistant clones (136.6 ± 1.9 cm), as well as between the average tree height in the trial and the average height of susceptible clones (106.5 ± 2.0 cm) (Figure 3.17). The differences in the average needlecast damage grade between these the resistant and susceptible clones are significant ($p < 0.001$), the average damage grade was 2.9 in-resistant clones, whereas it was 3.4 in susceptible clones. Comparing tree survival between the two clone groups, it was concluded that the differences were significant ($p < 0.001$), because the survival for resistant clones was 95.4 % and 82.0 % for susceptible clones.

Combining the information obtained from the rankings from both the Ogre and Daugmale trials, it was concluded that the clones most resistant to needlecast infection (<35 % damaged needles) were 306, 146, 198, 348, 250, 261 and 242. In other studies in Latvia, it was found that higher resistance to needlecast was found in pine trees from the Smiltene and Strenči region (Baumanis, 1993). The progeny of the Zvirgzde and Smiltene populations are superior in terms of resistance to needlecast damage and tree height, with the most superior are clones of the 255, 232, 106, 259 families in Misa and the 306 family in Zvirgzde (Jansons et al. 2008). In a 2012 study, the clones most resistant to needlecast and therefore superior in height were clones 308, Bal303, Zv305, M198, 307 and M241 (Neimane et al., 2012).

Results obtained from the **fourth experimental series (Kalsnava, Zvirgzde)**, show that highest ranked or resistant to needlecast infection (<35 % damaged needles) clone families in the Kalsnava trial were - K3 x K18, K3 x U8, K3 x U4, K3 open-pollinated, U8 open-pollinated, K3 x U7, K18 x U7, K3 x K21, K3 x U10

and U6 open-pollinated, while the lowest ranked or susceptible (>65 % damaged needles) clone families were K21 x U8, U7 x K3, U9 x K21, U9 x U5, K21 x U4, U7 x U9, U7 x K21, U9 x U7, U7 x U5 un K21 x U7. Comparing the average height of trees in the Daugmale plantation between these two clone groups, it can be concluded that the differences are significant ($p < 0.001$), since the average height of trees for clones with higher growth parameters is 146.5 ± 2.1 cm, whereas for clones with lower growth parameters it is 110.1 ± 1.8 cm. Significant differences were also observed ($p < 0.001$) between the average tree height in the trial of 129.4 ± 0.5 cm and the average tree height of clones with higher growth parameters of 146.5 ± 2.1 cm, as well as between the average tree height in the trial and the average height of trees for clones with lower growth parameters of 110.1 ± 1.8 cm (Figure 3.18). Analysing the difference between the two clone groups for needlecast damage, it was concluded that the differences are statistically significant ($p < 0.001$), the average needlecast damage was 2.8 for needlecast infection-resistant clones and the average damage of susceptible clones was 4.0.

In the **fourth experimental series**, highest ranked or resistant to needlecast infection (<35 % damaged needles) clone families in the Zvirgzde trial were - K3 x U10, K3 open-pollinated, U8 x K3, K18 x U4, K18 x U6, K3 x U9, K18 x U5, U4 x K18, U10 x K3 un U4 x U10, while the lowest ranked or susceptible (> 65% damaged needles) clone families were U6 x U9, K21 x U5, U9 x U6, K3 x U8, K21 x U9, U5 x U6, U5 open-pollinated, U5 x U9, U9 x U5 un U5 x K21. Comparing the average height of trees in the Zvirgzde plantation between these two clone groups, it can be concluded that the differences are significant ($p < 0.001$), since the average height of trees for clones with higher growth parameters is 151.2 ± 2.6 cm, whereas for clones with lower growth parameters it is 108.2 ± 2.2 cm. Significant differences were also observed ($p < 0.001$) between the average tree height in the trial of 126.0 ± 0.5 cm and the average tree height of clones with higher growth parameters of 151.2 ± 2.6 cm, as well as between the average tree height in the trial and the average height of trees for clones with lower growth parameters of 108.2 ± 2.2 cm (Figure 3.19). Analysing the difference between the two clone groups for needlecast damage, it was concluded that the differences are statistically significant ($p < 0.009$), the average needlecast damage was 4.6 for needlecast infection-resistant clones and the average damage of susceptible clones was 4.8.

Combining the information obtained during the ranking process from both Kalsnava and Zvirgzde-controlled cross trials, it was concluded that clones most resistant to needlecast infection (<35 % damaged needles) were - K3 open-pollinated, K3 x U10, K3 x U4, K3 x U9, K18 x U5, U8 open-pollinated, K3 x U5, U8 x K3, K18x K21 and K18 open-pollinated, of which the most productive unrelated clones K3xU10 and K18xK21 are recommended for utilisation in further breeding efforts.

From the results obtained from the **third experimental series (Daugmale, Ogre)** and the **fourth experimental series (Kalsnava, Zvirgzde)**, it can be concluded that provenances with higher resistance to needlecast infection are

characterized by higher productivity, as indicated by other authors (Lieseback & Stephan, 1996). The previously obtained results show that there are Scots pine families and clones more and less resistant to needlecast infection. This is confirmed by previous studies in Latvia and Estonia. Information obtained from studies in both countries indicates that it is not possible to select families and clones completely resistant to needlecast infection (Baumanis, 1975; Jansons et al., 2008; Drenkhan, 2011), since resistance breeding of Scots pine is further complicated by the fact that, both globally and within of Latvia, needlecast is characterized by high genetic diversity (Moročko-Bičevska et al., 2010).

In the **third experimental series**, analysing results from the Daugmale trial, using a multifactor linear regression model (GLM) for individual trees, in which the covariate includes tree height at the age of 3 years, the relationship between the average height of trees at the age of 12 and the proportion of damaged trees with an aggregate grade > 9 was analysed and the following results were obtained. The average height of the families varied from 291 ± 37.3 cm to 446 ± 26.3 cm. The proportion of damaged trees (summary score > 9) per family was between 20 % and 86 %. The average height of trees at 12 years of age is significantly ($p < 0.001$) effected by genetic factors (family) and the summary needlecast damage score (Figure 3.20).

In turn, the average family correlation between the proportion of damaged trees with a total score of > 9 per family and height of trees before initial infection (initial height) was moderate and lower than the correlation between the proportion of damaged trees and the height of trees at 12 years of age ($r = -0.35$ and $r = -0.58$, respectively, $p < 0.001$), which shows the long-term effects of the disease. Significant genetic (family) effect on the height of 2-8 year old pine trees and their resistance to *Lophodermium* spp. in the Netherlands was reported by Squillace et al., (1975), and for 9-year-old pines in Germany (Stephan & Krusche 1986).

In general, it can be concluded from the obtained results that there are significant differences in the level of infection and the proportion of affected trees among families, moreover, the same families are more affected over several years. For young trees whose vitality has already been reduced in one year, recurrent infections in the coming year are more likely to cause death. Consequently, the selection of the most resistant genotypes can significantly reduce the total damage levels in young stands, and in changing climatic conditions, the role of breeding in ensuring the sustainability and vitality of forest stands is increasing.

3.3. Impact of needlecast damage on the financial value of pine stands over the rotation period

Growth rate modelling (based on data obtained from the **third experimental series** Daugmale trial) of forest stands with differing needlecast resistance (< 35 %

and >65 % damaged needles) at a juvenile age was used to assess the impact of needlecast damage on the financial value of pine stands over the rotation period.

Equivalent annual annuity (EAA), at an interest rate of 0.01 %, for resistant (<35 % damaged needles) forest stands at a juvenile age, without thinning was 64 EUR ha⁻¹ in the case of low timber prices, 194 EUR ha⁻¹ in the case of medium timber prices, and 287 EUR ha⁻¹ in the case of high timber prices. In contrast, EAA in susceptible (>65 % damaged needles) forest stands at a juvenile age, without thinning was 49 EUR ha⁻¹ in the case of low timber prices, 162 EUR ha⁻¹ in the case of medium timber prices, and 240 EUR ha⁻¹ in the case of high timber prices (Figure 3.21).

The EAA for resistant (<35 % damaged needles) forest stands at a juvenile age, with thinning to a density of 0.7, was 92 EUR ha⁻¹ in the case of low timber prices, 300 EUR ha⁻¹ in the case of medium timber prices, and 446 EUR ha⁻¹ in the case of high timber prices. In contrast, EAA in susceptible (>65 % damaged needles) forest stands at a juvenile age, with thinning to a density of 0.7, was 58 EUR ha⁻¹ in the case of low timber prices, 204 EUR ha⁻¹ in the case of medium timber prices, and 305 EUR ha⁻¹ in the case of high timber prices (Figure 3.21).

The EAA for resistant (<35 % damaged needles) forest stands at a juvenile age, with thinning to a density of 0.6, was 82 EUR ha⁻¹ in the case of low timber prices, 275 EUR ha⁻¹ in the case of medium timber prices, and 410 EUR ha⁻¹ in the case of high timber prices. In contrast, EAA in susceptible (>65 % damaged needles) forest stands at a juvenile age, with thinning to a density of 0.6, was 61 EUR ha⁻¹ in the case of low timber prices, 205 EUR ha⁻¹ in the case of medium timber prices, and 305 EUR ha⁻¹ in the case of high timber prices (Figure 3.21). From the results obtained, it can be concluded that the impact of timber price fluctuations on the EAA was more significant than the effect of needlecast resistance, but, with the same timber prices and thinning regime, the EAA of resistant forest stands was always higher than the EAA of susceptible forest stands.

Analysing the net present value (NPV) using the LVM interest rates of 4.24%, the following results were obtained - for resistant (<35 % damaged needles) forest stands at a juvenile age, without thinning was -1209 EUR ha⁻¹ in the case of low timber prices, -1016 EUR ha⁻¹ in the case of medium timber prices, and -878 EUR ha⁻¹ in the case of high timber prices. In contrast, NPV in susceptible (>65 % damaged needles) forest stands at a juvenile age, without thinning was -1231 EUR ha⁻¹ in the case of low timber prices, -1064 EUR ha⁻¹ in the case of medium timber prices, and -948 EUR ha⁻¹ in the case of high timber prices (Figure 3.22).

NPV for resistant (<35 % damaged needles) forest stands at a juvenile age, with thinning to a density of 0.7 was -1009 EUR ha⁻¹ in the case of low timber prices, 309 EUR ha⁻¹ in the case of medium timber prices, and 1128 EUR ha⁻¹ in the case of high timber prices. In contrast, NPV in susceptible (>65 % damaged needles) forest stands at a juvenile age, with thinning to a density of 0.7 was -1144 EUR ha⁻¹ in the

case of low timber prices, -665 EUR ha⁻¹ in the case of medium timber prices, and -349 EUR ha⁻¹ in the case of high timber prices (Figure 3.22).

NPV for resistant (<35 % damaged needles) forest stands at a juvenile age, with thinning to a density of 0.6 was -1082 EUR ha⁻¹ in the case of low timber prices, 201 EUR ha⁻¹ in the case of medium timber prices, and 982 EUR ha⁻¹ in the case of high timber prices. In contrast, NPV in susceptible (>65 % damaged needles) forest stands at a juvenile age, with thinning to a density of 0.6 was -1147 EUR ha⁻¹ in the case of low timber prices, -663 EUR ha⁻¹ in the case of medium timber prices, and -348 EUR ha⁻¹ in the case of high timber prices (Figure 3.22). Without thinning, the modelled NPV of forest stands was negative. With thinning, in the case of medium and high timber prices, the NPV of resistant forest stands was positive, but was negative for susceptible forest stands. In general, from the obtained results, it can be concluded that needlecast damage has a long-term, lasting and significant financial impact, therefore it is essential to continue research on needlecast resistance and to include needlecast resistance assessments in forest tree breeding programs.

CONCLUSIONS

1. The proportion of trees significantly damaged by needlecast (>65 % of necrotic needles) varied from 20 to 98 %, and there was no statistically significant influence of stand density (1200 - 6900 trees ha⁻¹), forest type or stand age (2-23 years).
2. The degree of needlecast damage significantly ($p < 0.001$) affects tree survival and height increment. Repeated infection over a 3-year period has an immediate as well as a long-lasting (6 years after infection) cumulative negative impact.
3. There are significant genetic (family, provenance) effects on the proportion of trees significantly damaged by needlecast, subsequently impacting tree survival and growth (height increment, height and root collar diameter). Genotype-environment interactions did not have a significant effect on needlecast intensity.
4. The heritability of needlecast resistance was demonstrated by genetically homogeneous germplasm (progeny of controlled crosses) having a closer correlation with the proportion of needlecast damaged trees and tree height compared to less homogeneous germplasm (open-pollinated progeny), $r = 0.72$ and $r = 0.40$, respectively.
5. The degree of needlecast damage at juvenile age has a significant impact on the financial value of the stand (EAA and NPV) over the rotation period. To maximise returns on investments in forest stand renewal and thinning, it is essential to utilise Scots pine trees, with <35 % of damaged needles.