



LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE  
MEŽA FAKULTĀTE  
MEŽKOPĪBAS KATEDRA  
LVMI „SILAVA”

LATVIA UNIVERSITY OF AGRICULTURE  
FOREST FACULTY  
DEPARTMENT OF SILVICULTURE  
LSFRI “SILAVA”

Mg. silv. LINARDS SISENIS

**KLINŠKALNU PRIEDES (*PINUS CONTORTA* DOUGL. VAR *LATIFOLIA* ENGELM.)  
INTRODUKCIJAS PERSPEKTĪVAS LATVIJĀ**

**PERSPECTIVES OF LODGEPOLE PINE (*PINUS CONTORTA* DOUGL. VAR *LATIFOLIA*  
ENGELM.) INTRODUCTION IN LATVIA**

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS  
Dr. silv. zinātniskā grāda iegūšanai

SUMMARY OF ACADEMIC DISSERTATION  
for acquiring the Doctor's degree of Forest sciences



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

Jelgava 2013

Promocijas darba zinātniskais vadītājs:  
Supervisor:

**Āris Jansons**  
doc., *Dr. silv.*

Konsultanti:  
Consultants:

**Imants Liepa**  
prof., Dr. habil. biol.

Darbs izstrādāts Latvijas Lauksaimniecības universitātē un LVMI „Silava”  
Research was carried out in Latvian University of Agriculture and LSFRI „Silava”

#### Oficiālie recenzenti / Official reviewers

- Dr.silv. **Tālis Gaitnieks** – Latvijas Valsts Mežzinātnes institūts “Silava”, vadošais pētnieks, Latvija. / Latvian State Forest Research Institute “Silava”, senior research scientist, Latvia.
- Dr.sc.ing. **Mudrīte Daugaviete** – Latvijas Valsts Mežzinātnes institūts “Silava”, vadošā pētniece, Latvija. / Latvian State Forest Research Institute “Silava”, senior research scientist, Latvia.
- Dr.silv. **Virgilijus Baliuckas** – vadošais pētnieks, Lietuvas lauksaimniecības un mežsaimniecības centra Meža institūta Meža selekcijas un ģenētikas nodaļas vadītājs. / Senior researcher, head of department of Forest tree breeding and genetics, Forest Institute, Lithuanian Centre for Agriculture and Forestry.

Darba izstrāde veikta ar ESF grantu atbalstu.

Doctoral thesis has been worked out by financial support of ESF



Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Mežzinātņu un Materiālzinātņu nozares promocijas padomes atklātā sēdē 2013. gada 19. augustā plkst. 13:00 Jelgavā, Dobeles ielā 41, sēžu zālē.

To be presented for public criticism in an open session of the Promotion Council of Forest Sciences and Material Sciences of Latvian University of Agriculture held on August 19, 2013 at 13:00 clock in LUA Department of Wood Processing, Jelgava, Dobeles street 41.

Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā, Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001 vai [http://llufb.llu.lv/promoc\\_darbi.html](http://llufb.llu.lv/promoc_darbi.html).

Atsauksmes sūtīt LLU Mežzinātņu un Materiālzinātņu nozares promocijas padomes sekretāram, LLU Meža fakultātes profesoram *Dr. sc. ing. A. Drēskam* Akadēmijas ielā 11, Jelgava, LV-3001, Latvija vai [mfdek@llu.lv](mailto:mfdek@llu.lv)

The thesis and resume are available at the Fundamental Library of Latvian University of Agriculture, Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001 or [http://llufb.llu.lv/promoc\\_darbi.html](http://llufb.llu.lv/promoc_darbi.html).

References are welcome to be sent to professor *Dr. sc. ing. A. Drēska*, the Secretary of the Promotion Council of Forest Sciences and Material Sciences of Latvian University of Agriculture Akadēmijasielā 11, Jelgava, LV-3001, Latvia or [mfdek@llu.lv](mailto:mfdek@llu.lv)

ISBN 978-9984-861-53-1 (online)

**SATURS**  
**TABLE OF CONTENTS**

|   |    |
|---|----|
| 1. DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS .....                                     | 4  |
| Darba aktualitāte .....   | 4  |
| Pētījuma mērķis.....  | 4  |
| Pētnieciskie uzdevumi: .....  | 4  |
| Zinātniskā novitāte .....   | 5  |
| Darba praktiskā nozīme .....  | 5  |
| Darba aprobācija .....  | 5  |
| Promocijas darba struktūra un apjoms .....                                | 6  |
| 2. LITERATŪRĀ GŪTO ATZIŅU APKOPOJUMS .....                                | 7  |
| 2.1. Sugas raksturojums .....   | 7  |
| 2.2. Introdukcija Latvijā.....  | 7  |
| 2.3. Būtiskākie sugu ietekmējošie biotiskie un abiotiskie faktori.....    | 8  |
| 3. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODIKA .....                                   | 9  |
| 3.1. Eksperimentu apraksts .....  | 9  |
| 3.2. Lauka darbu metodika.....  | 11 |
| 3.3. Laboratorijas darbu metodika .....                                   | 11 |
| 3.4. Aprēķinu metodika.....   | 13 |
| 4. PĒTĪJUMA REZULTĀTI .....   | 16 |
| 4.1. Klinškalnu priedes produktivitāte stādījumos Latvijā .....           | 16 |
| 4.2. Klinškalnu priedes kvalitāte stādījumos Latvijā .....                | 20 |
| 4.3. Klinškalnu priedes virszemes biomasas vienādojums .....              | 20 |
| 4.4. Klinškalnu priedes augšanas gaitas analīze .....                     | 26 |
| 4.5. Klinškalnu priedes koksnes mitrums un mehāniskās īpašības.....       | 28 |
| SECINĀJUMI UN IETEIKUMI PRAKSEI.....                                      | 31 |
| 1. GENERAL DESCRIPTION .....  | 33 |
| Topicality of the theme .....   | 33 |
| Aim of the thesis .....   | 33 |
| Research objectives.....  | 33 |
| Scientific novelty .....  | 33 |
| Practical significance of the thesis .....                                | 34 |
| Approbation of the thesis .....   | 34 |
| Structure and volume of the thesis .....                                  | 34 |
| 2. SUMMARY OF FINDINGS FROM THE BIBLIOGRAPHY .....                        | 34 |
| 2.1. Characterisation of the species.....                                 | 34 |
| 2.2. Introduction in Latvia.....  | 35 |
| 2.3. The main biotic and abiotic factors affecting the species .....      | 35 |
| 3. Materials and methods .....  | 36 |
| 3.1. Description of experiments .....                                     | 36 |
| 3.2. Field work methods.....  | 38 |
| 3.3. Laboratory research methods .....                                    | 39 |
| 3.4. Calculation methods.....   | 40 |
| 4. RESULTS.....   | 43 |
| 4.1. Productivity of lodgepole pine stands in Latvia.....                 | 43 |
| 4.2. Lodgepole pine quality in Latvian plantations.....                   | 45 |
| 4.3. Above-ground biomass equations for lodgepole pine.....               | 45 |
| 4.4. Analysis of lodgepole pine growth rate.....                          | 47 |
| 4.5. Lodgepole pine wood moisture content and mechanical properties ..... | 49 |
| CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS FOR PRACTICE .....                        | 51 |

# 1. DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

## Darba aktualitāte

Pusi no Latvijas teritorijas aizņem tās nozīmīgākais dabas resurss – meži, kas nodrošina valstij nozīmīgus ienākumus, jo vairāk nekā 70 % saražotās meža nozares produkcijas tiek eksportēta (Meža nozare Latvijā, 2011). Zināmu daļu ienākumu mežs nodrošina arī netieši – kā rekreācijas un ogu, sēņu ieguves vieta, kā arī piesaistot ogļskābo gāzi un ražojot skābekli. Paaugstinot mežaudžu produktivitāti, pat par vairākiem gadu desmitiem var tikt saīsināts mežaudžu rotācijas cikls, kā arī no platības vienības iegūt lielāku koksnes vai biomasas apjomu, tātad piesaistīt lielāku daudzumu siltumnīcas efektu izraisošās ogļskābās gāzes. Līdz ar to audžu produktivitātes paaugstināšanas pasākumi nodrošina ieguvumu ne tikai meža īpašniekam, bet arī visai sabiedrībai un sniedz ieguldījumu globālo klimata izmaiņu tempa mazināšanā. Globālajā tirgū ilgtermiņā pieaugošu pieprasījumu pēc koksnes nosaka meža platību samazināšanās (vidēji 0,7 % gadā), cilvēku skaita palielināšanās un viena cilvēka patērētās koksnes apjoma pieaugums reizē ar dzīves līmeņa celšanos (Libby, 2006, Greavesetal., 2004, Kjæretal., 1998), turklāt attīstītajās valstīs novērojama tendence sadzīvīvē arvien vairāk izmantot dabiskos materiālus, tajā skaitā arī koksni, atsakoties no dabai nedraudzīgu materiālu pielietošanas. Šajā kontekstā svarīga loma ir mežaudžu produktivitātes kāpināšanai, kas ilgtermiņā var nodrošināt Latvijai papildus eksporta iespējas.

Mežaudžu produktivitāte var tikt paaugstināta, izvēloties platībai vispiemērotākās vietējās koku sugas, kā arī meža atjaunošanai un ieaudzēšanai izmantojot selekcionētu materiālu. Taču ievērojamu produktivitātes kāpinājumu atsevišķos gadījumos iespējams iegūt, izmantojot dotajiem augšanas apstākļiem piemērotas introducētas koku sugas. Tām, dabiskajā areālā un dabiskās evolūcijas procesā, var būt izveidojušies noteikti pielāgojumi, kas nodrošina paaugstinātu ātraudzību un/vai noturību pret kādiem produktivitāti nozīmīgi ietekmējošiem abiotiskiem vai biotiskiem faktoriem apstākļos, kuros suga tiek introducēta.

## Pētījuma mērķis

Darba mērķis ir novērtēt Klinškalnu priedes provenienču raksturlielumus (produktivitāti, rezistenci, piemērotību lietkoksnai vai biomasas ieguvei), salīdzinot tos ar parastās priedes provenienču parametriem un rekomendēt piemērotākās *Pinus contorta* proveniencas izmantošanai Latvijā

## Pētnieciskie uzdevumi:

- 1) raksturot Klinškalnu priedes provenienču augšanas gaitu, kā arī zarojuma un koksnes kvalitātes rādītājus salīdzinājumā ar parastās priedes proveniencēm;
- 2) novērtēt biomasas apjomu un sadalījumu Klinškalnu priedes audzēs un to ietekmējošos faktoros;
- 3) raksturot riska faktoros (dzīvnieku bojājumi, vējgāzes) Klinškalnu priedes audzēs;
- 4) veikt Latvijas apstākļiem piemērotāko Klinškalnu priedes provenienču izvēli.

## Pētījumam ietvaros pārbaudītas šādas hipotēzes:

- 1) Klinškalnu priedes provenienču krāja stādījumos Latvijā vidēji ir augstāka, taču zarojuma kvalitāte zemāka nekā parastajai priedei;
- 2) Klinškalnu priedes koksnes mehāniskās īpašības nerada iespēju tās pielietošanai līdzvērtīgi ar parastās priedes koksni
- 3) Klinškalnu priedes audžu virszemes biomasa ir augstāka nekā parastajai priedei, nodrošinot iespējas stādījumu ierīkošanai atjaunojamo energoresursu ieguvei nabadzīgās augsnēs.

### Zinātniskā novītāte

Pētījums ir pirmais apkopojums par tik plaša mēroga Klinškalnu priedes porvenienču eksperimentiem hemiboreālajā zonā un tādejādi nozīmīgi paplašina izpratini par šīs sugas audzēšanas riskiem un potenciālajiem ieguvumiem Eiropā, kas līdz šim bijusi detalizēti analizēta tikai boreālajā zonā. Pētījuma ietvaros pirmo reizi izstrādāti uz plaša datu materiāla balstīti Klinškalnu priedes virszemes biomasas komponentu vienādojumi.

Latvijā pirmo reizi novērtētas Klinškalnu priedes koksnes mehāniskās īpašības, kā arī potenciālo koksnes izmantošanu determinējoši rādītāji, kas saistīti ar zarojuma raksturojumu. Analizēti biotisko un abiotisko faktoru bojājumi. Pētījuma ietvaros definēti ģeogrāfiskie reģioni, no kuriem ievestās Klinškalnu priedes proveniencas Latvija ir ar augstāko saglabāšanos un ātraudzību.

### Darba praktiskā nozīme

Darba rezultāti liecina, ka Klinškalnu priedes krāja jaunaudzes vecumā mazauglīgās smilts augsnēs ir būtiski augstāka nekā parastajai priedei un to iespējams izmantot, ierīkojot plantācijas biomasas ieguvei, kā arī dažādojot sugu sastāvu stādījumos uz šādām augsnēm.

### Darba aprobācija

#### Zinātniskās publikācijas par darba tēmu:

Jansons A., Sisenis L., Neimane U., Rieksts-Riekstiņš J. (2013) Biomass production of young lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) stands in Latvia. iForest – Biogeosciences and Forestry, 6 pp. 10-14 (*Scopus*)

Sisenis L., Jansons Ā., Puriņa L., Jansons J., Džeriņa B., Ābe A. (2012) Klinškalna priedes (*Pinus contorta* Dougl. var. *latifolia* Engelm.) koksnes mitrums jaunaudzes vecumā. Mežzinātne, 26(59), 134.-144.lpp. (*AGRIS*)

Šāble I., Grīnfelds U., Sisenis, L., Verovkins A., Treimanis A. (2012) Impact of seeds provenance on wood and fibres properties of lodgepole pine, grown in Latvia. In: Z. Gaile (ed.) Proceedings of the 18<sup>th</sup> international scientific conference Research for Rural Development 2012, May 18-20, LLU, Jelgava, Latvia, pp. 86-90. (*AGRIS*)

Puriņa L., Sisenis L., Krišāns O., Jansons Ā. (2012) Improved genetic material for a future climate – new species – new genotypes: case study of *Pinus contorta* in Latvia. Book of abstracts of international scientific conference “Genetic aspects of adaptation and mitigation: forest health, wood quality and biomass production”, SNS & IUFRO, October 3–5, 2012, Riga, Latvia, p. 168

Jansons Ā., Puriņa L., Krišāns O., Sisenis L. (2012) Technically available biomass in young stands of *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris* in Latvia. Book of abstracts of international scientific conference “The Nordic Baltic conference on forest operations – OSCAR 2012”, SNS, October 24–26, 2012, Riga, Latvi, pp. 63-64.

Sisenis L., Rieksts-Riekstins J., Rieksts-Riekstins R., Jansons J., Jansons A. (2012) Possible use of introduced species *Pinus contorta* for biomass production in Latvia. In: A. Augustaitis, A. Bynerowicz, E. Paoletti (eds) Proceedings of international scientific conference Biological Reaction of Forest to Climate Change and Air Pollution, May 18-27, IUFRO & ASU, Kaunas, Lithuania, p. 138

Jansons A., Sisenis L., Jansone L., Rieksts-Riekstins R. (2009) Introduced coniferous trees for short-rotation biomass production plantations: case study of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. var. *latifolia* Engelm.) in Latvia. In: *Environmental Science and Education in Latvia and Europe*: book of abstracts of 3<sup>rd</sup> international conference, October 23, LCESE, Riga, Latvia, p.39-40.

Jansons, Ā., Baumanis, I., Sisenis, L. (2009) Results of *Pinus contorta* Dougl. var. *latifolia* Engelm. provenance test in Latvia. In: *Research and Conservation of Biological Diversity in Baltic Region*: book of abstracts of 5<sup>th</sup> international conference April 22-24, Daugavpils, Latvia, p.58.

Янсонс, А.Я., Бауманис, И.И., Сисенис, Л.И. (2009) Результаты исследований по селекции сосны обыкновенной и сосны скрученной в Латвии. В: Современное состояние, проблемы и перспективы лесовосстановления и лесоразведения на генетико-селекционной основе: материалы международной научной конференции, 8-10 сентября. А.И. Ковалевич (ред.). Институт леса НАН Беларуси, Гомель, Республика Беларусь, с.130-132.

#### Dalība konferencēs:

18.-27.05.2012. Kauņa, Lietuva. Referāts: Sisenis L., Rieksts-Riekstins J., Rieksts-Riekstins R., Jansons J, Jansons A. „Possible use of introduced species *Pinus contorta* for biomass production in Latvia” starptautiskā zinātniskā konferencē „Biological Reaction of Forest to Climate Change and Air Pollution”.

16.-18.05.2012. Jelgava, Latvija. Referāts: Šāble I., Grīnfelds U., Sisenis L., Verovkins A., Treimanis A. „Impact of seeds provenance on wood and fibres properties of lodgepole pine, grown in Latvia” starptautiskā zinātniskā konferencē „Research for Rural Development 2012”.

12.-15.03.2012. Jelgava, Latvija. Referāts: Sisenis L., Puriņa L., Jansons Ā. „Klinškalnu priedes provenienču zaru parametru raksturojums stādījumos Latvijā” LLU Meža fakultātes zinātniskā konferencē „Zinātne un prakse nozares attīstībai”.

02.02.2012. Rīga, Latvija. Referāts: Jansons Ā., Lībiete-Zālīte Z., Sisenis L. „Meteoroloģisko apstākļu ietekme uz Klinškalnu priedes (*Pinus contorta* Dougl. var *latifolia* Engelm.) augstuma pieaugumu” LU 70. Zinātniskā konferencē.

24.-25.11.2011. Kauņa, Lietuva. Stenda referāts: Jansons A., Sisenis L. „Introduced species as solution for adaptation: trials of *Pinus contorta* in Latvia” starptautiskā zinātniskā konferencē „Rural Development 2011: in Global Changes”.

18.-21.10.2010. Rīga, Latvija. Stenda referāts: Jansons Ā., Sisenis L., Jansons J. „Provenance differences in above-ground biomass of *Pinus contorta* Dougl. var *latifolia* Engelm. and *Pinus sylvestris* L.” starptautiskā zinātniskā konferencē „Adaptation of Trees and Stands to Forest Disturbances: Management Considerations”.

19.-21.05.2010. Jelgava, Latvija. Referāts: Sisenis L., Jansons Ā. „Comparison of Wood Moisture in the Above-ground Part of *Pinus sylvestris* and *Pinus contorta* at Winter Period in Latvia” starptautiskā zinātniskā konferencē „Research for Rural Development 2010”.

22.-23.03.2010. Jelgava, Latvija. Referāts: Jansons, Ā., Sisenis, L. „Parastās un Klinškalnu priedes virszemes daļas koksnes mitruma salīdzinājums” LLU Meža fakultātes zinātniskā konferencē „Zinātne un prakse nozares attīstībai”.

04.02.2010. Rīga, Latvija. Referāts: Sisenis L., Jansons Ā., Baumanis I. „Klinškalnu priedes (*Pinus contorta* Dougl. var *latifolia* Engelm.) un parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.) biomasas salīdzinājums” LU 68. Zinātniskā konferencē.

23.10.2009. Rīga, Latvija. Stenda referāts: Jansons A., Sisenis L., Jansone L., Rieksts-Riekstins R. „Introduced coniferous trees for short-rotation biomass production plantations: case study of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. var *latifolia* Engelm.) in Latvia”, starptautiskā zinātniskā konferencē „Environmental Science and Education in Latvia and Europe”.

22.-24.04.2010. Daugavpils, Latvija. Stenda referāts: Jansons Ā., Baumanis I., Sisenis L. „Results of *Pinus contorta* Dougl. var *latifolia* Engelm. provenance test in Latvia” starptautiskā zinātniskā konferencē “Research and Conservation of Biological Diversity in Baltic Region”.

### **Promocijas darba struktūra un apjoms**

Darba struktūra ir pakārtota atbilstoši izvirzītajiem pētnieciskajiem uzdevumiem. Darbā ir trīs nodaļas. Pirmajā nodaļā sešās apakšnodaļās apskatīti citu autoru līdz šim veiktie pētījumi. Sniegts apskats par Klinškalnu priedes izplatību pasaulē, bioloģiju un ekoloģiju. Analizēta citu valstu pieredze šīs priedes introkcijā. Apskatīti nozīmīgākie sugu ietekmējošie biotiskie un abiotiskie faktori, kā arī analizēta šo faktoru ietekme uz priedes vitalitāti un augšanas gaitu. Analizēti dati par Klinškalnu priedes augšanas gaitu, audžu produktivitāti un biomasas sadalījumu gan tās dabiskajā areālā, gan vietās, kur priede introducēta. Apkopota informācija par koksnes

pielietojumu un tās īpašībām. Otrajā nodaļas 1. apakšnodaļā sniegts detalizēts katra pētnieciskā eksperimenta apraksts. Pārējās šīs nodaļas apakšnodaļas veltītas lauka un laboratorijas darbu, kā arī aprēķinu metodikai. Trešā nodaļa veltīta iegūto datu analīzei un interpretācijai. Apakšnodaļā 3.1. detalizēti analizēta katrā eksperimentā augošās Klinškalnu priedes produktivitāte un dimensijas provenienču vidējo vērtību līmenī, iegūtos datus matemātiski salīdzinot starp proveniencēm un ar kontroles datiem par eksperimentā iekļauto parasto priedi. Analizēta arī abiotisko un biotisko faktoru ietekme. Nodaļā 3.2. sniegts iepriekšējā nodaļā gūto atziņu konspektīvs apkopojums un rekomendētas Latvijas klimatiskajiem apstākļiem piemērotākās Klinškalnu priedes proveniencas. Pārējās trešās nodaļas apakšnodaļās apkopota informācija par Klinškalnu priedes biomasu, koksnes mitrumu un mehāniskajām īpašībām, kā arī analizēta Klinškalnu priedes augšanas gaita.

Promocijas darba apjoms ir 122 lappuses; informācija apkopota 36 tabulās un 55 attēlos, izmantoti 153 literatūras avoti. Darba noslēgumā formulēti 7 secinājumi

## 2. LITERATŪRĀ GŪTO ATZIŅU APKOPOJUMS

### 2.1. Sugas raksturojums

Klinškalnu priede (*Pinus contorta* Dougl.) ir plaši izplatīta *Pinus* ģints divskuju priede ar vairākām variatātēm. To pirmo reizi atklāja skotu botāniķis D. Duglass 1825.gadā (Cinovskis, 1992). Suga ģeogrāfiski iedalīta 4 pasugās (Lotan, Critshfield, 1990): *Pinus contorta* Dougl. var. *contorta* Dougl., *Pinus contorta* Dougl. var. *bolanderi* (Parl.) Vasey, *Pinus contorta* Dougl. var. *murrayana* (Balf.) Engelm un *Pinus contorta* Dougl. var. *latifolia* S. Watson. Klinškalnu priede plaši izplatīta Ziemeļamerikas kontinentā. Tās dabiskais areāls aptver Klusā okeāna rietumu piekrastes un kalnu rajonus ASV un Kanādā no 34° - 64° N platumam. Tā ir viena no visplašāk izplatītajām koku sugām pasaulē. Sastopama līdz pat 3900 m augstumā v.j.l. (Karlman, 1993). Valdošā koku suga ap 6 milj. ha mežaudžu ASV un 25 milj. ha Kanādā (Lotan, Critshfield, 1990). Ekoloģiski plastiska suga, spēj apdzīvot plašu ekoloģisko amplitūdu (Karlman, 1993). Sastopama 27 no 55 izdalītajiem meža tipiēm Ziemeļamerikas kontinentālajā boreālo mežu zonā (Lotan, Critshfield, 1990). Plašajā areālā suga pielāgojusies būtiski atšķirīgiem klimatiskajiem apstākļiem, kur minimālās gaisa temperatūras svārstās robežās no -7° C piekrastes reģionos, līdz pat -57° C kalnu rajonos un maksimālās temperatūras attiecīgi no +27° C piekrastē un kalnu rajonos līdz pat +38° C zemienēs un plakankalnēs. Izturīga pret salnu bojājumiem (Cochran, Berntsen, 1973). Klinškalnu priedes sēklu dīdžība un ieaugšana labi notiek dažādos meža augšanas apstākļos, un tas ļauj priedei labi augt gan nabadzīgās, gan barības vielām bagātās augsnēs (Despain, 2001). Klinškalnu priede labi aug nabadzīgās augsnēs (Sheppard, Cannel, 1985), spējīga augt gan sausās, gan mitrās augsnēs (Elfving et al., 2001), pat augstajos sfagnu purvos un Klusā okeāna piekrastes kāpās (Cinovskis, 1992). Tās pioniersugas īpašības - spēja atjaunoties pēc ugunsgrēkiem un strauja augšana juvenīlā vecumā - nodrošina ātru platību apmežošanu (Elfving et al., 2001).

Klinškalnu priede ASV un Kanādā tiek uzskatīta kā saimnieciski nozīmīga koku suga (Elfving et al., 2001), un tādēļ, veicot introdukciju, tā tiek izmantota tālu ārpus sava dabiskā areāla izplatības robežām. Sakarā ar tās plašo apkārtējās vides toleranci Klinškalnu priede kā eksotiska suga introducēta gan ziemeļu, gan dienvidu puslodē (Elfving et al., 2001). Tā introducēta visās Ferroskandināvijas valstīs – Dānijā, Somijā, Norvēģijā, Zviedrijā un Islandē (Lindelöw, Björkman, 2001), kā arī citur pasaulē – Skotijā, Īrijā, Vācijā, Jaunzēlandē, Britu salās u.c. (Elfving et al., 2001, Hicks et al., 2003, Stephan, Lieserbach, 1995, Pfeifer, 1993). Tomēr šobrīd nozīmīgākie stādījumi ir ierīkoti Zviedrijā (Lindelöw, Björkman, 2001).

### 2.2. Introdukcija Latvijā

Pēc literatūrā minētās informācijas sākotnēji Klinškalnu priede Latvijā introducēta, stādot atsevišķus kokus vai koku grupas dārzos un parkos (Valmieras raj., Salaspils Botāniskajā dārzā, MPS „Kalsnava” u.c.) (Saliņš, 1971). Ap 1930. gadu Skrīveru dendrārijā iestādītas 16 var. *latifolia* priedes (Cinovskis u.c., 1991). Nelielās platībās 0,1 - 0,5 ha Skrīveros un Bukultos meža zemēs šī priede stādīta ap 1930. gadu. Skrīveru stādījumu praktiski nopostīja 1969. gada vējgāze (Звиргзд,

1972; Мауринь, 1970). No pirmskara gados stādītajām audzēm vienīgā nozīmīgākā *P. contorta* audze, kas stādīta mistrojuma ar duglāziju mētrājā ir saglabājusies Bukultos 0,2 ha platībā (sākotnēji stādījums bija 0,5 ha), un 22 gadu vecumā sasniedza 10,5 m augstumu, 10,6 cm caurmēru un krāju 98 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, tādejādi pārsniedzot *P. sylvestris* augstumu par 24,5 % un caurmēru par 14,3 % (Салинь, 1964). Veicot šī stādījuma inventarizāciju 1986. gadā, konstatēts, ka koku vidējais augstums ir 18,5 m, caurmērs 18,3 cm un krāja, rēķinot pēc parastas priedes augšanas gaitas tabulām, 240 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, pārsniedz blakus esošās parastās priedes audžu krāju par 20 % (Pīrāgs, 1973). Kā norāda K. Sakss (1949), introducēto koku stādījumiem neapšaubāmi ir arī mežsaimnieciska nozīme, un tos var izmantot reproduktīvā materiāla ievākšanai un audzēšanai mūsu valstī. A. Mauriņš (1967) pagājušā gadsimta 60-jos gados veica regulārus sēklu ražošanas dinamikas pētījumus introducētām 26 skujukoku un 79 lapu koku sugām, izdalot labākos introducentu māteskokus, un secināja, ka vienas sugas ietvaros koki pēc to ziedēšanas intensitātes un sēklu ražošanas spējas, kā arī sēklu kvalitātes var atšķirties 3 - 60 reizes. Pētījumu rezultātā tika izdalīti 9 labākie *P. contorta* Latvijas apstākļos auguši māteskoki, kuri auga Valmieras rajonā (Мауринь, 1967).

Pirmos zinātniskos Klinškalnu priedes stādījumus, sadarbojoties ar Zviedrijas mežkopjiem, no 1979. - 1981. gadam, izmantojot dažādu provenienču sēklu materiālu, Bauskas, Tukuma, Ugāles un Kuldīgas MRS ierīkoja I. Baumanis un J. Birģelis (Baumanis, Birģelis, 1993). Stādījumu ierīkošanai izmantots 10 ārzemju provenienču (50<sup>o</sup> - 60<sup>o</sup> Z platuma un 600 - 1400 m.v.j.l.), 2 Bukultu audzē ievākts nezināmas izcelsmes *P. contorta* sēklu materiāls un kontroles stādījumam vietējais *P. sylvestris* sēklu materiāls. Stādīti gadu veci siltumnīcā audzēti sējeņi (Baumanis u.c., 1986). Veicot stādījumu uzmērīšanu 7 gadu vecumā, novērotas būtiskas koku augstuma atšķirības starp proveniencēm. Salīdzinot ar *P. sylvestris*, konstatēta labāka stādu saglabāšanās: Klinškalnu priedei 79 % - 94 %, parastajai 40 % - 69 %, ko daļēji var izskaidrot ar skuju bīres infekciju, no kuras *P. contorta* necieš. Vērtējot augšanas gaitu, lielākā daļa provenienču (aptuveni 80 %) uzrādīja labākus rezultātus par vietējo *P. sylvestris* (Baumanis u.c., 1992). Kā norāda V. Lange u.c. (1978), Latvijas apstākļos *P. contorta*, kas stādīta vidēji auglīgās un auglīgās augsnes, pārspēj parasto priedi, bet nabadzīgos augšanas apstākļos (SI) uzrāda vājākus augšanas rezultātus.

### 2.3. Būtiskākie sugu ietekmējošie biotiskie un abiotiskie faktori

**Slimības.** Dabiskajā areālā *P. contorta* audzēm, augošām mitros vai pārmitros apstākļos, liela apmēra postījumus rada priežu skuju bīre *Lophodermella concolor* (Dearn.) Darker. Būtiski Klinškalnu priedes augšanas gaitu ietekmē arī tumšā celmene (*Armillaria ostoyae* Romagn.). (Hallett, Volney, 1999).

Zviedrijā veiktajos pētījumos konstatēts, ka introducētajai *P. contorta*, it sevišķi plantācijās, kas ierīkotas neizmantojamās lauksaimniecības zemēs, tik ātri nenorit mikorizācija, kā rezultātā *P. contorta* audzēs strauji izplatās sakņu trapes infekcija (*Heterobasidium annosum* (Fr.) Bref.) (DelaTour et al., 1998, Fiodorov, 1998). 1987. gadā Klinškalnu priedes izcelsmju un pēcnācēju izmēģinājuma vietās, kā arī rūpnieciskajos stādījumos sāka novērot smagus skuju koku dzinumumu vēža *Gremmeniella abietina* bojājumus, kā arī *Scleroderma* rūsas bojājumus. Sākotnēji bojājumu intensitāti saistīja ar ekstremālajiem laikapstākļiem (Karlman, 2001). Lai gan likās, ka situācija nav kritiska, tad pēc patogēnu pētījumu rezultātiem atklājās, ka šī infekcija nopietni apdraud šīs priedes plantācijas (Karlman, 1993). Vēlākajos gados Zviedrijas *P. contorta* audžu inficēšanās strauji turpinājās, un joprojām ik gadus šīs infekcijas slimības dēļ Zviedrijas ziemeļu daļā aiziet bojā ievērojamas *P. contorta* platības (Karlman, 1994). Galvenie secinājumi, kas iegūti, pētot *G. abietina* u.c. parazitisko sēņu izplatību un inficēšanās riskus, ir, ka Klinškalnu priede ir uzņēmīgāka pret dažādām sēņu infekcijām, un, ka viens no galvenajiem nosacījumiem koku rezistencei pret parazitiskajām sēnēm ir izcelsmes vietas izvēle (Kamp, Karlman, 1993).

**Kaitēkļi.** Klinškalnu priedes audzēs bieži novērojami apjomīgi patogēnu un kukaiņu izraisīti bojājumi, un daudzos gadījumos audzes uzņēmību pret biotiskajiem faktoriem nosaka gan vide, gan audzes ģenētiskās īpašības (Ying, 1993). Priežu mizgrauža (*Dendroctonus ponderosa* Hopk.) uzbrukumi ir ļoti nopietna problēma ASV rietumu daļā un Kanādā.



Skandināvijā, ir novērotas 80 kukaiņu sugas, kas barībā izmanto Klinškalnu priedi (no tām Zviedrijā 61 suga). Secināts, ka vairums kukaiņu sugu ir noteiktu koku sugu ēšanas paradumu speciālistes, un tas, ka šo sugu kukaiņi sākuši barībā izmantot *P. contorta*, var būt izskaidrojams ar to, ka šai sugai ir ar *P. sylvestris* līdzīgas ķīmiskās un morfoloģiskās īpašības (Lindelöw, Björkman, 2001). Turklāt, salīdzinājumā ar parasto priedi, *P. contorta* audzes, sevišķi *G. abietina* un rūsu novārdzinātās, ir daudz uzņēmīgākas pret *D. ponderosa* invāzijām (Karlman, 1993). Pagājušā gadsimta deviņdesmitajos gados daudzus tūkstošus ha platībā *P. contorta* audzēs tika konstatēti priežu rūsganās zāglapsenes (*Neodiprion sertifer* Geoff.) un *Anthonomus phyllocola* Hbst. bojājumi (Karlman, 1993). Citas sugas, kas apdraud Klinškalnu priedi Skandināvijā ir *Pissodes validirostris* Gyll. un *Rhyacionia bouliana* (Lindelöw, Björkman, 2001). Šo priedi bojā arī priežu pūcīte (*Panolis flammea*), kas audzes var būtiski apdraudēt veģetācijas sākuma periodā (Watt, 1992).

**Zīdītāji.** Dabiskajā areālā ļoti būtiskus bojājumus *P. contorta* audzēm (tāpat kā *P. sylvestris* audzēm) nodara alnis (*Alces alces* L.) un dzeloņcūka (*Erethizon dorsatum* L.), kas audzi var pat pilnīgi iznīcināt. Skandināvijā būtiskus bojājumus *P. contorta* audzēm (tāpat kā *P. sylvestris* audzēm) nodara alnis, baltais zaķis (*Lepus timidus* L.), stirna (*Capreolus capreolus* L.) un ziemeļbriedis (*Rangifer tarandus* L.). Jaunaudzēs, sevišķi stādījumos neizmantojās lauksaimniecības zemēs, nopietnus bojājumus var nodarīt pļavas strupaste (*Microtus agrestis* L.), apgraužot koka sakņu kakla mizu, turklāt konstatēts, ka, salīdzinot ar parasto priedi, vairāk bojāta tiek tieši *P. contorta* (Danell, Sjöberg, 1993, Segelbaden, 1993).

**Abiotiskie faktori.** Nopietnus bojājumus *P. contorta* audzēm var nodarīt bieza sniega sega (Ying, 1993), jo pēc ziemām ar dziļu sniega segu novēroti *G. abietina* uzliesmojumi (Karlman, 1993). Klinškalnu priedes vājā sakņu attīstība jaunilā vecumā, salīdzinājumā ar koka ātro augšanas tempu un garajām skujām, rada papildus snieglieču risku jaunaudzes vecumā (Karlman, 1993). Bojājumus Klinškalnu priedes audzēm nodara arī vējš, jo šai priedei nav tik izteikta mietsakne kā *P. sylvestris*; līdz ar to vēja radītie bojājumi (it sevišķi tīraudzēs) ir būtiski un var sasniegt pat 50 %, ko izskaidro ar kļūdām, veicot mākslīgo atjaunošanu (vietas izvēle, sējeņu sakņu sistēmas kvalitāte, augsnes sagatavošana), jo dabiski atjaunojušies koki uzrāda būtiski labākus noturības rādītājus (Elfving et al., 2001). *P. contorta* audzēs novērojamas arī vējplauzes, it sevišķi jaunilā vecumā, tādēļ šo priedi nerekomendē stādīt vietās, kur pastāv vēja bojājumu risks (Lindgren et al., 1993, Elfving et al., 2001).

### 3. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODIKA

#### 3.1. Eksperimentu apraksts

Datu materiāls ievākts I. Baumaņa vadībā ierīkotajos Klinškalnu priedes provenienču pārbaužu stādījumos Ugālē, Kuldīgā, Tukumā, Zvirgzdē un Kalsnavā. Katram stādījumam piešķirts Ilglaicīgā pētnieciskā eksperimenta (objekta) statuss un eksperimenta numurs, kurš tiek lietots gan šeit, gan turpmāk tekstā. Visi eksperimenti iekļauti „Ilglaicīgo pētniecisko objektu reģistrā”, kur atrodama detalizēta informācija par katru no eksperimentiem (Baumanis u.c., 2006).

**Ugāle.** Eksperimenti Nr. 76. un 81. ierīkoti Ventspils novada Ugālē. Eksperiments Nr. 76. ierīkots 1980. gadā, izmantojot 12 provenienču, 1 gadu vecu stādāmo materiālu. Stādīšana veikta 8 atkārtojumos, vienlaidus arumā sagatavotā augsnē, bijušās kokaudzētavas teritorijā. Meža augšanas apstākļu tips - mētrājs, eksperimenta platība - 0,5 ha. Kopšanas cirte audzē nav veikta, Audze uzmērīta 12 gadu vecumā, uzmērot 1685 kokus. Augšanas gaitas salīdzināšanai eksperimentā ierīkotas 4 parastās priedes parces.

Eksperiments Nr. 81. uzsākts 1986. gadā, 4 atkārtojumos stādīti 3 provenienču 3 gadīgi kailsakņu stādi. Audze ierīkotas bijušās meža kokaudzētavas teritorijā, augsnes sagatavošanas veids – vienlaidus arums, MAAT – mētrājs, eksperimenta platība 0,6 ha. Audzē 2008. gadā veikta kopšana, izcērtot katru otro koku. Audze uzmērīta 7 (2417 koki) un 24 (1183 koki) gadu vecumā.

**Tukums.** Eksperiments Nr. 77. ierīkots Tukuma novadā kā paralēlais eksperiments eksperimentam Nr. 76. Eksperiments uzsākts 1980. gadā, bijušās kokaudzētavas teritorijā, vienlaidus arumā 4 atkārtojumos stādīti 12 provenienču 3 gadus veci kailsakņu stādi. Meža

augšanas apstākļi atbilst lānam. Kopējā eksperimenta platība 0,5 ha. Audze uzmērīta 12 gadu vecumā, uzmērot 1539 kokus.

**Kuldīga.** Kuldīgas novadā ir ierīkoti eksperimenti Nr. 80., 84., 356., 358., 359., 702. Eksperiments Nr. 80. uzsākts 1984. gadā, neizmantotā lauksaimniecības zemē, 4 atkārtojumos stādot 9 provenienču 3 gadus vecu stādāmo materiālu. Augšanas apstākļi atbilst lāna meža augšanas apstākļu tipam. Eksperimenta kopējā platība ir 0,5 ha, kopšanas cirte veikta 1995. gadā. Audze uzmērīta 11; 12; 13 un 24 gadu vecumā Uzmērīto koku skaits 11-13 gadu vecumā bija 1045, bet 24 gadu vecumā - 429.

Eksperiments Nr. 84. ierīkots meža zemēs, mētrājā, 1995. gadā. Augsne sagatavota joslās, 4 atkārtojumos stādīti 11 provenienču 2 gadus veci stādi. Eksperimenta platība ir 0,6 ha, kopšanas cirte veikta 2007. gadā. Audze uzmērīta 17 gadu vecumā, kopumā uzmērot 2134 kokus.

Eksperiments Nr. 358. ierīkots 1993. gadā, neizmantotā lauksaimniecības zemē. Augsnes sagatavošanas veids – vienlaidus arums, 4 atkārtojumos stādīti 11 provenienču 3 gadus veci stādi. Augšanas apstākļi atbilst lānam. Kopējā eksperimenta platība ir 0,6 ha. Kopšanas cirte nav veikta. Audze uzmērīta 16 gadu vecumā (uzmērītais koku skaits – 1940).

Eksperiments Nr. 359. ierīkots 1992. gadā, neizmantotā lauksaimniecības zemē. Augsne sagatavota vienlaidus arumā. Stādīšana veikta 4 atkārtojumos, izmantojot 11 provenienču 2 gadus vecu stādāmo materiālu. Augšanas apstākļi atbilst lānam. Eksperimenta platība ir 0,4 ha, kopšanas cirte nav veikta. Audze uzmērīta 18 gadu vecumā, uzmērot 439 kokus.

Eksperiments Nr. 702. arī ierīkots neizmantotā lauksaimniecības zemē 4 atkārtojumos, lānam atbilstošos augšanas apstākļos. Augsnes sagatavošanas veids – vienlaidus arums. Izmantots 14 provenienču 3 gadus vecs stādāmais materiāls. Eksperimenta platība ir 0,9 ha, kopšanas cirte nav veikta, un audzes uzmērīšana, uzmērot 2765 kokus, veikta 16 gadu vecumā.

**Zvirgzde.** Eksperimenti Nr. 79., 82., 704., 705., 706., 707., 708., 749. ierīkoti Vecumnieku novada Zvirgzdē. Eksperiments Nr. 79. ierīkots 1982. gadā, meža zemēs, mētrājā. Augsne sagatavota vagās ar meža arklu. Stādīšanai 4 atkārtojumos izmantots 1 gadu vecs 9 provenienču stādāmais materiāls. Kopējā eksperimenta platība ir 0,5 ha, kopšanas cirte audzē nav veikta. Audze uzmērīta 2 reizes – 10 un 29 gadu vecumā.

Eksperiments Nr. 82. ierīkots 1985. gadā. MAAT – mētrājs, augsne sagatavota vagās. 4 atkārtojumos stādīts 3 provenienču 2 gadus vecs stādāmais materiāls. Eksperimenta platība 1 ha, audzes kopšana veikta 2010. gadā, izcērtot katru otro koku. Audze uzmērīta 9; 13 un 25 gadu vecumā. Eksperimentā uzmērīti 2228 koki.

Eksperiments Nr. 704. ierīkots 1988. gadā. Vagās sagatavotā augsnē 4 atkārtojumos stādīts 2 gadus vecs 5 provenienču stādāmais materiāls. Meža augšanas apstākļu tips – mētrājs, platība 0,5 ha. Audzē kopšana nav veikta, audze uzmērīta (1320 koki) 23 gadu vecumā.

Eksperiments Nr. 705. ierīkots gadu vēlāk, izmantojot 2 gadus vecu 6 provenienču stādāmo materiālu, stādot 4 atkārtojumos. Augsne sagatavota vagās, augšanas apstākļu tips – mētrājs. Audzē nav veikta kopšanas cirte un tā ir uzmērīta 22 gadu vecumā, uzmērot 1381 koku. Eksperimenta platība ir 0,5 ha.

Eksperimenti Nr. 706., 707. un 708. ierīkoti 1991. gadā meža zemēs, mētrājā, 4 atkārtojumos stādot 3 gadus vecu stādāmo materiālu. Visos eksperimentos augsne sagatavota vagās, izmantojot meža arklu. Nevienā no eksperimentiem nav veikta kopšanas cirte. Eksperimenta Nr. 706. platība ir 0,7 ha un ierīkošanā izmantots 7 provenienču stādāmais materiāls (uzmērīti 1730 koki), Nr. 707. – 0,8 ha (uzmērīti 2938 koki), izmantotas 16 proveniencas un Nr. 708. – 0,9 ha (uzmērīti 2223 koki), izmantota 1 proveniencas. Visi eksperimenti uzmērīti 22 gadu vecumā.

**Kalsnava.** Eksperimenti Nr. 83., 750., 751. ierīkoti Kalsnavas novadā, Zinātniskās izpētes mežos, VMD Meža pētīšanas stacijas Kalsnavas meža novadā. Meža augšanas apstākļu tips visos eksperimentos ir mētrājs, un tie ierīkoti meža zemēs. Ierīkošanā izmantots vairāku provenienču stādāmais materiāls, bet nav saglabājusies informācija par provenienču izcelsmi un stādīšanas shēmas. Eksperiments Nr. 83. ir ierīkots 1986. gadā, izmantojot 2 gadus vecu stādāmo materiālu un eksperimenta platība ir 0,5 ha. Veicot eksperimenta uzmērīšanu, uzmērīti 599 koki. Eksperiments Nr. 750. ir ierīkots 0,3 ha platībā, 1986. gadā, stādot 3 gadus vecu stādāmo materiālu (audzi

uzmērot, uzmērīti 343 koki), bet eksperiments Nr. 751. ar platību 1,2 ha, izmantojot 3 gadus vecu stādmateriālu, ierīkots 1997. gadā (eksperimentā uzmērīti 737 koki). Nevienā no eksperimentiem nav veikta kopšanas cirte. Eksperimenti uzmērīti 2011. gadā.

### 3.2. Lauka darbu metodika

Visos eksperimentos katram kokam uzmērīts augstums, krūšaugstuma caurmērs. Daļā eksperimentu fiksēti un uzmērīti pārnadžu – atgremotāju nodarītie bojājumi – mizas plēsumi vai berzumi. Fiksēti padēli līdz 2 m augstumam un virs 2 m augstuma, fiksēti koki ar 2 un vairāk stumbriem. Par koku ar vairākiem stumbriem uzskatīts koks, kuram ir izveidojušās 2 vai vairākas galotnes, kas ir līdzīgas pēc caurmēra un augstuma (skat. 2.4. a) attēlu). Par padēlu uzskatīts zars, kurš atdalās no stumbra, attiecībā pret to veidojot šauru leņķi, un kura caurmērs vismaz 3 reizes pārsniedz tuvākajā mieturī esošo zaru caurmēru

Daļā eksperimentu noteikts stumbru taisnuma indekss  $St_t$ , zaru resnuma un zarojuma indekss  $Z_r$ . Abu indeksu vērtības noteiktas ballēs ar vērtējumu 1- 6. Vērtējot stumbra taisnumu, minimālo indeksa vērtību - 1 balli piešķir kokam, kura stubrs ir praktiski taisns, 6 balles, izteikti līkam, nekvalitatīvam stumbram. Līdzīgi vērtē arī zarojuma kvalitāti, 1 balli piešķirot kokam ar proporcionāli tieviem, vienmērīgi izvietotiem zariem 6 balles kokam ar blīvu zarojumu un izteikti resniem zariem. Atsevišķos eksperimentos atzīmēti trupes izraisīto bojājumu rezultātā nokaltušie un vēja gāztie vai lauztie koki.

Klinškalnu priedes biomasas vienādojuma izveidošanai un virszemes biomasas aprēķināšanai 2009./2010. gada ziemas miera periodā stādījumā Nr. 82 ievākti dati no 241 paraugkoka, ietverot visas eksperimentā pārstāvētās 15 Klinškalnu priedes brīvapputes pēcnācēju ģimenes no 3 proveniencēm. Ņemot par pamatu eksperimentā esošo koku caurmēra mērījumus, katrā proveniencē tika izvēlēti 7 paraugkoki - 2 tievajā, 2 un 3 koki vidējā caurmēru grupā. Visi paraugkoki tika nozāģēti, noteikts precīzs koka garums, uzmērīti mieturu un starpmieturu attālumi no stumbra resgaļa, fiksēts zaļā vainaga augstums, katrā mieturī noteikts viena, pēc nejaušības principa izraudzīta, zaļā zara caurmērs un garums. Tālāk veikta stumbru marķēšana, atzarošana, sauso zaru svēršana, zaļo zaru (ar skujām) svēršana pa vainaga ceturtdaļām, stumbru sagarumošana 1 m sekcijās un sekciju masas noteikšana, šķērsriezuma ripu un mitruma paraugu ievākšana no sekciju galiem un zariem. No katras vainaga ceturtdaļas izvēlēts viens paraugzars, tā, lai tā caurmērs atbilstu vainaga ceturtdaļas zaru vidējam diametram, zaru masas un skuju masas noteikšanai. Pieauguma noteikšanai un tā dinamikas analizēšanai daļai koku ievāktas paraugripas. Izvēlēto paraugkoku vidējais caurmērs  $10,7 \pm 0,31$  cm un augstums  $10,7 \pm 0,31$  m Skuju masas novērtējums iegūts 17 kokiem, kas reprezentē caurmēra sadalījumu eksperimentā, izvēloties paraugzarus no katras vainaga ceturtdaļas, kas reprezentē vidējo zara caurmēru un garumu šajā ceturtdaļā, atdalot tā skujas, un nosverot atsevišķi zaru un skujas. Tāpat iegūti dati no 31 paraugkoka (eksperiments Nr. 704), kam katrā vainaga ceturtdaļā skujas atdalītas no visiem zariem un atsevišķi nosvērti gan zari, gan skujas. Dati par mizas blīvumu un mitrumu iegūti no 22 paraugkokiem dažādās caurmēra pakāpē dažādā augstumā stumbrā. Dati par skuju mitrumu iegūti no 14 paraugiem dažādās vainaga ceturtdaļās dažādu Krafta klašu kokiem.

Koksnes mehānisko īpašību noteikšanai paraugkoki ievākti eksperimentos Nr. 82. Nr. 83. un Nr. 750. Paraugkoki izvēlēti tā, lai to izvietojums būtu vienmērīgs visā eksperimentā, un iegūtie dati reprezentētu koksnes fizikāli mehāniskās īpašības. Lai iegūtu datus koksnes īpašību salīdzināšanai ar parasto priedi, materiāls ievākts arī blakus esošajās tāda pat vecuma *P. sylvestris* audzēs. Kopumā nocirsti 57 *P. contorta* un 24 *P. sylvestris* paraugkoki, kas sagarumoti 2 m garos sortimentos ar minimālo tievgaļa caurmēru 8 cm. No sortimentiem izzāģēti radiālie zāgmateriāli, lai iegūtu testēšanas paraugus mehānisko īpašību noteikšanai.

### 3.3. Laboratorijas darbu metodika

Laboratorijas apstākļos veikti sekojoši pētījumi:

1. Klinškalnu un parastās priedes zaru un skuju biomasas noteikšana, koksnes mitruma noteikšana;
2. koksnes mehānisko īpašību noteikšana.

***Klinškalnu un parastās priedes zaru un skuju biomasas noteikšana, koksnes mitruma noteikšana.*** Veicot zaru un skuju biomasas noteikšanu, zari tika nosvērti dabiski mitrā stāvoklī, atskujoti, iegūstot zara masu bez skujām un zara skuju biomasu. No katra zara tika paņemts paraugs zaru mitruma noteikšanai, un no skujām aptuveni 20 g iesvars skuju mitruma noteikšanai. Gan zara, gan skuju paraugs tika žāvēts līdz absolūti sausam stāvoklim, iegūstot dabiski mitra un absolūti sausa parauga masas starpību. Paraugripas tika svērtas pirms žāvēšanas, žāvētas līdz absolūti sausam stāvoklim, iegūstot masas starpību koksnes mitruma aprēķināšanai.

Koksnes absolūtais un relatīvais mitrums katrai stumbra sekcijai un zaru zonai tika noteikts saskaņā ar standartu LVS CEN/TS 14774-2.

***Koksnes mehānisko īpašību noteikšana.*** Koksnes mehāniskās īpašības raksturo koksnes spēju pretoties ārējo spēku iedarbībai. Atkarībā no iedarbības rakstura izšķir dinamiskās, īslaicīgās, ilgstošās slodzes un vibrācijas. Par statiskajām slodzēm uzskata slodzes, kas pieaug lēnām un vienmērīgi. Dinamiskās jeb triecienslodzes iedarbojas uz ķermeni pēkšņi un ar noteiktu spēku. Vibrāciju gadījumā uz ķermeni darbojas slodzes, kuru lielums un virziens mainās. Ilgstošās slodzes uz ķermeni iedarbojas ilgstoši, bet to lielumi un virziens mainās minimāli. Pie koksnes mehāniskajām īpašībām pieder tās stiprība, deformējamība un elastība. Koksnes stiprība ir tās spēja pretoties ārējo spēku iedarbībai, kas cenšas to sagraut. Stiprības raksturlielums ir robežstiprība. Tā ir maksimālā stiprība, kas robežojās ar materiāla sagraušanu (Bowyer et al., 2003). Koksnes mehānisko pārbaumu mērķis ir noteikt koku sugas stiprības rādītājus atkarībā no koka vecuma, augšanas apstākļiem un parauga vietas stumbrā (USDA, 1999). Nosakot koksnes mehāniskās īpašības, tika noteikta koksnes deformējamība, ko raksturo koksnes elastības modulis spiedē un liecē. Elastības moduļa vērtības spiedē un liecē praktiski neatšķiras. Koksnes robežstiprība arī tika noteikta spiedē un liecē, bet šīs vērtības savstarpēji atšķiras (Lohmann et al., 1995). Nedaudz atšķiras arī šo abu mehānisko īpašību noteikšanas metodika (Леонтьев, 1970). Paralēli, nosakot koksnes mehāniskās īpašības, tika noteikts arī koksnes blīvums.

Abu priežu radiālie zāgmateriāli, lai samazinātu koksnes mitrumu un koksne būtu tālāk apstrādājama, tika pakļauti piespiedu žāvēšanai kaltē, iegūstot zāgmateriālus ar koksnes mitrumu 12 % – 16 % robežās. Tālākajā apstrādē, no radiālo zāgmateriālu bezzaru zonas tika izgatavoti koksnes paralēlskalda formas standartparaugi koksnes fizikāli mehānisko īpašību noteikšanai ar leņķi starp skaldnēm maksimāli tuvu 90<sup>0</sup> un izmēriem 20 x 20 x 400 mm un 20 x 20 x 30 mm. Paraugi izgatavoti un atlasīti saskaņā ar Vācijas nacionālo standartu DIN 52180 (DIN 52180, 1992). Pirms paraugu testēšanas tie 14 diennaktis tika pakļauti kondicionēšanai jeb koksnes mitruma izlīdzināšanai kondicionēšanas kamerā, kurā gaisa relatīvais mitrums ir 65 ± 5 % un temperatūra 20 ± ± 2<sup>0</sup> C, iegūstot konstantu koksnes mitrumu un masu visiem koksnes paraugiem. Paraugus atļauts testēt, ja kondicionēšanas procesā to masa, paraugus sverot ar divu stundu intervālu, nemainās vairāk par 0,1 % (DIN 5014, 1992). Rezultātā tika iegūti un testēti standartparaugi ar mitrumu 13 % Klinškalnu priedes un 12,5 % parastās priedes paraugiem. Tā kā paraugu mitruma atšķirību 0,5 % robežās standarts pieļauj, iegūtie rezultāti ir savstarpēji salīdzināmi. Jāatzīmē, ka sakarā ar to, ka visi sortimenti, kuri izmantoti standartparaugu sagatavošanai, ir ar nelielu (8 - 15 cm) tievgaļa caurmēru, nav iespējams iegūt atsevišķus aplievas un kodola koksnes paraugus, līdz ar to lielākajā daļā testēšanas paraugu ir pārstāvēta gan aplievas, gan kodolkoksne. Veicot standartparaugu bez koksnes vainām testēšanu, tiek noteiktas ideālās koksnes mehāniskās īpašības ar zemu datu izkliedi, taču iegūtie dati neatspoguļo koksnes vainu, piemēram, zaru ietekmi uz tās mehāniskajām īpašībām.

Koksnes blīvums noteikts saskaņā ar Vācijas nacionālā standarta DIN 52182 prasībām (DIN 52182, 1992), koksnes paraugu nosverot un ar bīdmēru nosakot parauga šķērsriezuma izmērus sānu skaldnes vidū, kā arī augstumu ar precizitāti 0,1 mm. Blīvums (g·cm<sup>-3</sup>) izrēķināts matemātiski kā masas un tilpuma attiecība. Koksnes parauga izmēri 20 x 20 x 30 mm. Paraugu izmēru atšķirības nedrīkst pārsniegt 0,5 %.

Koksnes stiprības noteikšana spiedē šķiedru virzienā noteikta saskaņā ar Vācijas nacionālā standarta DIN 52185 prasībām (DIN 52185, 1992). Paraugs tiek slogots tā, lai parauga garenass sakristu ar slogošanas sistēmas asi. Spiedes spēks tiek pielikts ar konstantu ātrumu tā, lai maksimālais spēks tiktu sasniegts  $1,5 \pm 0,5$  minūtēs. Paraugu izmēru atšķirības starp paraugiem nedrīkst pārsniegt 0,5%. Pārbaudes rezultātā tiek iegūts koksnes robežstiprības spiedē rādītājs, ko izsaka  $N/mm^2$ .

Koksnes īpašību pārbaude statistiskajā liecē veikta saskaņā ar Vācijas nacionālā standarta DIN 52186 prasībām (DIN 52186, 1992), paraugu slogojot trišpunktu liecē. Attālums (300 mm) starp parauga atbalsta punktiem ir 15 reizes lielāks par parauga augstumu (20 mm). Slogošanas spēks tiek pielikts parauga vidū. Nosakot paraugu statistiskās lieces stiprību, paraugi tiek slogoti vienmērīgi, bez triecieniem līdz sagrāvei. Sagrāves maksimālais spēks tiek sasniegts  $1,5 \pm 0,5$  minūtēs. Paraugu izmēru atšķirības starp paraugiem nedrīkst pārsniegt 0,5 %. Parauga izmēri  $20 \times 20 \times 360$  mm. Pārbaudes rezultātā tiek iegūts koksnes robežstiprības liecē rādītājs, ko izsaka  $N/mm^2$ , un koksnes elastības modulis  $N/mm^2$ .

Koksnes īpašības noteiktas ar Materiālu stiprības pārbaudes iekārtu „ZWICK Z100”, kas aprīkota ar digitālu mērīšanas sistēmu, kas saslēgta ar portatīvo datoru datu reģistrēšanai.

### 3.4. Aprēķinu metodika

Aprēķinu veikšanai un datu matemātiskajai apstrādei galvenokārt izmantotas datorprogrammas *Ms Excel* piedāvātās iespējas (Arhipova, Bāliņa, 2006). Provenienču un eksperimentu līmenī noteiktas parametru vidējās vērtības un ticamības intervālu vērtības. Koku saglabāšanās rēķināta, attiecinot uzmērīšanas laikā fiksēto (uzskaitīto) dzīvo koku skaitu eksperimentā pa proveniencēm pret sākotnējo koku skaitu katrā proveniencē. Saglabāšanās rēķināta proveniencēs līmenī, nevis katrā no atkārtojumiem. Pārējie koku kvalitāti raksturojošie procentos izteiktie rādītāji rēķināti proveniencēs līmenī, attiecinot koku ar konkrēto pazīmi skaitu, pret kopējo koku skaitu proveniencē. Trupes infekcijas rezultātā bojā gājušo koku īpatsvars iegūts, attiecinot kaltošo koku skaitu pret sākotnējo koku skaitu. Datu apstrādē izmantota aprakstošā statistika, dispersijas un korelācijas analīzes.

***Stumbra tilpuma aprēķini.*** Stumbra tilpumu Klinškalnu priedei Latvijā var aprēķināt, izmantojot citās valstīs šai sugai izstrādātos vienādojumus. Novērtēti Islandē (Snorrason, Einarsson, 2004), Nīderlandē (Dik, 1984) un Zviedrijā (Eriksson, 1973) dažādām valsts daļām izstrādātie vienādojumi, kas apkopoti D. Zianis izveidotajā datu bāzē (Zianis et al., 2005). Salīdzinot stumbra tilpumus, kas aprēķināti ar I. Liepas formulu (Liepa, 1996), ar minētajām citās valstīs izstrādātajām, konstatētas ievērojamas atšķirības rezultātiem, kas iegūti ar formulām no klimatiski atšķirīgākajām teritorijām – Nīderlandes un Islandes (vidējā starpība pēc modulārās vērtības attiecīgi 10 % un 13 %). Tāpat nozīmīgas atšķirības (22 – 24 %) ir ar Zviedrijas apstākļiem izstrādāto formulu, kas paredzēta stumbra un resno zaru kopējā tilpuma aprēķināšanai. Stumbra tilpums, kas aprēķināts ar Zviedrijas apstākļiem izstrādāto formulu, līdzīgs tam, kas aprēķināts ar I. Liepas stumbra tilpuma formulu parastajai priedei (atšķirības vidēji 3 %). Ņemot vērā, ka klimatiski un pēc augsnes apstākļiem situācija Latvijā ir līdzīgāka situācijai Zviedrijā nekā Nīderlandē un Islandē, kā arī konstatētās nelielās novirzes stumbra formā parastajai un Klinškalnu priedei, darba ietvaros *Pinus contorta* stumbra tilpums aprēķināts ar Eriksson (1973) izstrādāto formulu (publicēta Zianis et al., 2005):

$$V_{cont.} = 0,1121d^2 + 0,0287d^2h - 0,000061d^2h^2 - 0,9176dh + 0,1249dh \quad (1)$$

kur:

- $V_{cont.}$  – Klinškalnu priedes stumbra tilpums, m<sup>3</sup>;
- $d$  – krūšaugstuma caurmērs, cm;
- $h$  – koka augstums, m.

Parastās priedes stumbra tilpums aprēķināts pēc I. Liepas izstrādātās stumbra tilpuma aprēķināšanas formulas, skat. formulu 3.2. (Liepa, 1996):

$$V_{Sylv.} = 1,6541 \cdot 10^{-4} L^{0,56582} d^{0,25924lgL+1,59689} \quad (2)$$

kur:

- $V_{Sylv.}$  – parastās priedes stumbra tilpums, m<sup>3</sup>;
- $d$  – krūšaugstuma caurmērs, cm;
- $h$  – koka augstums, m.

**Produktivitāte un saglabāšanās.** Saglabāšanās dažādā eksperimentu audžu vecumā nozīmīgi atšķiras. Lai nodrošinātu iespēju salīdzināt krāju dažādā audzes vecumā uzņēmītos eksperimentos ar atšķirīgu saglabāšanos, un konstatēt produktīvākās proveniences, izstrādāti vienādojumi saglabāšanās un audzes vecuma sakarības raksturošanai. Konstatēts, ka saglabāšanās izmaiņas eksperimentu ietvaros visprecīzāk raksturo polinoma vienādojumi (Klinškalnu priedei: 3.3, parastajai priedei: 3.4). Ņemot vērā ievērojamās saglabāšanās atšķirības viena vecuma audzēs, izstrādāto vienādojumu determinācijas koeficienti nav augsti (attiecīgi  $R^2 = 0,47$  un  $R^2 = 0,39$ ).

$$S_{a.cont} = -0,563a^2 + 23,19a - 161 \quad (3)$$

kur:

- $S_{a.cont}$  – saglabāšanās noteiktā vecumā, %;
- $a$  – eksperimenta audzes vecums, gadi.

$$S_{a.sylv} = -0,37x^2 + 14,73x - 89,52 \quad (4)$$

kur:

- $S_{a.sylv}$  – saglabāšanās noteiktā vecumā, %;
- $a$  – eksperimenta audzes vecums, gadi.

**Koksnes mitrums mehāniskās īpašības.** Aprēķinot koksnes stiprības rādītājus, to vērtības tika iegūtas pēc sekojošām sakarībām (DIN 52 186).

Koksnes blīvuma  $\rho$  aprēķināšanai kondicionētiem koksnes paraugiem ar standartparaugu mitrumu 12,5 % izmantota sakarība:

$$\rho = m(abh)^{-1} \quad (5)$$

kur:

- $\rho$  – koksnes blīvums, g cm<sup>-3</sup>;
- $a$  – parauga platums, cm;
- $b$  – parauga garums, cm;
- $h$  – parauga augstums, cm;
- $m$  – parauga masa, g.

Elastības modulis E aprēķināts pēc sakarības:

$$E = \Delta F l^3 (4bh^3 \Delta f)^{-1} \quad (6)$$

kur:

- E – koksnes elastības modulis,  $N \cdot mm^{-2}$ ;
- $\Delta F$  – slodzes starpība, N;
- l – attālums starp balstu centriem, mm;
- b – parauga platums, mm;
- h – parauga augstums, mm;
- $\Delta f$  – pārvietojuma starpība, mm.

Robežstiprība statistiskajā liecē  $\sigma_1$  noteikta, izmantojot sakarību:

$$\sigma_1 = 3Fl(2bh^2)^{-1} \quad (7)$$

kur:

- $\sigma_1$  – robežstiprība statistiskajā liecē,  $N \cdot mm^{-2}$ ;
- F – graužošā slodze, N;
- l – attālums starp balstu centriem, mm;
- b – parauga platums, mm;
- h – parauga augstums, mm.

Robežstiprība spiedē  $\sigma_2$  - noteikta, izmantojot sakarību:

$$\sigma_2 = F(bh)^{-1} \quad (8)$$

kur:

- $\sigma_2$  – robežstiprība spiedē,  $N \cdot mm^{-2}$ ;
- F – graužošā slodze, N;
- b – parauga platums, mm;
- h – parauga augstums, mm.

Koksnes absolūtais un relatīvais mitrums noteikts atbilstoši standartam LVS CEN/TS 14774-2:2010, izmantojot sakarības:

$$W_{rel.} = ((m_1 - m_2)m_1^{-1})100 \quad (9)$$

kur:

- $W_{rel.}$  – relatīvais mitrums, %;
- $m_1$  – dabiski mitra parauga masa pirms žāvēšanas, g;
- $m_2$  – absolūti sausa parauga masa, g.

$$W_{abs.} = ((m_1 - m_2)m_2^{-1})100 \quad (10)$$

kur:

- $W_{abs.}$  – absolūtais mitrums, %;
- $m_1$  – dabiski mitra parauga masa pirms žāvēšanas, g;
- $m_2$  – absolūti sausa parauga masa, g.

## 4. PĒTĪJUMA REZULTĀTI

### 4.1. Klinškalnu priedes produktivitāte stādījumos Latvijā

Produktivitātes analīzei visi eksperimenti sadalīti grupās pēc koku vecuma uzmērīšana laikā:

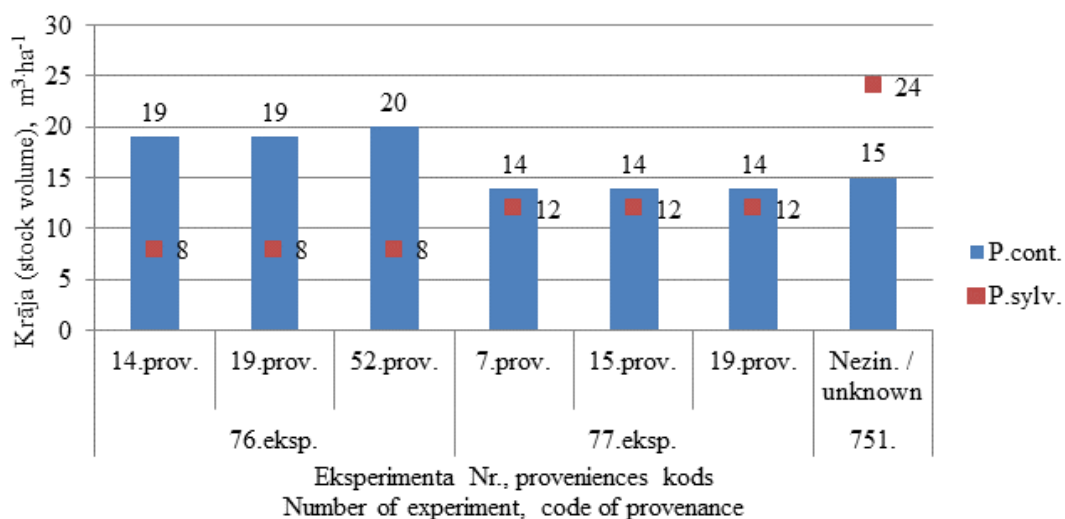
- 1) 12 gadi – eksperimenti Nr. 76., Nr. 77. un Nr. 751.;
- 2) 16 - 18 gadi – eksperimenti Nr. 358., Nr.702., Nr.704., Nr.84. un Nr. 359.;
- 3) 22 gadi – eksperimenti Nr.707., Nr. 83., Nr. 750., Nr.705., Nr.706. un Nr.708.;
- 4) 24 un 29 gadi - eksperimenti Nr.81., Nr. 82., Nr. 80. un Nr. 79.

Par galvenais kritēriju produktivitātes raksturošanai izmantota krāja. Lai izslēgtu vecuma ietekmi uz koku saglabāšanos, ar polinoma vienādojumu (3) Klinškalnu priedei un (4) parastajai priedei aprēķināta konstanta saglabāšanās provenienču līmenī. Viena koka stumbra tilpums katrai sugai aprēķināts, izmantojot formulas (1) un (2) un, izmantojot iegūtos rezultātus (ņemot vērā saglabāšanos), aprēķināta krāja uz hektāra, ņemot vērā konkrētā eksperimenta dizainu (parcelu platību). Informācijas par produktīvākajām proveniencēm apkopšanai, ģeogrāfisko izcelsmju likumsakarību novērtēšanai un salīdzinājuma ar parasto priedi eksperimentā atlasītas 3 proveniences ar lielāko krāju uz hektāra.

**Pirmās vecuma grupas (12 gadi) eksperimentu produktivitāte.** Divi šajā grupā iekļautie eksperimenti ir ierīkoti vienā gadā kā paralēlie stādījumi – Nr. 76. Ugālē, Nr. 77. Tukumā. Klimatiskie apstākļi abās stādījuma vietās Latvijas rietumu daļā ir līdzīgi, izmantots vienādas izcelsmes un vecuma stādmateriāls, arī augsne abos eksperimentos gatavota vienādi – vienlaidus arumā. Trešais eksperiments (Nr. 751.) ierīkots Kalsnavā: tāpat bargākos klimatiskajos apstākļos, augsne sagatavota vienlaidus arumā, augsnes auglība vāja. Vērtējot provenienču produktivitāti (4.1. att.), konstatēts, ka visaugstākā tā ir eksperimentā Nr. 76., mētrājā. Lai gan 77. eksperiments ierīkots lānā (tāpat auglīgākā augsnē), gan Klinškalnu, gan parastās priedes produktivitāte ir zemāka. Kalsnavas eksperimenta mētrājā Klinškalnu priedes produktivitāte ir līdzīga 77. eksperimenta produktivitātei. Vērtējot parastās priedes produktivitāti, visaugstākā tā ir Kalsnavas eksperimentā –  $24 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , nozīmīgi pārspējot pārējo eksperimentu parastās priedes krāju. Kopumā šajā vecuma grupā visproduktīvākie ir Zviedrijas audžu  $50^\circ\text{Z.p.}$  un  $54^\circ\text{Z.p.}$ , kā arī Latvijas Bukultu audzes otrās pakāpes pēcnācēji, kas Ugāles eksperimentā parasto priedi pārspēj vairāk kā 2 reizes. Arī Tukuma eksperimentā Klinškalnu priedes produktivitāte ir augstāka kā parastajai priedei, tomēr pārkums nav tik izteikts – 16 %. Turklāt gan viena, gan otra eksperimenta produktīvākās proveniences labus augšanas rādītājus uzrāda abos eksperimentos. Kalsnavas eksperimentā, kur Klinškalnu priedes izcelsme nav zināma, parastā priede uzrāda būtiski augstāku produktivitāti. Tas izskaidrojams galvenokārt ar augsnes auglības īpašībām. Maksimālā krāja ko sasniedz Klinškalnu priede 16 gadu vecumā ir  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

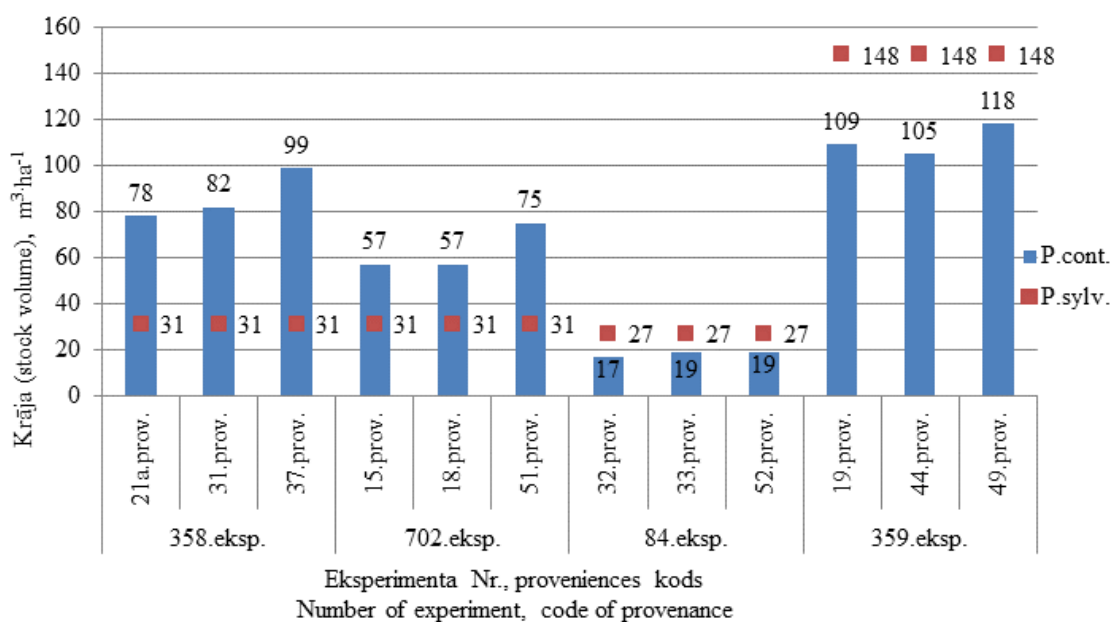
**Otrās vecuma grupas (16-18 gadi) eksperimentu produktivitāte.** Šajā grupā iekļautie četri eksperimenti – Nr. 358., 359., 702. un 84. atrodas Kuldīgā. Turklāt trīs no tiem, izņemot N. 84. ir ierīkoti bijušās lauksaimniecības zemēs vai kokaudzētavas teritorijā, vienlaidus arumā sagatavotā augsnē. Nr. 84 ierīkots meža zemēs, mētrājā. Eksperimenti Nr. 358. un 702. uzmērīti 16 gadu vecumā, Nr.84. – 17, bet Nr. 359. – 18 gadu vecumā. Visaugstākā produktivitāte ir eksperimentam Nr. 359. (platībā uz dziļas kūdras augsnes), kurā atsevišķu provenienču krāja 18 gadu vecumā sasniedz pat  $105 - 118 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , taču ievērojami atpaliek no parastās priedes krājas, kas sasniedz  $148 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  (4.1. att.). Viszemākā produktivitāte šajā vecuma grupā ir eksperimentā Nr. 84. ( $17-19 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ). To daļēji izskaidro nabadzīgā smilts augsne, daļēji nozīmīgi pārnadžu postījumi (stādījumā lielākajai daļai koku konstatēti stumbra defekti), kas varētu būt kavējuši koku normālu augšanu jaunaudzēs vecumā. Pārējos divos eksperimentos Klinškalnu priede, salīdzinot ar parasto, ir produktīvāka, to pārspējot 2 un vairāk reizes. Visaugstāko produktivitāti 2. vecuma grupā uzrāda Latvijas audžu pēcnācēji (Skrīveri, Bukulti) Zviedrijas audžu  $50^\circ\text{Z.p.}$  un  $54^\circ\text{Z.p.}$  pēcnācēji, un Kanādas  $55^\circ30' - 56^\circ\text{Z.p.}$  proveniences. Kopumā šajā vecuma grupā atbilstošos augšanas apstākļos Klinškalnu priede uzrāda ievērojamu produktivitātes pārkumu.





4.1. att. Produktīvāko Klinškalnu priedes provenienču un parastās priedes krāja  
1. vecuma grupā

Fig 4.1. The stock volume of Scots pine and the best provenances of lodgepole pine at the first age group

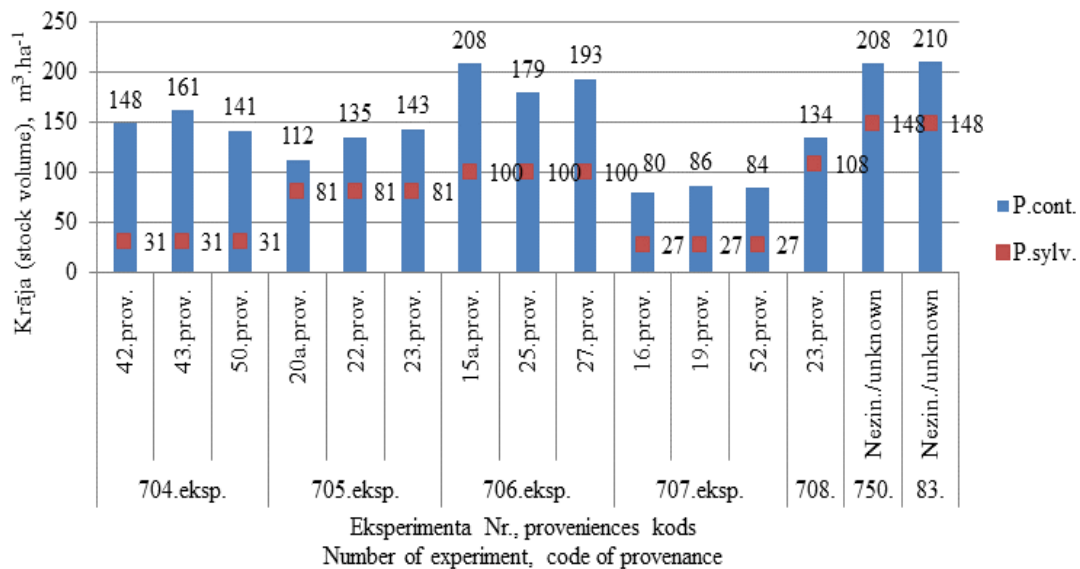


4.2. att. Produktīvāko Klinškalnu priedes provenienču un parastās priedes krāja  
2. vecuma grupā

Fig 4.2. The stock volume of Scots pine and the best provenances of lodgepole pine at the second age group

**Trešās vecuma grupas (22 gadi) eksperimentu produktivitāte.** Šajā grupā pārstāvētie eksperimenti ir ierīkoti Zvirgzdē un Kalsnavā. Visi eksperimenti ir ierīkoti meža zemēs, MAAT – mētrājs, augsne sagatavota vagās, uzmērīšana veikta 22 gadu vecumā. Eksperimentos Klinškalnu priedes produktivitāte variē 80 – 210 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, turklāt pārspēj parastās priedes produktivitāti (atsevišķas proveniencas uzrāda pārākumu līdz pat 2 reizēm) (4.3. att.). Vislabākie augšanas rezultāti konstatēti Kalsnavas paralēlajos eksperimentos Nr. 83. un Nr. 750., kuros Klinškalnu

priedes krāja pārsniedz  $200 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , taču nav saglabājusies informācija par eksperimentā izmantoto provenienču izcelsmi. Visaugstāko produktivitāti uzrāda Zviedrijas audžu  $50^\circ \text{Z.p.}$  un  $54^\circ \text{Z.p.}$ , Zviedrijā veikto Klinškalnu priedes provenienču krustojumu klonu pēcnācēji ( $60^\circ \text{Z.p.}$ ) un Bukultu audzes pēcnācēji. Augsta produktivitāte konstatēta Kanādas  $55^\circ 30' - 56^\circ \text{Z.p.}$  proveniencēm. Kopumā jāsecina, ka 22 gadu vecumā visos eksperimentos Klinškalnu priedes produktivitāte ir ievērojami augstāka kā parastajai priedei, sasniedzot krāju līdz pat  $210 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .



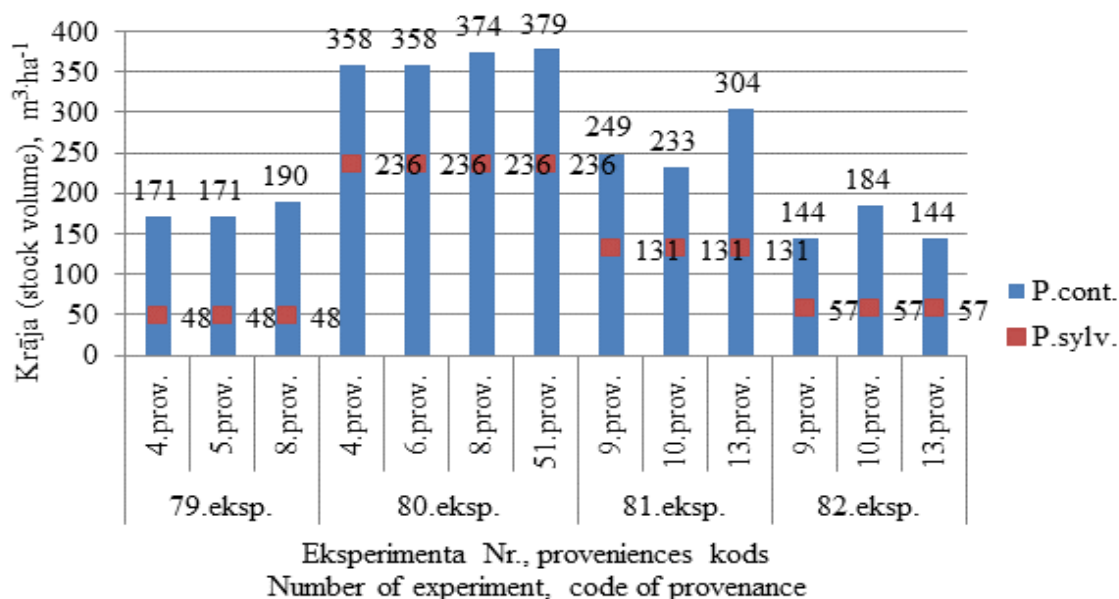
#### 4.3. att. Produktīvāko Klinškalnu priedes provenienču un parastās priedes krāja 3. vecuma grupā

Fig. 4.3. The stock volume of Scots pine and the best provenances of lodgepole pine at the third age group

**Ceturtās vecuma grupas (24 un 29 gadi) eksperimentu produktivitāte.** Vecuma grupā iekļautie eksperimenti atrodas Ugālē (Nr. 81.), Kuldīgā (Nr. 80.) un Zvirgzdē (Nr. 79., Nr. 82.). Eksperiments Nr. 79. uzmērīts 29 gadu vecumā, pārējie 24 gadu vecumā. Visos eksperimentos Klinškalnu priedes produktivitāte pārspēj parasto priedi (4.4. att.), dažos, piemēram, Nr. 79. atšķirība pārsniedz 3 reizes. Visaugstākā produktivitāte -  $358 - 379 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  konstatēta Zvirgzdes eksperimentā Nr. 80. Arī viszemākā produktivitāte ( $144 - 184 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) Klinškalnu priedei šajā vecuma grupā, konstatēta tieši Zvirgzdē. Tā kā klimata režīms abos objektos ir identisks, tad nozīmīgās atšķirības ir skaidrojamas ar dažādu augsnes auglību un provenienču ģenētiskajām īpašībām. Jāatzīmē, ka Ugāles eksperimenta provenienču krāja 29 gadu vecumā ir ievērojami zemāka par abu produktīvāko Zvirgzdes eksperimentu krāju. Tā kā klimata režīma atšķirības starp Ugāli un Zvirgzdi nav tik būtiskas, lai nozīmīgi ietekmētu koku augšanas gaitu, turklāt 79. un 80. eksperimentā augstāko produktivitāti uzrāda vienas un tās pašas proveniences, tad visticamāk, produktivitātes limitējošais faktors ir augsnes auglība. Līdzīgi arī paralēlajos eksperimentos Nr. 81. un Nr. 82. Zvirgzdē (iekļautas identiskas proveniences) produktivitātes atšķirības ir nozīmīgas, ko var izskaidrot tikai un vienīgi ar augsnes auglību.

Visaugstāko produktivitāti šajos eksperimentos uzrāda Latvijas Skrīveru audzes pēcnācēji ( $379 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ), kā arī Kanādas proveniences ar izcelsmi  $50^\circ - 54^\circ \text{Z.p.}$

Kopumā, vērtējot 4 vecuma grupas eksperimentu produktivitāti, jāsecina, ka 24 – 29 gadu vecumā Klinškalnu priede ir ievērojami produktīvāka un, salīdzinot ar *P. sylvestris*, krājas starpība sasniedz 1,6 – 4,1 reizi.



#### 4.4. att. Produktīvāko Klinškalnu priedes provenienču un parastās priedes krāja 4. vecuma grupā

Fig. 4.4. The stock volume of Scots pine and the best provenances of lodgepole pine at the fourth age group

Vērtējot koku saglabāšanos eksperimentu līmenī, visos eksperimentos Klinškalnu priedes saglabāšanās, salīdzinot ar parasto priedi, ir augstāka. Parastās priedes vājos saglabāšanos skaidro ar uzņēmību pret priežu brūno skujbiri (Vuorinen, 2008, Müller, 2007), kas nopietni ietekmēja priedes saglabāšanos pagājušā gadsimta astoņdesmitajos gados (Бауманис 1983, Baumanis 1993), laika periodā, kad tika ierīkoti arī eksperimenti, kuros veikti pētījumi. Vidējās saglabāšanās atšķirība starp sugām ir vidēji 11 %. Arī Somijā, salīdzinot abu priežu saglabāšanos, konstatēta 10 % - 20 % atšķirība (Ruotsalainen, Velling, 1993), turklāt kā vēl viens nozīmīgs limitējošais faktors tiek uzsvērtā arī *P. contorta* salciētība (Stephan, 1993), kas, domājams, šīs priedes saglabāšanos ietekmē arī Latvijas apstākļos. Literatūrā tiek akcentēta gan *P. contorta* augstā saglabāšanās, gan straujā augšana pirmajos 15 – 20 gados (Pfeifer, 1993). Vērtējot eksperimentus, kopumā konstatēta saglabāšanās korelācija starp sugām; respektīvi, jo augstāka eksperimentā ir Klinškalnu priedes saglabāšanās, jo augstāka tā ir arī parastajai priedei.

Klinškalnu priedes produktivitāte cieši korelē ar augsnes auglību. Visvājākie augšanas rezultāti konstatēti uz nabadzīgām smiltis augsnēm, lai gan Zviedru pētnieki uzsver, ka šī priede ir piemērota nabadzīgu augšņu apmežošanai (Hagner, 1993), tomēr Latvijas apstākļos konstatēts, ka izteikti nabadzīgās augsnēs parastā priede ir produktīvāka, piemēram, 751. eksp. Kalsnavā un 359. eksp. Kuldīgā. Vidēji un auglīgās augsnēs Klinškalna priedes produktivitāte nozīmīgi pārspēj parasto priedi, turklāt produktivitāte būtiski ( $p = 0,01$ ) ietekmē provenienci. Provenienču izcelsmes nozīmīgumu un piemērotību jaunajiem apstākļiem, kā arī būtiskas produktivitātes atšķirības starp proveniencēm, uzsver Turcijas (Simsek, 1993), Zviedrijas (Hagner, 1993), Somijas (Ruotsalainen, 1993) u.c. valstu zinātnieki, kurās Klinškalnu priede ir introducēta, un apstiprina arī Britu Kolumbijā (*P. contorta* dabiskajā areālā) veiktie proveniencu pārbaužu pētījumi (Simsek, 1989). Latvijas apstākļos vienas un tās pašas provenienču, kas augstu produktivitāti ir uzrādījušas vienā eksperimentā, lielākoties arī citos eksperimentos ir vienas no produktīvākajām.

Vērtējot Klinškalnu priedes eksperimentu krāju 24 – 29 gadu vecumā, konstatēts, ka tā (vidēji  $240 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) neatpaliek no līdzīga vecuma (26 g.v.) audžu krājas Igaunijā. Konstatētas arī

līdzīgas koku dimensijas (Kasesalu, 2000b). Vācijas ziemeļu daļā mazliet maigākos apstākļos kā Latvijā parastā priede 22 gadu vecumā pārspēj Klinškalnu priedi augstumā vidēji par 30 % un caurmērā vidēji par 16 %. Tajā pat laikā labākās Klinškalnu priedes proveniencas sasniedz tādu pat augstumu kā parastā priede un tikai nedaudz atpaliek pēc caurmēra (Stephan, Liesebach, 1995). Zviedrijas Klinškalnu priedes eksperimentos 20 gadu vecumā Klinškalnu priedes augstums pārspēj parasto vidēji par 11 % (Hansson, Karlman, 1997). Somijā veiktajos pētījumos konstatēts, ka Klinškalnu priedes krāja 21 gada vecumā ir 48-50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Ruotsalainen, 1993), kas ir 1,5 reizes mazāka kā Latvijas eksperimentam ar zemāko produktivitāti (84 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) šajā vecumā.

Kopumā konstatēts, ka Latvijas apstākļos Klinškalnu priedes produktivitāte ir augstāka kā parastajai priedei, vidējā krājas starpība, rēķinot visiem eksperimentiem kopumā, ir 90 %, kas ievērojami pārsniedz Zviedrijas audzēs konstatēto Klinškalnu priedes pārkumu 30 % – 36 % (Elfving, Norgren 1993). Konstatēts, ka Latvijas apstākļos produktīvākās ir Kanādas 50°, 53°, 55°-56° Z.p. proveniencas, Zviedrijas 50° un 54° Z.p. Klinškalnu priedes audžu pēcnācēji un Latvijas Skrīveru un Bukultu audžu pēcnācēji.

#### 4.2. Klinškalnu priedes kvalitāte stādījumos Latvijā

Vērtējot stumbru kvalitāti, analizēti vairāki faktori, piemēram, daudzstumbru, padēlu, pārnadžu radīto bojājumu īpatsvars, stumbru taisnums un zarojums, kas būtiski var ietekmēt perspektīvā iegūstamo sortimentu kvalitāti galvenajā un starpizmantošanas cirtē. Konstatēts, ka arī Latvijā introducētā Klinškalnu priede saglabā sugai raksturīgo īpašību, veidot divus, pat trīs zaru mieturus veģetācijas sezonas laikā. Vērtējot zarojumu kvalitāti ballēs, starp sugām konstatētas nozīmīgas atšķirības. Klinškalnu priedei zaru ir vairāk, turklāt tie ir resnāki. Līdzīgi rezultāti iegūti arī Zviedrijas Klinškalnu priedes plantācijās 24 gadu vecumā (Persson, 1993). Stumbra taisnuma indekss ballēs abām sugām ir līdzīgs. Zviedrijas Klinškalnu priedes audzēs biežāk konstatē līkumainību tieši stumbra apakšējā daļā, un to pamato ar peļveidīgo grauzēju un zaķu radītajiem audžu bojājumiem pirmajos gados pēc platības apmežošanas (Karlman, 1993). Stumbru līkumainības veidošanās netiek saistīta ar koku iedzimtajām īpašībām. Konstatēts, ka, salīdzinot ar parasto priedi, *P. contorta* parcelēs ir būtiski ( $p = 0,05$ ) lielāks koku ar padēliem un daudzstumbriem īpatsvars, turklāt matemātiski pierādīts, ka padēlu un daudzstumbru veidošanās ir cieši saistīta ar proveniencas ģenētiskajām īpašībām. Nozīmīgs daudzstumbru un padēlu īpatsvars konstatēts arī Zviedrijas Klinškalnu priedes audzēs un tiek atzīmēts, ka tas ir saistīts ar proveniencas ģenētiskajām īpašībām, nevis biotisko faktoru, piemēram, dzīvnieku bojājumu ietekmi (Persson, 1993). Arī Latvijā korelācija padēlu un daudzstumbru īpatsvaram ar pārnadžu bojājumu īpatsvaru netiek konstatēta. Tāpat netiek konstatēta korelācija padēlu un daudzstumbru īpatsvaram ar proveniencas produktivitāti.

Vērtējot pārnadžu bojāto koku eksperimentu īpatsvaru eksperimentos, konstatēts, ka Klinškalnu priedei bojāto koku īpatsvars ir būtiski ( $p = 0,05$ ) lielāks, salīdzinot ar parasto priedi. Šāda pat tendence konstatēta arī pētījumos, kas veikti Zviedrijas dienvidu daļā, kur galvenās pārnadžu sugas, kas rada bojājumus, ir aļņi un stīrnas (Ståhl P., Ståhl E., 2008); turklāt kā būtisks koku bojājuma aģents, kas ietekmē koku saglabāšanos lauksaimniecības zemēs ierīkotās *P. contorta* kultūrās, tiek minēti sīkie grauzēji (Karlman, 1993). Eksperimentos Latvijā, kas ierīkoti neizmantotās lauksaimniecības zemēs, koku saglabāšanās jaunaudzes vecumā ir augsta, kas liek domāt, ka grauzēju bojājumi nav tik izteikti kā Zviedrijā. Korelācija starp audzes produktivitāti un pārnadžu bojājumu intensitāti proveniencu līmenī netiek konstatēta. Pārnadži vienādi intensīvi bojā visu proveniencu kokus. Kopumā atsevišķos eksperimentos koku ar padēliem un daudzstumbriem, kā arī pārnadžu bojāto koku īpatsvars, var nozīmīgi ietekmēt kvalitatīvu stumbra pirmo nogriežņu iegūšanas iespēju perspektīvā.

#### 4.3. Klinškalnu priedes virszemes biomasas vienādojums

Ņemot vērā pieaugošo pieprasījumu pēc koksnes enerģētikā, ko veicina cena un tendence aizstāt fosilo karināmo ar atjaunojamiem, vietējiem energoresursiem, nozīmīgi novērtēt ne tikai

Klinškalnu priedes koksnes īpašības un piemērotību izmantošanai zāģmateriālu ieguvē, bet arī virszemes biomasas apjomu un tās sadalījumu.

Biomasa vienādojuma izveidošanai 2009./2010. gada ziemas miera periodā stādījumā Nr. 82 ievākti dati no 241 paraugkoka, ietverot visas eksperimentā pārstāvētās 15 Klinškalnu priedes brīvapputes pēcnācēju ģimenes no 3 proveniencēm. Veikta koku nozāģēšana, marķēšanas, atzarošana, sauso zaru svēršana, zaļo zaru (ar skujām) svēršana pa vainaga ceturtdaļām, sagarumošana 1 m sekcijās un sekciju masas noteikšana, šķērsriezuma ripu un mitruma paraugu ievākšana no sekciju galiem un zariem (skat. nodaļu par koksnes mitrumu). Izvēlēto paraugkoku vidējais caurmērs  $10,7 \pm 0,31$  cm un augstums  $10,7 \pm 0,31$  m. Skuju masas novērtējums iegūts 17 kokiem, kas reprezentē caurmēra sadalījumu eksperimentā, izvēloties paraugzarus no katras vainaga ceturtdaļas, kas reprezentē vidējo zara diametru un garumu šajā ceturtdaļā, atdalot tā skujas, un nosverot atsevišķi zaru un skujas. Tāpat iegūti dati no 31 paraugkoka (eksperiments Nr. 704), kam katrā vainaga ceturtdaļā skujas atdalītas no visiem zariem un atsevišķi nosvērti gan zari, gan skujas. Dati par mizas blīvumu un mitrumu iegūti no 22 paraugkokiem dažādās caurmēra pakāpē dažādā augstumā stumbrā. Dati par skuju mitrumu iegūti no 14 paraugiem dažādās vainaga ceturtdaļās dažādu Krafta klašu kokiem.

Virszemes biomasa modeļa sastādīšanas ceļš:

1. no mitra stumbra masas matemātiski tiek nodalīta mizas masa, kas tiek iegūta no zināma mizas tilpuma (aprēķināts no mizas biezuma šķērsriezuma ripām 1 m sekciju galos visā stumbra garumā) pareizinot to ar vidējo mizas blīvumu, kas iegūts no paraugiem;
2. tiek aprēķināts vidējais stumbra mitrums, kā vidējais svērtais no stumbra mitruma paraugu datiem, svērta pēc katra mitruma parauga tuvākā pilnā metra ripas laukuma;
3. matemātiski nodalot no mitra stumbra masas relatīvo mitrumu, iegūst sausa stumbra masu;
4. sausas mizas masa tiek aprēķināta, izdalot no mitras mizas masas relatīvo mizas mitrumu, kas ņemts kā vidējais no visiem paraugiem;
5. izmantojot paraugzaru datus, tiek noteikta koka zaru - skuju masas attiecība, kas tālāk attiecināta uz visiem koka zariem (pa vainaga ceturtdaļām);
6. zaru un skuju mitrumu aprēķina atbilstoši paraugu mitruma datiem;
7. kopējā sausā virszemes biomasa tiek iegūta kā summa no atsevišķu komponentu masām, summējot stumbra, mizas, sauso zaru, zaļo zaru un skuju masas.

Biomasa novērtēšanai lietoti citos pētījumos populārākie modeļu veidi (piemēram, biomasa izteikta kā pakāpes funkcija no diametra, biomasa izteikta kā lineāra funkcija no logaritmētiem koku diametriem, u.c.), pētīta to atbilstība datu struktūrai, analizēti regresiju atlikumi un citi modeļa kvalitāti raksturojošie lielumi (determinācijas koeficients, vērtējuma kļūda, modeļa un koeficientu statistiskā nozīmība), kā arī savstarpēji salīdzināti iegūtie modeļi. Visām biomasas komponentēm tika iegūti vairāki modeļi, no kuriem tika izvēlēts viens labākais, kā izvēles kritērijus izmantojot modeļa struktūras sarežģītību, ietvertu neatkarīgo mainīgo skaits un regresijas atlikumu analīzi, jo visi izstrādātie modeļi bija statistiski nozīmīgi un ar aptuveni vienādām determinācijas koeficientu vērtībām. Respektīvi, tika izvēlēts modelis, kas satur pēc iespējas mazāk parametru, ir vienkāršs pēc uzbūves un kura atlikumu sadalījums atbilst regresijas modeļa pieņēmumiem par neatkarību un normālo sadalījumu.

Gandrīz visām biomasas komponentēm labākie rezultāti tika iegūti, izmantojot koku krūšu augstuma caurmēra kvadrāta reizinājumu ar koka augstumu. Sauso zaru un skuju masas novērtēšanai izvēlētie modeļi saturēja tikai koka krūšu augstuma caurmēru kā neatkarīgo mainīgo, savukārt zaļo zaru masas novērtēšanas modeli uzlaboja pirmā zaļā zara augstuma pievienošana koka krūšu augstuma caurmēra kvadrāta reizinājumam ar koka augstumu.

4.1. tabulā var redzēt, ka precīzākie vērtējumi ir stumbra un kopējai virszemes masai (kuras lielu daļu sastāda tieši stubrs), taču sauso zaru masas novērtējuma precizitāte ir zemāka, kas saskan arī ar citu autoru pētījumiem un galvenokārt saistīts ar ievērojamu sauso zaru mitruma amplitūdu.

**Izvēlētie biomasas komponentu raksturošanas modeļi un to koeficienti**  
*Models and coefficients for estimation of biomass components*

| Komponente<br><i>Component (y)</i>  | Modelis<br><i>Model</i> | Novērtēšanai<br>izmantotā pazīme<br><i>Trait used for<br/>estimation<br/>(x)</i> | Koeficienti/ <i>Coefficients</i> |                |                | N   | R <sup>2</sup> |
|---|-------------------------|--|----------------------------------|----------------|----------------|-----|----------------|
|   |                         |  | b <sub>0</sub>                   | b <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> |     |                |
| Virszemes kopējā masa<br><i>Total aboveground biomass</i>                                   | $y = b_0 x^{b_1}$       | D <sup>2</sup> H (m <sup>3</sup> )   | 256.56222                        | 0.97838        | -              | 221 | 0.93           |
| Virszemes dzīvās koksnes ar mizu masa<br><i>Aboveground biomass of living wood and bark</i> | $y = b_0 x^{b_1}$       | D <sup>2</sup> H (m <sup>3</sup> )   | 207.71879                        | 0.96350        | -              | 229 | 0.95           |
| Stumbra ar mizu masa<br><i>Biomass of stem with bark</i>                                    | $y = b_0 x^{b_1}$       | D <sup>2</sup> H (m <sup>3</sup> )   | 158.95604                        | 0.90636        | -              | 234 | 0.95           |
| Stumbra bez mizas masa<br><i>Biomass of stem without bark</i>                               | $y = b_0 x^{b_1}$       | D <sup>2</sup> H (m <sup>3</sup> )   | 146.18073                        | 0.91187        | -              | 234 | 0.94           |
| Mizas masa<br><i>Biomass of bark</i>  | $y = b_0 x^{b_1}$       | D <sup>2</sup> H (m <sup>3</sup> )   | 11.72315                         | 0.78843        | -              | 222 | 0.90           |
| Sauso zaru masa<br><i>Biomass of dead branches</i>  | $\ln(y)=b_0+b_1\ln(x)$  | D (mm)   | -10.29689                        | 2.40664        | -              | 229 | 0.59           |
| Zaļo zaru masa<br><i>Biomass of living branches</i>   | $Y=b_0+b_1x_1+b_2x_2$   | D <sup>2</sup> H (m <sup>3</sup> ),<br>Hz (m)                                    | 1.69135                          | 41.11694       | -0.60827       | 232 | 0.85           |
| Skuju masa<br><i>Biomass of needles</i>   | $y = b_0 x^{b_1}$       | D (cm)   | 0.00134                          | 3.12442        | -              | 237 | 0.83           |

Hz – pirmā zaļā zara augstums/ *the height of the first living branch*

N – koku skaits/ *the number of trees*

R<sup>2</sup> – determinācijas koeficients/ *the coefficient of determination*

4.2. tabulā apkopotas koka komponentu reālās un novērtētās vidējās biomasas, kā arī parādītas to atšķirības no citu autoru iegūtajiem modeļiem. Redzams, ka visos gadījumos ar citu autoru modeļiem novērtētās biomasas būtiski atšķiras gan no reālajām, gan no novērtētajām ar izveidoto modeļi.

**Faktiskās un ar modeļiem aprēķinātās biomasas komponentu masas**  
*Measured and estimated biomass of tree components*

| Komponente<br><i>Component</i>  | Vidējā viena koka komponentes masa<br><i>Average biomass of component per tree, kg</i> | Novērtētā vidējā masa<br><i>Estimated average biomass, kg</i> | Ar citos pētījumos iegūtiem vienādojumiem novērtētā masa<br><i>Biomass obtained by equations from another studies, kg</i>   | T-testa <i>p</i> – vērtība, salīdzinot iegūto modeli ar citu autoru modeli<br><i>p-value of T-test, comparing models</i> | T-testa <i>p</i> – vērtība, salīdzinot citu autoru modeli ar faktisko biomasu<br><i>p-value of T-test, comparing measured and estimated (another studies) biomass</i> |
|---|--|---|---|--|---|
| Virszemes kopējā masa<br><i>Total aboveground biomass</i>                                   | 34.396   | 34.4192   | 23.0251 (Itālija/<br><i>Italy</i> )*<br>29.2487 (Polija/<br><i>Poland</i> )   | <0.001<br><0.001   | <0.001<br><0.001  |
| Virszemes dzīvās koksnes ar mizu masa<br><i>Aboveground biomass of living wood and bark</i> | 28.0786  | 28.096  | -   | -  | -   |
| Stumbra ar mizu masa<br><i>Biomass of stem with bark</i>                                    | 24.24  | 24.2653   | 25.1481 (Lietuva/<br><i>Lithuania</i> )   | <0.001   | <0.001  |
| Stumbra bez mizas masa<br><i>Biomass of stem without bark</i>                               | 22.0567  | 22.0764   | 23.3106 (Lietuva/<br><i>Lithuania</i> )   | <0.001   | <0.001  |
| Mizas masa<br><i>Biomass of bark</i>  | 2.2978   | 2.93  | 2.1639 (Lietuva)  | <0.001   | <0.001  |
| Sauso zaru masa<br><i>Biomass of dead branches</i>  | 3.1551   | 3.2208  | 2.5566 (Lietuva/<br><i>Lithuania</i> )  | <0.001   | <0.001  |
| Zaļo zaru masa<br><i>Biomass of living branches</i>   | 4.1184   | 4.1257  | 4.7209 (Austrija/<br><i>Austria</i> )<br>6.2493 (Lietuva/<br><i>Lithuania</i> )   | <0.001<br><0.001   | <0.001<br><0.001  |
| Skuju masa<br><i>Biomass of needles</i>   | 2.5924   | 2.5952  | 1.6151 (Austrija/<br><i>Austria</i> )<br>9.3059 (Polija/<br><i>Poland</i> )<br>3.6869 (Polija/<br><i>Poland</i> )<br>2.2834 (Polija/<br><i>Poland</i> )<br>3.1274 (Lietuva/<br><i>Lithuania</i> ) | <0.001<br><0.001<br><0.001<br><0.001<br><0.001   | <0.001<br><0.001<br><0.001<br><0.001<br><0.001  |

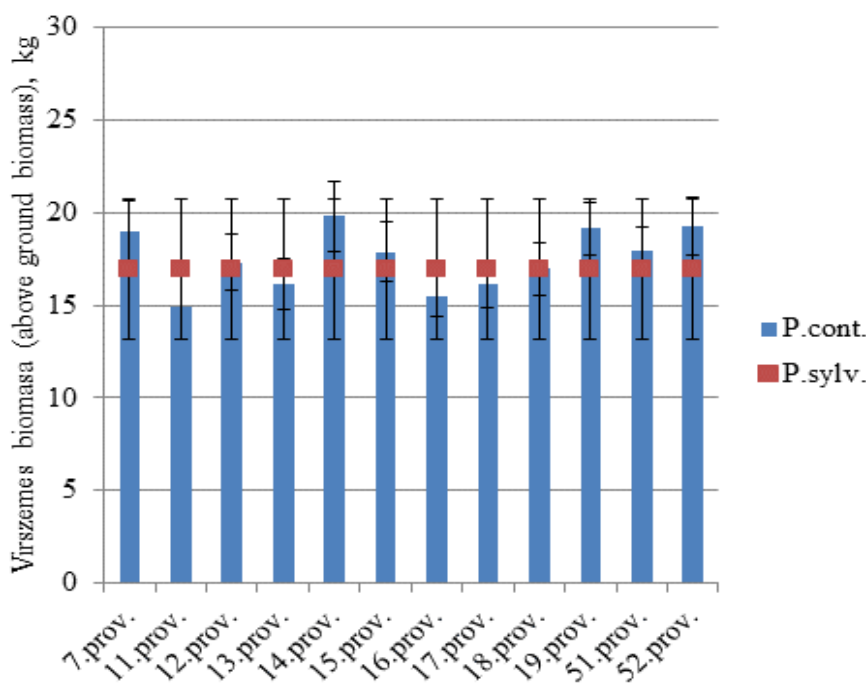
\*iekavās – attiecīgā modeļa izstrādes valsts/ *in brackets – country where the model was obtained*

Novērtējot faktisko koka virszemes biomasu absolūti sausā stāvoklī atkarībā no koka krūšaugstuma caurmēra salīdzinājumā ar aprēķināto, izmantojot dažādu modeļus konstatēts, ka pie mazām koku dimensijām Polijā izstrādātais modelis masu novērtē samērā precīzi, taču pie lielākām novērtējums ir pārāk zems, savukārt Itālijā izstrādātais modelis masu novērtē zemāk par faktisko visā koku caurmēru diapazonā.

Modeļi pielietoti virszemes biomasas aprēķināšanai 2 stādījumos – eksperimentos Nr. 76. (Ugāle) un 79. (Zvirgzde), kur koki pēc dimensijām (augstuma un caurmēra krūšu augstumā) atbilst modeļu ierobežojumiem. Konstatēts, ka Klinškalnu priedes koka vidējā virszemes biomasā absolūti sausā stāvoklī stādījumā Nr. 76 ir robežās no  $15 \pm 1,7$  kg līdz  $20 \pm 1,9$  kg (4.5. att.). Atsevišķām porveniecēm tā ir augstāka un citām zemāka nekā parastajai priedei, bet atšķirības nav statistiski būtiskas, galvenokārt, parastās priedes plašā ticamības intervāla ietekmē (ko savukārt pamatā nosaka neliels mērījumu skaits). 29 gadu vecumā eksperimentā Nr. 79., kas izvietots nabadzīgā smiltis augsnē, vidējā koka virszemes biomasā absolūti sausā stāvoklī ir no  $34 \pm 5,4$  kg līdz  $70 \pm 8,7$  kg (4.6. att.). Šajā eksperimentā visas proveniencas pārsniedz parastās priedes rādītājus, vairākas nozīmīgi (vairāk nekā 2 reizes) un statistiski būtiski ( $p = 0,05$ ).

Kopējā koku virszemes biomasā uz ha, stādījumā bijušās kokaudzētavas teritorijā (auglīgā augsnē), 12 gadu vecumā Klinškalnu priedei ir vidēji 54,6 t (produktīvākajai proveniencēi –71,1 t), parastajai priedei – tikai 15,8 t (4.7. att.); šādu starpību nosaka galvenokārt koku saglabāšanās atšķirības (*P. contorta* vidēji 84 %, *P. sylvestris* 34 %). Tomēr, arī pārrēķinot biomasu pie konstantas saglabāšanās, tā parastajai priedei ievērojami (par 40 %) atpaliek no Klinškalnu priedes ražīgākajai proveniencēi novērojamās. Vidējais pieaugums šajā periodā Klinškalnu priedei sasniedz 4,5 t sausnes uz ha gadā, kas atpaliek no citām alternatīvām (apse, kārkli) biomasas ieguvei šādās augsnēs.

Klinškalnu priedes provenieņu virszemes biomasā absolūti sausā stāvoklī 29 gadu vecumā atsevišķām proveniecēm ir robežās no 42 - 129 t ha<sup>-1</sup> un ievērojami (vidēji 1,7 reizes) pārsniedz parastās priedes biomasu: starpība ar atsevišķu *P. contorta* provenieņu vērtībām ir robežās no 25 % līdz 225 %. Turklāt šajā gadījumā saglabāšanās atšķirības starp sugām praktiski nav (Klinškalnu priedei 38 %, parastajai 36 %); tādā biomasas starpību nosaka atšķirības koku sugu produktivitātē (ātraudzībā). Vidējais biomasas pieaugums Klinškalnu priedei sasniedz 3,1 t sausnes uz ha gadā, produktīvākajām proveniecēm pat 4,4 t. Šis rādītājs atpaliek no citām sugām ar enerģiskās koksnes ieguvei kā galveno audzēšanas mērķi, taču jāņem vērā, ka eksperimenta ierīkošanas vietā esošajā nabadzīgajā smiltis augsnē vienīgā piemērotā vietējā koku suga ir parastā priede.

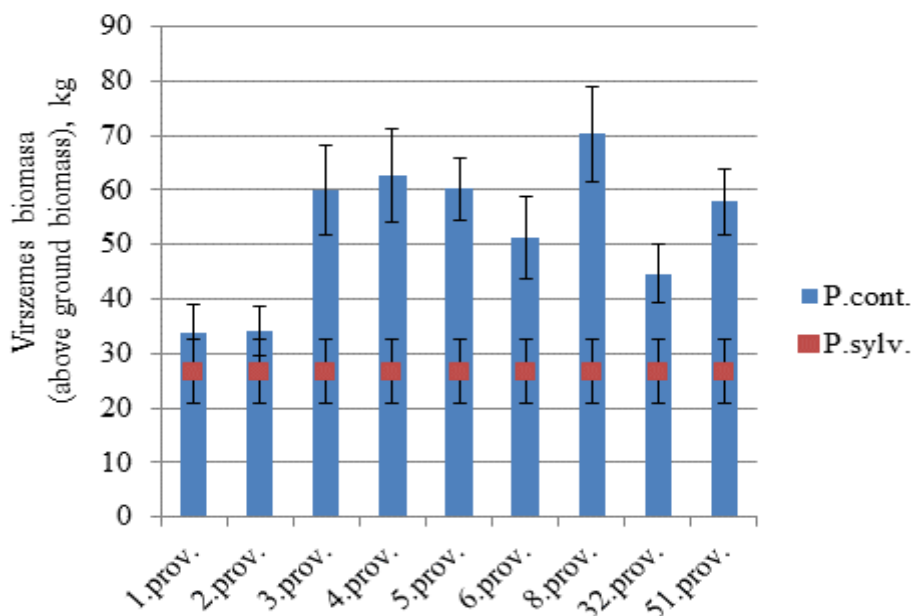


4.5. att. Eksperimenta Nr. 76. vidējā koka virszemes biomasā absolūti sausā stāvoklī 12 gadu vecumā

Fig. 4.5. The average absolute dry aboveground biomass per tree at the age of 12 in experiment No.76

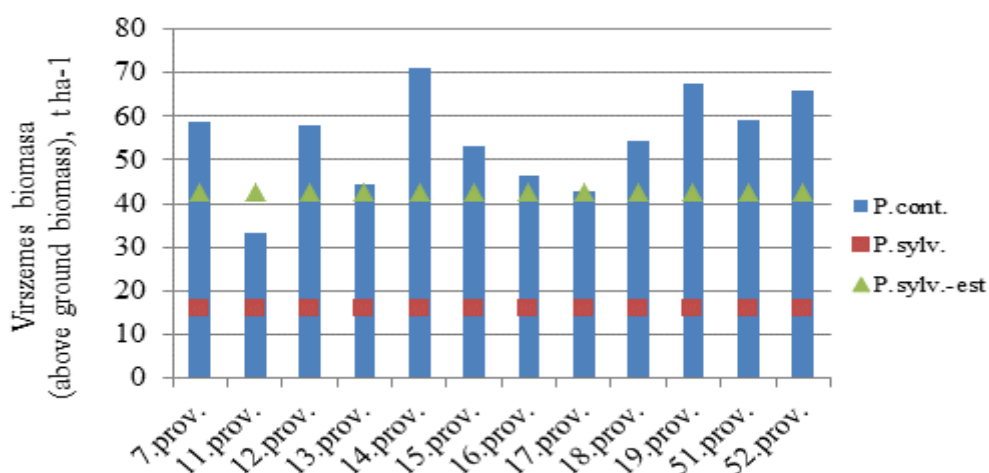


Kopumā konstatēts, ka biomasas apjomam provenienču līmenī konstatētas ievērojamas atšķirības, kas liek secināt, ka provenienci ir būtiska loma, nosakot koku virszemes biomasu. Piemērotākās Klinškalnu priedes proveniences šajā aspektā pārspēj parasto priedi gan pēc faktiski sasniegtajiem rādītājiem, gan izslēdzot saglabāšanās ietekmi uz rezultātu. Produktīvākās Klinškalnu priedes proveniences 29 gadu vecumā sasniedz 4,4 t vidējo sausnes pieaugumu uz ha gadā, kas būtiski pārsniedz citas alternatīvas platībās ar nabadzīgām smilts augsnēm.



4.6. att. Eksperimenta Nr. 79. vidējā koka virszemes biomasas absolūti sausā stāvoklī 29 gadu vecumā

Fig. 4.6. The average absolute dry aboveground biomass per tree at the age of 29 in experiment No.79



P.sylv.-est. – modelēta parastās priedes biomasa, pieņemot tādu pašu saglabāšanos kā Klinškalnu priedei/ biomass of Scots pine assuming the same survival rate as lodgepole pine

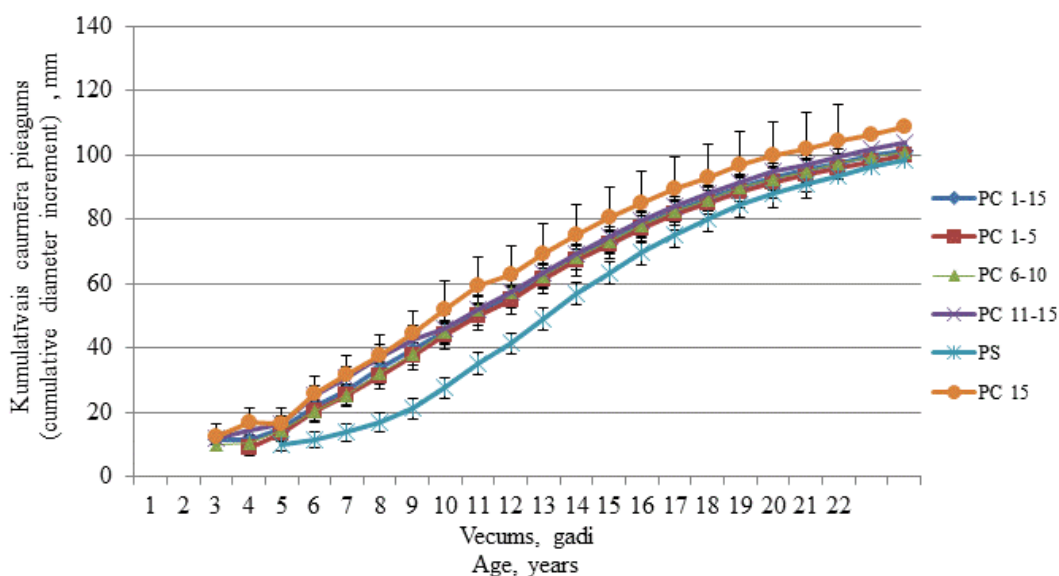
4.7. att. Kopējā eksperimenta Nr. 76 koku virszemes biomasas absolūti sausā stāvoklī 12 gadu vecumā.

Fig. 4.7. The total absolute dry aboveground biomass at the age of 12 in experiment No.76

#### 4.4. Klinškalnu priedes augšanas gaitas analīze

Augšanas gaitas analīzei nepieciešamo datu ievākšana veikta 2009./2010. gada ziemas periodā Klinškalnu priedes eksperimentā Nr. 82. un parastās priedes provenienču pārbaudes eksperimentā Nr. 19. Zvirgzdē. Eksperimentu vecums ir vienāds, un tie atrodas blakus. Ievākti dati no 216 paraugkokiem, ietverot visas eksperimentā pārstāvētās 15 Klinškalnu priedes brīvapputes pēcnācēju ģimenes no 3 proveniencēm, kā arī 135 parastās priedes paraugkokus. Veikta koku nozāģēšana un sakņu kakla šķērsriezuma paraugripu ievākšana. Izvēlēto paraugkoku vidējais caurmērs  $10,2 \pm 0,29$  cm un augstums  $9,8 \pm 0,31$  m. Paraugkoki izvēlēti tā, lai tiktu reprezentētas eksperimenta vidējās vērtības pa koku sugām. Koku vidējais caurmērs būtiski neatšķiras starp paraugkokiem un stādījumu vidēji.

Analizējot koku caurmēra pieaugumus visiem paraugkokiem, konstatētas nelielas skaitliskas ikgadējā pieauguma atšķirības starp ģimenēm un proveniencēm, taču provenienču līmenī šīs atšķirības nav statistiski būtiskas ( $p > 0,05$ ). No visām ģimenēm izteikti lielākus caurmēra pieaugumus uzrāda ģimene Nr. 15., turklāt dominējoša caurmēra pieaugumu dinamika saglabājas visā analizējamajā periodā (4.8. att.). Salīdzinot Klinškalnu priedes un parastās priedes caurmēra pieaugumus, konstatēta atšķirība visā analizējamajā periodā, taču statistiski būtiskas atšķirības ir 6 – 14 gadu vecumā. Vēlākajos pieaugumu atšķirība saglabājas, taču atšķirība vairs nav statistiski būtiska, un starp sugām vērojama caurmēra pieaugumu izlīdzināšanās, ko daļēji var skaidrot ar parastās priedes saglabāšanos (tā ir būtiski zemāka kā Klinškalnu priedei), kā rezultātā parastās priedes parcelēs samazinās koku skaits, un palikušajiem kokiem ir labāki augšanas apstākļi, līdz ar to kokiem veidojas lielāks tekošais caurmēra pieaugums.



4.8. att. Klinškalnu un parastās priedes kumulatīvais caurmēra pieaugums 25 gadu periodā

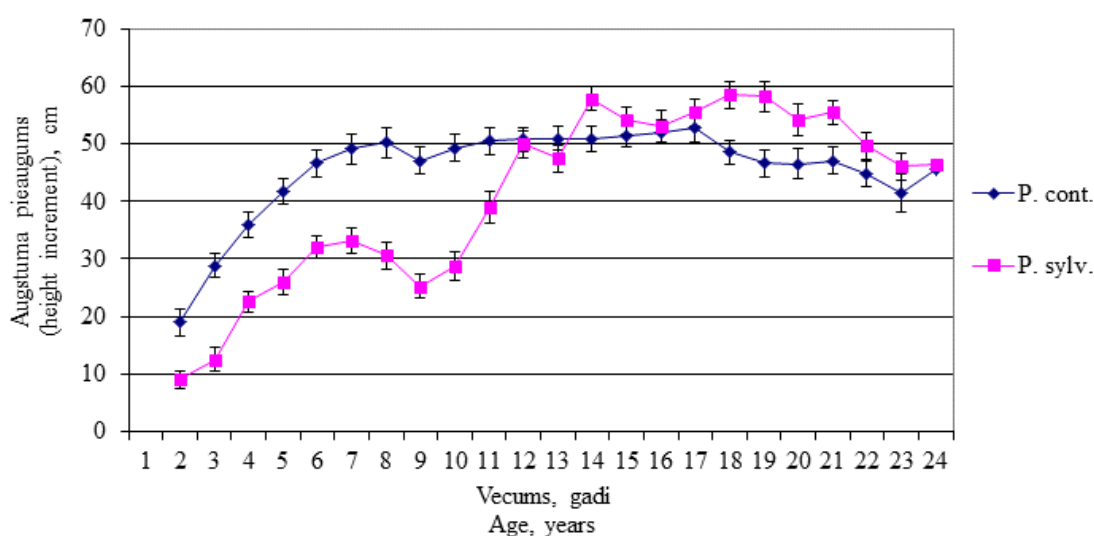
Fig. 4.8. *The cumulative increment of the stem diameter of lodgepole pine and Scots pine in 25 years period*

Stumbra caurmēra pieaugums ir funkcionāli saistīts ar gadskārtu platumu, kurš raksturo abiotiskās un biotiskās vides faktoru un to izraisīto stresu, piemēram, ilgstošs sausuma periods, kukaiņu invāzijas ietekmi uz koka augšanu. Analizējot koka gadskārtu platumu pat daudzus gadus pēc koka nāves, var iegūt informāciju par koka augšanas gaitu, gada caurmēra pieaugumiem un tos ietekmējušiem apstākļiem.

Analizējot koku caurmēra pieaugumus līdz 9 gadu vecumam starp sugām konstatētas statistiski būtiskas atšķirības, Klinškalnu priedei uzrādot augšanas pārākumu. 10 – 12 gadu vecumā abām sugām gada caurmēra pieaugumi ir līdzīgi. Nākamajos 7 gados parastās priedes caurmēra pieaugums ir statistiski būtiski lielāks, līdz ar 20 gadu vecumu caurmēra pieauguma gaita abām

sugām izlīdzinās un ir praktiski vienāda. Zīmīgi, ka vislielākie caurmēra pieaugumi abām sugām ir vērojami tieši pirmajos dzīves gados. Vēlāk gada tekošajam caurmēra pieaugumam ir tendence samazināties. Taču tas nenozīmē, ka samazinās audzes produktivitāte, jo palielinoties koka caurmēram, kokam jāproducē arvien lielāks koksnes biomasas apjoms, kā rezultātā palielinās tekošai krājas pieaugums, bet gadskārtu platuma pieaugums vairs nav tik straujš.

Līdzīga situācija vērojama arī vērtējot vidējo koku augstuma pieaugumu. Līdzīgi kā caurmēra pieaugumam, arī augstuma pieaugumam starp sugām statistiski būtiskas atšķirības konstatētas līdz 11 gadu vecumam, Klinškalnu priedei uzrādot lielākus augstuma pieaugumus (4.9. att.). Nākošos divus gadus augstuma pieauguma atšķirības nav statistiski būtiska, taču vēlākajos gados parastās priedes augstuma pieaugumi *P. contorta* pārspēj, turklāt periodā 17 – 22 gadiem būtiski. Sākot ar 23 dzīves gadu augstumu pieaugumi izlīdzinās un atšķirība vairs nav būtiska.



4.9. att. Klinškalnu un parastās priedes vidējais gada augstuma pieaugums 24 gadu periodā

Fig. 4.9. The average annual tree height increment of lodgepole pine and Scots pine in 24 years period

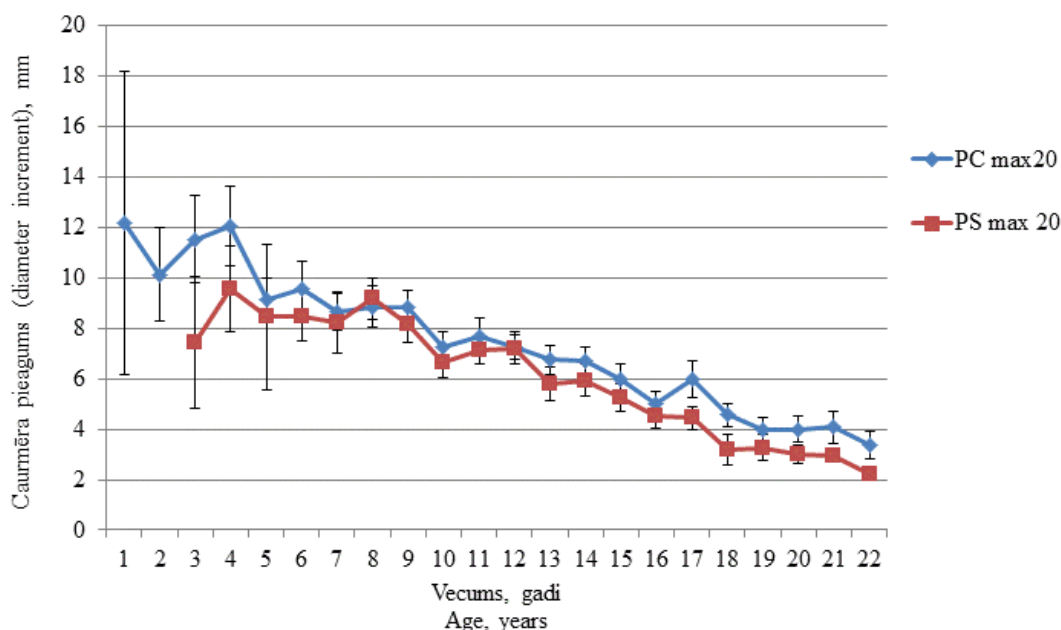
Tā kā caurmēra un augstuma pieaugumu tendences ir līdzīgas, var secināt, ka abiotiskās un biotiskās vides apstākļu kopums abas sugas ietekmē līdzīgi. Parastās priedes pārākumu, sākot ar 12 – 13 dzīves gadu, visticamāk var izskaidrot ar koku saglabāšanos, kura parastajai priedei ir ievērojami (par 25 %) zemāka, līdz ar to koku savstarpējā konkurence nav tik liela kā *P. contorta* parcelēs, kas kopumā ietekmē gan caurmēra, gan augstuma pieaugumus.

Analizējot caurmēra pieaugumus 20 katras sugas kokiem ar lielākajiem diametriem, starp sugām konstatētas statistiski būtiskas caurmēra pieaugumu atšķirības. Nozīmīgākās atšķirības ir 5 – 10 gadu vecumā un pēc 20 gadu vecuma sasniegšanas. Tā kā eksperimentos kopumā, pēc 20 gadu vecuma sasniegšanas, starp sugām vērojama tendence ikgadējiem caurmēra pieaugumiem izlīdzināties (3.34. attēls), bet analizējot katras sugas 20 resnāko koku caurmēra pieaugumus, konstatēta pretēja situācija, jāsecina, ka lielāki caurmēra pieaugumi ir cieši saistīti ar katra koka augšanas telpu. Katra koka augšanas telpu limitē koku saglabāšanās, kas Klinškalnu priedei ir būtiski augstāka. Tātad var secināt, ka kokiem, kuru attīstību pārējo koku konkurence iespaido mazāk, caurmēra pieaugumi ir ievērojami lielāki, turklāt starp sugām ikgadējo caurmēra pieaugumu atšķirība saglabājas, un ir statistiski būtiska ar tendenci palielināties.

Vērtējot katras sugas 20 resnāko paraugkoku gada tekošo caurmēra pieaugumu (4.10. att.), konstatēts, ka vidējie gada caurmēra pieaugumi starp sugām ir statistiski būtiski atšķirīgi līdz 6 gadu vecumam. Bet tomēr visā analizējamajā periodā Klinškalnu priedes caurmēra pieaugums nedaudz

pārspēj parasto priedi. Periodā no 6 līdz 24 gadiem būtiskas caurmēru pieaugumu atšķirības netiek konstatētas, izņemot 19. veģetācijas sezonu, kad atšķirība ir statistiski būtiska.

Analizējot gadskārtu platuma izmaiņu dinamiku, var secināt, ka koku augšanas gaitu abiotiskās vides apstākļi būtiski ir ietekmējuši 4 - 5 gadu vecumā, kad vērojams izteikts caurmēra ikgadējā pieauguma samazinājums. Vēlākajos gados arī vērojami vairāki ekstrēmi, piemēram, 7 un 12 gadu vecumā, taču vairs ne tik izteikti. Tā kā caurmēra pieauguma dinamika abām sugām ir līdzīga, neskatoties uz augstāku Klinškalnu priedes produktivitāti, var secināt, ka vides apstākļi gan Klinškalnu, gan parasto priedi ietekmē līdzīgi.



4.10. att. **Klinškalnu un parastās priedes 20 resnāko koku tekošais caurmēra pieaugums 24 gadu periodā**

*Fig. 4.10. The average current stem diameter increment of the 20 thickest tress of lodgepole pine and Scots pine in 24 years period*

Kopumā vērtējot Klinškalnu un parastās priedes augšanas gaitu, konstatēts, ka abiotiskās un biotiskās vides apstākļu kopums abas sugas ietekmē līdzīgi. Līdz 10 dzīves gadam Klinškalnu priede uzrāda būtiski augstākus vidējos caurmēra un augstuma gada pieaugumus, taču vēlākos gados šī starpība vairs nav būtiska un izlīdzinās, parastajai priedei uzrādot labākus pieaugumus, kas galvenokārt izskaidrojams ar abu sugu dažādo saglabāšanos, kas parastajai priedei ir būtiski zemāka, jo tā ir pieskaitāma pie saulmīļu sugām, turpretī *P. contorta* ir ēncietīgāka, un līdz ar to dabiskā pašizretināšanās Klinškalnu priedes audzēs notiek lēnāk. Vērtējot 20 katras sugas resnāko koku augšanas gaitu, konstatēts, ka visā analizētajā periodā Klinškalnu priede uzrāda pārkumu. Lai nodrošinātu pēc iespējas augstāku produktivitāti, Klinškalnu priedei ir nepieciešams veikt agrāku kopšanas cirti, koku skaitu reducējot, lai palikušajiem kokiem atbrīvotu augšanas telpu.

#### 4.5. Klinškalnu priedes koksnes mitrums un mehāniskās īpašības

Klinškalnu priedes virszemes biomasas apjoma novērtējums liecina par perspektīvām šīs sugas izmantošanā biomasas ieguvē, īpaši stādījumos uz nabadzīgām. Viens no būtiskiem biomasas izmantošanas aspektiem, kas nosaka iegūstamo enerģiju, ir tās mitrums. Tāpat koksnes mitrums ir būtisks, raksturojot tās svaru (reizē ar to pārvadāšanas izmaksas) un zāģmateriālu žāvēšanas procesā patērēto enerģiju. Nodaļas mērķis ir raksturot *P. contorta* koksnes un zaru mitrumu un ģenētiski noteiktās šī rādītāja atšķirības jaunaudzēs vecuma kokiem.

Dati ievākti 2009./2010. gada ziemas sezonā Klinškalnu priedes eksperimentā Nr. 82., kurā ietvertas 15 brīvapputes pēcnācēju ģimenes no 3 proveniencēm, no kopumā 291 paraugkoka.

Koki nozāģēti, izmērīts to krūšaugstuma caurmērs un augstums, pēc tam no tiem izzāģēti diski koksnes mitruma noteikšanai – stumbra koksnei 1 m augstumā no sakņu kakla un pēc tam ik pēc 1/5 no atlikušā koka garuma, sekcijas numurējot virzienā no stumbra pamatnes uz augšu (apzīmēti attiecīgi S1, S2, S3, S4, S5), zariem no nejauši izvēlēta zara sauso zaru zonā un no raksturīga caurmēra zaļā zara katrā vainaga ceturtdaļā (sākot no vainaga apakšas attiecīgi Z1, Z2, Z3, Z4). Zaru paraugi ņemti vismaz 5 cm attālumā no koka stumbra un bija vismaz 10 cm gari. No visiem kokiem nav iegūti visi paraugi: zemāks to skaits ir zaļajiem zariem (vidēji 170 koki).

Katrai stumbra un zaru sekcijai noteikts koksnes absolūtais un relatīvais mitrums atbilstoši LVS CEN/TS 14774-2 standartam.

Pētījuma rezultāti liecina, ka stumbra koksnes absolūtais mitrums Klinškalnu priedei ziemas miera periodā ir robežās no 38 % līdz 187 %, relatīvā mitruma vērtību amplitūda ir ievērojami zemāka: no 27 % līdz 65 %. Stumbra koksnes mitrums palielinās virzienā uz galotni, atšķirības starp paraugiem no dažādām stumbra daļām ir statistiski būtiskas ( $p = 0,05$ ), izņemot 3. un 5. sekciju.

Stumbra koksnes vidējais absolūtais mitrums ir  $134 \pm 1,1$  %, zaļajiem zariem tas ir zemāks:  $113 \pm 1,1$  %. Nav konstatētas nozīmīgas atšķirības zaru mitrumā starp zaļā vainaga daļām, izņemot apakšējo ceturtdaļu, kur mitrums ir statistiski būtiski ( $p = 0,05$ ) zemāks ( $107 \pm 2,6$  %). Zaļo zaru absolūtā mitruma vērtību amplitūda stādījumā ir no 44 % līdz 166 %, relatīvā mitruma: no 31 % līdz 62 %. Vēl lielāka izkliede vērojama sauso zaru mitruma vērtībām: absolūtais mitrums no 26 % līdz 183 %, relatīvais mitrums no 21 % līdz 65 %. Šādu rezultātu izkliedi ietekmē atšķirīgs zaru atmiršanas laiks un sadalīšanās stadijas, kas pētījumā nav atsevišķi analizētas, jo sausie zari veido vidēji tikai 8 % no kopējās virszemes biomasas. Vidēji nokaltušo zaru mitrums ir būtiski un ievērojami zemāks nekā citām virszemes biomasas komponentēm: absolūtais mitrums  $80 \pm 4,1$  %, relatīvais –  $42 \pm 1,3$  %.

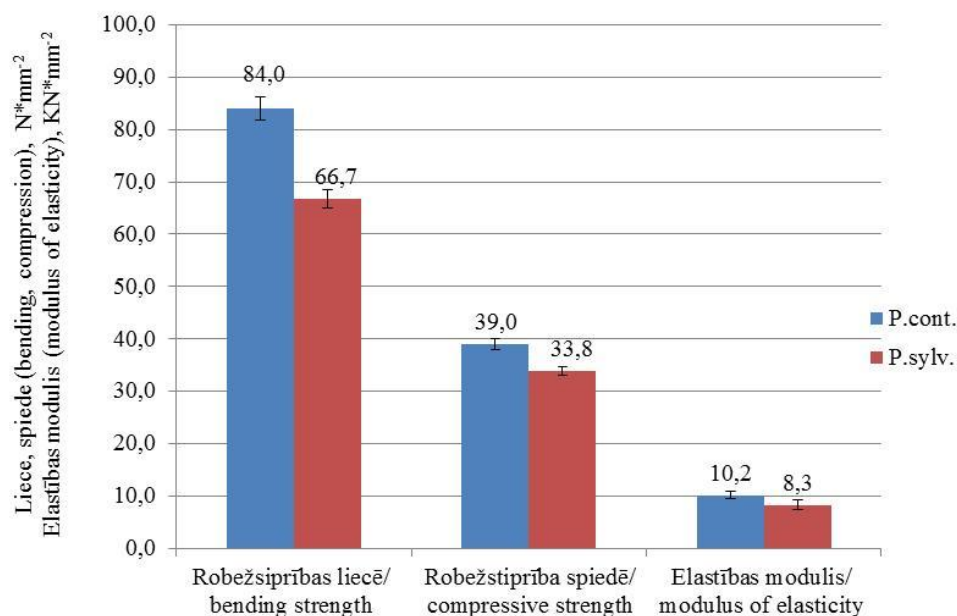
Individuālu koku līmenī konstatēta būtiska korelācijas starp zaļo zaru koksnes mitrumu (gan absolūto, gan relatīvo) vainaga augšējās 3 ceturtdaļās ( $r = 0,35$ ,  $p = 0,01$ ), kā arī stumbra 2., 3. un 4. sekcijai ( $r = 0,68$ ), taču šīs stumbra daļas koksnes mitruma korelācija ar mitrumu 1m augstumā un galotnes daļā ir vāja (attiecīgi  $r = 0,20$  un  $r = 0,07$ ).

Individuālu koku līmenī korelācijas starp augstumu un koksnes mitrumu gan sausajiem un zaļajiem zariem, gan stumbram ir vāja ( $r < 0,15$ ), izņemot stumbra 3. sekcijas mitrumu ( $r = 0,25$ ,  $p = 0,01$ ) un zaļā vainaga apakšējās daļas zaru mitrumu ( $r = -0,16$ ,  $p = 0,01$ ). Zaru mitruma korelācija ar koku caurmēru ir līdzīga kā ar augstumu izņemot zaļos zarus 3. vainaga ceturtdaļā, kur  $r = 0,16$  ( $p = 0,05$ ). Stumbra mitruma korelācija ar koka caurmēru ir ciešākā nekā ar augstumu (vidēji  $r = 0,25$ ,  $p = 0,01$ ), it īpaši 3. sekcijai:  $r = 0,36$  ( $p = 0,01$ ). Kopumā visos gadījumos koka dimensijas izskaidro ļoti nelielu daļu no novērotajam mitruma rādītāju svārstībām ( $r^2 < 0,1$  izņemot caurmēra un 3. stumbra sekcijas korelāciju, kur  $r^2 = 0,14$ ).

Rezultāti liecina, ka stumbra koksnes mitruma analīzes paraugam 1 m augstumā ir izmantojamas vairākuma virszemes biomasas komponentu mitruma raksturošanai un tālād perspektīvāko ģimeņu atlasei pēc šī rādītāja.

Veicot Klinškalnu priedes mehānisko īpašību pārbaudes, kopumā testēti 317 Klinškalnu priedes un 233 parastās priedes standartparaugi, iegūstot datu kopu, kas reprezentē sugas koksnes mehāniskās īpašības 25 gadu vecumā.

Apkopojot un analizējot iegūtos datus, būtiskas atšķirības konstatētas gan starp sugām, gan testējamā parauga iegūšanas vietu stumbrā. Stumbra pirmajiem nogriežņiem ( $h = 0-2$  m) vidējā robežstiprība liecē, spiedē un vidējais elastības moduļa vērtības (4.11. att.) parastajai priedei ir statistiski būtiski zemākas ( $p < 0,01$ ) kā Klinškalnu priedei.



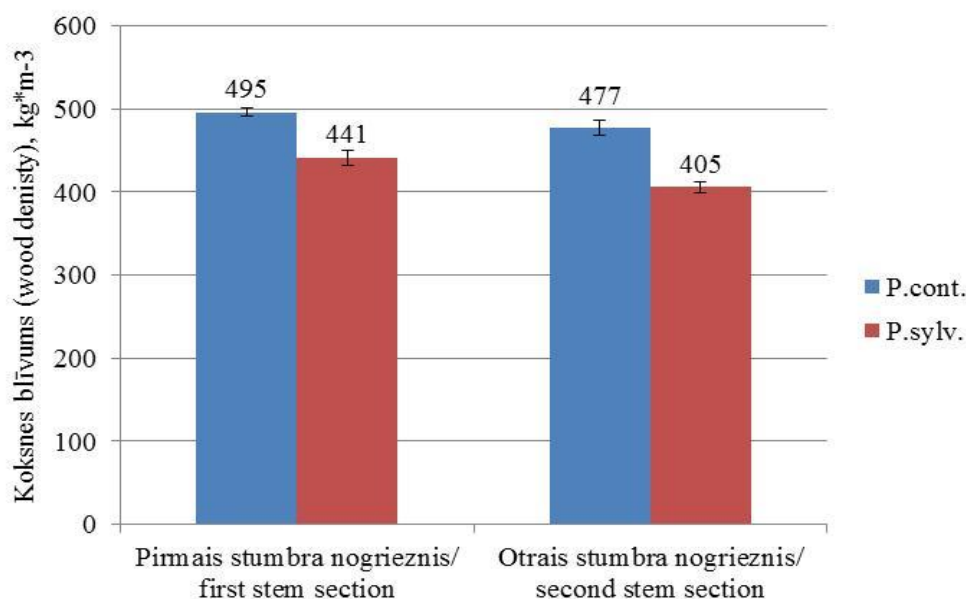
#### 4.11. att. Klinškalnu un parastās priedes stumbra pirmo nogriežņu vidējo koksnes mehānisko īpašību rādītāji

Fig. 4.11. Wood mechanical traits of the first stem sections of lodgepole pine and Scots pine

Līdzīga situācija vērojama arī savstarpēji salīdzinot stumbra otro nogriežņu ( $h = 2-4$  m) mehānisko īpašību rādītājus: arī šiem nogriežņiem parastās priedes mehāniskās īpašības ir būtiski ( $p < 0,01$ ) zemākas kā Klinškalnu priedei.

Salīdzinot mehāniskās īpašības starp nogriežņiem sugas ietvaros, konstatēts, ka atšķirības ir būtiskas ( $p < 0,01$ ), gan parastajai, gan Klinškalnu priedei. Augstākas mehānisko īpašību vērtības konstatētas stumbra lejasdaļā un virzienā uz galotni mehāniskās īpašības samazinās. Ko var izkaidrot ar dažādu agrīnās un vēlinās koksnes īpatsvaru. Stumbra lejasdaļas koksnē ir lielāks vēlinās koksnes īpatsvars, līdz ar to ir lielāks koksnes blīvums un augstāki stiprības rādītāji (Niemz, 1993, Fries, 1986). Abām sugām konstatēta lineāra sakarība starp robežstiprību liecē un elastības moduli – palielinoties elastības moduļa vērtībai palielinās arī robežstiprība. Vienādojumu determinācijas koeficientu vērtības ir sekojošas – parastai priedei  $R^2 = 0,66$ , bet Klinškalnu priedei  $R^2 = 0,74$ , kas nozīmīgi neatšķiras no Zviedrijā veikto pētījumu rezultātiem par Klinškalnu priedi (Fries, 1986), un Krievijā veiktajiem pētījumiem, kuros konstatēts, ka lineārās sakarības determinācijas koeficienta vērtība dažādām sugām ir robežās 0,6 – 0,95 (Огупцов, 1989).

Koksnes blīvuma atšķirības, gan starp sugām (4.12. att.), gan stumbra nogriežņiem ir statistiski būtiskas ( $p < 0,01$ ). Procentuālās blīvuma atšķirības, pieņemot parastās priedes blīvumu 100 %, ir 12 % pirmajiem stumbra nogriežņiem un 18 % stumbra otrajiem nogriežņiem. Rezultāti atšķiras no Zviedrijā veikto pētījumu rezultātiem, kuros konstatēta 3 % blīvuma atšķirība starp abām priežu sugām 24 gadu vecumā, parastajai priedei uzrādot pārākumu, kas tiek pamatota galvenokārt ar Klinškalnu priedes straujo augšanu un salīdzinoši lielu gadskārtu platumu (Persson, 1993). Arī 25 gadu vecumā cirstas koksnes stiprības pārbaudes apstiprina sakarību, ka virzienā no resgaļa uz galotni koksnes blīvums samazinās, un starp īpašībām pastāv lineāra sakarība ( $r = 0,8$ ), ka palielinoties koksnes blīvumam, palielinās arī koksnes stiprība, turklāt korelācija starp blīvumu un pārējām mehāniskajām īpašībām ir cieša ( $r = 0,7$ ).



4.12. att. Klinškalnu un parastās priedes stumbra pirmo un otro nogriežņu vidējais koksnes blīvums

Fig. 4.12. The average wood density of the first and second stem sections of lodgepole pine and Scots pine

Analizējot sakarības starp vienāda vecuma koku mehāniskajām īpašībām un koka dimensijām, secināts, ka Klinškalna priedei stumbra pirmajiem nogriežņiem, blīvuma vērtības dažāda caurmēra nogriežņiem ir līdzīgas, turpretī parastajai priedei, palielinoties nogriežņa caurmēram, blīvumam ir tendence samazināties, ko var izskaidrot ar gadskārtu platuma atšķirībām.

### SECINĀJUMI UN IETEIKUMI PRAKSEI

1. Klinškalnu priedes audžu krāja stādījumos Latvijā ir vidēji par 25 % augstāka nekā identiska vecuma parastajai priedei, ko nosaka ne tikai statistiski būtiski lielāks vidējais koku augstums un caurmērs, bet arī par 10-20% augstāka saglabāšanās.
2. Augsnes auglībai un proveniencē ir statistiski būtiska ietekme uz Klinškalnu priedes audžu krāju: Latvijas apstākļos produktīvākās ir Kanādas 50°, 53°, 55°-56° Z.p. proveniencē un Latvijas Skrīveru un Bukultu audžu pēcnācēji;
3. Klinškalnu priede vienā veģetācijas sezonā veidot divus līdz trīs zaru mieturus, tādēļ zaru diametru summa uz stumbra garuma vienību būtiski (par 63%) lielāka nekā parastajai priedei, ko atspoguļo arī zemāks vidējais zaru resnuma novērtējums ballēs, lai gan vidējais zaru skaits mieturī ir par 32% mazāks un to vidējais diametrs par 16% mazāks.
4. Klinškalnu priedei konstatēts statistiski būtiski un nozīmīgi (vidēji 2 reizes) lielāks koku ar padēliem un daudzstumbriem īpatsvars nekā parastajai, taču šīs pazīmes vērtību būtiski ietekmē proveniencē.
5. Latvijā augušas Klinškalnu priedes koksnes robežstiprība liecē un spiedē, kā arī elastības modulis ir augstāks kā līdzīgos apstākļos augūšai identiska vecuma parastajai priedei, vidējais koksnes blīvums priežu sugām ir attiecīgi 468 kg·m<sup>-3</sup> un 441 kg·m<sup>-3</sup>, tātad Klinškalnu priedes koksnes mehāniskās īpašības nodrošina iespēju tās pielietošanai līdzvērtīgi ar parastās priedes koksni.

6. Pārnadžu bojāto stumbru īpatsvars Klinškalnu priedei būtiski atšķiras dažādos stādījumos (amplitūda no 0% līdz 68%) un vidēji ir par 11% augstāks nekā parastajai priedei. Līdzīgi Klinškalnu priedei konstatēts augstāks vēja bojāto koku īpatsvars, taču to bija iespējams novērtēt tikai vienā eksperimentā.
7. Izstrādātais virszemes biomasas vienādojums ( $R^2=0,93$ ) liecina, ka Klinškalnu priedei virszemes biomasas ko būtiski ietekmē gan provenienci, gan augsne, absolūti sausā stāvoklī ir vidēji 1,7 reizes augstāka kā parastajai priedei, nodrošinot iespējas stādījumu ierīkošanai atjaunojamo energoresursu ieguvei nabadzīgās augsnēs



## 1. GENERAL DESCRIPTION

### Topicality of the theme

Forests cover half of the territory of Latvia and are its major nature resource and provide the state with substantial income because more than 70% of the manufactured wood products are exported (MežanozareLatvijā, 2011). Some part of the income from forests comes in an indirect form – as recreation place, berry and mushroom picking place, as well as, by absorbing carbon dioxide and producing oxygen. The forest stand rotation cycle can be shortened even for several decades by increasing forest stand productivity, also obtaining big volume of wood and biomass, thus absorbing larger amount of carbon dioxide that causes greenhouse effect. Thereby, activities increasing the productivity of forest stands provide benefits not only for forest owners, but also for society as such and help to slow the pace of global climate changes. A long-term increasing demand for wood in the global market is explained with the decrease of forest areas (on average 0.7 % per year), the increase of human population and increased use of wood amount per person linked with the rise of living standards (Kjæretal, 1998; Greavesetal, 2004; Libby, 2006), moreover, developed countries shows a tendency to use more natural materials in their households, also wood material, and giving up using materials that are not nature friendly. In this context it is essential to increase forest stand productivity that in long-term could provide additional export possibilities for Latvia. Forest stand productivity can be increased with choosing the most suitable indigenous tree species for specific areas, and also using a selected material for forest regeneration. However, notable productivity increase in several cases can be reached by using introduced tree species suitable for particular growing conditions. They in evolution process in their natural distribution areal could have developed certain adaptations that ensure increased growth intensity and/or resistance against certain abiotic or biotic factors that are essential for productivity in conditions where species is introduced.

### Aim of the thesis

The aim of the study is to evaluate characteristics of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. var. *latifolia* Engelm.) provenance, compare them to provenances of Scots pine, and to recommend the most suitable provenances of lodgepole pines for usage in Latvia.

### Research objectives

1. To characterise growth rate, branch and wood traits of lodgepole pine provenances in comparison to Scots pine provenances;
2. To analyse the amount of biomass and its distribution in lodgepole pine stands and to characterise factors influencing it;
3. To evaluate the risk factors in lodgepole pine stands – animal damages, windthrow;
4. To select lodgepole pine provenances most suitable for Latvia's conditions.

### Scientific novelty

The research is the first summary about such large-scale provenance experiments of lodgepole pine in hemiboreal zone and, thus, significantly extending the understanding of the risks and potential gains in Europe from this species that up until now has been analysed in detail only in the boreal zone. In the framework of the research for the first time lodgepole pine aboveground biomass component equations has been developed basing them on extensive data material.

Lodgepole pine wood mechanical properties have been evaluated for the first time in Latvia, as well as branch traits determining potential use of the wood. The damages of biotic and abiotic factor have been analysed. Geographic regions are defined from which the introduced lodgepole pine provenances demonstrate the highest survival and growth rate in Latvia.

### **Practical significance of the thesis**

The results of the research reveals that the yield of lodgepole pine in young stands on infertile sandy soils is significantly higher than that of Scots pine, and it could be used in such soils to create plantations for biomass production as well as to diversify the composition of species.

### **Approbation of the thesis**

The research results have been presented in 8 international and 4 national scientific conferences. Eight articles have been published in scientific journals or proceedings of the conferences.

### **Structure and volume of the thesis**

Structure of the thesis is subordinated to the research tasks. Thesis consists of three sections. First section covers six sub-chapters that look into researches performed by other authors. Information about lodgepole pine distribution in the world, biology and ecology is provided. Other country experience with this pine's introduction is analysed. The major biotic and abiotic factors that influence this species are examined, and influence of these factors on the pine's vitality and growth rate is analysed. Data about growth rates, stand productivities and biomass distribution of lodgepole pine has been analysed, both from its native range and from places where it has been introduced. Information about wood utilization and its characteristics has been summarised. The first sub-chapter of the second section gives a detailed description of each scientific experiment. Other sub-chapters of this section are devoted to field and laboratory researches, and calculation methods. Third section is dedicated to analysis and interpretation of the findings. Sub-chapter 3.1. gives a detailed analysis of the average values of productivities and dimensions of lodgepole pine provenances growing in each experiment, and comparing the data among provenances and with control data of Scots pine that is included in the experiment. The influence of abiotic and biotic factors is also analysed. Sub-chapter 3.2. gives a concise summary of conclusions from the previous section and recommends the most suitable lodgepole pine provenances for climatic conditions of Latvia. Other sub-chapters of the third section has summarized information about the biomass, wood moisture content and mechanical properties of lodgepole pine, and also an analysis of the growth rates of lodgepole pine. The doctoral thesis consist of 117 pages; information is summarized in 35 tables and 43 pictures, bibliography sources 153. The final part of the thesis formulates 7 conclusions.

## **2. SUMMARY OF FINDINGS FROM THE BIBLIOGRAPHY**

### **2.1. Characterisation of the species**

The lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.) is a commonly found pine in genus *Pinus* with two needles per bundle, and has several varieties. The Scottish botanist D. Douglas was first to describe it in the year 1825. (Cinovskis, 1992). The species is geographically divided into 4 subspecies (Lotan, Critshfield, 1990): *Pinus contorta* Dougl. var. *contorta* Dougl., *Pinus contorta* Dougl. var. *bolanderi* (Parl.) Vasey, *Pinus contorta* Dougl. var. *murrayana* (Balf.) Engelm and *Pinus contorta* Dougl. var. *latifolia* S. Watson. Lodgepole pine is very common in the continent of North America. Its native range covers the west of the Pacific Ocean from 34° - 64°N - coastal and mountain regions of USA and Canada. It is one of the most widespread tree species in the world. Found even in elevations up to 3900m above sea level (Karlman, 1993). A dominant tree species in about 6 million ha stands in USA and 25 million ha in Canada (Lotan, Critshfield, 1990). Ecologically plastic species, can inhabit wide ecologic amplitude (Karlman, 1993). Found in 27 from 55 forest types in the North America's continental boreal forest areas (Lotan, Critshfield, 1990). In the widespread native range the species has adapted to significantly different climatic conditions, where lowest air temperatures vary from -7°C in coastal regions to -57°C in mountain regions but highest temperatures are +27°C in coastal and mountain regions, and +38°C in lowlands and plateaus. It is frost hardy (Cochran, Berntsen, 1973). Lodgepole pine seed germination power and ingrowth is good in different forest types – in infertile soils, as well as, in fertile soils (Sheppard, Cannel, 1985; Despain, 2001). It grows in dry and in wetlands (Elfving et al., 2001).

even in raised sphagnum peat bogs and coastal dunes of the Pacific Ocean (Cinovskis, 1992). Their characteristics of a pioneer species - such as ability to regenerate after forest fires and its fast growth rate in juvenile age – ensure fast afforestation of areas (Elfving et al., 2001).

Lodgepole pine in USA and Canada is considered as an economically important tree species (Elfving et al., 2001), moreover, with introductions it is used far beyond the borders of its native range. Taking into consideration its ecological tolerance lodgepole pine is being introduced in northern, as well as, in the southern hemisphere (Elfving et al., 2001) – in all Fenno-Scandinavian countries – Denmark, Finland, Norway, Sweden and Iceland (Lindelöw, Björkman, 2001), and in other places in the world – Scotland, Ireland, Germany, New Zealand, British Isles, etc. (Pfeifer, 1993; Stephan, Lieserbach, 1995; Elfving et al., 2001; Hicks et al., 2003). At present, the most substantial plantations have been created in Sweden (Lindelöw, Björkman, 2001).

## 2.2. Introduction in Latvia

As mentioned in the bibliography, initially lodgepole pine in Latvia has been introduced by planting separate trees or groups of trees in gardens and parks (near Valmiera, National Botanic Garden in Salaspils, forest research station “Kalsnava”, etc.) (Saliņš, 1971). In the arboretum of Skrīveri 16 *Pinus contorta* Dougl. var. *latifolia* pines have been planted around year 1930 (Cinovskis u.c., 1991). Around that time in Skrīveri and Bukulti this pine was planted in small areas 0.1 – 0.5 ha of forest lands. Plantation of Skrīveri was practically destroyed by windfall in the year 1969 (Мауринь, 1970; Звиргзд, 1972). From the stands that were planted pre-wars only one *P. contorta* stand - that has been planted together with Douglas-fir in *Vacciniosa* forest type – has survived in Bukulti in 0.2 ha area (initially plantation was 0.5 ha), and at the age of 22 years tree average height reached 10.5 m, stem diameter 10.6 cm, stock volume 98 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, thus, exceeding *P. sylvestris* tree height for 24.5 % and diameter for 14.3 % (Салинь, 1964). After inventory of this plantation in year 1986, it was established that average tree height was 18.5 m, stem diameter 18.3 cm and stock volume (calculating from Scots pine growth rate tables) was 240 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> – it exceeds the stock volume of the neighbour Scots pine stand for 20 % (Pīrāgs, 1973). As stated by V. Lange u.c. (1978), in the weather of Latvia *P. contorta* that has been planted on medium fertility soils and in fertile soils are exceeding the results of Scots pine, but in infertile soils (*Cladinoso-callunosa*) it gives lower growing results. When evaluating seed producing dynamics E. Mauriņš (1967) selected the best 9 *P. contorta* mother-trees in Latvia's weather that grew near Valmiera (Мауринь, 1967).

The first scientific lodgepole pine plantations were created in years 1979 – 1981 by I. Baumanis and J. Birģelis in the territories of Bauska, Tukums, Ugāle and Kuldīga, with a collaboration with Swedish foresters and using various provenance seed material (Baumanis, Birģelis, 1993). The results of these and afterwards created experimental plantation have been analysed in the thesis.

## 2.3. The main biotic and abiotic factors affecting the species

**Diseases.** *P. contorta* stands growing in wet or flooded conditions of their native range are affected by large-scale damages created by pine needle cast *Lophodermella concolor* (Dearn.) Darker. Lodgepole pine's growth rate is significantly influenced by dark honey fungus (*Armillaria ostoyae* Romagn.) (Hallet, Volney, 1999).

In the researches carried out in Sweden it was stated that introduced *P. contorta*, especially those growing on plantations that has been created on former agricultural lands, undergo a slower mycorrhization process and in the result of that a root rot infection (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) spreads in *P. contorta* stands (Delatour et al., 1998; Fiodorov, 1998). In the provenance and progeny experiment sites of lodgepole pine, and in the industrial plantations in the year 1987 a severe damages of conifer trees by Scleroderis canker infection (*Gremmeniella abietina*) has been observed. Initially damage intensity was being related to extreme weather conditions (Karlman, 2001). In further years in Sweden's *P. contorta* stands *Gremmeniella abietina* infection was continuing to spread rapidly, and even in present, and due to this disease large areas of *P. contorta* stands in the north of Sweden are perishing (Karlman, 1994). One of the main conditions for

increased resistance against parasitical fungi is the correct selection of provenances (Kamp, Karlman, 1993).

**Pests.** Large and frequent damages of insects are noticed in the stands of lodgepole pine, and in many cases the hardness against it is determined by the environment of the site, as well as, the genetic properties (Ying, 1993). The attacks of mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosa* Hopk.) are a very big problem in the west of USA and in Canada. In Scandinavia there are 88 insect species observed (61 of them in Sweden) that use lodgepole pine to feed on, taking into account the morphological and physiological similarities of the introduced species with indigenous tree species (Lindelöw, Björkman, 2001). Furthermore, in comparison with Scots pine, *P. contorta* stands are particularly weakened by *G. abietina* and cankers, and are much more susceptible to *D. ponderosa* invasions (Karlman, 1993). In the 1990s in an area of thousands of hectares in *P. contorta* stands damages of European pine sawflies (*Neodiprion sertifer* Geoff.) and *Anthonomus phyllocola* Hbst. were observed (Karlman, 1993). Other species that threaten lodgepole pines in Scandinavia are *Pissodes validirostris* Gyll. and *Rhyacionia bouliana* (Lindelöw, Björkman, 2001), and also the pine beauty (*Panolis flammea*) (Watt, 1992).

**Mammals.** *P. contorta* stands in their native range (as well as *P. sylvestris* stands) are substantially damaged by moose (*Alces alces* L.) that can destroy stands even completely. In Scandinavia *P. contorta* and *P. sylvestris* stands are damaged not only by moose, but also by roe deer (*Capreolus capreolus* L.) and reindeer (*Rangifer tarandus* L.). In young growths, especially on former agricultural lands, significant damages can be created by field vole (*Microtus agrestis* L.), it gnaws of the bark of root flares, and it is found that *P. contorta* stands are damaged more often than *P. sylvestris* (Danell, Sjöberg, 1993, Segelbaden, 1993).

**Abiotic factors.** A deep snow-cover can create severe damages to *P. contorta* stands (Ying, 1993), because after winters with deep snow outbreaks of *G. abietina* infections has been observed (Karlman, 1993). The poor development of *P. contorta* root system in juvenile age in comparison to the fast growth rate of the tree and long needles can cause additional threats of tree bending in young growth stands (Karlman, 1993). Damages to *P. contorta* stands are also created by wind, as this pine does not have a pronounced taproot as it is in the case of *P. sylvestris*; thus damages caused by wind (especially in unmixed stands) are severe and can damage up to 50 % of the stand, that is explained with improper artificial afforestation (site selection, root system quality of seedlings, soil preparation), because naturally regenerated trees show significantly better results against snow bending (Elfving et al., 2001). Also snowbreaks can be observed in *P. contorta* stands, especially in juvenile age, thus, this pine is not recommended in sites where wind damages is a possible threat (Lindgren et al., 1993; Elfving et al., 2001).

### 3. MATERIALS AND METHODS

#### 3.1. Description of experiments

Data material has been collected in the lodgepole pine provenance trial plantations in Ugāle, Kuldīga, Tukums, Zvirgzde and Kalsnava that has been created in the supervision of I. Baumanis. Each plantation is conferred with a long-term forest trial status and with a experiment number which will be used hereinafter. All experiments are included in the "Register of long-term forest trials" which incorporates detailed information about each of the experiments (Baumanis u.c., 2006).

**Ugāle.** Experiments No. 76 and No. 81 are created in Ugāle, Ventspils territory. Experiment No. 76 was created in year 1980 using one year old planting material of 12 provenances. Planting was carried out in 8 repetitions on an overall ploughed soil in a former territory of a tree orchard, in *vacciniosa*, in a 0.5 ha experimental area. Stand thinning has not been performed. Previous measurement of the stand performed at age 12, measuring 1685 trees. Four Scots pine parcels has been created for the comparison of growth rates.

Experiment No. 81 commenced in year 1986 in 4 repetitions using one year old bare-root saplings from 3 provenances. Stand was created in a former territory of a tree orchard, in *vacciniosa*, type of

soil preparation – ploughed land, experimental area 0.6 ha. Thinning has been performed in year 2008 by felling every second tree. Stand was measured at age 7 (2417 trees) and at age 24 (1183 trees).

**Tukums.** Experiment No. 77 was simultaneous to experiment No. 76 and was created in the territory of Tukums. Experiment was commenced in year 1980 on a former territory of a tree orchard. On an overall ploughed soil in *myrtillosa* conditions, 4 repetitions of 12 provenances of 3 year old bare-root plants was planted. Total area of the experiment is 0.5 ha. Stand was measured at age 12 (1539 trees).

**Kuldīga.** Experiments No. 80, 84, 358, 359, 702 were created in the territory of Kuldīga. Experiment No. 80 was commenced in year 1984 on a former agricultural land in 4 repetitions planting 3 year old planting material from 9 provenances. Total area of the experiment 0.5 ha, thinning carried out in year 1995. Stand measured at ages 11, 12, 13 and 24. The amount of measured trees at ages 11-13 was 1045 trees, but at age 24- 429 trees.

Experiment No. 84 was created on a forest soil, *vacciniosa*, in year 1995. Soil was prepared in rows, 4 repetitions of 2 year old plants from 11 provenances were planted. Area of the experiment 0.6 ha, thinning carried out in year 2007. Stand measured at age 17 (2134 trees in total).

Experiment No. 358 was created in year 1993 on former agricultural land. Soil preparation – ploughed soil where 3 year old plants from 11 provenances were planted in 4 repetitions. Growing conditions meet the standards of *myrtillosa*. Total area of the experiment is 0.6 ha. Thinning has not been performed. Stand has been measured at age 16 (1940 measured trees).

Experiment No. 359 was created in year 1992 on a former agricultural land. Soil prepared with ploughing. Planting was carried out in 4 repetitions using 2 year old planting material from 11 provenances. Growing conditions meet the standards of *myrtillosa*. Total area of the experiment is 0.4 ha, thinning has not been performed. Stand has been measured at age 18 by measuring 439 trees.

Experiment No. 702 also has been created on a former agricultural land in 4 repetitions, in *myrtillosa* growing conditions. Type of soil preparation- ploughed soil. 3 year old planting material from 14 provenances has been used. Area of the experiment is 0.9 ha, thinning has not been performed, and stand measurement has been carried out at age 16 by measuring 2765 trees.

**Zvirgzde.** Experiments No. 79, 82, 704, 705, 706, 707, 708 were created in Zvirgzde, Vecumnieki territory. Experiment No. 79 was created in the year 1982 on a forest land, in *vacciniosa*. Soil preparation- furrows by forest plough. One year old seedlings from 9 provenances were planted in 4 repetitions. Total area of the experiment 0.5 ha, thinning has not been performed. Stand was measured two times – at age 10 and 29.

Experiment No. 82 was created in 1985 in *vacciniosa*. Soil prepared in furrows, 2 year old planting material from 3 provenances was planted in 4 repetitions. Total area of the experiment 1 ha, thinning performed in year 2010 by felling every second tree. Stand measured at age 9, 13 and 25, and 2228 measured trees in total.

Experiment No. 704 was created in *vacciniosa* in year 1988. In furrows 2 year old planting material from 5 provenances was planted in 4 repetitions, in 0.5 ha area. Thinning has not been performed, stand measured (1320 trees) at age 23.

Experiment No. 705 was created a year later using 2 year old planting material from 6 provenances planted in 4 repetitions. Soil prepared in furrows. Stands was not thinned, and it was measured at age 22 by measuring 1381 trees. Experiment area 0.5 ha.

Experiments No. 706, 707 and 708 were created in year 1991 on forest land, in *vacciniosa* using 3 year old planting material in 4 repetitions. All soils of experiment are prepared in furrows using forest plough. Thinning was not performed in these experiments. The area of experiment No. 706 is 0.7 ha and 7 provenances were used for the planting material (1730 trees were measured), No. 707 – 0.8 ha (2938 trees measured) and 16 provenances were used, and No. 708 – 0.9 ha (2223 trees measured) and one provenance was used. All experiments were measured at age 22.

**Kalsnava.** Experiments No. 83, 750, 751 were created in the territory of Kalsnava, in Scientific research forests, on the State Forest Service's Forest research station land in Kalsnava territory, in

*vacciniosa*. In the creation of these experiments various provenances were used but there is no information left about the origins of the provenances and the planting schemes. Experiment No. 83 was created in year 1986 using 2 year old planting material, and area of experiment is 0.5 ha. After performing measurement of the experiment, 599 trees were measured. Experiment No. 750 was created in 0.3 ha area in year 1986 by planting 3 year old planting material (343 trees measured), but experiment No. 751 with 1.2 ha area, using 3 year old planting material, was created in year 1997 (737 trees measured in the experiment). Thinning was not performed in any of these experiments.

### 3.2. Field work methods

Every tree of the experiment has been measured of height and diameter at breast height. In part of the experiments damages by artiodactyls (ruminants) has been recorded and measured – debarking of trees or rubbings. Offshoots up to 2 m and above 2 m height have been recorded. Offshoot is a branch arising from a single point of the stem in a small angle, and its diameter is at least 3 times bigger than the diameter of the branch in the closest whorl. A feature “multi-stem tree” was recorded in cases when tree has 2 or more tops that are similar in diameters and height.

In part of the experiments stem straightness index ( $St_t$ ) and branch thickness index ( $Z_r$ ) has been determined. Both indices have been evaluated with 1-6 rates. When evaluating stem straightness, a minimal index 1 was estimated to a tree with a stem that is practically straight, and an index 6 – to a visibly crooked, imperfect tree. Branch quality was similarly evaluated – index 1 to proportionally thin, evenly located branches and index 6 to trees with dense branching and visibly thick branches. In separate experiments a rot infection damage resulted dead trees and wind-thrown or wind broken trees has been recorded.

A data collection of progenies from 15 families of 3 lodgepole pine progenies with open pollination was performed to create a biomass equation and to calculate aboveground biomass of lodgepole pine in the winter 2009/2010 dormancy period, by choosing at least 7 sample trees from each family (2 trees from the smallest diameters, 2 from biggest diameters and 3 from average tree diameters) in the plantation No. 82. The selected sample-tree average stem diameter was  $10.7 \pm 0.31$  cm and tree height  $10.7 \pm 0.31$  m. All sample-trees were cut, precise tree height was measured, space between whorls were measured starting from stem bottom, the begging height of the living crown, and in each whorl a diameter and length of one living branch (randomly selected) was measured. Further, stem marking and pruning was performed; dry branch weighing, living branch (with needles) weighting by quarters of crown length; stem was cut into 1 m sections and section mass was weighed; crosscut samples and moisture content samples were collected from section ends and branches. To determine branch and needle weigh mass, one model branch per quarter of crown length that represents average branch diameter and length in each quarter was selected from 17 trees that represent the diameter distribution in experiment. It was stripped of needles, and branches and needles were weighed separately. Data was also collected from 31 sample-trees of experiment No. 704, where in each quarter of the crown needles were stripped from all branches and branches, and needles weighed separately. Data about bark density and moisture was collected from 22 sample-trees in different tree diameter degrees at various heights on the stem. Data about needle moisture was collected from 14 samples in different quarters of crown from trees of different Kraft classes.

To determine increment and to analyse its dynamics crosscut samples were collected in lodgepole pine experiment No. 82 and in Scots pine provenance trial experiment No. 19, in Zvirgzde. The age of experiments is the same and they are located next to each other. Crosscut samples from root flares are collected from 216 sample-trees, covering all experiment progenies from 15 families of 3 lodgepole pine progenies with open pollination, and also 135 Scots pine's sample-trees. The average stem diameter of selected sample-trees was  $10.2 \pm 0.29$  cm and tree height  $9.8 \pm 0.31$  m. Sample-trees were selected to represent the average values of tree species of the experiment. The average tree diameter does not differ among sample-trees.

To determine moisture content samples were collected in lodgepole pine experiment No. 82 from 291 sample-trees covering progenies from 15 families of 3 lodgepole pine progenies with open pollination. Height of the analysed trees in the research object varies from 6.0 m to 12.4 m with an average value  $10.7 \pm 0.21$  m, diameter at breast height varies from 6.9 cm to 17.5 cm in average  $9.8 \pm 0.28$  cm. The average sample-tree values of height and diameter from families statically have no substantial differences from the average values of other trees of families, the correlation between sample-trees and all tree average values is close ( $R^2 = 0.7$ ). After felling sample-trees and measuring their diameters at breast height and tree heights crosscut sample were cut from them to determine wood moisture – taking first sample at 1 m from root flare and afterwards after every 1/5 of tree length, numbering sections starting from the bottom of the tree and upwards (labelling accordingly S1, S2, S3, S4, S5), but for branches- from randomly selected branches in the dry branch zone and from characteristic diameter of living branches in every crown quarter (starting from the bottom of the crown Z1, Z2, Z3, Z4). Branch samples collected at least 5 cm from tree stem and were at least 10 cm long. Samples were not collected from all trees: living branch samples were less (170 trees).

To determine wood mechanical properties samples were collected in experiments No. 82, No. 83 and No. 750. Sample-trees were selected in a way that they would be evenly distributed in all area of the experiment, and collected data would represent physical and mechanical properties of wood. To compare the collected data of wood properties with Scots pine, material was collected from same age *P. sylvestris* stand next to it. In total 57 *P. contorta* and 24 *P. sylvestris* sample-trees were felled and cut into 2 m long segments with minimal diameter 8 cm in the thin end. Radial-sawn samples were collected from them.

### 3.3. Laboratory research methods

These experiments were performed in laboratory conditions:

- 1) lodgepole and Scots pine branch and needle biomass determination, wood moisture determination;
- 2) determination of wood mechanical properties.

***Lodgepole and Scots pine branch and needle biomass determination, wood moisture content determination.*** When performing branch and needle biomass determination branches were weighed in natural moisture content state, without needles, thus, acquiring branch mass without needles and needle biomass. Branch moisture content was determined by taking a sample from each branch, and needles- approximately 20 g weighed amount for determination of needle moisture content. Branch and needle samples were dried until absolute dry mass, thus, determining difference between natural moisture and absolute dry mass.

Wood crosscut samples were weighed before drying, and then dried until absolute dry mass, thus, determining mass difference for calculation of wood moisture content.

The wood absolute dry and relative humidity was determined for each section of stems and branches according to LVS CEN/TS 14774-2 standard.

***Determination of wood mechanical properties.*** Wood mechanical properties are strength, deformability and elasticity. Wood strength is its ability to resist against the influence of external forces that tries to break it. Characteristic quantity of strength is breaking strength. It is the maximum force that is required to break the material (Bowyer et al., 2003). Wood deformability is characterised with the modulus of elasticity whose results of compression and bending practically does not differ. A breaking strength was determined in compression and in bending, but modulus of elasticity in bending; wood density also was determined.

To decrease wood moisture and wood could be used in further experiments, radial-sawn samples of both pines were exposed to forced drying, thus, obtaining samples with a 12-16 % wood moisture content. In the further treatment of the radial-sawn samples from knotless zones, a parallelepiped form standard samples with 20 x 20 x 400 mm and 20 x 20 x 30 mm dimensions were created. Samples were created and selected in accordance with German national standard (DIN 52180,

1992). For 14 days before testing the samples they were exposed to conditioning process – to equalize wood moisture content in a air conditioning plant where air's relative humidity was  $65 \pm 5 \%$  and temperature  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , thus, receiving a constant wood moisture content and mass for all wood samples (DIN 5014, 1992). In the results samples that were created and tested of lodgepole pine were with 13 %, but Scots pine with 12.5 % moisture content. As the standard allows 0.5 % sample moisture content difference then the results were valid for comparison. Assortment that was used to create standard samples were with small (8 – 15 cm) thin-end diameter, thus, both sapwood and heartwood was represented in most of the testing. The ideal wood mechanical properties with low data dispersion is received with a testing of standard samples with no wood defects, however the results does not display wood defect - for example knot - influence on its mechanical properties. Wood density was measured in accordance with German national standard (DIN 52180, 1992), weighing the samples and measuring the samples with slipping calliper in the cross-section of the side edge, and their height with a precision of 0.1 mm. Wood sample dimension were 20 x 20 x 30 mm.

Wood sample strength in compression in direction of fibres was determined in accordance with German national standard (DIN 52185, 1992). Sample is put in a position that its longitudinal axis would conform to axis of loading system. Compression load is set on a constant speed cycle so that maximum strength would be reached in  $1.5 \pm 0.5$  minutes. In the result a breaking strength of compression is determined, and expressed in  $\text{N mm}^2$ .

Wood property tests of static bending was measured in accordance with German national standard (DIN 52186, 1992), loading a sample in three-point bend. Distance (300 mm) between support points was 15 times larger than the height of a sample (20 mm). The loading strength was put in the middle of a sample. When determining the static bending strength samples were loaded with an even load until breaking the sample. The maximum strength of breaking was reached in  $1.5 \pm 0.5$  minutes. The dimension differences between samples cannot exceed 0.5 %. The dimensions of the samples were 20 x 20 x 360 mm. In the result a breaking strength of bending ( $\text{N mm}^2$ ) and a modulus of wood elasticity ( $\text{N mm}^2$ ) were determined.

Wood properties have been determined with a Material testing machine “ZWICK Z100”.

### 3.4. Calculation methods

The average parameter values and 95 % confidence interval was determined on a provenance and experiment level. Tree survival was estimated by using the number of living trees at the period of experiment measurements of provenances against initial number of trees in each provenance. Survival was estimated on a provenance level (not on a level of each repetition). Also the values (percentages) of tree quality characteristics were estimated on a provenance level by calculating tree number with specific traits against total number of trees in provenances. The proportion of dead trees resulting from rot infection was estimated by calculating number of dead trees against initial number of trees. Descriptive statistics, dispersion and correlation analysis were used in the data processing (Arhipova, Bāliņa, 2006).

**Stem volume calculations.** Stem volume of lodgepole pine in Latvia can be calculated using equations created for this species in other countries. Equations created for various parts of countries of Iceland (Snorrason, Einarsson, 2004), Netherlands (Dik, 1984) and Sweden (Eriksson, 1973) from the summed up data base of D. Zianis were evaluated (Zianis et al., 2005). Taking into account that climatic and soil conditions of Latvia are more similar to the conditions in Sweden than in Netherland or Iceland, then in the research *Pinus contorta* stem volume was calculated using the formula created by Eriksson (1973) (published by Zianis et al., 2005):



$$V_{cont.} = 0,1121d^2 + 0,0287d^2h - 0,000061d^2h^2 - 0,9176dh + 0,1249dh \quad (1)$$

where:

- $V_{cont.}$  – lodgepole pine stem volume, m<sup>3</sup>;
- $d$  – diameter at breast height, cm;
- $h$  – tree height, m.

Scots pine stem volume was calculated using I. Liepa stem volume calculation formulas (Liepa, 1996):

$$V_{Sylv.} = 1,6541 \cdot 10^{-4} L^{0,56582} d^{0,25924} h^{1,59689} \quad (2)$$

where:

- $V_{Sylv.}$  – Scots pine stem volume, m<sup>3</sup>;
- $d$  – diameter at breast height, cm;
- $h$  – tree height, m.

**Productivity and survival.** Survival in different ages of experiment has significant differences. It was found that survival changes in the framework of the research can be reflected with polynomial equations for lodgepole pine (3) and for Scots pine (4):

$$S_{a.cont} = -0,563a^2 + 23,19a - 161 \quad (3)$$

where:

- $S_{a.cont}$  – survival at certain age, %;
- $a$  – age of experiment, years.

$$S_{a.sylv} = -0,37x^2 + 14,73x - 89,52 \quad (4)$$

where:

- $S_{a.sylv}$  – survival at certain age, %;
- $a$  – age of experiment, years.

Taking into account the significant survival differences in the stands with the same age then determination coefficients of the created formulas are not high (accordingly  $R^2 = 0,47$  un  $R^2 = 0,39$ ). Equations cannot be used for a general characterisation of age-survival relation, because the available stand multitude and number of measurements are not enough to create such relation. Equations were used when determining survival for mutually comparable stock volume calculations, providing possibilities to find the most productive provenances.

**Wood mechanical properties.**

Wood density (standard sample average moisture content 12.5 %) was calculated using relation:

$$\rho = m(abh)^{-1} \quad (5)$$

where:

- $\rho$  – wood density, gcm<sup>-3</sup>;
- $a$  – width of the sample, cm;
- $b$  – length of the sample, cm;
- $h$  – height of the sample, cm;
- $m$  – mass of the sample, g.

Modulus of elasticity was calculated using relation:

$$E = \Delta F l^3 (4bh^3 \Delta f)^{-1} \quad (6)$$

where:

- E – modulus of wood elasticity,  $N \cdot mm^{-2}$ ;
- $\Delta F$  – load difference, N;
- l – distance between the centers of pillars, mm;
- b – width of sample, mm;
- h – height of sample, mm;
- $\Delta f$  – displacement difference, mm.

Breaking strength in the static bending was calculated using relation:

$$\sigma_1 = 3Fl(2bh^2)^{-1} \quad (7)$$

where:

- $\sigma_1$  – breaking strength in the static bending,  $N \cdot mm^{-2}$ ;
- F – breaking load, N;
- l – distance between the centers of pillars, mm;
- b – width of sample, mm;
- h – height of sample, mm.

Breaking strength in compression was calculated using relation:

$$\sigma_2 = F(bh)^{-1} \quad (8)$$

where:

- $\sigma_2$  – breaking strength in compression,  $N \cdot mm^{-2}$ ;
- F – breaking load, N;
- b – width of sample, mm;
- h – height of sample, mm.

Relative and absolute moisture of wood were calculated according to standard LVS CEN/TS 14774-2:2010, applying formulas:

$$W_{rel.} = ((m_1 - m_2)m_1^{-1})100 \quad (9)$$

where:

- $W_{rel.}$  – relative moisture, %;
- $m_1$  – fresh weight of the sample, g;
- $m_2$  – absolute dry weight of the sample, g.

$$W_{abs.} = ((m_1 - m_2)m_2^{-1})100 \quad (10)$$

where:

- $W_{abs.}$  – absolute moisture, %;
- $m_1$  – fresh weight of the sample, g;
- $m_2$  – absolute dry weight of the sample, g.

## 4. RESULTS

### 4.1. Productivity of lodgepole pine stands in Latvia

For the analysis of productivity all experiments were divided into groups basing on age at the time of measurements:

- 1) 12 years – experiments No. 76, No. 77 and No. 751;
- 2) 16 - 18 years – experiments No. 358, No.702, No.704, No.84 and No. 359;
- 3) 22 years – experiments No.707, No. 83, No. 750, No.705, No.706 and No.708;
- 4) 24 and 29 years - experiments No.81, No. 82, No. 80 and No. 79.

When characterising productivity the main criterion was stock volume. To exclude age influence on tree survival a constant survival on a provenance level was calculated using the polynomial equation (3) for lodgepole pine and (4) for Scots pine. Stem volume of one tree for each species was calculated using formulas (1) and (2). Stock volume per hectare was calculated using the obtained results (taking into account the survival), taking into consideration style of each experiment (area of parcels). Three *P. contorta* provenances with the highest stock volumes per hectare were selected to summarize information about the most productive provenances, to evaluate relations of geographical provenance influence, and also to compare lodgepole pine with Scots pine.

**Productivity of the first age group (12 years) experiments.** Two experiments of this group were created in the same year as simultaneous plantations – No. 76 in Ugāle, No. 77 in Tukums. Climatic conditions in both plantation areas (in the west of Latvia) are similar, provenance and age of the planting material were the same, and also soil was prepared in the same way –overall ploughing. Third experiment (No. 751) was created in Kalsnava – thus, in a rougher climate, soil was prepared in overall ploughing. When evaluating lodgepole pine provenance productivities (Figure 4.1.) it was found that it was the highest in the experiment No. 76, in *vacciniosa*. Lodgepole pine productivity in experiment No. 751 (in *vacciniosa*) is similar to experiment No. 77. The highest productivity of Scots pine was in experiment No. 751 -  $24 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  - it significantly exceeds the stock volumes of Scots pine in other experiments. In total, the most productive in this age group are from progenies of Sweden's stands ( $50^\circ\text{N}$  and  $54^\circ\text{N}$ ), and from second generation progenies of Bukulti (Latvia) stands; their stock volume in Ugāle's experiment exceed the stock volume of Scots pine more than two times. Also in the Tukums experiment lodgepole pine productivity is higher than for Scots pine, however the superiority is not so pronounced – 16 %. Furthermore, both of these most productive provenances are showing good growth rates in both experiments. In the experiment in Kalsnava where lodgepole pine's provenance is unknown, Scots pine is showing much better productivity. Maximum stock volume of lodgepole pine at age of 12 is  $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .

**Productivity of the second age group (16-18 years) experiments.** Four experiments of this group - No. 358, No. 359, No. 702 and No. 84 are located in Kuldīga. Thus, three of them (except No. 84) are created on former agricultural lands or in a territory of arboretum, on overall ploughed soil, in *vacciniosa*. Experiments No. 358 and No. 702 were measured at age 16, No. 84 at 17, but No. 359 at age of 18. The highest productivity is in experiment No. 359 (in area with a deep peat soil), where separate lodgepole pine provenance stock volumes at age 18 reach up to  $105 - 118 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , however it is significantly less than the stock volume of Scots pine that reaches  $148 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (Figure 4.2.). The lowest productivity in this age group was in experiment No. 84 (for lodgepole pine  $17 - 19 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). Substantial damages by artiodactyls were found in this experiment (most of the trees are with stem defects) they have influenced tree growth at young age. The best stock volume of lodgepole pine provenances in other two experiments exceeds Scots pine's stock volume two or three times. The highest productivity in this age group is to progenies of Latvia's stands (Skrīveri, Bukulti), Sweden's stands ( $50^\circ\text{N}$  and  $54^\circ\text{N}$ ), and also Canada's provenances ( $55^\circ30'$  and  $56^\circ\text{N}$ ). In total, lodgepole pine of this age group in these growth conditions are showing much better productivity results in comparison to Scots pine.

**Productivity of the third age group (22 years) experiments.** Experiments of this group are created in Zvirgzde and Kalsnava. All experiments were created on forest land, in *vacciniosa*, soil prepared in furrows, measurement performed at age 22. Lodgepole pine productivity in the experiments vary

between 80 – 210 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, furthermore, it exceeds the productivity of Scots pine (several provenances shows even 2 times better results) (Figure 4.3.). The best results were found in simultaneous experiments in Kalsnava (experiments No. 83 and No. 750) where stock volume of lodgepole pine exceeds 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, however no records of the origin of provenances has been preserved. The highest productivities are from progenies of Sweden's stands (50°N and 54°N), lodgepole pine inbreeding clone progenies from Sweden (60°N) and progenies of Bukulti stands. High productivity is evident in provenances from Canada (55°30' and 56°N). In summary, it can be said that lodgepole pine's productivity is considerably higher than for Scots pine in all experiments at age 22, stock volume reaches up to 210 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

**Productivity of the fourth age group (24 and 29 years) experiments.** Experiments of this group are located in Ugāle (No. 81), Kuldīga (No. 80) and Zvirgzde (No.79, No. 82). Experiment No. 79 was measured at age 29, but other – at age 24. Productivity of lodgepole pine in all experiments exceeds Scots pine productivity (Figure 4.4.); in experiment No. 79 it is 3 times higher. The highest productivity (358 – 379 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) was determined in experiment No. 80 (in Kuldīga). The lowest productivity (144 -184 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) of lodgepole pine in this age group was in the experiment No. 82 (in Zvirgzde). The highest productivity in these experiments are to progenies from Skrīveri (Latvia) stand (379 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), and also to progenies originated from Canada (50°N and 54°N). In total, evaluating the results of the fourth age group experiments it can be said that lodgepole pine at the age of 24 – 29 in comparison to Scots pine is significantly more productive – their stock volume is 1.5 – 4 times higher.

After evaluation of tree survival on a level of experiments – lodgepole pine survival is higher in all experiments in comparison to Scots pine. The low survival level of Scots pine can be explained by its susceptibility to pine needle cast (Vuorinen, 2008, Müller, 2007) that had significant influence on pine survival during 1980s (Baumanis 1993, Бауманис 1983), it was the period when these experiments were created. Survival difference between species on average is 11 %. It is similar to the results from Finland – there a 10 – 20 % difference (Ruotsalainen, Velling, 1993). In literature sources, both *P. contorta* high survival and the fast growth in the first 15 – 20 years are emphasized (Pfeifer, 1993). After evaluation of experiments a survival correlation between species has been found, or to be precise, the higher the survival of lodgepole pine, the higher it is to the Scots pine as well.

In the previous researches it has been pointed out that lodgepole pine is suitable for the afforestation of relatively infertile soils (Hagner, 1993). The origin of provenances and their suitability to the new conditions, and also significant productivity differences between provenances is emphasized by scientists from Turkey (Simsek, 1993), Sweden (Hagner, 1993), Finland (Ruotsalainen, 1993) and other countries where lodgepole pine is introduced, and it is also confirmed by provenance researches carried out in British Columbia (*P. contorta* natural habitat) (Simsek, 1989). Provenances that have shown good results in one experiment in conditions of Latvia in most cases will be one of the productive ones in other experiments as well. After evaluation of lodgepole pine stock volume in experiments at age 24 – 29 it was established that it (on average 240 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) is not far behind from similar age (26 years) stock volumes in stands of Estonia. Similar wood dimensions were also established (Kasesalu, 2000b). In the north part of Germany, in milder conditions than in Latvia, Scots pine at age 22 is exceeding lodgepole pine in height (30 % on average) and in diameter (16 % on average). At the same time the best lodgepole provenances reach the same height as Scots pine and only a little bit falls behind in diameter (Stephan, Liesebach, 1995). In lodgepole pine experiments in Sweden at age 20 years lodgepole pine's height exceeds the height of Scots pine for approximately 11 % (Hansson, Karlman, 1997). In the researches of Finland it was established that stock volumes of lodgepole pine at age 21 is 48 – 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Ruotsalainen, 1993) which is 1.5 times lower than in the experiments of Latvia where the lowest productivity at this age is 84 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

In summary, it was established that productivity of lodgepole pine in conditions of Latvia is higher than for Scots pine; the average difference of stock volume (calculating all experiments together) is

90 % , which is significantly exceeding the results from Sweden's lodgepole pine superiority 30 – 36 % (Elfving, Norgren, 1993). It was established that the most productive provenances in conditions of Latvia are from Canadian 50°, 53°, 55°-56° N provenances, Sweden's 50°N and 54°N stands, and also Latvian Skrīveri and Bukulti stand progenies.

#### **4.2. Lodgepole pine quality in Latvian plantations**

Several factors were analysed when stem quality was evaluated, such as, offshoots, multi-stems, proportion of damages created by artiodactyls, straightness of stem and knottiness that can significantly influence the perspective assortment quality in the main and in thinning fellings. It was concluded, that lodgepole pine when introduced in Latvia maintains the characteristic of the species – developing two or even three branch whorls in one vegetation period. Significant differences between species were found after evaluating knottiness quality in grades. Lodgepole pine has more branches, thus, they are thicker. Similar results were achieved in Sweden's lodgepole pine plantations at age 24 (Persson, 1993). Stem straightness index in grades is similar for both species. In Sweden's lodgepole pine stands sinuosity is found more frequently in the lower part of the stem, it was explained with damages created by voles and hares in the first years from the creation of plantation (Karlman, 1993). It was found that in comparison to Scots pine, in *P. contorta* parcels is much higher proportion ( $p < 0.05$ ) of offshoots and multi-stem, thus, it is mathematically proven that development of offshoots and multi-stems is closely related to the genetic characteristics of provenances. Substantial proportion of offshoots and multi-stems was found in lodgepole pine stands in Sweden as well, noting, that it is related to the genetic characteristics of provenances (not to biotic factors), such as influence of animal damages (Persson, 1993). In Latvia as well – the correlation between proportion of artiodactyla damages and the proportion of offshoots and multi-stems is not found. Also a correlation between proportion of offshoots and multi-stems and productivity of provenances is not found.

After evaluation of artiodactyla damage proportion in the experiments, it was found that the proportion of damaged trees of lodgepole pine is significantly ( $p < 0.05$ ) higher, in comparison to Scots pine. Similar tendency has been found in researches carried out in the south of Sweden, where main artiodactyla species that creates damages are moose and roe deer ((Ståhl P., Ståhl E., 2008); furthermore, small rodents are mentioned as an essential factor that influences tree survival in *P. contorta* plantations that has been created on former agricultural lands (Karlman, 1993). In Latvian experiments, which have been created on former agricultural lands, tree survival in young age is high, giving a reason to believe that damages by rodents are not as pronounced as in Sweden. A correlation on a provenance level between stand productivity and damage intensity by artiodactyla has not been found. Artiodactyls are damaging all provenance trees with the same intensity. All together, in some experiments proportion of offshoots and multi-stems, and also proportion of trees damaged by artiodactyla can significantly influence gaining a qualitative first segment of stem in perspective.

#### **4.3. Above-ground biomass equations for lodgepole pine**

Increasing demand for wood for energy production, caused by price as well as tendency to replace fossil fuels with locally produced renewable sources of energy, it is important to assess not only the traits of lodgepole pine, important for production of sawn goods, but also amount and distribution of its above-ground biomass.

Material for development of biomass equations was collected in winter period of years 2009/2010 in experiment No 82, where altogether 241 trees (representing all 15 open pollinated families from 3 provenances included in trial) were destructively sampled. Marking of the trees, pruning and weighting of dry branches and green branched (with needled) by 4 sections of crown length as well as weighting of stem (by 1m sections) and collection of cross-cut samples and samples for determination of wood moisture (see respective chapter) were collected. Average breast

height diameter of sample trees was  $10.7 \pm 0.31$  cm, height  $10.7 \pm 0.31$  m. Needle mass was determined based on data from 17 sample tree, representing the diameter distribution in the experiment: from each tree one branch with average diameter was randomly selected from each quarter of crown length and needles and branches weighted separately. Additional data were collected in neighbouring experiment (No 704) from 31 tree, needles were separated from all branches and weighted by crown-length sections. Data on needle moisture was obtained from 14 samples from different crown-length sections from trees representing different Kraft classes. Data on bark density and moisture were collected from 22 sample trees from different diameter classes.

Algorithm used to develop above-ground biomass equations:

1. bark mass is mathematically separated from naturally moist stem mass based on bark density in ends of each 1m section of stem and average bark density, obtained from sample trees;
2. weighted average stem wood moisture is calculated based on data from wood moisture samples, weighted by cross section area of the cross-cut sample closest to point of moisture sample location;
3. dry stem wood weight is obtained by subtracting the moisture from fresh weight mathematically;
4. dry bark weight is obtained by subtracting the moisture (average from the analysed samples) from fresh weight mathematically;
5. based on data from sample trees branch-needle weight relationship (by quarters of crown length) is developed and used to separate weight of branches and needles;
6. moisture of branches and needles is calculated based on data from samples and used to calculate dry weight of these biomass components;
7. total dry weight of above-ground biomass is calculated as sum of weights of all components – stem wood, bark, green branches, needles, dry branches

Types of biomass equations (e.g. linear function of logarithmic tree diameter, order functions of tree diameter etc.), were selected from publications and tested using lodgepole pine data for compliance with structure of the data, residual distribution and other parameters describing quality of equation (determination coefficient, error of the estimate, statistical significance of the coefficients). Results obtained using different model were compared. Since all developed equations describing dry weight of each of the biomass components were statistically significant and with similar values of determination coefficient, most suitable was selected based on complexity of the structure of equation (preferring simpler), number of independent variables (preferring less) and residual distribution (in accordance with assumptions of regression models on independence and normal distribution).

Most suitable equation for majority of the biomass components were based on square of the breast height diameter of the tree multiplied by tree height. Equations for estimations of weight of needles and dry branches contained only breast height diameter of the tree as independent variable, but for estimation of weight of green branches - square of the breast height diameter of the tree multiplied by tree height and height of the first green branch.

Dry weight of biomass of stem and total above ground biomass (from which major part is stem biomass) can be estimated with the highest precision, but weight of dry branches – with lowest (table 4.1), that is in accordance with published findings for other tree species and/or environmental conditions.

Comparisons reveal, that biomass estimates using equations published for lodgepole pine from several countries, were significantly different from the actual (weighted) biomass as well as from the biomass estimated using our equations (table 4.2).

After evaluating the actual tree aboveground biomass in absolute dry weight depending on diameter at breast height in comparison with the calculated result – using different models – it was found that using the model from Poland (with small tree dimensions) mass is calculated relatively precise, but with bigger dimensions the evaluation is too low, however, model from Italy evaluates the mass lower than actual mass in all tree diameter range.

Models were used to calculate aboveground biomass in 2 plantations – in experiments No. 76 (Ugāle) and No. 79 (Zvirgzde) where tree dimensions (height and diameter at breast height) corresponds with the restrictions of models. It was found that the average aboveground biomass of lodgepole in absolute dry weight in 12 year old plantation No. 76 is within range from  $15 \pm 1.7$  kg to  $20 \pm 1.9$  kg (Figure 4.5.). For some provenances it is higher or lower than for Scots pine, but the differences are not statically substantial, mainly because of the wide confidence interval (resulting mainly from the little number of measurements). In the experiment No. 79, which was created on infertile sand soil, the average aboveground biomass of lodgepole in absolute dry weight at age 29 is within range from  $34 \pm 5.4$  kg to  $70 \pm 8.7$  kg (Figure 4.6.). All provenances in this experiment is exceeding the results of Scots pine, several significantly (more than 2 times) and statically ( $p < 0.05$ ).

The total tree aboveground biomass per 1 ha in the plantation created on former tree orchard territory (on fertile soil) at age 12 for lodgepole pine is 54.6 t on average (the most productive provenance – 71.1 t), and for Scots pine it is only 15.8 t (Figure 4.7.); this difference is mainly due to the tree survival differences (*P. contorta* 84 % on average, *P. sylvestris* 34 %). However, recalculating biomass with a constant survival – Scots pine's biomass significantly (for 40 %) fall behind the most productive provenance of lodgepole pine. The average increment in this period for lodgepole pine reaches 4.5 t of dry matter on 1 ha per year, which falls behind other alternative (aspen, osier) biomass production on similar soils.

The aboveground biomass of lodgepole pine in absolute dry weight at age 29 in several provenances is from 42 - 129 t ha<sup>-1</sup> and significantly (1.7 times) exceeds the biomass of Scots pine: the difference between separate *P. contorta* provenance values is from 25 % to 225 %. Moreover, in this case there is practically no difference of survival between species (38 % for *P. contorta*, 36 % for *P. sylvestris*); thus biomass difference is determined by differences of tree species productivity (quick-growth). The average biomass increase for lodgepole pine reaches 3.1 t of dry matter on 1 ha per year, for most productive provenances – 4.4 t. This indicator falls behind other species that are used with a main aim to produce power fuel, but bearing in mind that the only indigenous tree species that is suitable for such infertile sand soil as in the case of this experiment – is Scots pine.

In summary, it was established that there are substantial differences between biomass volumes on a provenance level, that leads to a conclusion that provenance has a big importance when estimating tree aboveground biomass. The most suitable lodgepole pine provenances in this aspect exceed Scots pine both after actual result, and after excluding the influence of survival. The most productive lodgepole pine provenances at age 29 reaches 4.4 t of average dry matter increase on 1 ha per year, which exceeds other alternatives in the areas with infertile sand soils.

#### 4.4. Analysis of lodgepole pine growth rate

The data for growth rate analysis was collected in lodgepole pine experiment No. 82 and in Scots pine provenance trial experiment No. 19, in Zvirgzde. Small quantity differences of increment were found between families and provenances after analysing stem diameters of all sample-trees, however, on a provenance level these differences are not statically substantial ( $p > 0.05$ ). From all families, the largest diameter increments are from family No. 15, thus, dominating diameter increment dynamic is remaining in the whole period of analysis (Figure 4.8.). A difference in the whole period of analysis was found after comparing stem diameter increments between lodgepole pine and Scots pine, but statically substantial differences are at age from 6 – 15 years. In further years increment differences remain, but it is not statically substantial, and a diameter increment equalisation is visible between species that can partially be explained with survival of Scots pine (it is considerably lower than for lodgepole pine), consequently the tree number in the parcels of Scots pine is decreasing and remaining trees have better growing conditions, and thus, the current annual increment of trees is larger.

Stem diameter increment is functionally related with the width of annual rings, which characterises the influence of abiotic and biotic environmental factors on tree growth and the stress resulted from these factors (such as, continued drought periods, insect invasions). It is possible to collect

information about tree growth rate, annual diameter increments and factors influencing them just by analysing width of tree annual rings even after many years after a death of a tree.

Statically important differences between species were found after analysis of stem diameter increments up to age of 9 years, where lodgepole pine is showing growth superiority; at age 10 – 12 years the annual diameter increments for both species are similar. In further 7 years the stem diameter increment of Scots pine is statically larger and starting from age of 20 years the diameter increment rate for both species is equalising and is practically the same. The biggest diameter increments for both species are visible in the first years of development. Afterwards there is a tendency of a decrease of diameter increment for both species. However it does not mean that the productivity of stand is decreasing, because with the increase of stem diameter tree needs to produce a larger amount of wood biomass, thus, increasing the current annual stock volume, but the increment of width of annual rings is not so rapid anymore.

Similar situation is also visible when the increment of average tree height is being estimated. Similarly to the increment of stem diameter, statically substantial differences were found also the increment of tree height between species until age of 11 years, where lodgepole pine shows larger height increments (Figure 4.9.). In the next two years height increment differences are not statically substantial, however, in the further years Scots pine's height increment exceeds lodgepole pine's, especially in the period from 17 – 22 years – significantly. Starting from 23 year age height increment equalizes and difference is not significant.

As the stem diameter and tree height increment tendencies for both species are similar, it can be concluded that abiotic and biotic environment conditions are influencing these species in a similar way. Scots pine superiority starting from 12 – 13 years can be explained with tree conservation, which is significantly lower (for 25 %) for Scots pine, thus, mutual competition is not as big as in *P. contorta* parcels, that influences both the diameter, and height increments.

After analysing stem diameter increments of 20 trees from each species with biggest diameters – no significant differences of diameter increments were found between species. Significant differences can be found at age 5 – 10 years and after age of 20 years. In the experiments in total after age of 20 years annual diameter increments between species tends to equalise, however, analysing diameter increments of 20 thickest trees from each species an opposite situation was determined then it can be concluded that larger diameter increments are closely related with the growing space of each tree. The growing space of each tree is influenced from tree survival, which for lodgepole pine is substantially higher. As a result, it can be concluded that trees, which are less influenced by competition of other trees, have substantially larger diameter increments, moreover, the difference of annual diameter increments between both species remains, and is statically substantial with a tendency to increase.

After evaluating current annual diameter increments of 20 thickest sample trees from each species (Figure 4.10.), it was concluded that the average annual diameter increments between species are statically substantially different until the age of 6 years. However, during the whole period of the analysis, lodgepole pine stem diameter increment slightly exceeds Scots pine. In the period from 6 – 24 years – substantial diameter increment differences were not found, except nineteenth vegetation period, where difference is statically substantial.

After the analysis of annual growth ring thickness dynamics it can be concluded that abiotic environment factors have been influencing tree growth during age of 4 -5 years, when pronounced annual diameter increment decrease can be found. In further years also several extremes can be found, for instance, at age 7 and 12, but not that pronounced. As the diameter increment dynamics are similar for both species, regardless of the higher productivity of lodgepole pine, it can be concluded that environment conditions are influencing both lodgepole pine, and Scots pine in a similar way.

After evaluating the growth rate of lodgepole pine and Scots pine in total, it was found that abiotic and biotic environment conditions are influencing both species similarly. Until the age of 10 years, lodgepole pine shows substantially higher average stem diameter and height annual increments, however, in the further years this difference is not so substantial and is equalising, lodgepole pine is



showing better increments that mainly can be explained with a different tree survival of both species, which is lower for Scots pine. Scots pine is sun-loving, however *P. contorta* is more shade-tolerant and therefore natural thinning in lodgepole pine stands is occurring in a slower pace. After evaluation of 20 thickest tree growth rates from both species it was concluded that in the whole period of analysis lodgepole pine shows superiority.

#### 4.5. Lodgepole pine wood moisture content and mechanical properties

The evaluation of lodgepole pine's aboveground biomass volume implies the perspectives of this species in the production of biomass, especially in plantations with infertile soils. One of important biomass utilisation aspects, which determine the obtainable energy, is moisture content. Wood moisture content is also substantial when determining its mass (at the same time the transportation costs) and the energy used during timber drying process. The aim of the chapter is to characterise *P. contorta* wood and branch moisture content, and also genetically set differences of this indicator for trees in young growth age.

The results of the research shows that absolute humidity of lodgepole pine during winter dormancy period is from 38 % to 187 %, the range of relative humidity values was considerably smaller: from 27 % to 65 %. Stem wood moisture content increases in the direction to top, differences between samples from different stem parts are statically substantial ( $p < 0.05$ ), except from sections 3 and 5. The average absolute humidity of stem wood was  $134 \pm 1.1$  %, for living branches it was lower:  $113 \pm 1.1$  %. No substantial differences of branch moisture content were found between parts of living crown, except in bottom quarter, where moisture was statically ( $p < 0.05$ ) lower ( $107 \pm 2.6$  %). The range of absolute humidity values in the living branches of plantation was from 44 % to 166 %, relative moisture: from 31 % to 62 %. Much bigger dispersion can be found between the moisture values of dead branches: absolute humidity from 26 % to 183 %, relative humidity from 21 % to 65 %. Such dispersion of the results is influenced by the diversity of branch death periods and decomposition levels, which has not been studied separately in this research, because dead branches are only 8 % from the total aboveground biomass. On average, branch moisture content is substantially and considerably lower than in other aboveground biomass components: the absolute humidity  $80 \pm 4.1$  %, relative -  $42 \pm 1.3$  %.

Wood moisture content values of lodgepole pine are a little smaller than for Scots pine with similar age and dimensions (Lībiete-Zālīte, Jansons, 2011), but the amplitude of values is similar. Other authors who have analysed Scots pine wood moisture content during winter periods (mainly for trees at felling age) have been determining lower values of absolute humidity: from 120 % to 129 % (Kalniņš, 1947; Kokins, 1977; Vaņins, 1950).

A substantial correlation on a individual tree level has been found between wood moisture content of living branches (both absolute and relative) in three top quarters of the crown ( $r = 0.35$ ,  $p < 0.01$ ), and also for stem sections 2, 3 and 4 ( $r = 0.68$ ), however the correlation of wood moisture content in these stem parts at 1 m height and in the top part is low (accordingly  $r = 0.20$  and  $r = 0.07$ ).

On a individual tree level correlation between height and wood moisture content of dead and living branches, and stem is low ( $r < 0.15$ ), except moisture content in stem section 3 ( $r = 0.25$ ,  $p < 0.01$ ) and moisture content in living branches of the lower part of the crown ( $r = -0.16$ ,  $p < 0.01$ ). Branch moisture content correlation with stem diameter is similar to the correlation with tree height, except with the living branches in the 3<sup>rd</sup> crown quarter, where  $r = 0.16$  ( $p < 0.05$ ). Stem wood moisture content correlation with stem diameter is closer than with tree height (on average  $r = 0.25$ ,  $p < 0.01$ ), especially in 3<sup>rd</sup> section:  $r = 0.36$  ( $p < 0.01$ ). In summary, in all cases wood dimensions explains a very small part from the observed moisture index variations ( $R^2 < 0.1$ ), except diameter and stem's 3<sup>rd</sup> section correlation where  $R^2 = 0.14$ .

None of the moisture content differences of the aboveground biomass components were substantial, however a statically substantial ( $p < 0.05$ ) influence of family on wood moisture content in all stem sections was found. Moisture content is statically lower in families with the highest stock volumes and aboveground biomass, thus, a genetic material selection is possible, which ensures high wood volume and its quality as well.

It was found that on a family average value level closer relationships are with stem moisture content in several sections, especially in 3<sup>rd</sup> section ( $r = 0.75$ ,  $p < 0.01$ ), correlation between stem and dead branch moisture content is close ( $r = 0.54$ ,  $p < 0.05$ ). Correlation between stem moisture content at 1 m height and living crown bottom quarter branch moisture content is low and is not statically substantial. Stem moisture content on average is correlating closer with branch wood moisture content in crown's middle part (second and third quarter, accordingly  $r = 0.52$  and  $r = 0.56$ ). Results show that stem moisture content analysis from samples at 1 m height is valid to be used for most of the moisture characterisations of aboveground biomass components and thus, selecting most perspective families by using this value.

Altogether, 317 lodgepole pine and 233 Scots pine standard samples were tested for mechanical properties, obtaining a data set that represents wood mechanical properties of the species at age of 25 years.

After analysing the obtained data, substantial differences were found between species and between the areas of stem where the samples were collected from. The average breaking strength in bending, compression and the average values of modulus of elasticity (Figure 4.11.) in first line segments of the stem ( $h = 0-2$  m) for Scots pine were statically substantially lower ( $p < 0.01$ ) than for lodgepole pine.

Similar situation was found after analysing wood mechanical property results of second line segments of the stem ( $h = 2-4$  m): in these segments for Scots pine they were substantially ( $p < 0.01$ ) lower than for lodgepole pine.

After comparing mechanical properties between line segments (in terms of each species) substantial differences ( $p < 0.01$ ) were found both for Scots pine and for lodgepole pine. Higher wood mechanical property values were found in the bottom parts of stems, mechanical properties were decreasing towards the top of the tree, that can be explained with different proportions of early and late wood, thus larger wood density and higher strength values (Fries, 1986; Niemz, 1993). A linear relation was found for both species between bending strength and modulus of elasticity – in an increase of the value of modulus of elasticity, bending strength increases as well. Values of determination coefficient in equation are such – for Scots pine  $R^2 = 0.66$ , for lodgepole pine  $R^2 = 0.74$ , which are not substantially different to the results from lodgepole pine researches in Sweden (Fries, 1986), and researches in Russia, where it was found that linear relations of determination coefficient values for different species are from 0.6 – 0.95 (Огупцов, 1989).

Wood density differences both between species (Figure 4.12.), and between stem line segments are statically substantial ( $p < 0.01$ ). Density differences in percentages, by taking Scots pine density as 100 %, is 12 % for first line segments of stem, and 18 % for the second. Results are different from research results of Sweden, where 3 % wood density difference between both species at age of 24 years was found, Scots pine exceeding lodgepole pine, it was explained mainly with a lodgepole pine's quicker growth and comparatively larger width of annual rings (Persson, 1993). Also wood strength tests of 25 year old trees confirms with a relation that wood density is decreasing in a direction from bottom to top of the tree, and between properties is a linear relation ( $r = 0.8$ ) that with a increase of wood density, wood strength increases, moreover, the correlation between density and other mechanical properties is close ( $r = 0.7$ ).

Analysing relations between the same age tree mechanical properties and tree dimensions, it was concluded that lodgepole pine density values from the first line segments with different diameters are similar, however for Scots pine – with an increase of segment diameter, the density has tendency to decrease, which can be explained with differences of annual ring widths.

## CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS FOR PRACTICE

1. Yield of lodgepole pine in plantations in Latvia is on average 25% higher than that of Scots pine at the same age and site conditions, due not only to statistically significantly higher height and diameter, but also by 10-20% higher survival.
2. Factors statistically significantly affecting yield of lodgepole pine are soil fertility and provenance: highest productivity in Latvia's conditions was found for Canadian provenances from latitudes 50°, 53°, 55°-56° as well as for progenies of lodgepole pine stands in Skrīveri and Bukulti.
3. Lodgepole pine forms two to three branch whorls per year, therefore the sum of branch diameters per unit of stem length (meter) are notably (63%) and significantly higher than for Scots pine and accordingly branch diameters, evaluated in grades, are also larger. However, average number of branches per whorl for lodgepole pine is 32% smaller and average branch diameter 16% smaller than for Scots pine.
4. Lodgepole pine has statistically significantly higher proportion of trees with spike knots and double tops than Scots pine: difference in average is two times, however it is significantly affected by provenance.
5. Wood bending and compression strength as well as module of elasticity for lodgepole pine grown in Latvia is higher than that of Scots pine, average wood density for both pine species is 468 kg·m<sup>-3</sup> and 441 kg·m<sup>-3</sup> respectively, confirming, that mechanical properties of lodgepole pine wood permit its use similar to that of Scots pine wood.
6. Proportion of lodgepole pine trees with browsing damages vary widely between experiments (from 0% to 68%), but on average is 11% higher than that for Scots pine. Also proportion of trees affected by wind (found only in one experiment) was higher for lodgepole pine.
7. Based on results of application of developed equation for above-ground biomass estimation ( $R^2=0.93$ ), biomass of lodgepole pine is significantly affected by provenance and soil conditions and is on average 1.7 times higher than that for Scots pine, confirming, that lodgepole pine can be used as viable alternative for establishment of energy-wood plantations on infertile sandy soils.