

LATVIJAS VALSTS MEŽZINĀTNES INSTITŪTS “SILAVA”  
LATVIA STATE FOREST RESEARCH INSTITUTE “SILAVA”

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE  
LATVIA UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Mg.silv. LĪGA JANSONE

**EIROPAS DIŽSKĀBARŽA (*FAGUS SYLVATICA L.*) KOKAUDŽU  
ATJAUNOŠANĀS UN AUGŠANA LATVIJĀ**

***REGENERATION AND GROWTH OF EUROPEAN BEECH  
(FAGUS SYLVATICA L.) STANDS IN LATVIA***

Promocijas darba KOPSAVILKUMS  
*Dr.silv.* zinātniskā grāda iegūšanai

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

Salaspils, Jelgava 2019

Promocijas darba zinātniskais vadītājs / *Supervisor*:

Dr.silv. Āris JANSONS

Promocijas darba konsultants / *Consultant*:

Dr.biol. Roberts MATISONS

Promocijas darbs izstrādāts Latvijas Valsts mežzinātnes institūtā “Silava”. Doktorantūras studiju laiks Latvijas Lauksaimniecības universitātes Meža fakultātē no 2012. līdz 2019. gadam. Datu ievākšana uz analīze veikta LVMI “Silava” un AS “Latvijas Valsts meži” 2011. gada 11. oktobra memoranda “Par sadarbību zinātniskajā izpētē” realizētā pētījuma “Meža apsaimniekošanas risku izmaiņu prognozes un to mazināšana” un Valsts pētījumu programmas “Latvijas ekosistēmu vērtība un tās dinamika klimata ietekmē – EVIDEnT” ietvaros.

*The Doctoral thesis have been developed at the Latvian State Forest Research Institute “Silava”, PhD studies in Latvia University of Life Sciences and Technologies, Forest Faculty in period from 2012 to 2019. Research had been carried out in the study “Forest management risks: prognosis and minimization” in accordance to agreement between LSFRI “Silava” and JSC “Latvijas Valsts meži” from 11th of October, 2011 “On research cooperation” and National Research Program “The value and dynamic of Latvia’s ecosystems under changing climate – EVIDEnT”.*

Oficiālie recenzenti / *Official reviewers*:

- Dr.silv. **Jurģis JANSONS**, Latvijas Valsts mežzinātnes institūta “Silava” vadošais pētnieks. / *Senior researcher of the Latvian State Forest Research Institute “Silava”*;
- Dr.biol. **Guntis BRŪMELIS**, Latvijas Universitātes Bioloģijas fakultātes profesors. / *Professor of Biology Faculty of the University of Latvia*.
- Dr. **Virgilijus BALIUCKAS**, Vitauta Magnusa universitāte. / *Vytautas Magnus university*.

Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Mežzinātņu un Materiālzinātņu nozares promocijas padomes atklātā sēdē **2019. gada 20. decembrī plkst. 12:00** LVMI “Silava” telpās, Salaspilī, Rīgas ielā 111/ *To be presented for public criticism in an open session of the Promotion Council of Forest Sciences and Material Sciences of Latvia University of Life Sciences and Technologies will be held on **December 20, 2019, at 12:00** in Latvian State Forest Research Institute “Silava”, in Salaspils, Riga Street 111.*

Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā Jelgavā, Lielā ielā 2 un interneta vietnē [http://llufb.llu.lv/promoc\\_darbi.html](http://llufb.llu.lv/promoc_darbi.html). Atsauksmes sūtīt promocijas padomes sekretārei Mg.silv. Sarmītei Berņikovai-Bondarei uz Dobelesiela 41, Jelgava, LV-3001, Latvija, vai uz e-pasta adresi [koka@llu.lv](mailto:koka@llu.lv). / *The thesis are available at the Fundamental Library of University of Life Sciences and Technologies: Liela Street 2, Jelgava or: [http://llufb.llu.lv/promoc\\_darbi.html](http://llufb.llu.lv/promoc_darbi.html). References are welcome to be sent to Mg.silv. Sarmīte. Berņikova-Bondare, the Secretary of the Promotion Council: Dobeles Street 41, Jelgava, LV-3001, Latvia, or e-mail: [koka@llu.lv](mailto:koka@llu.lv).*

## SATURS / CONTENTS

1.	DARBA VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS .....	7
1.1.	Tēmas aktualitāte .....	7
1.2.	Promocijas darba mērķis.....	9
1.3.	Promocijas darba pētnieciskie uzdevumi.....	9
1.4.	Promocijas darba tēzes.....	9
1.5.	Zinātniskā novitāte.....	9
1.6.	Zinātniskā darba aprobācija .....	9
2.	MATERIĀLS UN METODEDES .....	11
2.1.	Gaismas apstākļu ietekme uz dižskābarža dabisko atjaunošanos.....	12
2.2.	Otrās paaudzes ģenētiskā daudzveidība.....	13
2.3.	Dižskābarža otrās paaudzes stādījumu saglabāšanās un augšana Latvijas centrālajā daļā.....	13
2.4.	Augšanas gaita .....	14
2.5.	Meteoroloģisko faktoru ietekme uz dažādu dimensiju dižskābaržu caurmēra pieaugumu.....	15
3.	REZULTĀTI UN DISKUSIJA.....	15
3.1.	Dižskābarža dabisko atjaunošanos ietekmējošie faktori izcirtumā un zem audzes vainagu klāja, un otrās paaudzes ģenētiskā daudzveidība .....	15
3.2.	Dižskābarža otrās paaudzes stādījumu saglabāšanās un augšana Latvijas centrālajā daļā.....	21
3.3.	Dižskābarža augšanas gaita.....	23
3.4.	Meteoroloģisko faktoru ietekme uz dažādu dimensiju dižskābaržu caurmēra pieaugumu.....	24
	SECINĀJUMI.....	27

REKOMENDĀCIJAS .....	28
PATEICĪBAS .....	29
1. GENERAL DESCRIPTION .....	30
1.1. Topicality of the theme .....	30
1.2. Aim of the thesis .....	32
1.3. Research tasks of the thesis.....	32
1.4. The thesis .....	32
1.5. Scientific novelty .....	32
1.6. Approbation of research results .....	32
2. MATERIAL AND METHODS .....	33
2.1. Influence of light conditions on natural regeneration of European beech.....	33
2.2. Genetic diversity of the second generation.....	34
2.3. Survival and growth of European beech second generation in central part of Latvia.....	34
2.4. Height increment.....	35
2.5. Influence of meteorological factors on radial growth of different dimension beech.....	35
3. RESULTS AND DISCUSSION .....	36
3.1. Factors affecting natural regeneration of European beech in clearcut areas and under canopy, and genetic diversity of second generation .....	36
3.2. Survival and growth of European beech second generation stands in central part of Latvia.....	38
3.3. Height increment of European beech.....	39
3.4. Influence of meteorological factors on radial growth of different dimension beech.....	39

CONCLUSIONS .....	41
RECOMMENDATIONS.....	42
IZMANTOTĀ LITERATŪRA / REFERENCES .....	43

# 1. DARBA VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS

## 1.1. Tēmas aktualitāte

Eiropas dižskābardis (*Fagus sylvatica* L.) ir izplatītākā koku suga lapu koku mežos Centrāleiropā. Šobrīd tā areāls ziemeļos plešas līdz Vācijas ziemeļdaļai, Dānijai, Zviedrijas dienviddaļai, Polijai. Austrumu robeža sasniedz Ukrainu, Moldāviju, Bulgāriju. Areāla dienvidu daļa ietver Balkānu pussalu, Apenīnu kalnus, Sicīliju, Spāniju (Leugnerová, 2007). Latvija atrodas ārpus dižskābarža dabiskās izplatības areāla, un mūsu valstī šī koku suga sastopama izolētās platībās. Tomēr tiek prognozēts, ka jau līdz 21. gadsimta beigām dažādu sugu izplatības areāli var būtiski mainīties klimata pārmaiņu dēļ (Hickler et al., 2012). Eiropas teritorijā sagaidāma galvenokārt sugu pārvietošanās ziemeļu virzienā (Walther et al., 2002; Kullman, 2008). Prognozes liecina, ka Eiropas dižskābarža augšanai piemērotais areāls līdz gadsimta vidum ietvers arī visu Latvijas un Igaunijas teritoriju (Kramer et al., 2010). Tomēr šīs koku sugas faktisko izplatību noteiks saimnieciskā darbība. Dabiski dižskābardis izplatās lēni, jo tā sēklas ir salīdzinoši smagas. Sēklas izplata putni un peļveidīgie grauzēji; pētījumi liecina, ka vidējais sēklu izplatīšanās attālums ir aptuveni 30 m no sēklu koka, tālākā distancē izplatās nenozīmīga daļa no visām sēklām (Dobrovolný, & Tesar, 2010). Latvijas rietumu daļā veikts pētījums liecina, ka dižskābarža dabiskās izplatīšanās ātrums varētu būt 3.4 m gadā (Sabule L., 2009). Sēklu ražas gadi dižskābardim ir reti un neregulāri, literatūras avotos norādīti dažādi intervāli. Izteikti bagātīga raža sagaidāma apmēram ik pēc četriem līdz sešiem gadiem (Peña et al., 2010), pēc citu autoru datiem – ik pēc sešiem līdz deviņiem gadiem (Giesecke et al., 2007; Vanders, 1960a). Dižskābardis labi apputeksnējas tikai svešapputes ceļā, tā putekšņi ir salīdzinoši smagi un lido nelielu attālumu, tāpēc gados ar mazāk bagātīgu ziedēšanu svešappute ir apgrūtināta, kā rezultātā šādos gados lielākā daļa sēklu ir tukšas (Vanders, 1960a). Pēc bagātīga sēklu ražas gada paaugā sastopami pat 350 000 un vairāk dižskābaržu sējeņi uz hektāra, no kuriem pēc gada ir izdzīvojuši aptuveni puse (Vanders, 1957). Dižskābarža izplatīšanos ap sēklu avotiem ietekmē arī intensīva jaunaudzū kopšana – ja nogabalā kā mērķa suga nav noteikts dižskābardis, tad, veicot jaunaudzē kopšanu, tiks atstāti tikai atsevišķi eksemplāri, nevis saglabāti visi dzīvotspējīgie dižskābarži.

Pētījumi Eiropā liecina, ka dižskābardis ir pret vētru ietekmi noturīga, ēncietīga, pārnodžu maz bojāta un daudzviet arī komerciāli nozīmīga koku suga. Ņemot vērā šīs īpašības, kā arī sagaidāmo klimata izmaiņu pozitīvo ietekmi uz dižskābardim vairākumā Baltijas jūras reģiona (Hanewinkel et al., 2013), jau šobrīd atsevišķās valstīs tiek veicināta tā plašāka izmantošana. Ir būtiski detalizēti raksturot dižskābarža atjaunošanos un augšanu ietekmējošos faktorus Latvijā, radot pamatu šīs koku sugas plašākai pielietošanai mežsaimniecībā.

Dižskābarža koksne tiek uzskatīta par vērtīgu, tā ir dekoratīva, un tiek izmantota iekštelpu apdarē, durvīm, mēbelēm, parketam, kā arī finiera un papīra ražošanā (von Wühlisch, 2008; Born, 2011). Koksnes kvalitāte ir atkarīga no stumbra īpašībām, audzes kopējās kvalitātes, augšnes īpašībām un atbilstošas audzes apsaimniekošanas (Poljanec, & Kadunc, 2013).

Pēc literatūras datiem var secināt, ka dižskābarža stādījumi Latvijas teritorijā ierīkoti jau ap 18. gadsimta vidū, izmantojot tos muižu un pilsētu parkos un apstādījumos (Freibe, 1805). Pirmās zināmās mežaudzes ierīkotas 18. gadsimta beigās (Vanders, 1960b). Lai gan dižskābardis Latvijā ir introducēta suga, tomēr jau 20. gadsimta vidū K. Vanders uzskatījis, ka dižskābardis ir pilnīgi naturalizējies Kurzemē (Vanders, 1957). Par to liecina dižskābarža sastopamība pat trīs stāvos un dažādos vecumos stādītajās mežaudzēs, kā arī parkos. Dižskābardis Latvijā atjaunojas dabiski gan zemu vainagu klāja, gan apkārtējās teritorijās (Bolte et al., 2007; Laiviņš, 2010). Par veiksmīgu sugas adaptēšanos liecina arī tas, ka šīs sugas audzēs koksnes krāja neatpaliek no vietējām koku sugām (Dreimanis, 2006). Pagaidām Latvijas centrālā un austrumu daļa tiek uzskatīta par nepiemērotām dižskābarža audzēšanai, jo šajās teritorijās raksturīga izteikti zema temperatūra ziemā, kas var būt limitējošais faktors dižskābardim (Bolte et al., 2007). Tomēr, ņemot vērā jau līdz šim novēroto un arī prognozēto vidējās temperatūras pieaugumu, ko daļēji izraisa temperatūras palielināšanās ziemas periodā (Lizuma et al., 2007), augšanas apstākļi šajā teritorijā kļūst piemērotāki dižskābardim, un ir lietderīgi ierīkot eksperimentālos stādījumus un atlasīt šiem apstākļiem piemērotākās ģimenes.

Līdzšinējo pētījumos Dr.habil. Māris Laiviņš veicis dižskābaržu kartēšanu Latvijas teritorijā, aprakstījis augu sabiedrības dižskābarža audzē un ierīkojis divus pastāvīgo parauglaukumus otrā paaudzes audzēs (sākotnēji no Vācijas ievesto pirmās paaudze koku pēcnācēji). Tajos noteikti taksācijas rādītāji, atmirušās koksnes apjoms, vainagu veselības stāvoklis un projekcija (Laiviņš, 2010). Plašāku taksācijas rādītāju raksturošanu, atkārtoti pārmērot pastāvīgos parauglaukumus, nodrošinājis prof. A. Dreimanis (Dreimanis, 2005, 2006). Tomēr nav pietiekamas informācijas par augstuma pieauguma dinamiku. Ir analizēta gadskārtu platumu korelācija ar meteoroloģiskajiem apstākļiem ilgtermiņā samērā nelielai paraugkopai, konstatējot vasaras sausuma negatīvo ietekmi uz radiālo pieaugumu (Sabule I., 2009), bet nav analizētas paaudzū atšķirības reakcijā uz meteoroloģiskajiem apstākļiem, kā arī meteoroloģisko apstākļu ietekme uz radiālo pieaugumu sezonas ietvaros.



## **1.2. Promocijas darba mērķis**

Novērtēt Eiropas dižskābarža audzēšanas potenciālu Latvijā klimata pārmaiņu kontekstā.

## **1.3. Promocijas darba pētnieciskie uzdevumi**

1. Raksturot dižskābarža dabisko atjaunošanos ietekmējošos faktoros izcirtumā un zem audzes vainagu klāja, un otrās paaudzes koku ģenētisko daudzveidību.
2. Raksturot dižskābarža otrās paaudzes stādījumu saglabāšanos un augšanu relatīvi skarbos apstākļos Latvijas centrālajā daļā.
3. Novērtēt dižskābarža augšanas gaitu.
4. Raksturot meteoroloģisko faktoru ietekmi uz dažādu dimensiju dižskābaržu caurmēra pieaugumu.

## **1.4. Promocijas darba tēzes**

1. Dižskābarža dabiskā atjaunošanās Latvijā ir sekmīga gan zem vecās audzes vainagu klāja, gan izcirtumos.
2. Otrās dižskābarža paaudzes augšanas gaita un jutība pret klimatiskajiem faktoriem ir atšķirīgas salīdzinājumā ar pirmo paaudzi.

## **1.5. Zinātniskā novitāte**

Pirmo reizi salīdzināta dažādu paaudžu dižskābaržu reakcija uz klimatiskajiem faktoriem audzēs, kas atrodas uz ziemeļaustrumiem no šīs koku sugas izplatības areāla robežas. Pirmo reizi Baltijā novērtēta dižskābarža saglabāšanās zem audzes vainagu klāja vairākas desmitgades pēc stādīšanas, ģenētiskā daudzveidība divām šīs koku sugas paaudzēm, kā arī raksturots augstuma pieaugums.

## **1.6. Zinātniskā darba aprobācija**

Promocijas darba galvenie rezultāti apkopoti 8 publikācijās:

1. **Puriņa, L.**, Neimane, U., Džeriņa, B., & Jansons, Ā. (2013) Eiropas dižskābarža (*Fagus sylvatica* L.) atjaunošanas ietekmējošie faktori. *Mežzinātne*, 27(60), 67-76.
2. **Jansone, L.**, Matisons, R., & Adamovičs, A. (2019) Light requirements of regeneration of European beech at its northeasternmost stand in Europe - a case study in Latvia. *Iesniegts Forestry Studies*.
3. **Puriņa, L.**, Matisons, R., Jansons, Ā, & Šēnhofa, S. (2016) Survival of European beech in the central part of Latvia 33 years since the plantation. *Silva Fennica*, 50(4), article id 1656, doi: 10.14214/sf.1656
4. **Purina, L.**, Adamovics, A., Katrevics, J., Katrevica, Z., & Dzerina, B. (2016) Growth of *Fagus sylvatica* in young mixed stand: case study in central Latvia. *Research for Rural Development*, 2, 21-26.
5. Matisons, R., Šņepsts, G., **Puriņa, L.**, Donis, J., & Jansons, Ā. (2018) Dominant height growth of European beech at the northeasternmost stands in Europe. *Silva Fennica*, 52(1), article id 7818, doi: 10.14214/sf.7818
6. Krišāns, O., **Puriņa, L.**, Mesters, D., Kāpostiņš, R., Rieksts-Riekstiņš, J., & Jansons, Ā. (2016) Intra-annual radial growth of European beech – a case study in north easternmost stand in Europe. *Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused*, 65, 34–42. ISSN 14069954.
7. Matisons, R., **Puriņa, L.**, Adamovičs, A., Robalte, L., & Jansons, Ā. (2017) European beech in its northeasternmost stands in Europe: Varying climate-growth relationships among generations and diameter classes. *Dendrochronologia*. 45, 123-131. doi: 10.1016/j.dendro.2017.08.004
8. Jansons, Ā., Matisons, R., **Puriņa, L.**, Neimane, U., & Jansons, J. (2015) Relationships between climatic variables and tree-ring width of European beech and European larch growing outside of their natural distribution area. *Silva Fennica*, 49(1), article id 1255, doi: 10.14214/sf.1255

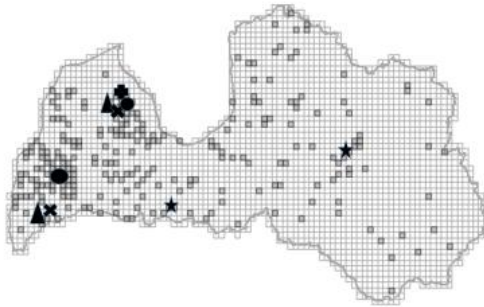
Pētījuma rezultāti prezentēti 7 konferencēs:

1. Oskars Krisans, Roberts Matisons, **Līga Purina**, Endijs Baders, Aris Jansons (2017) Climatic signals in tree-rings: native vs. introduced tree species case study in Latvia. International meeting “Non-native tree species for European forests – experiences, risks and opportunities”, February 6-8, 2017, Prague, Czech Republic.

2. **Līga Purina**, Andis Adamovics, Juris Katrevics, Zaiga Katrevica, Baiba Dzerina (2016) Growth of *Fagus sylvatica* in young mixed stand: case study in central Latvia. Annual 22<sup>nd</sup> International Scientific Conference "Research for Rural Development 2016", May 18-20, 2016, Jelgava.
3. Roberts Matisons, **Līga Purīna**, Linda Robalte, Āris Jansons (2016) Climatic factors affecting radial growth of *Fagus sylvatica* in Latvia. 4th International Conference of Dendrochronologists and Dendroecologists from the Baltic Sea Region "BaltDendro 2016", August 22-25, 2016 Annas Tree School, Latvia.
4. Oskars Krišāns, **Līga Purīna**, Dāvis Mesters, Rolands Kāpostiņš, Āris Jansons, Juris Rieksts-Riekstiņš (2016) Intra annual changes of intensity of radial growth of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in western Latvia. 4th International Conference of Dendrochronologists and Dendroecologists from the Baltic Sea Region "BaltDendro 2016", August 22-25, 2016 Annas Tree School, Latvia.
5. **Līga Purīna**, Ilze Pušpure, Baiba Džeriņa, Āris Jansons (2016) Regeneration of *Fagus sylvatica* at the edge of its northern distribution limits. 4th International Conference of Dendrochronologists and Dendroecologists from the Baltic Sea Region "BaltDendro 2016", August 22-25, 2016 Annas Tree School, Latvia.
6. **Līga Purina**, Roberts Matisons, Aris Jansons (2015) Regeneration and climate-growth sensitivity of European beech in Latvia. International scientific conference "KNOWLEDGE BASED FOREST SECTOR" November 4–6, 2015, Riga, Latvia. Poster presentation.
7. Āris Jansons, Roberts Matisons, Jānis Janons, **Līga Purīna**, Endijs Baders (2015) High-frequency variation of tree-ring width of several tree species in Latvia. International scientific conference on dendrochronology "Climate and human history in the Mediterranean basin", October 18-23, 2015, Antalya, Turkey.

## 2. MATERIĀLS UN METODEDES

Pētījumam dati ievākti dižskābarža lielākajās audzēs Latvijā: Talsu, Madonas, Tērvetes, Aizputes un Priekules novadā (2.1. att.).



- - atjaunošanos ietekmējošie faktori / *factors affecting regeneration*
- ▲ - otrās paaudzes ģenētiskā daudzveidība / *genetic diversity of second generation*
- ★ - otrās paaudzes saglabāšanās un augšana / *survival and growth of second generation*
- - augstuma pieauguma veidošanās / *formation of cumulative primary growth*
- × - caurmēra pieaugumu ietekmējošie meteoroloģiskie faktori / *meteorologic factors affecting secondary growth*

**2.1.att. Dižskābarža izplatība Latvijā (pelkie punkti, dati: Latvijas dendrofloras atlants) un dažādiem pētījuma uzdevumiem izvēlēto objektu izvietojums /**

*Fig. 2.1. Distribution of beech in Latvia (with grey dots, data: Latvijas dendrofloras atlants) and sites selected for specific of research tasks*

Pētījumā analizēti vairāku paaudžu koki. Ar pirmo paaudzi saprot audzes, kuras stādītas, izmantojot Vācijas ziemeļu daļā ievāktas sēklas, audžu vecums aptuveni 100 – 140 gadi. Otro paaudzi veido pirmās paaudzes pēcnācēji, izauguši no vietējā sēklu materiāla.

**2.1. Gaismas apstākļu ietekme uz dižskābarža dabisko atjaunošanos**

Lai izzinātu gaismas apstākļu ietekmi uz dižskābarža dabisko atjaunošanos zem vainagu klāja, Talsu novadā ierīkoti 11 transekti dižskābarža tīraudzē, Eiropas balteglu audzē ar bērzu, ozolu, egļu un dižskābaržu piemistrojumu, kā arī lapu koku mistraudzē. Meža tips – vērīš, audžu vecums aptuveni 120 gadi. Transekti ierīkoti cauri dižskābarža paaugas grupām, tie sadalīti 2 × 2 m kvadrātos bez atstarpēm starp tiem. Katrā posmā atsevišķi uzskaitīta dižskābarža un citu koku sugu paauga, uzmērīts tās augstums. Katra kvadrāta centrā veikta vainagu klāja fotografēšana, lai varētu aprēķināt gaismas rādītājus. Fotografijas uzņemtas ar Nikon Coolpix E8400 kameru, aprīkotu ar platleņķa (fish-eye) objektīvu (DSLR 4.9 mm-203) (Regent Instruments Inc., Quebec, Canada), kamera novietota 1.4 m augstumā virs zemes. Eiropas baltegles audzē ierīkotajos transekotos papildus ievākti šādi dati: katrā transekta 4 m posmā noteikts tālākā

pie paaugas grupas piederošā dižskābarža attālums no transekta abās tā pusēs (lai iegūtu priekšstatu par paaugas grupas aizņemto platību un formu), katrā 4 m posmā abās transekta pusēs uzskaitīts tuvākais pirmā stāva koks, kas ietekmē paaugas grupas gaismas apstākļus, noteikta arī tā suga un caurmērs. Visos virzienos 30 m attālumā no transekta uzskaitīti visi pirmā un otrā stāva dižskābarži, uzņēmēti to augstums, caurmērs un attālums no transekta, kā arī noteikta piederība tuvākajam parauglaukuma 4 m posmam.

Gaismas apstākļi transekta posmos aprēķināti, izmantojot WinScanopy 2006a programmu (Regent Instruments Inc., Quebec, Canada). Dižskābarža tīraudzē un lapu koku mistraudzē aprēķināta tiešā, izkliedētā un kopējā gaisma (mol m<sup>-2</sup> diena<sup>-1</sup>), Eiropas balteglu audzē noteikti šādi parametri: vainagu klāja izrobajums, vainagu klāja atvērums, tiešās gaismas īpatsvars un kopējās gaismas īpatsvars, kas ir relatīvas vērtības un tiek izteiktas procentos.

Dižskābarža dabiskās atjaunošanās novērtēšanai izcirtumos ierīkoti parauglaukumi Aizpute novadā, netālu no Kazdangas. Izvēlētas 3 jaunaudzēs pēc vienlaidus atjaunošanas cirtes, kurām blakus atrodas audzes ar vairākiem pieaugušiem dižskābaržiem, kas kalpo kā sēkļu avots dabiskai atjaunošanai. Tajās ierīkoti kopā 79 parauglaukumi, katrs 25 m<sup>2</sup> platībā. Parauglaukumiem noteikts attālums līdz tuvākajai audzei, kurā atrodami pieauguši dižskābarži, tajos uzņēmēti visi dižskābarži un citu sugu koki, nosakot katram caurmēru un augstumu, kā arī noteiktas lakstaugu sugas un to individuālais un kopējais projektīvais segums, kā arī Ellenberga vērtības lakstaugu sugām.

## **2.2. Otrās paaudzes ģenētiskā daudzveidība**

Priekules un Talsu novadā analizēta pirmās un otrās paaudzes dižskābaržu ģenētiskā daudzveidība. Šim nolūkam divās audzēs vēra meža tipā ievākti koksnes paraugi no pirmās paaudzes kokiem (vecums 112–118 gadi) un audžu centrā 20 × 20 metru platībā ievākti lapu paraugi no visiem otrās paaudzes dižskābaržiem. Kopumā analizē iekļauti 45 pirmās paaudzes un 106 otrās paaudzes koki no audzes Priekules novadā un attiecīgi 63 un 101 koks no audzes Talsu novadā. Paraugu ģenētiskā analīze veikta LVMI Silava Molekulārās ģenētikas laboratorijā.

## **2.3. Dižskābarža otrās paaudzes stādījumu saglabāšanās un augšana Latvijas centrālajā daļā**

Relatīvi skarbos apstākļos Latvijas centrālajā daļā Madonas novadā novērtēta otrās paaudzes dižskābarža stādījuma saglabāšanās zem vainagu klāja. Stādījums

ierīkots 1983. gadā 90 gadus vecā priežu audzē ar bērza un egles piemistrojumu. Augsne normāla mitrums, auglīga, mālaina, ar skābu reakciju. Meža tips damaksnis. Audzes platība 3.5 ha. Sēklu materiāls ņemts no dižskābarža audzēm Talsu novada Šķēdē, stādi izaudzēti Meža pētīšanas stacijas kokaudzētavā Madonas novadā. Stādīšana veikta rindās, ar vidējo attālumu starp stādiem 0.83 m, attālums starp rindām variē no 3.5 m līdz 8.5 m. Iestādīti aptuveni 5000 stādi. Līdz 33 gadu vecumam saglabājušies 3975 dižskābarži. Katram no tiem noteikta telpiskā atrašanās vieta (koordinātu tīklā), uzmērīts caurmērs, augstums un maksimālais vainaga rādiuss, kas noteikts pēc garākā zara. Otrās paaudzes stādījumu saglabāšanās novērtēta arī Tērvetes novadā, 12 gadus pēc dižskābaržu – egļu mistraudzes ierīkošanas izcirtumā. Stādījums izvietots līdzenā, auglīgā, mālainā normāla mitrums minerālaugsnē, meža tips vēris. Stādīts rindu mīrojumā. Izmantoti 2-gadīgi egles stādi no kokaudzētavas un dižskābarža mežeņi no paaugas Talsu novada Šķēdē. Pirms stādīšanas sagatavota augsne. Attālums starp stādiem 2.5 m, attālums starp rindām variē no 2 līdz 3 m. Audzē uzmērītas visas egles un dižskābarži, nosakot tiem augstumu un caurmēru. Dižskābaržiem noteikts arī lielākais vainaga rādiuss, eglēm uzmērīts pēdējo 3 gadu augstuma pieaugums. Abu sugu kokiem veikti urbumi ar Preslera pieauguma svārstu pēc iespējas tuvāk sakņu kaklam. Iegūtie koksnes paraugi izžāvēti līdz gaisausam stāvoklim, laboratorijā noslīpēti, manuāli uzmērīts gadskārtu platums, lietojot LINTAB 5 (RinnTECH) mērījumu sistēmu ar precizitāti 0.01 mm.

#### **2.4. Augšanas gaita**

Talsu novadā 10 dižskābarža audzēs nozāģēti divi valdaudzes koki katrā audzē, lai ievāktu datus par augstuma pieauguma veidošanos. Visas audzes atradās 5 km rādiusā, līdzīgos apstākļos, auglīgā, normāla mitrums minerālaugsnē. Audžu vecums aptuveni no 70 līdz 140 gadiem. Paraugkoki izvēlēti no valdaudzes, veselīgi, ar vienu stumbru, bez būtiskiem redzamiem bojājumiem, pēc iespējas izvairoties no konkurences efekta (Brunner, Nigh, 2000). No stumbra izzāģēti paraugi 0.2 m un 1.3 m augstumā, un tālāk ik pēc 2 metriem. Paraugi tika žāvēti, slīpēti, un gadskārtas saskaitītas ar mikroskopa palīdzību. Katrā augstumā tika noteikts koka vecums.

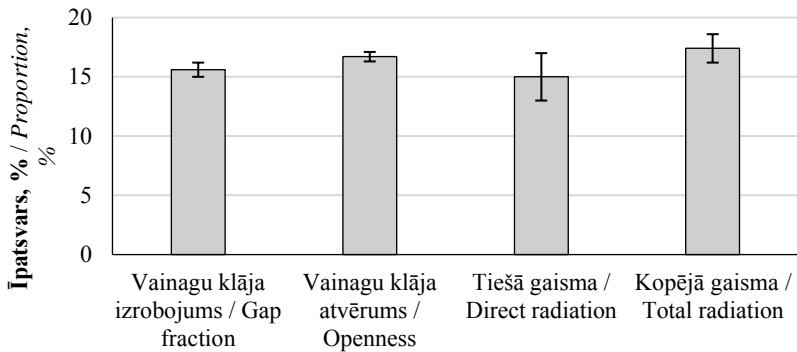
## **2.5. Meteoroloģisko faktoru ietekme uz dažādu dimensiju dižskābaržu caurmēra pieaugumu**

Meteoroloģisko faktoru ietekme uz dažādu dimensiju dižskābaržu caurmēra pieaugumu pētīta Talsu novadā. Divi atšķirīgu paaudžu koki aprīkoti ar dendrometriem caurmēra pieauguma veidošanās dinamikas novērtēšanai sezonas ietvaros. Koki izvēlēti dižskābaržu – priežu mistraudzē, mālainā normāla mitruma minerālaugsnē, meža tips damaksnis. Abi koki atradās 8 m attālumā viens no otra. Pirmās paaudzes kokam augstums 34 m, krūšaugstuma caurmērs 55 cm, vecums 127 gadi. Otrās paaudzes kokam augstums 12.6 m, krūšaugstuma caurmērs 16 cm, vecums 43 gadi. Stumbra caurmēra izmaiņu monitorēšana veikta krūšaugstumā, fiksēta ik pēc 10 minūtēm ar dendrometru DRL26C (EMS Brno, Czech Republic). Informācija par meteoroloģiskajiem datiem audzē iegūti no blakus novietotās mobilās meteostacijas (Vantage Pro2, Davis Instruments, USA). Augšnes ūdens potenciāls mērīts ar tensiometriem (T8, UMS GmbH, Germany). Lai novērtētu gadskārtu platumu ietekmējošos faktoros ilgākā laika posmā, pētījums veikts trijās dižskābarža audzēs Talsu novadā, izvēloties 45 dažādu Krafta klašu kokus katrā audzē, un vienā audzē Priekules novadā (9 koki). Visas audzes atrodas salīdzinoši līdzenā reljefā, normāla mitruma auglīgā, mālainā minerālaugsnē. Dižskābaržos ar Preslera pieauguma svārpstu veikti katrā divi urbumi krūšaugstumā no pretējām pusēm. Gadskārtu platums mērīts manuāli, izmantojot Lintab 5 sistēmu (Rinntech, Heidelberg, Germany) ar precizitāti 0.01 mm. Nomērīto gadskārtu sēriju kvalitāti (datējumus) pārbaudīja, veicot vizuālu un statistisku šķērsdatēšanu ar COFECHA programmu (Grissino-Mayer, 2001), t. i., pārbaudīja sēriju mainības savstarpējo saskaņību.

## **3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA**

### **3.1. Dižskābarža dabisko atjaunošanos ietekmējošie faktori izcirtumā un zem audzes vainagu klāja, un otrās paaudzes ģenētiskā daudzveidība**

Vainagu klājs aiztur lielāko daļu saules gaismas, un pamežu un paaugu sasniedz mazāk nekā 20% no kopējās gaismas (3.1. att.). Dižskābarža paaugas koku augstums vidēji cieši korelē ar gaismas apstākļiem zem vainagu klāja.



3.1.att. **Gaismas apstākļus raksturojošo parametru vidējās vērtības ( $\pm 95\%$  ticamības intervāls) /**

*Fig. 3.1. Average values ( $\pm 95\%$  confidence interval) for the parameters characterizing light conditions in sample plots*

Abās dižskābarža tīraudzēs visi aprēķinātie gaismas parametri bija savstarpēji būtiski saistīti, un tiem bija līdzīga izkliede (variācijas koeficients  $\sim 40\%$ ). Izklidētā un kopējā gaisma bija galvenie limitējošie faktori lielākajai daļai paaugas sugu (izņemot egli). Viszemākais izklidētās gaismas sliekšnis, kā arī kopējās gaismas vērtība novērota dižskābardim un osim (attiecīgi  $0.37$  un  $0.66$  mol  $m^{-2}$  dienā) (3.1. tab.). No konstatētajām paaugas un pameža sugām visaugstākais izklidētās gaismas sliekšnis bija balteglei un pīlādzim (attiecīgi  $0.75$  un  $1.05$  mol  $m^{-2}$  dienā). Parauglaukumos zem pieaugušās audzes uzskaitītās dižskābarža paaugas koku skaits variēja no  $2500$  līdz  $13000$  uz hektāra, kas pārsniedz Latvijas normatīvajos aktos norādīto minimāli nepieciešamo koku skaitu jaunaudzē ( $1500$  uz ha).



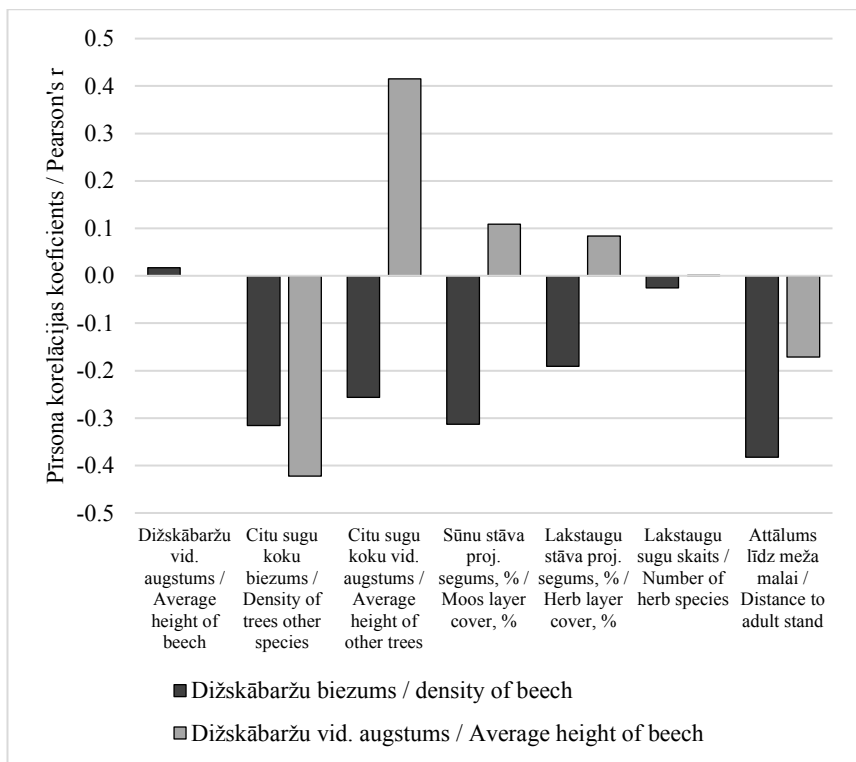
3.1. tabula / Table 3.1.

**Aprēķinātās un uzmērītās gaismas parametru vērtības /  
Calculated and measured values of light parameters**

Koku suga / Species	Gaisma (mol m <sup>-2</sup> dienā) / Radiation (mol m <sup>-2</sup> per day)			
	Aprēķinātā / Calculated		Faktiskā (uzmērītā) / Measured	
	Izkliedētā	Kopējā	Izkliedētā	Kopējā
<b>Dižskābardis</b> / <i>Beech</i>	0.37 (2.48 %)	0.19 (0.42 %)	0.28 (1.9 %)	0.66 (1.45 %)
<b>Egle</b> / <i>Norway spruce</i>	-	-	0.68 (4.61 %)	1.45 (3.19 %)
<b>Baltegle</b> / <i>Silver fir</i>	0.79 (5.32 %)	2.42 (5.31 %)	0.70 (4.74 %)	1.89 (4.15 %)

Izcirtumos ierīkotajos parauglaukumos konstatēto augu sugu Ellenberga vērtības neatšķirās būtiski atkarībā no attāluma līdz meža sienai. Var uzskatīt, ka visā izcirtumā augšanas apstākļi bija samērā vienmērīgi, un dižskābarža atjaunošanos ietekmēja citi faktori. Sakarība starp dižskābaržu skaitu un augstumu netika konstatēta ( $p=0.92$ ). Analizējot citu vērtēto pazīmju (novērojumu vieta, parauglaukumu attālums līdz meža sienai, citu kokaugu skaits un to augstums, augu sugu skaits, lakstaugu un sūnu projektīvais segums) iespējamo saikni ar dižskābaržu skaitu un augstumu, konstatēts, ka dažādās novērojumu vietās būtiski neatšķirās dižskābaržu skaits ( $p=0.30$ ), turpretī to augstuma atšķirības bija būtiskas ( $p<0.001$ ).

Vidējais dižskābaržu jaunaudzis biežums bija  $2520 \pm 720$  koki ha<sup>-1</sup> (robežās no 400 līdz 11200). Pīrsona korelācijas analīzē konstatēts, ka dižskābaržu biežumam pastāv būtiska ( $p<0.05$ ) negatīva korelācija ar citu kokaugu skaitu ( $r=-0.32$ ), ar sūnu projektīvo segumu ( $r=-0.31$ ) un ar parauglaukumu attālumu līdz meža sienai ( $r=-0.38$ ) (3.2. att.).



3.2. att. **Dižskābarža biezumu un augstumu ietekmējošie faktori /**  
**Fig. 3.2. Factors affecting density and height of beech**

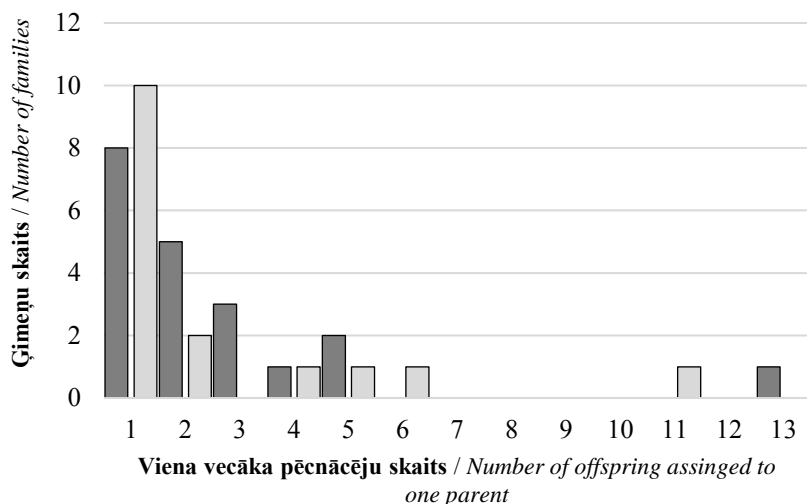
Veicot daudzfaktoru lineārās regresijas analīzi (vispirms visām pazīmēm, un tad atkārtojot pēc nebūtisko pazīmju – vieta, sugu skaits, sūnu segums, lakstaugu segums – pakāpeniskas izslēgšanas), konstatēts, ka dižskābaržu skaitu būtiski ( $p < 0.05$ ) ietekmēja citu kokaugu skaits un to augstums, kā arī attālums līdz meža malai; modelim  $R^2 = 0.34$ .

Vidējais dižskābaržu augstums bija  $201 \pm 25.8$  cm. Pīrsona korelācijas analīzē konstatēts, ka dižskābaržu augstumam pastāv būtiska ( $p < 0.01$ ) negatīva korelācija ar citu kokaugu skaitu ( $r = -0.42$ ) un būtiska pozitīva – ar citu kokaugu augstumu ( $r = 0.57$ ). Veicot daudzfaktoru lineārās regresijas analīzi, konstatēts, ka būtiska ietekme ir tikai vietai (pārējām analizētajām pazīmēm  $p > 0.23$ ). Tālākā analīze veikta katrai novērojumu vietai atsevišķi un konstatēts, ka tikai vienā no objektiem daudzfaktoru lineārās regresijas modelis ir būtisks. Atkārtojot analīzi šim objektam (vietai) pēc pakāpeniskas nebūtisko pazīmju izslēgšanas,

konstatēts, ka modelim  $R^2=0.57$ , un dižskābaržu augstumu būtiski ( $p<0.05$ ) ietekmēja citu sugu koku klātbūtne (biezums) un to augstums.

Dižskābardis sekmīgi atjaunojas (vismaz 1500 koki uz ha) izcirtumos pēc vienlaidus atjaunošanas cirtes, ja pietiekami netālu (līdz 50 m) atrodas sēkļu avots.

Veicot ģenētiskās analīzes, Talsu novada dižskābaržu audzes parauglaurumā 53% no analizētajiem otrās paaudzes kokiem tika identificēti vismaz viens no vecāku kokiem, bet Priekules novada audzē – 42%. Visbiežāk vecāku kokiem tika konstatēti pa vienam pēcnācējam – Talsu novadā 8 gadījumos, Priekules novadā 10 gadījumos (3.3. att.). Katrā parauglaurumā identificēti viens koks ar salīdzinoši daudziem pēcnācējiem – Talsu novadā ar 13, Priekules novadā ar 11 pēcnācējiem.



■ Talsu novada audze / Talsi stand □ Priekules novada audze / Priekule stand

### 3.3. att. Koku skaita sadalījums pa ģimenēm dižskābarža dabiskajā atjaunošanā /

Fig. 3.3. Distribution of trees in families in natural regeneration of beech

Ģenētiskās daudzveidības rādītāji liecina, ka Priekules novada audzē vecāku paaudze ir savstarpēji radniecīgāka nekā Talsu novada audzē (3.2. tab.). Tas varētu būt izskaidrojams ar sēkļu izcelsmi mežaudžu ierīkošanai. Tomēr

daudzveidības rādītāji būtiski neatšķirās starp paaudzēm nevienā no audzēm, ģenētiskā daudzveidība nākamajā paaudzē nesamazinās.

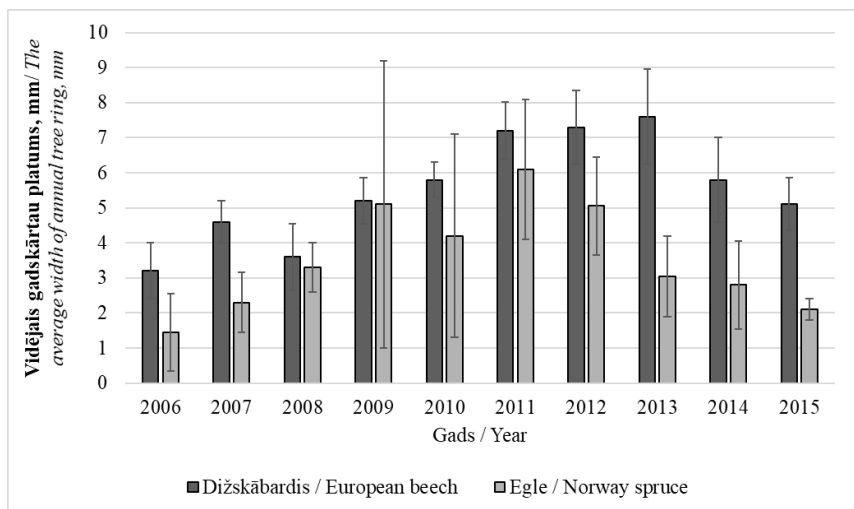
**Ģenētiskās daudzveidības rādītāju vidējās vērtības  
(±standartklūda) /**

*Mean values of genetic diversity parameters (±standart error)*

<b>Populācija / Population</b>	<b>Priekules nov. vecāku koki / Priekule district parents</b>	<b>Priekules nov. otrā paaudze / Priekule district second generation</b>	<b>Talsu nov. vecāku koki / Talsi district parents</b>	<b>Talsu nov. otrā paaudze / Talsi district second generation</b>
<b>Alēļu skaits / Number of alleles</b>	4.4±0.26	4.9±0.37	9.6±1.01	8.6±0.88
<b>Alēļu ar īpatsvaru ≥5 % skaits / Number of alleles with frequency ≥ 5%</b>	3.6±0.22	3.5±0.22	4.4±0.36	4.8±0.41
<b>Efektīvo alēļu skaits / Number of effective alleles</b>	3.0±0.19	2.6±0.19	4.2±0.45	4.3±0.42
<b>Šenona daudzveidības indekss / Shannon's Information Index</b>	1.2±0.06	1.1±0.06	1.6±0.11	1.6±0.10
<b>Sagaidāmā heterozigotāte / Expected heterozygosity</b>	0.6±0.03	0.6±0.03	0.7±0.03	0.7±0.03

**3.2. Dižskābarža otrās paaudzes stādījumu saglabāšanās un augšana  
Latvijas centrālajā daļā**

Mistrotā dižskābaržu – egļu audzē Tērvetes novadā 12 gadus pēc iestādīšanas dižskābaržu saglabāšanās bija apmierinoša un līdzīga kā eglēm (attiecīgi 73% un 78%). Dižskābardim augstums un caurmērs bija statistiski būtiski lielāks nekā eglei (augstums attiecīgi 7.4±0.30 m un 3.1±0.30 m, caurmērs 8.9±0.68 cm un 3.0±0.41 cm). Ikgadējais radiālais pieaugums dižskābardim bija ievērojami lielāks nekā eglei (3.4. att.), atšķirības starp koku sugām bija statistiski būtiskas un pieaugošanas līdz ar vecumu.

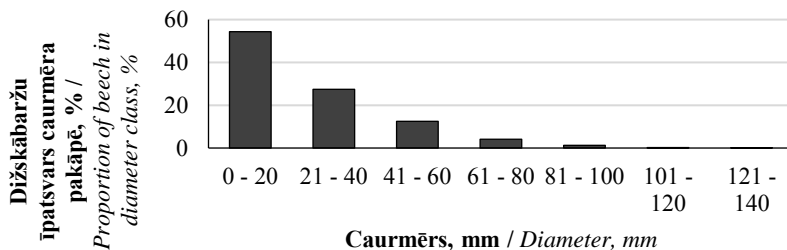


3.4. att. Dižskābarža un egles vidējais gadskārtu platums ( $\pm 95\%$  ticamības intervāls) /

*Fig. 3.4. The average annual ring width ( $\pm 95\%$  confidence interval) for European beech and Norway spruce*

Audzē novērota izteikta konkurence starp abu sugu kokiem. Maksimālais dižskābarža vainaga rādiuss bija vidēji  $2.4 \pm 0.16$  m, kas ir līdzvērtīgs ar attālumu starp rindām un starp stādvieta rindās. Dižskābaržu augšanu būtiski ietekmējis fotosintezējošās virsmas laukums, kas raksturots ar vainaga maksimālo rādiusu. Vainaga maksimālajam rādiusam konstatēta cieša un būtiska korelācija gan ar koka augstumu, gan ar caurmēru krūšaugstumā (attiecīgi  $r=0.71$  un  $r=0.87$ ). Pirmajos augšanas gados dižskābardis izmanto telpu daudz efektīvāk nekā egle, izveidojot plašu vainagu un izmantojot visus pieejamos gaismas resursus.

Aptuveni 80% dižskābaržu bija saglabājušies 33 gadus pēc iestādīšanas zem audzes vainagu klāja Madonas novadā, Kalsnavas apkārtnē. Platībā konstatēta arī atjaunošanās ar atvasēm. Dižskābaržu augstums variēja no 0.30 līdz 13 m, caurmērs krūšaugstumā – no 0.2 līdz 14.9 cm. Koku sadalījumam pēc dimensijām ir apvērsta J forma (3.5. att.), kas ir tipiski ēncietīgām sugām un apliecina dižskābarža paaugas normālu augšanu. Šādā veidā koku sugas pielāgojas ilgstoši saglabāties paaugā, līdz kāda traucējuma rezultātā vainagu klājā izveidosies atvērums un radīsies iespēja augt garumā (Wagner *et al.*, 2010).

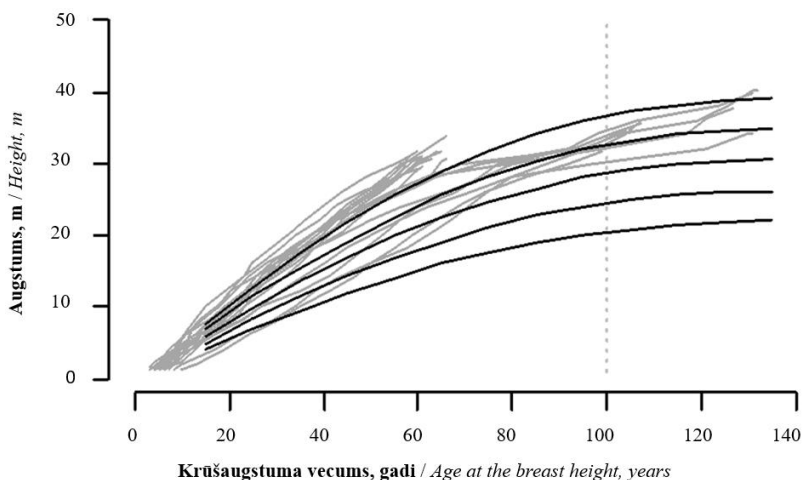


3.5. att. **Dižskābaržu sadalījums pa caurmēra pakāpēm /**  
*Fig. 3.5. Proportion of beech in different diameter classes*

Šo dižskābaržu augšanas laikā (1983. līdz 2016. gadam) ziemās bijuši arī ļoti auksti periodi ar gaisa temperatūru  $-30^{\circ}\text{C}$  un zemāku, tomēr klimatiskie apstākļi Latvijas centrālajā daļā izrādījušies piemēroti dižskābaržu atjaunošanai zem audzes vainagu klāja (gaisa temperatūra šajā gadījumā nebija limitējošais faktors) (Fang, & Lechowicz, 2006; Kramer *et al.*, 2010). Tik augsta saglabāšanās Latvijas centrālajā daļā varētu būt saistīta ne tikai ar koku atrašanos zem audzes vainagu klāja, bet arī ar sēkļu izcelsmi – šie ir otrās paaudzes dižskābarži no Latvijas rietumu daļā augošu koku sēklām, kuriem jāspēj adaptēties tikai nedaudz skarbākiem apstākļiem nekā to vecāku kokiem (Yakovlev *et al.*, 2011).

### 3.3. Dižskābarža augšanas gaita

Paraugkoku augstuma pieauguma dinamiku ilgstošā laika posmā visprecīzāk raksturot bija iespējams ar Chapman-Richards un Sloboda modeļiem. Šo vienādojumu koeficienti būs izmantojami LVMI Silava izveidotajā augšanas gaitas modelēšanas rīkā. Iegūtie dati liecina, ka dižskābarži Latvijas rietumu daļā ir ātraudzīgāki nekā Zviedrijas dienvidu daļā, tātad augšanas apstākļi šeit ir sugai piemēroti. Otrās paaudzes koki ir veiksmīgi adaptējušies vietējiem apstākļiem un uzrāda lielāku ātraudzību, apsteidzot pirmās paaudzes kokus (3.6. att.).



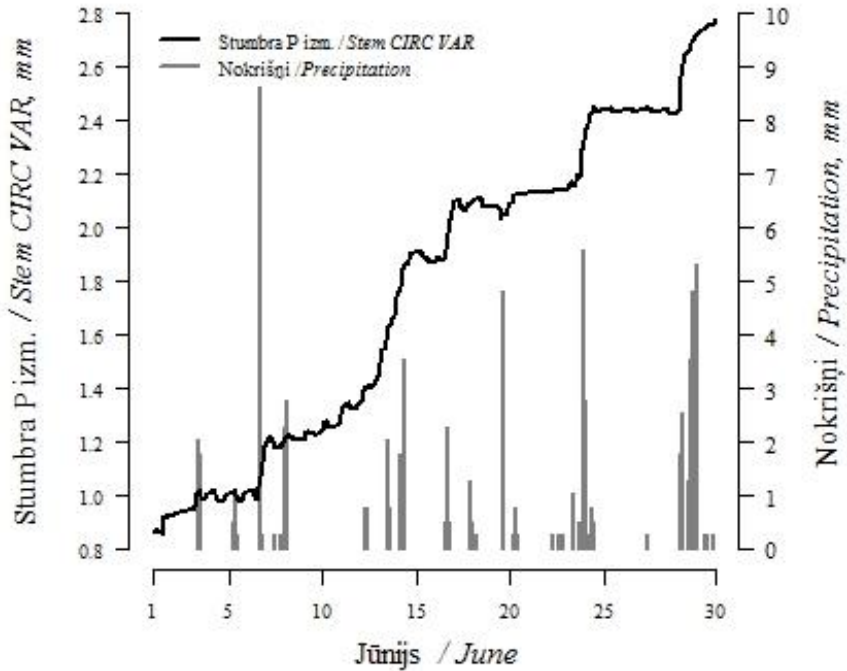
3.6. att. Nelineārs augšanas gaitas modelis (melnās līnijas, Dienvidzvidrija, Carbonier, 1971), salīdzināts ar mērījumu datiem Latvijas rietumu daļā (pelēkās līnijas, katra līnija attēlo vienu koku) /

*Fig. 3.6. The non-linear dominant height model (black lines, Southern Sweden, Carbonnier, 1971) fitted to the observed data (grey lines, each line represent single tree)*

### 3.4. Meteoroloģisko faktoru ietekme uz dažādu dimensiju dižskābaržu caurmēra pieaugumu

Analizējot meteoroloģisko faktoru ietekmi uz stumbra caurmēra pieaugumu sezonas ietvaros, konstatēta dižskābarža jutība pret ūdens deficītu (3.7. att.). Dižskābarža radiālais pieaugums pozitīvi korelēja ar nokrišņiem. Ja kādu laika posmu nokrišņu nebija vispār, šajā laikā gadskārta neauga. Pēc periodiem ar nozīmīgiem nokrišņiem notika stumbra ūdens rezervju atjaunošanās un tai sekojoša gadskārtas augšana. Limitējošais faktors veģetācijas sezonā bija pieejamais ūdens, bet ne gaisa temperatūra.



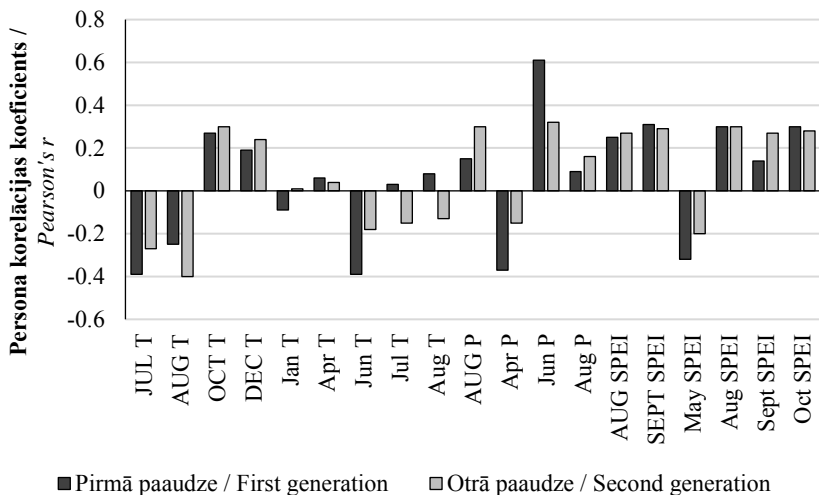


3.7. att. Stumbra apkārtmēra (P) izmaiņas pirmās paaudzes dižskābaršim jūnijā un nokrišņu daudzums šajā periodā /

Fig. 3.7. Changes in total stem circumference (P) for first generation beech in June and precipitation in the same period

Otrās paaudzes kokam novērots būtiski lielāks relatīvais radiālais pieaugums nekā pirmās paaudzes kokam veģetācijas sezonas ietvaros (attiecīgi 0.93% un 0.38% no caurmēra). Visstraujākais radiālais pieaugums novērots no veģetācijas perioda sākuma līdz jūlija sākumam.

Novērtējot meteoroloģisko faktoru ietekmi uz stumbra caurmēra pieaugumu ilgākā laika posmā, Latvijas rietumu daļā pētītajiem dižskābaršiem netika konstatētas ekstrēmi šauras gadskārtas (nomākta augšana), liecinot par augšanas apstākļu piemērotību šai koku sugai. Analizējot radiālā pieauguma saistību ar meteoroloģiskajiem apstākļiem, konstatēts, ka pirmās paaudzes koki ir jutīgāki nekā otrās paaudzes koki (3.8. att.).



3.8. att. Statistiski būtiskie Pīrsona korelācijas koeficienti (r) starp dažādas paaudzes valdaudzē esošu dižskābaržu gadskārtu vidējo platumu un klimatiskajiem (meteoroloģiskajiem) faktoriem: mēneša vidējā temperatūra (T), nokrišņi (P), standartizēts nokrišņu-iztvaikošanas indekss (SPEI) laika intervālam no 1972. līdz 2015. gadam /

*Fig. 3.8. Pearson correlation coefficients (r) calculated between the residual chronologies of tree-ring width of beech of different age/generation and climatic (meteorological) factors: monthly mean temperature (T), precipitation (P) and standardized precipitation-evapotranspiration index (SPEI) for the common interval 1972–2015. Months in uppercase correspond to the year prior to formation of tree-ring. Only the factors showing significant correlations are plotted*

Mēnešu nosaukumi ar lielajiem burtiem – Pīrsona korelācijas koeficienti gadā pirms gadskārtas veidošanās /Months with capital letters – r in the year before tree-ring was forming

Pirmās paaudzes valdaudzes koki bija īpaši jutīgi uz nokrišņu apjomu jūnijā, kas saistīts ar ūdens deficītu vasarā. Šīs paaudzes nomāktie koki galvenokārt bija jutīgi pret temperatūru ziemas periodā. Savukārt otrās paaudzes kokus mazāk ietekmēja ziemas perioda temperatūra, tas liecina par adaptāciju Latvijas apstākļiem. Ātraudzīgākajiem otrās paaudzes kokiem novērota ciešāka pieauguma saistība ar mitruma apstākļiem vasaras periodā, par ko liecināja gan ikgadējā, gan vienas augšanas sezonas pieauguma veidošanās dinamika.

## SECINĀJUMI

1. Notikusi sekmīga dižskābarža adaptācija Latvijā: tā otrajai paaudzei nav konstatēta zemāka ģenētiskā daudzveidība, bet ir konstatēts lielāks augstuma pieaugums nekā pirmajai paaudzei. Otrās paaudzes koki labi saglabājas (>80%) zem citu koku sugu vainagu klāja arī Latvijas centrālajā daļā.
2. Latvijas rietumu daļā dižskābarža dabiskā atjaunošanās ir sekmīga gan pēc vienlaidus atjaunošanas cirtes, līdz 50 m no meža malas, gan zem audzes vainagu klāja arī tādos gaismas apstākļos, kas nav piemēroti citām koku sugām. Dižskābarža paaugas koku augstums vidēji cieši, statistiski būtiski, korelē ar gaismas apstākļiem zem vainagu klāja.
3. Izveidotie dižskābarža augšanas gaitas vienādojumi un dati no parauglaukumiem mežaudzēs liecina, ka šīs koku sugas otrās paaudzes koku ātraudzība Latvijā ir lielāka nekā Zviedrijas dienvidu daļā un – atsevišķos stādījumos jaunaudzes vecumā – arī salīdzinājumā ar egli, norādot uz iespējām izveidot augstražīgas dižskābarža mežaudzes.
4. Latvijas rietumu daļā pētītajiem dižskābaržiem gadskārtas nebija šauras, liecinot par augšanas apstākļu piemērotību šai koku sugai. Koku jutība pret klimatiskajiem apstākļiem (īpaši – ziemas perioda temperatūru) bija atšķirīga pirmajai un otrajai paaudzei, norādot uz dabiskās un cilvēku veiktās izlases pozitīvo ietekmi.
5. Mitruma deficīts nosaka dižskābarža radiālā pieauguma samazināšanos vai pat īslaicīgu apstāšanos, līdz pilnībā atjaunojas koka stumbra ūdens uzkrājums. Gadskārtu platumu ietekmē galvenokārt ar mitruma deficītu saistīti klimatiskie rādītāji (temperatūra, nokrišņi) vasarā un rudens sākumā. Ņemot vērā klimata izmaiņu prognozes, dižskābarža audžu ierīkošanai būtiski izvēlēties teritorijas ar stabilu un pietiekamu augsnes mitruma nodrošinājumu.

## REKOMENDĀCIJAS

Latvijas rietumu daļā iespējams izveidot ražīgas dižskābarža audzes. Stādāmo materiālu to ierīkošanai rekomendējams ievākt Latvijā esošajās audzēs. Piemērotākais sēklu avots ir šī promocijas darba izstrādes ietvaros atlasītie pluskoki.

Rekomendējams izveidot sēklu plantācijas stabilas sēklu bāzes nodrošināšanai. Tāpat rekomendējama plašāku provenienču izmēģinājumu ierīkošana, ietverot tajos materiālu arī no areāla daļām, kur raksturīgs augstāks mitruma deficīts vasaras periodā nekā Latvijā šobrīd.

Kontrolētos apstākļos (salcietības testi) un eksperimentālajos stādījumos rekomendējams turpināt pārbaudīt dižskābarža adaptāciju Latvijas austrumu daļas klimatiskajiem apstākļiem.

## PATEICĪBAS

Autore izsaka vislielāko pateicību darba vadītājam Dr.silv. Ārim Jansonam un konsultantam Dr.biol. Robertam Matisonam par atbalstu, praktisku un morālu palīdzību un padomu visos darba izstrādes posmos.

Pateicos visiem kolēģiem no LVMI "Silava" Meža selekcijas un kokaugu adaptācijas radošās grupas, kā arī no citām radošajām grupām, kuri iesaistījās pētījuma plānošanā, lauka un kamerālajos darbos, datu apstrādē un interpretācijā, kā arī publikāciju tapšanā. Paldies Oskaram Krišānam, Jānim Donim, Unai Neimanei, Dainim Ruņģim un citiem kolēģiem par nenovērtējamu atbalstu. Pateicos publikāciju līdzautoriem par palīdzību publikāciju veidošanā un par atļauju kopīgās publikācijas izmantot disertācijā.

# 1. GENERAL DESCRIPTION

## 1.1. Topicality of the theme

European beech (*Fagus sylvatica* L.) is the most common deciduous tree species in the central Europe. Eastern border of its distribution areal reaches Ukraine, Moldavia, Bulgaria. The southern border goes through Balkan Peninsula, Apennine Mountains, Sicily and Spain (Leugnerová, 2007). Currently the northern border of natural distribution range reaches northern part of Germany, Denmark, Poland and southern part of Sweden. Latvia is outside of the distribution areal of European beech, and we have only isolated stands of this tree species. However due to climate change, notable shifts of distribution areal of tree species are predicted even during this century (Hickler et al., 2012). In Europe increase of the areas northwards due to warmer climate in this region and more frequent and severe droughts in south are expected (Walther et al., 2002; Kullman, 2008). According to the prognosis, in the middle of 21st century, climate in all territory of Latvia and Estonia will be suitable for European beech (Kramer et al., 2010). However, the actual expansion of beech will depend from human intervention, planting this tree species. Natural dispersal of beech is slow due to heavy seeds – most of them end up in a distance of up to 30 m around the seed tree. Only very tiny fraction of seed amount reaches further, transported by birds and small rodents (Dobrovolný, & Tesař, 2010). Study in western part of Latvia indicates that speed of beech natural distributing is 3.4 m per year (Sabule L., 2009). Rich seed years (mast years) for European beech are rare and irregular: intervals between them range from six to nine years (Giesecke et al., 2007; Peña et al., 2010; Vanders, 1960a). Part of the reason for this characteristics is necessity of very rich blooming to ensure high proportion of pollinated (viable) seeds, since beech pollen are heavy and typically fly only short distances (Vanders, 1960a). After rich seed year there are 350 000 and more seedlings per hectare in next spring, but only half of them survives to the next year (Vanders, 1957). Spread of European beech around seed sources (existing stands) is affected also by management of young stands – it can only occur, if beech is recognized as target species and retained in precommercial thinning.

Studies have shown, that European beech is resistant to wind damages, shade-tolerant, in many countries commercially significant and it rarely affected by cervids. Due to these properties and also predicted climate changes, that in most part of Baltic Sea region will have positive influence on this tree species (Hanewinkel et al., 2013), in some countries wider use of beech in forest regeneration is already promoted. Timber of beech is valuable, ornamental, it has been used for production of furniture, doors, parquet, also veneer and paper

(von Wühlisch, 2008; Born, 2011). The quality of timber depends from stem quality that, in turn, is affected by genetics, damages by abiotic factors and management regime (Poljanec, & Kadunc, 2013). Therefore it is important to assess factors affecting regeneration and growth of European beech in Latvia, creating information basis and sound recommendation for tree breeding and wider use of this tree species in practical forestry for high-quality timber production.

Literature survey suggests, that European beech have been planted in Latvia territory already in the middle of 18th century, mostly in parks of manors and cities (Freibe, 1805). The first known forest stands were established at the end of 18th century (Vanders, 1960b). European beech is introduced species in Latvia; however already in the middle of 20th century, according to K. Vander's, it has been fully naturalized in western part of Latvia, Kurland (Vanders, 1957). This opinion is supported by the multi-layer beech stand structures, forming via successful natural regeneration in the initially planted areas. Natural regeneration of European beech under canopy has been observed also in the areas adjacent to mature stands of this tree species (Bolte et al., 2007; Laiviņš, 2010). Yield in beech stands is not inferior to that observed by most of native tree species in Latvia (Dreimanis, 2006), suggesting a successful adaptation of beech. The central and eastern part of Latvia currently is considered inappropriate for beech because of the infrequent extremely low air temperature in winters, that this tree species cannot tolerate (Bolte et al., 2007). Nevertheless, taking into account ongoing and predicted increase of average temperature that is partly due to the increase of temperature during winter (Lizuma et al., 2007), the growing conditions in this area are gradually becoming become more suitable for European beech, and it is worthwhile to establish experimental plantations and select families (genotypes) that are most adapted for the local conditions.

Selection of such material might be possible, as suggested by the location of current stands or individual trees, mapped by Dr.habil. Maris Laivins. He also has established two long-term sample plots in second generation beech stands (progenies of the first generation with the origin from Germany). In those sample plots tree and stand parameters, dead wood amount and projective cover of crowns has been measured and health condition of crowns has been described (Laiviņš, 2010). Larger set of sample plots for characterization of dynamic of tree and stand development were repeatedly measured by prof. Andrejs Dreimanis (Dreimanis, 2005, 2006). It revealed mostly information on diameter increment and yield, but information on height growth of beech is still missing. Influence of meteorological conditions on the tree-ring width have been analysed, using limited group of samples, and negative impact of summer drought to radial increment indicated (Sabule I., 2009). However, differences in reaction to meteorological conditions between generations of beech has not been

analysed and radial increment dynamic during vegetation season, revealing insides and potential causes for the determined impacts, has not been studied.

### **1.2. Aim of the thesis**

To assess the growth potential of European beech in Latvia in context of climate change.

### **1.3. Research tasks of the thesis**

1. To characterize factors affecting natural regeneration of European beech after clearcut and under the canopy and to describe genetic diversity of its second generation.
2. To characterize survival and growth of European beech second generation in relatively harsh climatic conditions in central part of Latvia.
3. To assess the growth dynamics of European beech.
4. To characterize influence of meteorological factors on radial increment of different dimension European beech.

### **1.4. The thesis**

1. Natural regeneration of European beech in Latvia is successful both under the canopy and after clearcut.
2. Growth and sensitivity to climatic factors of second generation European beech differs from that of first generation.

### **1.5. Scientific novelty**

Differences in reaction to climatic factors of two generations of European beech in its stands northeast from its natural distribution range had been compared for the first time. For the first time in Baltic countries survival of European beech under canopy several decades after planting, genetic diversity of two generations, and height growth had been characterized.

### **1.6. Approbation of research results**

The research results have been summarized in eight publications and have been presented in seven scientific conferences.



## 2. MATERIAL AND METHODS

Data for the research were collected in the biggest European beech stands in Latvia: in Talsi, Madona, Tērvete, Aizpute and Priekule districts (Fig. 2.1.).

Trees from two generations were analyzed. First generation in Latvia are represented by stands, established from seed sources, collected in northern part of Germany, age of these stands range from approximately 100 to 140 years. The second generation consists of progenies of these introductions, mostly established via natural regeneration, the age of from approximately 60 to 80 years.

### 2.1. Influence of light conditions on natural regeneration of European beech

In Talsi district 11 transects were established in pure beech stand, in silver fir stand with birch, oak, spruce and beech admixture, and in mixed stand of different deciduous trees. The aim was to characterize influence of light conditions to natural regeneration of beech under canopy. Forest type – *Oxalydosa* (loamy soil). Age of stands – approximately 120 years. Transects were made through beech regeneration groups, those were splited in  $2 \times 2$  m square sample plots without any spaces between. In each sample plot regeneration of all tree species were counted and height of each undergrowth tree was measured. In the center of each sample plot canopy image was taken by a digital camera (Nikon Coolpix E8400) equipped with a fish-eye lens (DSLR 4.9 mm-203) (Regent Instruments Inc., Quebec, Canada), placed at 1.4 m height. In silver fir stand additional data were collected: in every 4 meters of transect distance to the furthest (from the transects central line) undergrowth beech tree was measured to determine shape and area of the beech undergrowth group. Also the closest adult tree, affecting light conditions, was identified and the distance to it, as wel as its parameters (height, diameter, species) measured. All dominant and suppressed beech trees (potential seed source) in 30 m radius around the transect were identified, the height, diameter and distance from the transect were measured.

Light conditions in the sample plots were assessed from the images using the WinScanopy 2006a software (Regent Instruments Inc., Quebec, Canada). Direct, diffuse and total radiation ( $\text{mol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ) was calculated in pure beech stand and mixed deciduous trees stand. In silver fir stand gap fraction, openness, direct and total radiation were calculated.

In Aizpute district sample plots in clearcut areas were established to assess natural regeneration of beech. Three young stands after clearcut next to stands with adult beech trees (as seed source) were selected. In total 79 sample plots were established with area 25 m<sup>2</sup> each. Distance from nearest stand with adult beech trees for each sample plot was measured. All regeneration of beech and other species was counted, height and diameter of regeneration was measured, herb species were identified, individual and total projective cover of herbs was assessed, Ellenberg's values of herb species were marked.

## **2.2. Genetic diversity of the second generation**

In Priekule and Talsi district genetic diversity of the first and the second generation beech trees were analysed. From two beech stands (age 112–118 years) in *Oxalidos* forest type (loamy soil) wood samples from the first generation trees were collected. In the centre of stand from the area 20 × 20 m leaf samples from all second generation beech trees were collected. In total 45 beech trees from the first generation and 106 beech trees from the second generation were analysed from stand in Priekule district, and 63 and 101 beech trees from stand in Talsi district, respectively. Genetic analysis was carried out in LSFRI Silava Genetic Resource Centre.

## **2.3. Survival and growth of European beech second generation in central part of Latvia**

In central part of Latvia, Madona district survival of second generation European beech under canopy was assessed. Beech were planted in 1983, in 90-years old pine stand with birch and spruce admixture. *Hylocomiosa* forest type, fresh, fertile, loamy soil with acidic reaction. The area of stand was 3.5 ha. Seeds from beech stands in western part of Latvia, Talsi district were used. Seedlings were raised in a local nursery and planted in rows in the stand after commercial thinning, average distance between seedlings was 0.8 m, distance between rows were various – from 3.5 m to 8.5 m. Altogether approximately 5000 seedlings were planted. After 33 years 3975 beech seedlings remained. Stand was mapped in winter of 2016: position (in local coordinates), diameter, height and length of the longest branch (to estimate maximum crown radius) was measured for every beech tree as well as positions of trees of other species marked.

Survival of second generation beech seedlings were assessed also in Tervete district twelve years after planting beech-spruce single-row mixture in clearcut area. The young stand was established in fertile, loamy, fresh mineral-soil, forest type – *Oxalidos*. Two years old spruce seedlings from nursery and beech wildlings from natural regeneration under canopy in western part of Latvia, Talsi district were used. The soil was scarified in rows before planting. Distance between seedlings was 2.5 m, and distance between rows was approximately 2–3 m. All spruce and beech trees were counted in the stand, height and diameter for each tree was measured. For beech trees also the maximum crown radius was estimated. Increment cores from several trees, both beech and spruce, were taken with Pressler borer as close to ground as possible. Increment cores in air-dry condition were polished, then tree-ring width was measured using LINTAB 5 (RinnTECH) system with the precision of 0.01 mm.

#### **2.4. Height increment**

Reconstruction of height growth dynamics was based on the sample trees. For this purpose ten stands were selected in Talsi district. Distance between the stands were not larger than 5 kilometers; all stands were with similar soil conditions: fresh fertile mineral soil. Age of the stands approximately 70 to 140 years. Healthy dominant trees with one stem, without serious injuries were selected. The dominant trees were taken to avoid the effect of competition (Brunner & Nigh, 2000). Trees were cut and stem disks (cross-cut samples) collected from the whole stem at 0.2 m, 1.3 m and every 2 m above the base heights. Stem disks were dried, polished and the annual rings were counted under microscope to detect the age of the trees at each height.

#### **2.5. Influence of meteorological factors on radial growth of different dimension beech**

To assess influence of meteorological factors on radial growth, sample trees were selected in European beech – Scots pine mixed stand on fresh mineral soil, forest type *Hylocomiosa* in Talsi district. Two trees from different generations were used for the study, located nearby (distance between the trees 8 m). The height of first generation tree (dominant tree in the stand) was 34 m, diameter at breast height 55 cm, age 127 years. The height of second generation tree (suppressed tree in the stand) was 12.6 m, diameter at breast height 16 cm, age 43 years. Monitoring of stem diameter variation was carried out with dendrometer DRL26C (EMS Brno, Czech Republic) at breast height,

measurement interval – ten minutes. Measurements were carried out during the whole vegetation season. Meteorological data used in research were obtained from a mobile weather station (Vantage Pro2, Davis Instruments, USA), located directly in site. Also soil water potential was measured in the site by tensiometers T8 (UMS GmbH, Germany).

Dendroclimatological analysis – accessing long term influence of the meteorological parameters on width of annual ring – was carried out, based on data from three European beech stands. Altogether 45 sample trees from each stand in Talsi district and 9 sample trees from stand in Priekule district were selected. All three stands were placed in flat relief, on loamy, fresh mineral soil. The sample trees from different positions in the canopy layer were cored – two cores with the Presler borer were taken at the breast height from opposite directions. Three-ring width of dried, polished cores was measured manually, using Lintab 5 system (Rinntech, Heidelberg, Germany) with the precision of 0.01 mm. The measured time series of tree-ring width were crossdated and their quality was verified by a graphical inspection and statistically, using the program COFECHA (Grissino-Mayer, 2001).

### **3. RESULTS AND DISCUSSION**

#### **3.1. Factors affecting natural regeneration of European beech in clearcut areas and under canopy, and genetic diversity of second generation**

Undergrowth below the canopies of the large trees receives less than 20% from the total radiation (Fig. 3.1.). Height of beech undergrowth had medium correlation with light conditions under canopy.

In both pure European beech stands all calculated radiation parameters were significantly intercorrelated and had similar variation (variation coefficient was ~0.40). Diffuse and total radiation were the main limiting factors for most of undergrowth species except Norway spruce. The lowest estimated threshold for diffuse radiation was observed for beech ( $0.37 \text{ mol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ). Also the observed threshold value for total radiation for beech ( $0.66 \text{ mol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ) was the lowest among the assessed tree species, except for ash which had the same value (Tab. 3.1.). In contrast, the highest threshold values of the diffuse radiation were estimated and observed for silver fir and rowan (ca  $0.75$  and  $1.05 \text{ mol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ , respectively). Density of beech regeneration under the canopy ranged from 2500 to 13 000 seedlings  $\text{ha}^{-1}$ . This number exceeds the minimum density of regeneration required by legislation in Latvia ( $1500 \text{ seedlings ha}^{-1}$ ).

In open areas (after the clearcut) average density of beech seedlings was  $2520 \pm 720$  per hectare (ranging from 400 to 11 200 seedlings  $\text{ha}^{-1}$ ). Pearson correlation analysis showed significant ( $p < 0.05$ ) negative correlation between the density of beech seedlings and density of other species in regeneration ( $r = -0.32$ ), projective cover of mosses ( $r = -0.31$ ) and distance to the forest edge ( $r = -0.38$ ) (Fig. 3.2.). Distance to forest edge was an indicator only of the potential abundance of seeds, since relief in the sites was flat and there were no trends in Ellenberg's values of herbs depending on distance from forest edge. European beech regeneration in open area (clearcut) was successful (at least 1500 seedlings  $\text{ha}^{-1}$ ), if seed source was close enough (distance not bigger than 50 m).

Multiple linear regression (including all traits and then gradually excluding the non-significant ones) indicated, that density and height of seedlings of other tree species and distance from the forest edge significantly ( $p < 0.05$ ) affects density of beech seedlings ( $R^2 = 0.34$ ). Density and mean height of beech seedlings did not correlate significantly ( $p = 0.92$ ), thus both traits were assessed separately. Density of regeneration was similar (no significant differences found,  $p = 0.30$ ) in all clearcut areas, but there were significant differences of height of beech seedlings ( $p < 0.001$ ).

Average height of beech seedlings was  $201 \pm 25.8$  cm and it had significant ( $p < 0.01$ ) negative correlation with density of seedlings of other tree species ( $r = -0.42$ ) and significant positive correlation with height of seedlings of other tree species ( $r = 0.57$ ). Multiple linear regression results demonstrated that only site (specific clearcut) had significant influence on height of beech seedlings (for other traits  $p > 0.23$ ). Therefore each clearcut was analyzed separately. Only in one clearcut area multiple regression model was significant and, after gradually excluding non-significant factors, influence of density of seedlings of other tree species and height of seedlings of other trees species was confirmed (model  $R^2 = 0.57$ ).

Genetic analysis of undegrowth reveal, that in stand in the Talsi district 53% sampled seedlings could be assigned to at least one parent ( $p < 0.05$ ) from the same sample plot, while in the stand in Priekule district corresponding figure was 42%. Mostly one offspring per parent tree was found in the sample plot (Fig. 3.3.). In both stands dominance of a single parent-tree was noted – in Talsi district one parent tree had 13 offsprings, in Priekule district – 11 offsprings.

The genetic diversity was not significantly different between stands and generations. While the origin of the reproductive material, used to establish these stands is not known, kinship and pairwise relatedness analysis indicated a higher degree of relatedness between the parental trees sampled from the Priekule district stand (Tab. 3.2.). There was no reduction of genetic diversity in the offspring generation

### **3.2. Survival and growth of European beech second generation stands in central part of Latvia**

Survival of beech and spruce twelve years after planting of mixed stand was high and similar: 73% and 78%, respectively. The height and diameter at breast height of beech was significantly larger than that of spruce (height  $7.4 \pm 0.30$  m and  $3.1 \pm 0.30$  m, respectively, and diameter  $8.9 \pm 0.68$  cm and  $3.0 \pm 0.41$  cm, respectively). Annual radial increment of beech notably and significantly exceeded annual radial increment of spruce (Fig. 3.4.), differences between both species were increasing with age. This trend was clearly linked to increasing competition between species in the stand. The maximum radius of beech crowns was similar than the distance between rows and between trees in rows, reaching on average  $2.4 \pm 0.16$  m. The growth of beech was notably affected by photosynthesis surface, characterized by maximum radius of crown – it had strong, significant correlation with height of the tree and with its diameter at breast height ( $r = 0.71$  and  $r = 0.87$ , respectively). Results indicated, that during first years after planting beech occupies the space more efficiently than spruce, by developing large crown and using all the light resources available.

Survival of European beech 33 years after planting under canopy in Madona district (eastern Latvia) was high and reached ~80%, yet the minimum air temperature in the area during this period had been below  $-30^{\circ}\text{C}$  (in 1983), suggested to be limiting for this tree species (Fang & Lechowicz; 2006; Kramer et al., 2010). Such high survival of beech in central part of Latvia might be related not only to shelter under canopy, but also to the origin of seeds – those were second generation beech trees from seeds collected in beech stands in western part of Latvia. So those beech had to adapt for only slightly harder climate than the one at the location of the first generation trees (Yakovlev et al., 2011).

Trees were generally small: height of beech ranged from 0.30 to 13 m, diameter at breast height – from 0.2 to 14.9 cm: most likely due to insufficient light to realize its growth potential. In the stand also some self-regeneration with sprouting had occurred, affecting the mean size of the trees. The diameter distribution had reverse J shape (Fig. 3.5.), that is typically for shade-tolerant species in such conditions. Results clearly demonstrate, that this tree species has adapted to survive under canopy for a long time, until some disturbance will make a gap in the crown cover and beech will have an opportunity for faster growth (Wagner et al., 2010).

### **3.3. Height increment of European beech**

Long-term height increment dynamics of beech in western part of Latvia was best described, using Chapman-Richards and Sloboda models. Coefficients of these models, obtained from sample-tree analysis, will be usable for the growth modelling tool, created in LSFRI Silava. It was found, that European beech in western part of Latvia is faster growing than in southern part of Sweden (considered to be within its natural distribution range). Hence the growth conditions in western Latvia are suitable for this tree species already in current (and past) climate. Additionally, adaptation had occurred also as the generations of beech changed: the second generation beech trees had larger height increment than the first generation beech trees (Fig. 3.6)

### **3.4. Influence of meteorological factors on radial growth of different dimension beech**

Intra-seasonal growth assessment demonstrated, that the most intensive radial growth of European beech occurred from the beginning of vegetation season to the beginning of July. Radial growth was sensitive to water deficit. In period without rain development of the tree-ring stopped. After periods with notable precipitation, stem restored the water storage and afterwards resumed the increment (Fig. 3.7.). No limitations of growth related to temperature during vegetation season were found. Overall, the second generation beech tree had notably higher relative radial increment during the vegetation season than the first generation beech tree (0.93% and 0.38% from diameter at breast height, respectively).

Inter-seasonal analysis of radial increment also demonstrated a clear difference between generations of beech after introduction in Latvia. The first generation beech trees were more sensitive to meteorological conditions than the second generation beech trees (Fig. 3.8.).

The dominant beech trees of the first generation were especially sensitive to the sum of precipitation in June, characterizing water deficit in summer. Suppressed trees of the first generation were mostly sensitive to air temperature during winter period. Trees of the second generation were less affected by air temperature during winter period, indicating successful adaptation to conditions in Latvia. Both annual and seasonal growth dynamic suggested that faster growing trees of the second generation had stronger correlation between the radial increment and water availability.

Long increment chronologies from beech trees in western part of Latvia did not contain extremely narrow or missing tree-rings, indicating a suitability of the growing conditions in Latvia for this tree species.



## CONCLUSIONS

1. Adaptation of European beech in Latvia has been successful: genetic diversity of its second generation in our country is not reduced, but height increment is larger in comparison to the first generation. Survival of the second generation beech trees under canopy is very high (>80%) also in the central part of Latvia.
2. Regeneration of European beech is successful in western part of Latvia both in open area (clearcut) up to 50 m from edge of mature stand and under canopy, even in light conditions that are not suitable for regeneration of other tree species. The average height of young European beech trees under the canopy significantly correlates with light conditions.
3. Growth models of European beech, developed as part of this thesis work, and data from sample plots in forest stands, indicate that increment of second generation of this tree species in Latvia is higher than that in southern Sweden and, in several plantations in young age – also higher than that of Norway spruce, suggesting strong potential to establish highly productive European beech stands.
4. The studied European beech from western part of Latvia do not have very narrow tree-rings, indicating suitability of current growing conditions for this tree species. Sensitivity to climatic conditions (especially to air temperature during winter period) was different for the first and the second generation of European beech, suggesting a positive effect of natural and human-made selection on adaptation.
5. Width of annual rings for European beech are mainly affected by climatic factors related to water deficit (temperature, precipitation) during summer and beginning of autumn. It causes reduction or even briefly stops radial increment until a complete replenishment of stem water storage. Considering predicted climate change it is important to plant European beech only in areas with sufficient soil moisture availability.

## **RECOMMENDATIONS**

Productive European beech stands can be established in western part of Latvia. For this purpose use of seeds from local seed sources, specifically – from plus-trees selected as part of research for this thesis, are recommended.

Establishment of seed orchard of European beech to provide secure seed supply is recommended. Establishment of comprehensive provenance trials, including reproductive material also from the parts within distribution range of European beech with higher water deficit during summer period, than currently in Latvia, is sensible.

Continuous testing of adaptation of European beech to climate in eastern part of Latvia in controlled conditions (freezing tests) and experimental plantations is recommended.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA / REFERENCES

1. Bolte A., Czajkowski T., & Kompa T. (2007). The north-eastern distribution range of European beech – a review. *Forestry*, 80, 413–429. <http://dx.doi.org/10.1093/forestry/cpm028>
2. Born, A. (2011). *Timber Feature – European Beech*. Lejupielādēts no / Retrieved from [http:// timberhub.com.au/timber-feature-european-beech](http://timberhub.com.au/timber-feature-european-beech)
3. Brunner A., & Nigh G. (2000). Light absorption and bole volume growth of individual Douglas-fir trees. *Tree Physiology*, 20, 323–332. <http://dx.doi.org/10.1093/treephys/20.5-6.323>
4. Dreimanis, A. (2005). Mežsaimniecības vēsturiskā mantojuma zinātniska izpēte un izvērtējums Šķēdes mežu novadā – atskaite [Scientific research and assessment of silvicultural heritage in Skede forest district – A report]. Jelgava, 87 lpp. (in Latvian).
5. Dreimanis, A. (2006). Dižskābaržu audžu ražība Šķēdes mežu novadā [Productivity of European beech stands in Skede forest district]. LLU Raksti, 16(311), 97-100. (in Latvian).
6. Dobrovolný, L., & Tesař, V. (2010). Extent and distribution of beech (*Fagus sylvatica* L.) regeneration by adult trees individually dispersed over a spruce monoculture. *Journal of Forest Science*, 56(12), 589-599. doi: 10.17221/12/2010-JFS
7. Fang J., & Lechowicz M. J. (2006). Climatic limits for the present distribution of beech (*Fagus* L.) species in the world. *Journal of Biogeography*, 33, 1804–1819. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01533.x>.
8. Giesecke T., Hickler T., Kunkel T., Martin T., & Richard H.W., (2007) Towards an understanding of the holocene distribution of *Fagus sylvatica* L. *Journal of Biogeography*, 34, 118-131.
9. Hanewinkel, M., Cullmann, D. A., Schelhaas, M. J., Nabuurs, G. J., & Zimmermann, N. E. (2013). Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change*, 3(3), 203-207. <https://doi.org/10.1038/nclimate1687>
10. Hickler, T., Vohland, K., Feehan, J., Miller, P.A., Smith, B., Costa, L., Giesecke, T., Fronzek, S., Carter, T.R., Cramer, W., Kuhn, I., & Sykes, M.T., (2012). Projecting the future distribution of European potential natural vegetation zones with a generalized, tree species-based dynamic vegetation model. *Global Ecology & Biogeography*, 21, 50 – 63. doi: 10.1111/j.1466-8238.2010.00613.x
11. Kramer K., Degen B., Buschbom J., Hickler T., Thuiller W., Sykes M., & de Winter W. (2010). Modelling exploration of the future of

- European beech (*Fagus sylvatica* L.) under climate change - Range, abundance, genetic diversity and adaptive response. *Forest Ecology and Management*, 259, 2213–2222. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2009.12.023>.
12. Kullman L. (2008). Thermophilic tree species reinvide subalpine Sweden - early responses to anomalous late Holocene climate warming. *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 40, 104–110. [http://dx.doi.org/10.1657/1523-0430\(06-120\)](http://dx.doi.org/10.1657/1523-0430(06-120))
  13. Dobrovlný, L., & Tesař, V. (2010). Extent and distribution of beech (*Fagus sylvatica* L.) regeneration by adult trees individually dispersed over a spruce monoculture. *Journal of forest science*, 56 (12), 589–599.
  14. Laiviņš, M. (2010) Svešzemju platlapu sugu (*Fagus sylvatica*, *Quercus rubra*, *Juglans ailanthifolia*) augu sabiedrības Latvijā [Introduced broadleaf plant societies (*Fagus sylvatica*, *Quercus rubra*, *Juglans ailanthifolia*) in Latvia]. *Latvijas veģetācija*, 21, 41-71. (in Latvian).
  15. Leugnerová, G. (2007). *Fagus sylvatica* L. – *European beech* Lejupielādēts no / Retrieved from <https://botany.cz/en/fagus-sylvatica/htt p://botany.cz/en/fagus-sylvatica/>
  16. Lizuma, L., Kļavins, M., Briede, A., & Rodinovs, V. (2007). Long-term changes of air temperature in Latvia. In M. Kļavins (ed.), *Climate change in Latvia*. (pp. 11-20). Riga, Latvia. University of Latvia.
  17. Peña, J. F. B., Remeš, J., & Bílek, L. (2010) Dynamics of natural regeneration of even-aged beech (*Fagus sylvatica* L.) stands at different shelterwood density. *Journal of forest science*, 56(12), 580–588
  18. Poljanec, A., & Kadunc, A. (2013). Quality and timber value of European beech (*Fagus sylvatica* L.) trees in the Karavanke Region. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 34(1), 151–165.
  19. Sabule, I. (2009b). Klimatisko faktoru ietekme uz Eiropas dižskābarža *Fagus sylvatica* (L.) radiālo augšanu Šķēdes novadā [Impact of climatic factors to radial growth of European beech *Fagus sylvatica* (L.)]. *Bakalaura darbs, Rīga* (in Latvian).
  20. Sabule, L. (2009a). Eiropas dižskābarža *Fagus sylvatica* (L.) izplatība Šķēdes mežu novadā [Distribution of European beech *Fagus sylvatica* (L.) in Skede forest district]. *Maģistra darbs, Rīga*. (in Latvian).
  21. Vanders, K. (1957). Dižskābarža dabiskā atjaunošanās Latvijas PSR mežos [Natural regeneration of European beech in Latvian forests]. *Latvijas Lauksaimniecības Akadēmijas Raksti*, 7, 421-434. (in Latvian).
  22. Vanders, K. (1960a). Dižskābarža sēklu raža LLA Mācību un pētījumu mežsaimniecībā [Seed harvest of European beech in Research forests in

- Latvia]. Latvijas Lauksaimniecības Akadēmijas Raksti, 9, 511-525. (in Latvian).
23. Vanders K. (1960b). Eiropas dižskabāržu (*Fagus sylvatica* L.) introdukcijas sākums un gaita Latvijas PSR [Beginning and process of European beech (*Fagus sylvatica* L.) introduction in Latvia]. Latvijas Lauksaimniecības Akadēmijas Raksti, 10, 503-512. (in Latvian).
  24. Von Wühlisch, G. (2008). EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for European beech (*Fagus sylvatica*). Rome, Italy. 6 p.
  25. Wagner, S., Collet, C., Madsen, P., Nakashizuka, T., Nyland, R.D. & Sagheb-Talebi, K. (2010). Beech regeneration research: From ecological to silvicultural aspects. *Forest Ecology and Management*, 259, 2172–2182. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.02.029>.
  26. Walther, G.R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J-M., Hoegh-Guldberg, O. & Bairlein, F. (2002). Ecological response to recent climate change. *Nature*, 416, 389–395. <http://dx.doi.org/10.1038/416389a>
  27. Yakovlev, I.A., Asante, D.K., Fossdal, C.G., Junntila, O., & Johnsen, Ø. (2011). Differential gene expression related to an epigenetic memory affecting climatic adaptation in Norway spruce. *Plant Science*, 180, 132–139. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.07.004>.