

Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Latvia University of Agriculture
Latvijas Valsts mežzinātnes institūts “Silava”
Latvia State Forest Research Institute “Silava”

Mg. silv. **Mārtiņš Zeps**

**APŠU HIBRĪDU (*POPULUS TREMULOIDES*
MICHX. × *POPULUS TREMULA L.*)
AUDZĒŠANAS POTENCIĀLS LATVIJĀ**

***POTENTIAL OF HYBRID ASPEN (*POPULUS*
TREMULOIDES MICHX. × *POPULUS*
TREMULA L.) PRODUCTION IN LATVIA***

Promocijas darba KOPSAVILKUMS

Dr. silv. zinātniskā grāda iegūšanai

SUMMARY

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

Salaspils, Jelgava

2017

Promocijas darba zinātniskais vadītājs
Supervisor

Āris Jansons
Dr. silv.

Darbs izstrādāts Latvijas Valsts Mežzinātnes institūtā “Silava”
Research was carried out in Latvian State Forest Research Institute “Silava”

Oficiālie recenzenti / Official reviewers

- *Dr.silv. Olga MIEZĪTE*, Latvijas Lauksaimniecības Universitātes profesore, LZP eksperte. / Professor of Latvia University of Agriculture, Expert of Latvian council of Science, Latvia.
- *Dr.habil. biol. Īzaks RAŠALS*, LU Bioloģijas fakultātes Molekulārās bioloģijas katedras profesors, LZP eksperts. / Department of Molecular Biology, Biology Faculty, University of Latvia. Expert of Latvian council of Science, Latvia
- *Dr. Virgilijus BALIUCKAS* Lietuvas Meža institūta Ģenētikas un selekcijas katedras vadītājs. / Lithuanian Forest research Institute, Head of Forest Genetic and Tree Breeding Department, Senior research scientist, Lithuania.

Promocijas darba aizstāvēšana notiks Latvijas Lauksaimniecības universitātes Mežzinātnes un Materiālzinātnes nozaru promocijas padomes atklātā sēdē **2017. gada 28. augustā plkst. 9:00**, Salaspilī, Rīgas ielā 111, LVMI „Silava” sēžu zālē. / To be presented for public criticism in open session of the Promotion Council of Forest Sciences and material Sciences of Latvian University of Agriculture held **on August 28, 2017 at 9 o'clock** in Salaspils, Rīga street 111, Latvian State Forest Research Institute “Silava” in conference room.

Ar promocijas darbu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā Jelgavā, Lielā ielā 2 un internetā http://llu.fb.llu.lv/promoc_darbi.html. Atsauksmes sūtīt promocijas padomes sekretārei *Mg.silv.* Sarmītei Berņikovai – Bondarei uz Dobeles iela 41, Jelgava, LV-3001, Latvija vai koka@llu.lv.

The thesis and resume are available at the Fundamental Library of Latvian University of Agriculture, Lielā ielā 2 or http://llu.fb.llu.lv/promoc_darbi.html. References are welcome to be sent to *Mg.silv.* Sarmītei Berņikovai – Bondarei, the secretary of the Promotion Council: Dobeles iela 41, Jelgava, LV-3001, Latvia or email koka@llu.lv.

DOI: 10.22616/LLUthesis/2017.012

SATURS

1. DARBA VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS	5
1.1. Tēmas aktualitāte	5
1.2. Promocijas darba mērķis, uzdevumi un tēzes	5
1.3. Darba zinātniskā novitāte un praktiskā nozīmība	6
1.4. Zinātniskā darba aprobācija	6
1.5. Promocijas darba struktūra un apjoms	8
2. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODIKA	9
3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA	14
3.1. Klonu atšķirības pēc produktivitātes, stumbra kvalitātes un koksnes īpašībām.....	14
3.1.1. Klonu atlases kritēriju noteikšana	14
3.1.2. Stumbra un zarojuma kvalitāte	15
3.1.3. Produktivitāte.....	16
3.1.4. Apšu hibrīdu un parastās apses koksnes īpašības	19
3.2. Abiotisko un biotisko faktoru ietekme apšu hibrīdu	22
3.2.1. Meteoroloģisko faktoru ietekme	22
3.2.2. Trupes sēņu izplatība	26
3.2.3. Klonu skaits plantācijā ģenētiskās daudzveidības nodrošināšanai.....	28
3.3. Plantāciju ierīkošanas un apsaimniekošanas modeļi dažādiem audzēšanas mērķiem	29
SECINĀJUMI	31
REKOMENDĀCIJAS	32

CONTENT

1. GENERAL DESCRIPTION.....	33
1.1 Topicality of subject	33
1.2 Objective, tasks, and theses of doctoral paper	33
1.3 Scientific novelty and practical importance of paper.....	34
1.4 Approbation of scientific work	34
1.5 Structure and volume of doctoral thesis.....	35
2. RESEARCH MATERIAL AND METHODS	35
3. RESULTS AND DISCUSSION.....	40
3.1 Clone differences in productivity, stem quality, and wood properties.....	40
3.1.1 Determination of clone selection criteria	40
3.2.1 Quality of stem and branching.....	41
3.1.3 Productivity	41
3.1.4 Wood properties of hybrid aspen and common aspen	43
3.2 Impact of abiotic and biotic factors on hybrid aspen	44
3.1.2 Impact of metrological factors	44
3.2.2 Distribution of rot fungus	47
3.2.3 Number of clones for provision of genetic diversity in plantation.....	47
3.3 Models of plantation establishment and management for different growth objectives	48
CONCLUSIONS	50
RECOMMENDATIONS.....	51

1. DARBA VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS

1.1. Tēmas aktualitāte

Neraugoties uz ilggadējām tradīcijām meža audzēšanā un kopšanā, globālais tirgus, pieaugošie meža izmantošanas ierobežojumi dabas aizsardzības prasību īstenošanai, sagaidāmo klimata izmaiņu mazināšanas iespējas, pieprasījums pēc enerģijas no atjaunojamiem dabas resursiem izraisa nepieciešamību intensificēt koksnes iegūvi. Plantācijas pasaulē aizņem aizvien lielāku platību, un prognozē, ka līdz 2020. gadam 44 % no koksnes apjoma iegūts no plantācijām. Paaugstinoties mežaudžu bojājumu riskiem, apmežošana un plantāciju vai kokaugu stādījumu ierīkošana uzskatāma par nozīmīgu pasākumu koksnes plūsmas apjoma un nepārtrauktības nodrošināšanai Latvijā. Lauku attīstības programmā 2014.–2020. gadam paredzēts veicināt mežaudžu (t.sk. plantāciju mežu) izveidošanu mazproduktīvās vai citādi lauksaimniecībai nepiemērotās platībās.

Promocijas darbā atspoguļoti selekcijas darba rezultātus, atsevišķu klonu augšanas potenciālu un novērtēt dažādu plantāciju audzēšanas veidu ekonomisko atdevi. Pirmie apšu hibrīdi izveidoti pagājuša gadsimta 50. gados, tomēr Baltijas valstīs un Skandināvijā ir salīdzinoši neliela praktiskā pieredze apšu hibrīdu plantāciju un kokaugu stādījumu izveidē un apsaimniekošanā. Pašreiz esošie apšu hibrīdu klonu eksperimenti Latvijā ir sasnieguši vecumu, kad ir iespējams novērtēt to augšanu un, apvienojot iegūtos rezultātus ar rūpniecisko plantāciju apsaimniekošanas pieredzi, sniegt rekomendācijas par plantāciju un kokaugu stādījumu apsaimniekošanu.

1.2. Promocijas darba mērķis, uzdevumi un tēzes

Promocijas darba mērķis: novērtēt apšu hibrīdu klonus un veikt plantāciju apsaimniekošanas alternatīvu finanšu analīzi Latvijā.

Atbilstoši pētījuma mērķim izvirzīti darba uzdevumi:

1. Novērtēt dažādu apšu hibrīdu klonu produktivitāti, stumbra kvalitāti un koksnes īpašības.
2. Noteikt apšu hibrīdu klonu atlases kritērijus turpmākam selekcijas ciklam.
3. Raksturot abiotisko un biotisko faktoru ietekmi uz apšu hibrīdiem.
4. Veikt finanšu analīzi dažādiem plantāciju audzēšanas modeļiem.

Hipotēzes

1. Apšu hibrīdu klonu produktivitāte un kvalitāte ir būtiski augstāka nekā parastajai apsei.

2. Klona (ģenētikas) ietekme uz koku stumbra tilpumu, stumbra taisnumu, zaru resnumu, koksnes blīvumu un noturību pret vides faktoru ietekmi ir būtiska, nodrošinot selekcijas potenciālu.

3. Apšu hibrīdu klonu plantācijas ir finansiāli izdevīgas neatkarīgi no audzēšanas mērķa.

1.3. Darba zinātniskā novitāte un praktiskā nozīmība

Promocijas darbā pirmo reizi Baltijas valstīs apzinātas apšu hibrīdu klonu augstuma pieauguma veidošanās gaitas atšķirības starp kloniem, kā arī pieauguma saistība ar meteoroloģiskajiem faktoriem. Novērtēta meteoroloģisko faktoru ilgtermiņa ietekme uz gadskārtu platuma veidošanos, kas kopā ar augstuma pieauguma analīzi parāda apšu hibrīdu klonu augšanas potenciālu un iespējamus riskus saistībā ar sagaidāmajām klimata izmaiņām.

Pirmo reizi Baltijas valstīs analizēta parastās apses dabiskā ģenētiskā daudzveidība atvasājos, kā arī kartētas atsevišķu genotipu aizņemtās platības. Balstoties uz šiem novērojumiem, izstrādāta rekomendācija par pieļaujamo viena apšu hibrīda klona aizņemto platību, kā arī par optimālo klonu skaitu plantācijās.

Promocijas darbā apkopota un vispusīgi izvērtēta visa Latvijā pieejamā informācija par apšu hibrīdu klonu selekciju, klonu produktivitāti, kvalitātes rādītājiem un koksnes īpašībām. Pirmo reizi izstrādāti pamatoti klonu virsaugstuma augšanas gaitas modeļi, kas izmantojami plantāciju ierīkošanas un apsaimniekošanas finansiālajam novērtējumam (investīciju plānošanai). Raksturotas apšu hibrīdu klonu koksnes izmantošanas iespējas un veikts ekonomiskais novērtējums dažādiem plantāciju audzēšanas mērķiem.

1.4. Zinātniskā darba aprobācija

Zinātniskās publikācijas par darba tēmu

Jansons Ā., **Zeps M.**, Rieksts-Riekstiņš J., Matisons R., Krišāns O. (2014).

Height increment of hybrid aspen *Populus tremuloides* x *P. tremula* as a function of weather conditions in central part of Latvia. *Silva Fennica*, vol. 48 no. 5.

Sable I., Grinfelds U., **Zeps M.**, Irbe I., Noldt G., Jansons A., Treimanis A., Koch G. (2013). Chemistry and kraft pulping of seven hybrid aspen clones. Dimension measurements on the vessels and UMSP of the cell walls. *Holzforschung*, 67 (5), 505–510.

- Zeps M.**, Gailis A., Smilga J., Miezīte O., Sisenis L., Zarina, I (2016). Hybrid aspen clone wood mechanical properties. *Agronomy Research* 14(S1), 1147–1152.
- Smilga J., **Zeps M.**, Sisenis L., Kalnins J., Adamovics A., Donis J. (2015). Profitability of hybrid aspen breeding in Latvia. *Agronomy Research* 13(2), 430–435.
- Zeps M.**, Sisenis L., Luguza S., Purins M., Dzerina B. Kalnins J (2015). Formation of height increment of hybrid aspen in Latvia. *Agronomy Research* 13(2), 436–441.
- Zeps M.**, Šāble I., Grīnfelds U., Jansons Ā., Irbe I., Treimanis A. (2012). Apšu hibrīdu (*Populus tremuloides* Michx. X *Populus tremula* L.) un parastās apses (*Populus tremula* L.) koksnes un sulfātcelulozes šķiedru īpašības 20 gadu vecumā. *Mežzinātne*, 26(59), 145.-154. lpp.
- Smilga J., **Zeps M.**, Voronova A., Džeriņa B., Jansons Ā. (2012) Klonu sastāvs parastās apses (*Populus tremula* L.) dabiski atjaunojušās jaunaudzēs. *Mežzinātne*, 26(59), 88.- 101. lpp.
- Zeps M.** Auzenbaha D., Gailis A., Treimanis A., Grīnfelds U. (2008). Hibrīdapšu (*Populus tremuloides* x *Populus tremula*) klonu salīdzināšana un atlase. *Mežzinātne* 18 (51), 19.-34. lpp.
- Zeps M.**, Jansons A., Smilga J., Purina L. (2012). Growth Intensity and Height Increment in a Young Hybrid Aspen Stand in Latvia. In: proceedings of 8th WSEAS International Conference on Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development (EEESD '12), Faro, Portugāle, 02.– 04.05.2012., pp.120-124.
- Zeps M.**, Adamovics A., Smilga J., Sisenis L. (2016). Productivity and quality of hybrid aspen at the age of 18 years. *Research for rural development 2016*, volume 2, 55-61.
- Zeps M.**, Voronova A., Smilga J., Kanberga-Silina K., Lubinskis L., Baders E., Rungis D., Jansons A. (2017). Within- and among-stand genetic diversity of common aspen (*Populus tremula* L.) in Latvia. *Baltic Forestry*. (Accepted)

Dalība konferencēs

- AdapCAR network un LVMI Silava Rīga, Latvija. 03. - 05.10.2012. Genetic aspects of adaptation and mitigation: forest health, wood quality and biomass production. Referāts: Selection of hybrid aspen for future climatic conditions.
- University of Algarve, Faro, Portugal. 1.-5.05.2012. Environment, Ecosystems and Sustainable Development (EEESD 12). Referāts: Growth Intensity and Height Increment in Young Hybrid Aspen Stands in Latvia.
- Daugavpils universitāte, Daugavpils, Latvija. 15.10.2014. Referāts: Zeps M., Kalnins J., Smilga J., Jansons A. (2014). Hybrid aspen productivity and

- quality in 18 years old stand. In: *Special session of 9th Baltic Theriological Conference: Forest ecosystem and its management: towards understanding the complexity*. International Conference Book of Abstracts, 15. October 2014, Ilgas, Daugavpils, Latvia. University of Daugavpils, p. Latvijas universitāte, Rīga, Latvija. 16 – 18.06.2015. Referāts: Zeps M., Purins M., Jansons J., Smilga J., Jansons Ā. (2015). Factors Affecting Height Growth of Hybrid Aspen in Latvia. In: *25 th NJF congress: Nordic view to sustainable rural development*. Proceedings of the 25th NJF Congress, 16 to 18 June 2015, Riga, Latvia. Latvian National Association of NJF.
- Vankuvera, britu Kolumbija, Kanāda. 20. – 23.06.2014. Stenda referāts: Zeps M., Jansons A., Rieksts Riekstiņš J., Purina L., Gailītis K., Smilga J., Gailis A. (2014). Height increment development in three years old hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *Populus tremuloides* Michx.). In: *International Poplar Symposium VI*. International Conference Book of Abstracts, 20. – 23.06.2014. Vancouver, British Columbia, Canada. p. 135.

1.5. Promocijas darba struktūra un apjoms

Promocijas darba struktūra pakārtota pētnieciskajiem uzdevumiem. Darbs sastāv no trīs nodaļām.

Pirmajā nodaļā analizētā esoša literatūra par apšu hibrīdiem, to analīzi strukturējot pa apakšnodaļām, kurās atspoguļota *Populus* ģints izplatība un to atšķirības, selekcijas rezultāti, plantāciju un kokaugus stādījumu ierīkošanas un apsaimniekošanas problemātika, atvasāju izmantošana un audzēšanas riskiem.

Otrajā nodaļā aprakstīta pētījumā iekļauti apšu hibrīdu eksperimenti un klonu atlases, koksnes īpašību novērtēšanas un risku izvērtēšanas metodika.

Trešajā daļā analizēti iegūtie rezultāti atbilstoši izvirzītajam pētījuma mērķim un darba uzdevumiem. Pirmajā apakšnodaļā aprakstīta apšu hibrīdu klonu atšķirības produktivitātē, stumbra kvalitātē, un koksnes īpašībās. Otrajā apakšnodaļā analizēti Apšu hibrīdu plantāciju apsaimniekošanu saistītie abiotiskie (trupes sēņu un koksngrauzu bojājumi) un biotiskie (metroloģiskie faktori) riski. Trešajā apakšnodaļā analizēti plantāciju ierīkošanas un apsaimniekošanas modeļi dažādiem audzēšanas mērķiem.

Promocijas darba apjoms ir 104 lpp., informācija apkopota 19 tabulās un 34 attēlos izmantoti 273 literatūras avoti.

2. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODIKA

Promocijas darba rezultāti iegūti, analizējot datus no apšu hibrīdu selekcijas izmēģinājuma stādījumiem jeb eksperimentiem. Apšu hibrīdu (*Populus tremuloides* Michx. × *Populus tremula* L.) klonu izcelsme – Latvija, krustošana veikta pagājušā gadsimta 60. un 70. gados (mežzinātnieks J. Smilga), un labāko pēcnācēju atlase veikta pagājušā gadsimta 80. gadu beigās un 2005. gadā. Atlasītie kloni pavairoti LVMI Silava Augu fizioloģijas laboratorijā.

Eksperimenti ierīkoti dažādos ekoloģiskajos fonos pēc bloku vai vienkoka parcelļu shēmas. Sākotnējais biežums 1100 vai 2500 koku ha⁻¹, klonu sastāvs un skaits atšķirīgs, to uzmērīšana un vērtēšana veikta dažādos vecumos (2.1. tabula).

2.1. tabula / Table 2.1.

Eksperimentu kopsavilkums *Summary of experiments*

Eksperimenta Nr. <i>Experiment No.</i>	Uzmērīšanas vecums <i>Measuring age</i>	Kloni / ģimenes Clones / families		
		apšu hibrīdi <i>hybrid aspen</i>	parastā apse <i>common aspen</i>	atkārtojumu skaits <i>number of replications</i>
58*	39, 51	5	7	–
62	10, 12, 18, 20	24	7	2 līdz 4
63	12, 13	17 / 25	3	2 līdz 4 / 2 līdz 14
64	8, 12, 15	22	2	8 līdz 14
65	8, 10, 12, 15	10	8	2 līdz 11
620	2, 3, 4, 5, 6, 7	15	–	30
640	4, 6	5	2	4
699	4, 6	18	2	4
740	6	18	–	4
741	6	54	2	30
744	5	24	–	2 līdz 11
745	5	25	–	30
763	5	48	–	30
FEN**	2, 3, 4	19	–	10
791	16, 20	11	–	–

* ģimeņu pēcnācēju izmēģinājuma stādījums / *hybrid aspen progeny experiment*

**FEN – apšu hibrīdu klonu fenoloģijas eksperimenti / *hybrid aspen phenology experiments*

Klonu produktivitātes un kvalitātes novērtēšanai eksperimentos uzņēmās katra koka augstums (m) un stumbra caurmērs (mm), uzskaitīti padēli. Vizuāli novērtēts zaru resnums, to leņķis attiecībā pret stumbru un stumbra taisnums 3 ballēs salīdzinājumā ar līdzīgu dimensiju kokiem tā paša eksperimenta ietvaros.

Apšu hibrīdu klonu pārbaužu stādījumos izlases (pēc noteiktām pazīmēm izvēlēto koku kopas) pārākuma raksturošanai un salīdzināšanai starp eksperimentiem izmantota selekcijas starpība, kas izteikta gan procentos, gan standartnovirzēs; aprēķināti ģenētiskie parametri (Falconer, Mackay, 1996).

Stumbra tilpuma aprēķināšanai izmantots I. Liepas izstrādātais vienādojums parastajai apsei (Liepa, 1996).

Astoņiem apšu hibrīdu kloniem, kuri pārstāvēti vismaz divos eksperimentos un kuros veikti atkārtoti koku augstuma mērījumi dažādos vecumos, izveidots augstuma pieauguma gaitas modelis, izmantojot datu mediānas, jo 30 % no mērījumiem neatbilda normālajam sadalījumam (Šapiro – Vilkinsona (*Shapiro - Wilk*) tests). Pie esoša datu apjoma no nelineāriem modeļiem empīriski labāks bija Gomperca (*Gompertz*) nelineārais modelis:

$$f(A) = \alpha \exp(\beta \exp(kA_A)), \quad (1)$$

kur:

α – asimptota / *asymptote parameter*;

β - pārliekuma punkts / *displacement parameter*;

k – pieauguma temps / *growth rate parameter*;

A_A – koka vecums gados, izmantots katram klonam individuāli atkarībā no koku vecuma mērījuma brīdī / *tree age, was fitted for each clone individually*.

Modeļa mainīgo parametru noteikšanai izmantotas vienādas sākumvērtības: $\alpha = 35$, $\beta = 15$ un $k = 0.40$. Asimptotas precizēšanai izmantoti dati no 51 gadu veca apšu hibrīdu ģimeņu eksperimenta, kuru sasniegtais koku augstums pieņemts teorētiski maksimāli iespējamais. Modeļa atlikuma vērtībām tika noteikta to atbilstība normālajam sadalījumam, izmantojot Šapiro – Vilkinsona testu. Heteroskedasticitāti noteica, izmantojot Breuša – Pagana (Breusch – Pagan) testu, kā arī novērtēja grafiski. Modeļa precizitāte noteikta, izmantojot standartklūdu, vidējo kvadrātisko klūdu, atlikuma vērtību vidējo absolūto klūdu (Sokal, Rohlf, 1995) un determinācijas koeficientu.

Koksnes īpašību noteikšanai paraugi ievākti trijos eksperimentos Nr. 62, 65 un 791. Eksperimentā Nr. 62 divpadsmit gadu vecumā atlasīja 19 produktīvākos klonus un no katra nozāģēja 2 līdz 4 paraugkokus. Eksperimentā Nr. 65 divpadsmit gadu vecumā atlasīja 7 produktīvākos apšu hibrīdu klonus un vienu parastās apses klonu un no katra nozāģēja 8 paraugkokus. Eksperimentā Nr. 791 deviņpadsmit gadu vecumā atlasīja 6 produktīvākos klonus un no katra nozāģēja 2 paraugkokus. Kopumā analizēts

121 paraugkoks. Koksnes analīzes veiktas sadarbībā ar Koksnes ķīmijas institūta Celulozes laboratoriju. Koksnes blīvums noteikts atbilstoši DIN 52 185, DIN 52 182 (DIN, 1976) un TAPPI 258 om-94 (TAPPI, 1994) standartiem, paraugus kondicionējot saskaņā ar DIN 50014-20/65-1 standartu. Celulozes saturs koksnē noteikts ar Kiršnera metodi (TAPPI 203 om-99, TAPPI, 1994). Lignīna saturs koksnē un papīrmasā noteikts ar Klāsona metodi (TAPPI, 1994). Ekstraktvielu saturs noteikts, ekstrahējot koksni Soksleta; ekstraktvielu iznākums aprēķināts pēc koksnes sausās masas atlikuma. Šķiedru dimensijas (garums, platums) noteiktas ar Lorentzen & Wettre "FiberTester" iekārtu. No iegūtās papīrmasas atbilstoši standartam ISO 5269/2, izmantojot "Rapid – Köthen" darbmašīnu, atlieti papīra paraugi, kuriem noteiktas mehāniskās īpašības – trūkšanas garums un caurspiešanas indekss (ISO 1924-1, ISO 2758).

Klonu skaita un izvietojuma telpiskās struktūras vērtēšanai izvēlēti reģioni ar augstu parastās apses audžu īpatsvaru, kuros izvēlētas 20 tīraudzes 6 – 8 gadu vecumā un vismaz 1 ha platībā, t.sk., 16 – vēri, 3 – gāršā un 1 – platlapju kūdrēnī. Katrā audzē regulārā tīklā ik pēc 10 – 15 m izvēlēts paraugkoks, kuram fiksētas koordinātes un ievākts materiāls DNS izdalīšanai. LVMI "Silava" "Molekulārās ģenētikas laboratorijā" DNS izdalīts no 779 kokiem un ar 6 mikrosatelītu marķieriem noteikts to sadalījums pa genotipiem.

Trupes izplatība novērtēta apšu hibrīdu pēcnācēju eksperimentā Nr. 58. Atlasīti 43 parastās apses un 129 apšu hibrīdu paraugkoki no piecām ģimenēm dažādās caurmēra pakāpēs. Celma virsmu pārzīmēja uz plēves un ar planimetru uzmērīja celma, apšu cietpiepes (*Phellinus tremulae* Bond.) trupējušās koksnes laukumu platības un saskaitīja koksngrauža (*Saperda carcharias* L.) ejas.

Meteoroloģisko faktoru ietekmes novērtēšana veikta eksperimentā Nr. 620, analizējot 15 apšu hibrīdu klonu (rametu skaits no 12 līdz 23, kopā 278 koki) augšanu 2010. un 2011. gadā (5 un 6 gadu vecumā), fenoloģiskos novērojumus veicot no marta līdz oktobrim, bet augstuma pieauguma mērījumus – no aprīļa līdz oktobrim. Kopumā mērījumi veikti 18 reizes, vidēji ik pēc 9 (4 – 22) dienām ar 1 cm precizitāti. Meteoroloģiskie dati iegūti no Vecauces hidrometeoroloģiskās stacijas. Fenoloģiskās fāzes – pumpuru briešana un lapu plaukšana – vērtētas abos gados ar vienas dienas intervālu 6 klasēs (UPOV, 1981). Augšanas intensitātes atšķirības starp klonu grupām katrā periodā novērtētas, izmantojot dispersijas analīzi un Tukeja (*Tukey's*) *HSD* testu (Sokal, Rohlf, 1995). Meteoroloģisko faktoru ietekme uz augšanas intensitāti katrā no klonu grupām novērtēta, izmantojot multiplo lineāro regresiju (Mc Gullagh, Nelder, 1989). Atbilstošākais augstuma pieauguma veidošanās modelis noteikts pēc Akaiķes (*Akaike*) informācijas kritērija (AIC) (Sakamoto et al., 1986), R^2 (*multiple and adjusted*) vērtības (Sokal, Rohlf, 1995), Fišera kritērija un atlikumu standartkļūdas, kas apraksta un izskaidro modeļa atbilstību datiem. Atlikuma vērtību atbilstība normālajam sadalījumam

un heteroskedasticitāte pārbaudīta ar Šapiro - Vilkinsona un Breuša – Pagana testu, kā arī veicot grafisku novērtējumu. Dažādu modeļu, kas apraksta vienu un to pašu mainīgo, salīdzināšana veikta, izmantojot *ANOVA* funkciju. Datu analīze veikta ar R v. 3.0.1 (R Core team 2013), izmantojot pakotni "Gvlma".

Meteoroloģisko faktoru ietekme ilgtermiņā uz radiālo augšanu vērtēta apšu hibrīdu ģimeņu eksperimentā Nr. 58. Audzē izvēlēti 22 koki (I – II Krafta klase), no kuriem celma augstumā ievākti aptuveni 5 cm biezi koksnes diski. Gadskārtu platumu mērījumu rindas šķērsdatētas, to atbilstība un kvalitāte pārbaudīta gan grafiski, gan statistiski. Dubultā detrendēšana veikta lai no kopējās gadskārtu platumu variēšanas noņemtu ar vecumu, un konkurenci saistīto daļu. Vecuma trends noņemts, izmantojot negatīvi logaritmisko funkciju, tad noņemta konkurences ietekme ar trešās kārtas polinomiālo funkciju (*spline*). Iepriekšējās augšanas ietekme noņemta, izmantojot autoregresīvu modeli. Dati apstrādāti, izmantojot programmu ARSTAN (Cook, Holmes, 1986). Datu kopas raksturošanai aprēķināti šādi indeksi: vidējais starpsēriju korelācijas (*r - bar*), populācijas signāla izpausmes (EPS) (Wigley et al., 1984), sinhronitātes (*Gleichläufigkeit*), pirmās pakāpes autokorelācijas un signāla stipruma (*signal to noise ratio*) indeksi; aprēķini veikti detrendētām sērijām. Saistību raksturošana starp gadskārtu platumu variēšanu un meteoroloģiskajiem datiem, veikta ar Pīrsona korelācijas analīzi, koeficientu būtiskums pārbaudīts ar *bootstrap* metodi (Johnson, 2001). Meteoroloģiskie dati – mēnešu minimālā, maksimālā un vidējā temperatūra, diennakts temperatūru amplitūda, nokrišņu summa un potenciālā evapotranspirācija (PET) sadalīti ietekmes sezonā no iepriekšēja gada janvāra līdz gadskārtas veidošanās gada septembrim. Būtiskajiem faktoriem novērtēta multikolinearitāte, un rezultātu interpretācijā izmantoti tikai nekolineārie faktori, kas parādīja izteiktākās saistības. Meteoroloģiskie dati iegūti no UEA *Climatic Research Unit* mājaslapas. Datu analīze veikta programmā R, izmantojot pakotni „dplr”.

Plantāciju apsaimniekošanas modeļu novērtēšanai definēti četri plantāciju audzēšanas mērķi:

- 1) Zāgbaļķu plantācija. Audzēšanas mērķis ir ciršanas vecumā iegūt pēc iespējas lielāku dimensiju zāgbaļķus. Cirtes aprīte 20 gadi. Sākotnējais biežums 800 koki ha⁻¹. Piecu un desmit gadu vecumā plāno augošu koku atzarošanu. Pēc nociršanas atjaunojas ar atvasēm, un otrajā gadā veic retināšanu ar biomasas ievākšanu.
- 2) Zāgbaļķu plantācija ar kopšanu. Audzēšanas mērķis ir iegūt zāgbaļķus, paredzot kopšanas cirti 15 gadu vecumā. Cirtes aprīte 20 gadi. Sākotnējais biežums 1100 koki ha⁻¹. Piecu un desmit gadu vecumā plāno augošu koku atzarošanu. Pēc nociršanas atjaunojas ar atvasēm, un otrajā gadā veic retināšanu ar biomasas ievākšanu.
- 3) Papīrmalkas plantācija. Audzēšanas mērķis ir iegūt maksimāli daudz koksnes ciršanas vecumā. Cirtes aprīte 15 gadi. Sākotnējais biežums

1100 koki ha⁻¹. Pēc nociršanas atjaunojas ar atvasēm, un audzē bez kopšanas.

- 4) Enerģētiskās koksnes plantācija. Audzēšanas mērķis ir iegūt maksimālu koksnes biomasas apjomu īsā laika periodā. Cirtes aprīte 10 gadi. Sākotnējais biežums 2500 koki ha⁻¹. Pēc nociršanas atjaunojas ar atvasēm, un audzē bez kopšanas.

Katram no izvēlētajiem mērķiem izstrādāti divi audzēšanas modeļi, un veikti ekonomiskie aprēķini atbilstoši diviem scenārijiem:

- A. reālistiskais – aprēķinos izmantoti eksperimentu vidējie dati;
- B. optimistiskais – aprēķinos izmantoti produktīvāko klonu dati.

Sadalījums sortimentos veikts pēc Ozoliņa (2002) izstrādātā vienādojuma J. Doņa sagatavotā programmā. Aprēķiniem izmantoti divu eksperimentu (Nr. 62 un 791) dati. Iegūtais sortimentu daudzums attiecināts pret kopējo krāju, un iegūts teorētiskais sortimentu sadalījums. Minimālais tievgaļa caurmērs zāģbaļķiem pieņemts 24 cm, taras klučiem – no 12 līdz 24 cm, papīrmalkai – no 6 līdz 11 cm. Galotnes daļa (tievgaļa caurmērs < 6 cm) iekļauta biomasā. Ekonomiskie aprēķini zāģbaļķu plantācijām veikti 40 gadiem (2 cirtes aprītes), papīrmalkas plantācijai – 30 gadiem (2 cirtes aprītes), bet enerģētiskās koksnes plantācijai – četras cirtes aprītes. Izveidoto plantāciju audzēšanas modeļu ekonomiskais novērtējums veikts, izmantojot iekšējo atmaksāšanās likmi IRR (Guo et al., 2006). Kā otrs rādītājs izmantota zemes sagaidāmā vērtība (LEV), kas līdzīgi kā IRR ļauj novērtēt, kurš no plantāciju audzēšanas mērķiem ir izdevīgāks. LEV tiek aprēķināts, izmantojot Faustmana 1849. gadā izveidoto formulu, kura būtiski nav mainījusies (Gong, 1998). LEV aprēķināts diskontējot katra gada prognozēto naudas plūsmu vērtību uz pašreizējo brīdi. Iegūtais rezultāts parāda maksimālo cenu, kas var tikt maksāta par plantāciju ierīkošanai nepieciešamo zemes platību. LEV metode ļauj novērtēt rezultātu pie dažādām interešu likmēm. Finansiālajiem aprēķiniem visas augsnes sagatavošanas izmaksas ņemtas no “Latvijas lauku konsultāciju un izglītības centra” bruto seguma aprēķiniem lauksaimniecībā 2014. gadā. Zemes aršanas izmaksām piemērots koeficients 1.5, pieņemot, ka platība vairākus gadus nav apsaimniekota. Stādmateriāla izmaksas iegūtas no a/s Latvijas valsts meži, bet apaļkoku cenas – no Centrālās statistikas pārvaldes datu bāzes (2014. gads).

3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

3.1. Klonu atšķirības pēc produktivitātes, stumbra kvalitātes un koksnes īpašībām

3.1.1. Klonu atlasē kritēriju noteikšana

Apšu hibrīdu klonu atlasē kritēriju izvēle ir galvenais priekšnoteikums klonu selekcijas uzsākšanai. Svarīgākais kritērijs ir koku produktivitāte, kas atkarīga no tieši uzmērāmām pazīmēm – augstuma un caurmēra. Izvēlētajai pazīmei jābūt ar iespējami augstu iedzimstamības koeficientu, kas liecinātu, ka konkrētajā eksperimentā konstatētās atšķirības starp kloniem pārsvarā ir ģenētiski determinētas. Turklāt izvēlētajai produktivitāti raksturojošajai pazīmei jābūt ar iespējami zemu (vai – no selekcijas viedokļa – vēlāmu) korelāciju ar koku kvalitātes parametriem. Augstākās iedzimstamības koeficienta vērtības konstatētas koku augstumam un stumbra taisnumam, tāpēc rekomendēju apšu hibrīdu klonu atlasē veikt pēc šīm pazīmēm (3.1. tabula).

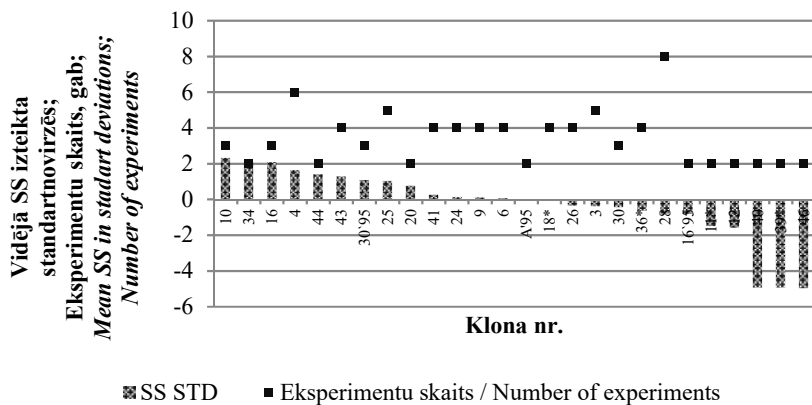
3.1. tabula / Table 3.1.

Apšu hibrīdu klonu izmēģinājuma stādījumos vērtēto fenotipisko pazīmju iedzimstamības koeficientu vērtības *Heritability of phenotypic parameters of hybrid aspen clones in different experiments*

Pazīme / Trait	Iedzimstamības koeficients H^2 / Heritability H^2		
	Nr.62	Nr.64	Nr.65
Augstums / Tree height	0.47	0.38	0.36
Caurmērs / Diameter	0.27	0.30	0.25
Stumbra tilpums / Stem volume	0.32	0.26	0.26
Stumbra taisnums / Stem straightness	0.73	0.36	0.42
Padēls / Spike knot	0.21	–	0.18
Zaru resnums / Branch thickness	–	0.14	–
Zaru leņķis / Branch angle	0.60	0.20	–

Apšu hibrīdu selekcijā svarīgi veikt labāko klonu atlasē agrīnā vecumā, dažos eksperimentos. Klonu Spīrmena rangu korelācijas dažādos vecumos (vērtētajām pazīmēm, eksperimenta ietvaros ir no 0.69 līdz 0.97, kas apliecina, ka produktīvāko klonu atlasē ir iespējama agrīnā vecumā (5 gadu vecumā). Eksperimentos gandrīz vienmēr augstākās selekcijas vērtības ir vieniem un tiem pašiem kloniem (4., 44., 25., 16., 26. u.c.), kas norāda ka klonu atlasē var veikt

pēc dažu eksperimentu rezultātiem un, ka Latviju var uztvert par vienu izmēģinājuma zonu apšu hibrīdiem. Eksperimentu atšķirīgais klonu skaits un sastāvs, kā arī vērtējums dažādos vecumos sarežģī klonu savstarpējo salīdzināšanu starp eksperimentiem. Tāpēc izmantojot koku augstuma selekcijas starpības izteiktas standartnovirzēs, kā potenciāli labākie ir 10., 34., 16., 4., 44., 43., 30'95. un 25. kloni (3.1. att.).



3.1. att. Apšu hibrīdu klonu vidējā augstuma selekcijas starpība, izteikta standartnovirzēs (pret eksperimentu vidējo) dažādos eksperimentos pēdējiem mērījumiem

Fig. 3.1. Hybrid aspen clone mean height selection difference expressed in standard deviations (to mean of experiments) from different experiments in last measurement SS – selekcijas starpība / selection difference.

Eksperimenta ietvaros klonu salīdzināšana ar eksperimenta vidējo vērtību ir saistīta ar zināmu neprecizitāti, jo to ietekmē klonu skaits un sastāvs. Viena no alternatīvām ir eksperimentos iekļaut klonus ar zināmu augšanas gaitu un veikt salīdzināšanu pret tiem. Nākotnē šādām nolūkam izmantotajiem 4. un 28. kloni, kuri iekļauti attiecīgi 6 un 8 eksperimentos.

3.1.2. Stumbra un zarojuma kvalitāte

Klonu kvalitātes svarīgākās pazīmes ir atkarīgas no plānotā koksnes izmantošanas veida (vai plantācijas audzēšanas mērķa, kas nosaka, kādu sortimentu plānots iegūt). Līdzās klonu produktivitātei zāgbaļķu plantācijās svarīga ir stumbra kvalitāte, koksnes blīvums un tās mehāniskās īpašības, papīrmalkas plantācijās – celulozes un lignīna saturs koksnē, bet enerģētiskās koksnes plantācijās – koksnes blīvums. Kvalitātes pazīmju vērtējums kloniem

dažādos vecumos arī starp eksperimentiem būtiski neatšķiras. Novērtējot 18 apšu hibrīdu klonus, konstatēts, ka 31 % koku ir ar taisnu stumbru, 58 % – ar vienu nozīmīgu (> 5 cm) līkumu, bet pārējie – ar diviem vai vairāk līkumiem. Šaurs zaru leņķis (mazāks par 75°) ir 10 % koku, savukārt padēls konstatēts 23 % koku. Ģenētisko faktoru (klona) statistiski būtiska ($p < 0.05$) ietekme (un tātad selekcijas iespējas) konstatēta tādām kvalitātes pazīmēm kā stumbra taisnums, zaru resnums un leņķis, bet ne padēlu īpatsvars.

Būtiskas sakarības starp kvalitātes pazīmēm netika konstatētas, tātad tās ģenētiski tiek dažādi kontrolētas (Stener, Karlson, 2004). Konstatētas vājas korelācijas starp stumbra caurmēru un zaru resnumu ($r = -0.52$; $\alpha = 0.05$), starp stumbra caurmēru un zaru leņķi ($r = 0.22$; $\alpha = 0.05$), starp stumbra caurmēru un koku ar taisniem stumbriem īpatsvaru ($r = 0.2$; $\alpha = 0.05$). Koku augstumam netika konstatētas būtiskas korelācijas ar kvalitāti raksturojošām pazīmēm, tāpēc atlasī iespējams veikt pēc ražību raksturojošām pazīmēm, neatstājot nozīmīgu negatīvu ietekmi uz kvalitāti, jo nav konstatēta cieša korelācija starp ražību un kvalitāti raksturojošām pazīmēm.

Zāgļa plantācijām piemērotākie ir: 4., 24., 30'95., 44., 16., 23. un 21. klons. Enerģētiskās koksnes plantācijām piemērotākie ir: 25., 9., 10. klons.

3.1.3. Produktivitāte

Izvērtējot apšu hibrīdu klonu izmēģinājuma stādījumu (Eksperimenti Nr. 62, 63, 64, 65) rezultātus, kloniem, kas pārstāvēti vismaz divos eksperimentos, aprēķināta vidējā krājas diference līdz 18 gadu vecumam, kas ir tuvu rekomendētajam ciršanas vecumam. Eksperimentos ar sākotnējo biežumu 2500 koku ha^{-1} (2×2 m) apšu hibrīdu klonu vidējā krājas diference 10 gadu vecumā ir 19.0 ± 3.32 m^3ha^{-1} , bet 12 gadu vecumā 18.6 ± 3.43 m^3ha^{-1} (3.2. tabula). Tas liecina, ka stādījumos ar augstu sākotnējo biežumu pirmā sistemātiskā kopšanas cirte (pa diagonālēm) jāveic jau 10 gadu vecumā vai pat agrāk, lai nesamazinātos audzes produktivitāte. Sešus gadus pēc kopšanas cirtes (18 gadu vecumā) vidējā krājas diference sasniedz 22.6 ± 4.74 m^3ha^{-1} . Piecu produktīvāko klonu vidējā krājas diference sasniedz 28 m^3ha^{-1} 18 gadu vecumā.

Eksperimentos ar sākotnējo biežumu 1100 koku ha^{-1} (3×3 m, vidējā krājas diference ir 16.4 ± 2.31 m^3ha^{-1} piecpadsmit gadu vecumā, kas atbilst 246 m^3ha^{-1} . Vidējā krājas diference 16. klonam ir 24 m^3ha^{-1} (360 m^3ha^{-1}) 15 gadu vecumā, bet 44. klonam 12 gadu vecumā, vidējā krājas diference ir 23 m^3ha^{-1} (276 m^3ha^{-1}). Piecu produktīvāko klonu vidējā krājas diference ir 19 m^3ha^{-1} 15 gadu vecumā (3.2. tabula), kas atbilst 285 m^3ha^{-1} . Apšu hibrīdu plantācijām Somijā, Skandināvijas un Baltijas valstīs paredz, ka vidējā produktivitāte būs virs 20 m^3ha^{-1} gadā ar cirtes apriņķi 20 līdz 25 gadi (Stener, Karlsson, 2004, Rytter, Stener, 2005, Tullus et al., 2012).

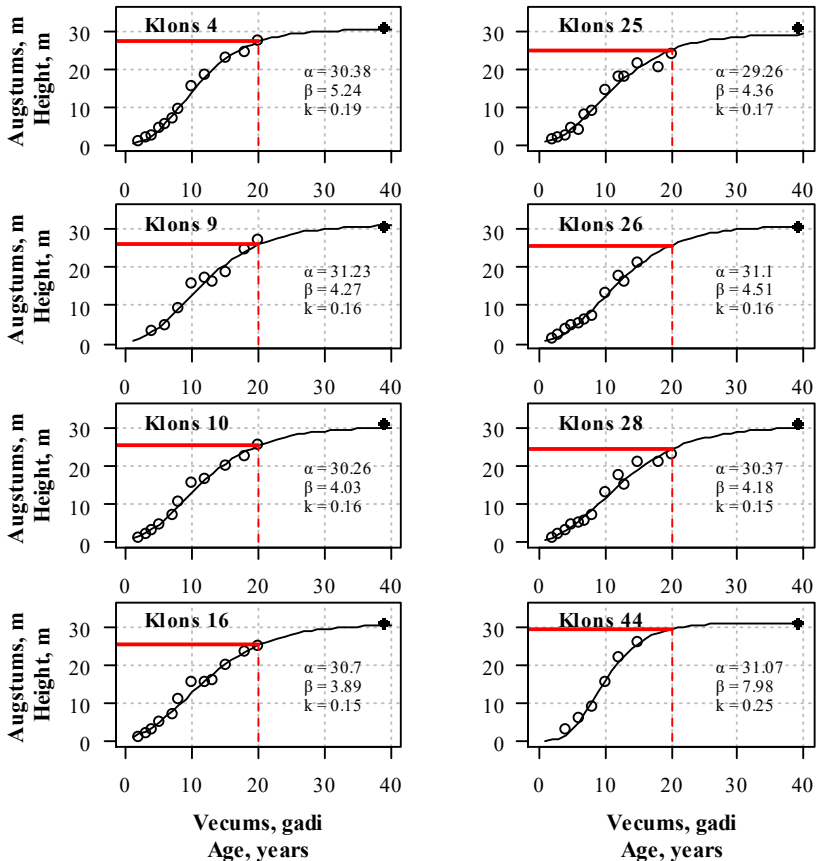
Apšu hibrīdu klonu vidējā krājas diference dažādos vecumos atkarībā no sākotnējā biežuma
Hybrid aspen clones mean yield difference in different ages depending of initial density

Klona Nr. / Clone No.	Sākotnējais biežums 1100 koku ha ⁻¹ / Initial planting density 1100 trees ha ⁻¹				Sākotnējais biežums 2500 koku ha ⁻¹ / Initial planting density 2500 trees ha ⁻¹			
	Vecums, gadus / Age, years							
	8	10	12	15	10	12*	18	
4	4	11	13	17	26	25	28	
9	3	–	8	15	23	23	34	
10	6	–	12	18	23	24	26	
16	8	–	16	24	21	21	25	
19	–	–	–	–	22	21	25	
22	–	–	–	–	15	16	25	
24	5	–	11	17	13	12	15	
25	4	10	12	19	12	11	14	
26	3	6	10	14	12	10	8	
28	2	8	12	–	15	15	17	
30	–	–	–	–	21	22	25	
40	5	8	12	13	–	–	–	
41	–	–	–	–	25	23	29	
44	4	14	23	–	–	–	–	
15'95	5	–	11	17	–	–	–	
16'95	4	–	8	11	–	–	–	
30'95	5	–	10	15	–	–	–	
Vidēji: Mean:	4.5± 0.91	9.5± 2.95	12.2± 2.34	16.4± 2.31	19± 3.32	18.6± 3.46	22.6± 4.74	

* mērījumi veikti pirms kopšanas cirtes izpildes 12 gadu vecumā / measuring done before thinning at age 12 years.

Augstā produktivitātē agrīnā vecumā apstiprina apšu hibrīdu potenciālu plantāciju izveidē ar īsu cirtes apriti un dažādiem audzēšanas mērķiem enerģētiskās koksnes, papīrmalkas vai zāģbaļķu ieguvei. Lēmuma pieņemšanai par labu kādam no audzēšanas mērķiem jābūt balstītam finanšu aprēķinos. Enerģētiskās koksnes iegūšanai atbilst plantācijas ar sākotnējo biežumu 2500 koku ha⁻¹, kurās 10 gadu vecumā vidējā krāja ir 160 m³ha⁻¹, vidējais caurmērs sasniedz 11.5 cm, un pastāv teorētiska iespēja iegūt taras klučus. Piecu produktīvāko klonu krāja sasniedz 230 m³ha⁻¹. Papīrmalkas iegūšanai atbilst plantācijas ar sākotnējo biežumu 1100 koku ha⁻¹, kurās 15 gadu vecumā vidējā krāja ir 246 m³ha⁻¹, un piecu produktīvāko klonu krāja sasniedz 285 m³ha⁻¹.

Zāģbaļķu plantācijām audzēšanas cikla ilgums atkarīgs no tā, vai paredzēts kokus nocirst pēc plānotā mērķa caurmēra sasniegšanas, vai arī pieauguma kulminācijas brīdī. Lēmumu pieņemšanai svarīgas ir zināšanas par apšu hibrīdu klonu augšanas gaitu.



3.2 att. Apšu hibrīdu klonu virsaugstuma augšanas gaitas modeļi

Fig. 3.2. Median height of the studied hybrid aspen clones

Līnija – pēc Gomperca vienādojuma; aplīši - mērījumu datu mediānas dažādos vecumos. Open circles at different age (1 – 20 years) and median height of 39 years old progenies of hybrid aspen of families (filled circles). Lines show the fitted Gompertz models.

Izmantojot datus no eksperimentiem, izveidoti virsaugstuma augšanas gaitas modeļi sešiem apšu hibrīdu kloniem līdz 40 gadu vecumam, bet praktiski plantācijas paredzēts nocirst 20 – 25 gadu vecumā. Klonu augšanas gaitas

atšķirības nosaka augstuma pieauguma veidošanās ātrums, kuru raksturo modeļa pārlikuma punkti, kas kloniem atrodas atšķirīgās vietās (vecumā).

Viens no ātraudzīgākajiem ir 44. klons, kuram "log" fāze iestājas piecu gadu vecumā un beidzas 13 gadu vecumā; 4. klonam "log" fāze sākas sešu gadu vecumā un beidzas 15 gadu vecumā (3.2. att.). Turpretim 16. un 28. klonam novērots mazākais pieauguma ātrums, un "log" fāze beidzas attiecīgi 18 un 20 gadu vecumā. Ņemot vērā, ka apšu hibrīdu koksne tiek izmantota arī tehniskām vajadzībām, kloni 44. un 4. rekomendējami zāģbaļķu plantāciju ierīkošanai. Kloni 25., 26. un 28. veido lielāko augstuma pieaugumu pirmo desmit gadu laikā, tāpēc rekomendējami biomasas ražošanai ar īsu cirtes apriti, iespējams, arī lielāka biežuma plantācijās (2000 – 2500 koki ha⁻¹). Augstuma pieauguma kulminācija vidēji iestājas 25 gadu vecumā, kas norāda uz zāģbaļķu plantāciju pirmās cirtes aprites teorētisko audzēšanas ilgumu.

Latvijā selekcionētajiem kloniem H₂₀ pēc Gomperca modeļa ir no 24 līdz 29 metriem. Kloni 44. un 4. atbilst I bonitātei, bet pārējie kloni atbilst II bonitātei (Johansson, 2013). Prognozējams, ka ar Latvijā selekcionētajiem apšu hibrīdu kloniem ierīkoto plantāciju vidējā produktivitāte sasniegs Baltijas valstīs plānotos 20 m³ha⁻¹ gadā (Stener, Karlsson, 2004, Tullus et al., 2012).

3.1.4. Apšu hibrīdu un parastās apses koksnes īpašības

Latvijas koksnes pārstrādājamiem apšu hibrīdu koksne nav pazīstama, un galvenais kritērijs tās izmantošanai ir, lai koksnes īpašības būtu līdzvērtīgas parastās apses koksnes īpašībām (Ķirsons, 2014). Salīdzinot apšu hibrīdu koksnes īpašības 19 gadu vecumā (kas ir tuvu ciršanas vecumam 20 – 25 gadi) ar parastās apses koksni, kas iegūta no līdzīgos augšanas apstākļos augušiemiem kokiem, secināts, ka apšu hibrīdu koksnes īpašības ir līdzvērtīgas parastajai apsei (3.3. tabula). Vērtējot apšu hibrīdu klonu koksnes īpašības 12 gadu vecumā, konstatēts, ka vidējais koksnes blīvums ir 420 kg m⁻³ (3.4. tabula). Lielākais koksnes blīvums 4. un 28. klonam, bet būtiski ($p < 0.05$) mazāks koksnes blīvums ir 3. klonam un 130. parastās apses klonam. Vidējais celulozes saturs ir 51 %. Lielākais celulozes saturs ir 4. klonam, bet mazākais – 25. klonam. Zemākais lignīna saturs konstatēts 28. klonam, bet augstākais – 3. un 44. klonam. Lielākais ekstraktvielu saturs ir 28., 25., 44. un 3. klonam, bet vismazākais – 23. klonam.

Starp koksnes blīvumu un klonu produktivitāti pastāv būtiska, vāja pozitīva korelācija ($r = 0.17$, $p < 0.05$). Atsevišķos pētījumos konstatēts, ka pastāv vāja negatīva korelācija starp klonu produktivitāti un koksnes blīvumu (Yu et al., 2001b), tāpēc selekcijas procesā tiek vērtētas arī koksnes īpašības. Starp produktivitāti un celulozes saturu koksnē konstatēta vāja negatīva korelācija ($r = -0.02$). Starp celulozes un lignīna saturu koksnē konstatēta

negatīva korelācija ($r = -0.73$), kas norāda, ka, palielinoties celulozes saturam koksnē, samazinās lignīna daudzums. Zemāks lignīna saturs koksnē vērtējams pozitīvi, jo papīrrūpniecībā mazāk jāpatērē ķīmiskie reaģenti.

3.3. tabula / Table 3.3.

Apšu hibrīdu un parastās apses koksnes īpašību raksturojums
Wood traits of common aspen and aspen hybrids

Īpašības / <i>Properties</i>	Apšu hibrīdi L / <i>Hybrid aspen L</i>	Parastā apse L / <i>Common aspen L</i>	Parastā apse M / <i>Common aspen M</i>
Koksnes blīvums, kg m^{-3} Wood density, kg m^{-3}	450.5 ± 12.20	492.5 ± 31.77	500.5 ± 44.26
Sulfātcelulozes iznākums, % / <i>Kraft pulp yield, %</i>	50.6 ± 1.40	52.5 ± 1.27	52.2 ± 1.18
Šķiedras garums, mm / <i>Fibre length, mm</i>	0.99 ± 0.05	0.77 ± 0.00	0.82 ± 0.02
Šķiedras platums, μm <i>Fibre width, μm</i>	20.8 ± 0.25	20.9 ± 0.00	21.4 ± 1.29
Caurspiešanas indekss, $\text{kPa m}^2 \text{g}^{-1}$ <i>Burst index, $\text{kPa m}^2 \text{g}^{-1}$</i>	0.99 ± 0.13	–	0.8 ± 0.10
Trūkšanas garums, km <i>Breaking length, km</i>	3.3 ± 0.30	2.5 ± 0.38	3.0 ± 0.37

L – bijušās lauksaimniecības zemes / *former agriculture land*. M – meža zemēs / *forest land*

Šķiedru garums nosaka papīra izturību, bet platums nosaka izgatavotā papīra drukas kvalitāti. Apšu hibrīdu koksnes šķiedras pieskaita „īso” koksnes šķiedru grupai, kurā šķiedru garums variē no 0.34 līdz 0.70 mm (Yu et al., 2001). Latvijā selekcionētie kloni atbilst “garo” šķiedru grupai (3.5. tabula). Vidējais šķiedru platums ir 21.4 μm , tas variē no 20.3 līdz 22.4 μm , kas saskan ar citu valstu pētījumu rezultātiem (Hart et al., 2013). Konstatēta vāja pozitīva korelācija ($r = 0.13$) starp šķiedru vidējo svērto garumu un koksnes blīvumu, bet starp šķiedru platumu un koksnes blīvumu – negatīva ($r = -0.3$) korelācija.

Izvērtējot klonus pēc koksnes un šķiedru īpašībām, papīrmalkas plantācijām piemērots ir 28. klons, kurš ir ar īsām, bet platām koksnes šķiedrām, celulozes saturs vidējs, bet lignīna saturs – viszemākais. Ar garākajām un šaurākajām šķiedrām ir 25. klons, celulozes un lignīna saturs vidējs. No ātraudzīgākajiem kloniem 44. klons ir ar vidējiem celulozes un lignīna satura rādītājiem, bet koksnes šķiedras ir vidēji garas un platas; 4. klons ir ar augstu

koksnes blīvumu un celulozes saturu, bet lignīna saturs ir vidējs, šķiedras īpašības atbilst vidējiem rādītājiem.

3.4. tabula / Table 3.4.

Apšu hibrīdu klonu koksnes īpašības 12 gadu vecumā
Wood traits of aspen hybrids at age 12 years

Klona Nr. Clone No.	Caurmērs, cm / Diameter, cm	Koksnes blīvums, kg m ⁻³ / Wood density, kg m ⁻³	Celuloze, % Cellulose, %	Lignīns, % Lignin, %	Ekstraktvielas % Extractives, %
130*	12.2±0.86 ^C	379±6 ^B	51.1±0.53 ^B	19.2±0.14 ^D	1.7±0.19 ^{BC}
3	12.7±0.93 ^{CD}	400±13 ^C	52.7±0.41 ^{AC}	20.4±0.10 ^A	2.0±0.13 ^{AC}
4	14.2±0.69 ^D	430±8.93 ^A	53.3±0.17 ^A	19.9±0.18 ^C	1.8±0.18 ^{BC}
23	12.0±0.60 ^C	411±9.96 ^{AC}	52.3±0.52 ^C	19.7±0.24 ^C	1.5±0.12 ^B
25	14.6±0.45 ^D	426±10.70 ^{AC}	51.0±0.40 ^B	19.4±0.72 ^{CD}	2.1±0.63 ^{ABC}
26	12.6±0.20 ^C	427±7.38 ^{AC}	53.3±0.36 ^A	19.3±0.18 ^D	1.8±0.15 ^C
28	11.6±0.55 ^B	435±8.47 ^A	52.5±0.34 ^C	17.1±0.16 ^B	2.2±0.08 ^A
44	17.0±0.53 ^A	407±21.56 ^{AC}	51.6±0.62 ^{BC}	20.0±0.17 ^C	2.0±0.12 ^A

*parastās apses klons / *common aspen clone*. Ar atšķirīgiem burtiem apzīmētas būtiskas ($p < 0.05$) vidējo vērtību atšķirības starp kloniem. / *Different capital letters indicates significant differences ($p < 0.05$).*

3.5. tabula / Table 3.5.

Apšu hibrīdu klonu šķiedru īpašības 12 gadu vecumā
Characterisation of hybrid aspen clones fibre parameters properties at age 12 years

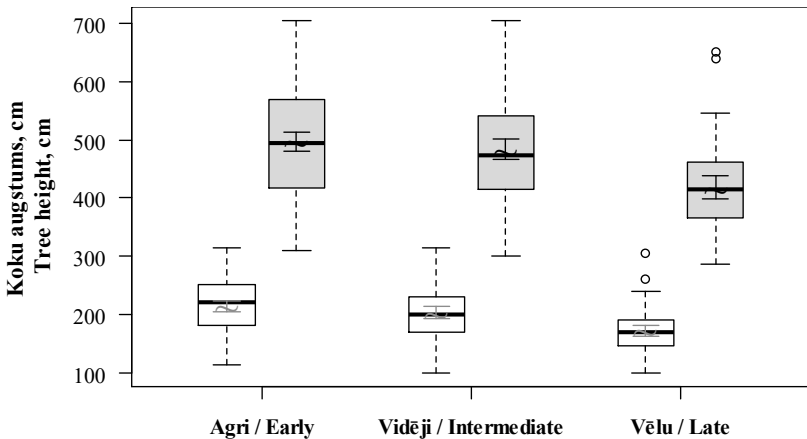
Klona Nr. Clone No.	Caurmērs, cm Diameter, cm	Šķiedru garums, mm Fibre length, mm	Šķiedru platums, μm Fibre width, μm
130*	12.2±0.86 ^C	0.77±0.01 ^{BC}	21.4±0.11 ^A
3	12.7±0.93 ^{CD}	0.75±0.01 ^B	21.1±0.09 ^C
4	14.2±0.69 ^D	0.81±0.02 ^{AC}	21.2±0.16 ^{AC}
23	12.0±0.60 ^C	0.81±0.01 ^C	20.9±0.13 ^C
25	14.6±0.45 ^D	0.84±0.01 ^A	20.6±0.10 ^B
26	12.6±0.20 ^C	0.79±0.01 ^C	21.0±0.16 ^C
28	11.6±0.55 ^B	0.74±0.01 ^B	21.5±0.17 ^A
44	17.0±0.53 ^A	0.77±0.01 ^C	21.3±0.12 ^A

*parastās apses klons / *common aspen clone*. Ar atšķirīgiem burtiem apzīmētas būtiskas ($p < 0.05$) vidējo vērtību atšķirības starp kloniem. / *Different capital letters indicates significant differences ($p < 0.05$).*

3.2. Abiotisko un biotisko faktoru ietekme apšu hibrīdu

3.2.1. Meteoroloģisko faktoru ietekme

Novērtējot apšu hibrīdu fenoloģiju un ikgadējā augstuma pieauguma veidošanos, eksperimenta sākumā un beigās starp izdalītajām klonu grupām (agri, vidēji, vēlu plaukstoši) konstatētas koku augstuma atšķirības (3.3. att.). Līdzīgu tendenci novēroja arī vidējam pieaugumam dienā (HI), kas atšķirās starp izdalītajām grupām (3.4. att.). Augstuma pieauguma intensitāte dienā atšķirās starp novērojumu gadiem, bet pieauguma kulminācija abos gados iestājās jūlijā (3.5. att.).

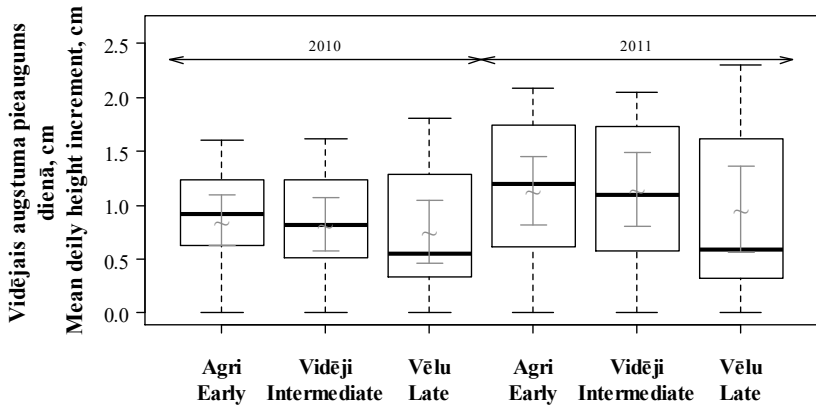


3.3. att. Apšu hibrīdu klonu vidējais koku augstums pa grupām (agri, vidēji un vēlu plaukstoši kloni) eksperimenta sākumā (2010. gada maijā, baltā krāsā) un eksperimenta beigās (2011. gada oktobrī, pelēkā krāsā)

Fig. 3.3. Mean height of clones of hybrid aspen with early, intermediate and late leaf flushing phenology in the beginning (May 2010, white boxes) and at the end (October 2011, grey boxes) of the increment monitoring period

Ar tumšu taisnu līniju norādīta mediāna, taisnstūris attiecīgi zemākā un augstākā kvartile, nogriežņi (ar pārtraukto līniju) norāda minimālās un maksimālās vērtības, ar aplīšiem parādīti dati, kas no datu kopas atšķirās vairāk par 3 standartnovirzēm. Ar tumšu horizontālu liektu līniju norādīta vidējā vērtība, nogriežņi (ar nepārtraukto līniju) norāda 95 % ticamības intervālu. / Median is shown by the bold line, box corresponds to lower and upper quartiles, whiskers show minimum and maximum values (within 150 % of interquartile range from the median) and circles represent outliers of the datasets. Confidence interval 95 % shown by black curved lines.

Agri un vidēji plaukstošiem kloniem HI ir būtiski lielāka no jūnija sākuma līdz beigām. HI kulminācijas brīdī jūlijā vēlu plaukstošo klonu HI ir būtiski lielāka nekā agri un vidēji plaukstošiem kloniem. Veģetācijas perioda beigās vēlu plaukstošiem kloniem HI ir mazāka nekā agri un vidēji plaukstošiem kloniem (3.5. att.). Tomēr kopējais augstuma pieaugums vēlu plaukstošajiem kloniem bija mazāks nekā agri un vidēji plaukstošajiem kloniem.



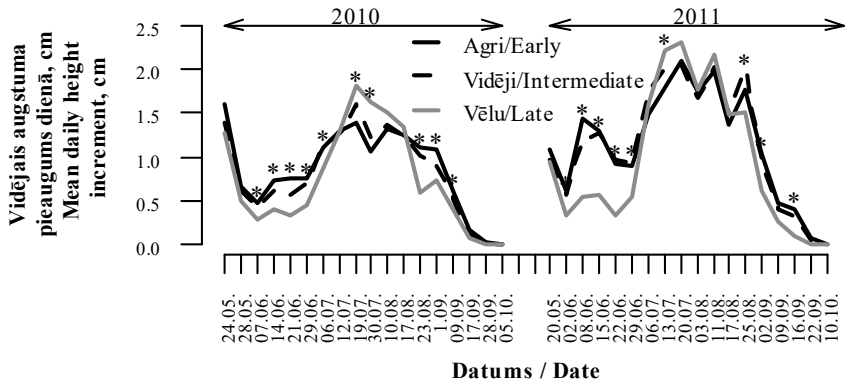
3.4. att. Apšu hibrīdu klonu vidējais pieaugums dienā 2010. un 2011. gadā pa grupām (agri, vidēji un vēlu plaukstoši kloni)

Fig. 3.4. Mean daily height increment for growing seasons of 2010 and 2011 for clones of hybrid aspen with early, intermediate and late leaf flushing

Ar tumšu taisnu līniju norādīta mediāna, taisnstūris - attiecīgi zemākā un augstākā kvartile, nogriežņi (ar pārtraukto līniju) norāda minimālās un maksimālās vērtības. Ar tumšu horizontālu liektu līniju norādīta vidējā vērtība, nogriežņi (ar nepārtraukto līniju) norāda 95 % ticamības intervālu. / Median is shown by the bold line, box corresponds to lower and upper quartiles, whiskers show minimum and maximum values (within 150 % of interquartile range from the median) and circles represent outliers of the datasets.

Kloni atšķirīgi reaģē uz meteoroloģiskajiem faktoriem, tāpēc svarīgi noskaidrot, kuri no faktoriem nozīmīgi ietekmē koku augšanu un dod kumulatīvu efektu uz augstuma pieauguma veidošanos. Modeļos iekļauto mainīgo skaits un veids, kas būtiski ietekmēja augstuma pieauguma attīstību, atšķiras starp klonu grupām, kas norāda, ka pastāv atšķirīga klonu reakcija uz meteoroloģiskajiem faktoriem. Tomēr modeļos iekļautos mainīgos nevar uzskatīt par universāliem, un ar tiem nevar aprakstīt HI izmaiņas ilgstošā laika periodā, jo mainīgie faktori būtiski atšķiras starp abiem novērojumu gadiem. Nevar izslēgt, ka atsevišķu meteoroloģisko faktoru būtiskums mainās, palielinoties koku vecumam (Carrer, Urbinati, 2006).

Diennakts vidējā temperatūra bija vienīgais faktors, kam bija būtiska ($p < 0.001$) ietekme visos modeļos, un tās koeficientu vērtības bija atšķirīgas starp novērojumu gadiem (lielākās 2011. gadā) un starp klonu grupām (lielākās vēlu plaukstošajiem kloniem). Evapotranspirācija bija vienīgais mainīgais, kas ietver sevī arī nokrišņus, kam bija būtiska ietekme uz HI, vidēji un vēlu plaukstošajiem kloniem. Agri plaukstošo klonu HI ietekmēja ne tikai diennakts vidējā temperatūra, bet arī temperatūru ($> 5^{\circ}\text{C}$) summa un augšanas dienu skaits.



3.5. att. Apšu hibrīdu klonu vidējais pieaugums dienā starp mērījumiem, kas veikti 2010. un 2011. gadā, agri, vidēji un vēlu plaukstošiem kloniem

Fig. 3.5. Mean daily height increment of clones of hybrid aspen with early, intermediate and late leaf flushing phenology, calculated for periods between measurements for growing seasons of 2010 and 2011

Ar zvaigznītēm atzīmētājās vietās pieaugums dienā būtiski atšķirīgs starp klonu grupām / Asterisks indicate significance (p -value < 0.05) of differences of height increment among groups of clones with differing phenology of leaf flushing.

Lēnāk augošus klonus (vēlu plaukstoši) meteoroloģiskie faktori ietekmēja vairāk (augstākās mainīgo faktoru koeficientu vērtības modeļos). Augiem pieejamais ūdens būtiski ietekmēja vēlu plaukstošos klonus, jo būtiska bija potenciālās evapotranspirācijas ietekme uz HI 2011. gadā. Krasas temperatūras un nokrišņu svārstības veģetācijas periodā var izsaukt augstuma pieauguma samazinājumu. Saules radiācijai bija pozitīva ietekme uz HI, tomēr saulainas dienas vasarā vidējā gaisa temperatūra ir augstāka nekā apmākušās dienās (LVGMC), līdz ar to potenciālā evapotranspirācija (PET) ir lielāka (Trajkovic, 2005), un saules radiācijas ietekme var būt pat negatīva. Koku augstuma atšķirības novērojumu sākumā (2010. gads) un beigās (2011. gads), kā arī HI atšķirības starp klonu grupām (pēc plaukšanas fenoloģijas) liecina, ka

no augšanas intensitātes ir atkarīgs koka pieaugums un līdz ar to arī produktivitāte.

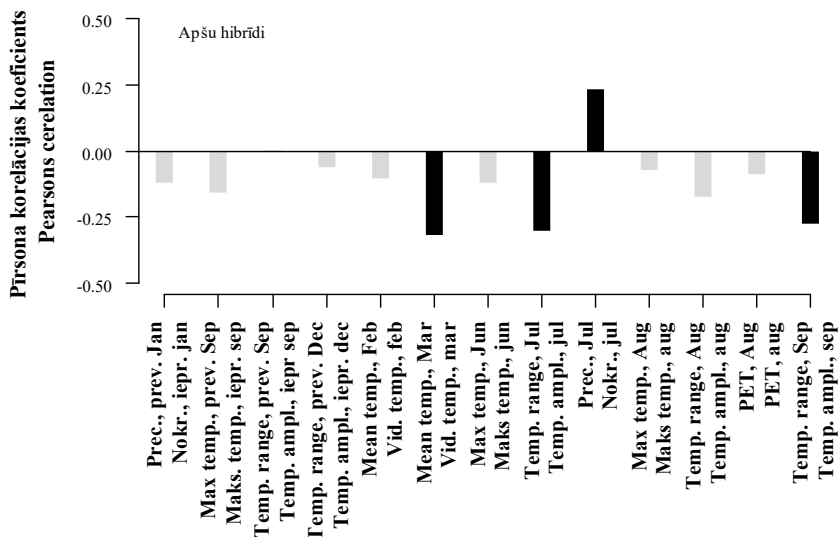
Meteoroloģiskie apstākļi (vidējā temperatūra) vismazāk ietekmēja HI agri plaukstošajiem kloniem, salīdzinot ar pārējām divām grupām, kas arī izskaidro lielāku HI agri plaukstošajiem kloniem. Temperatūras labvēlīgā ietekme uz HI liecina, ka tās pieaugums varētu palielināt klonu produktivitāti un līdz ar to klimata izmaiņām varētu būt pozitīva ietekme. Tomēr jāņem vērā, ka agri plaukstošie kloni ir pakļauti lielākam pavasara salnu riskam (Yu et al., 2001b, Gu et al., 2008). Vidēji plaukstošie kloni ir pietiekoši ātraudzīgi, bet tie ir jutīgāki pret meteoroloģisko faktoru izmaiņām. Negatīva PET ietekme uz HI veidošanos liecina, ka palielinātas temperatūras un nokrišņu izmaiņas, var atstāt negatīvu ietekmi uz augšanu (Avotniece et al., 2010).

Meteoroloģisko faktoru ilgtermiņa ietekmi uz koku augšanu analizēta 51 gadu vecā apšu hibrīdu ģimeņu izmēģinājuma stādījumā Eksperimentā Nr. 58. Analizējot gadskārtu platumus posmā no 1965. līdz 2013. gadam minimālais gadskārtu platums bija 0.14 mm, bet maksimālais – 15.74 mm (vidēji 4.01 mm). Analizējot divdesmit vienu šķērsdatēto gadskārtu sēriju, konstatēta cieša saistība starp koku mērījumiem ($r = 0.51$), uz ko norāda arī augstā sēriju sinhronitāte ($GLK = 0.70$). Dotajai datu kopai aprēķinātā populācijas signāla ($EPS = 0.95$) vērtība bija virs 0.85, kas norāda uz iegūto datu pielietojamību gadskārtu platumu nosakošo faktoru raksturošanai (determinēšanai) dotajā vietā (Wigley et al., 1984). Gadskārtu platuma mainībā bija vērojama augsta autokorelācija ($r = 0.69$), norādot, ka tekošais pieaugums ir būtiski atkarīgs no iepriekšējās augšanas.

Gadskārtu platuma sēriju atlikuma hronoloģijas būtiski korelēja ar četriem no 132 pārbaudītajiem meteoroloģiskajiem faktoriem (3.6. att.). Vidējā temperatūra martā, vidējā diennakts temperatūras amplitūda jūlijā un septembrī negatīvi ietekmē gadskārtu platumu, turpretim pozitīva ietekme bija nokrišņu daudzumam jūlijā. Lai arī vides signāls gadskārtu platumam bija stiprs, iespējams, meteoroloģisko faktoru vājo ietekmi noteica to savstarpējā mijiedarbība un / vai to ietekmes novirze laikā (Büntgen et al., 2006).

Koki spēj pakāpeniski pielāgoties dažādiem meteoroloģiskajiem apstākļiem, un tam ir nepieciešams noteikts laiks. Strauju temperatūras maiņu gadījumā koki var nespēt pielāgoties, kas izskaidro negatīvu temperatūras amplitūdas ietekmi jūlijā uz gadskārtu platumu. Septembrī parasti novēro pirmās rudens salnas, tāpēc korelācija starp gadskārtu platumu un temperatūras diapazonu septembrī varētu būt saistīta ar salnu bojājumiem, vai arī temperatūras svārstības liek kokiem reaģēt un pārtraukt augšanu. Marta temperatūru ietekmi uz apšu hibrīdu gadskārtu platumu var skaidrot gan ar barības vielu izlietojumu miera periodā (Foote, Scheadle, 1976 Ögren et al., 1997), kā rezultātā var pietrūkt barības vielu lapu plaukšanai, gan

paaugstinātu jutību pret sala bojājumiem miera stāvokļa beigās (Rixen et al., 2011).



3.6. att. Pīrsona korelācijas koeficienti (būtiskie parādīti melnā krāsā) starp meteoroloģiskajiem faktoriem un gadskārtu platuma atlikuma hronoloģiju apšu hibrīdiem

Fig. 3.6. Significant Pearson correlation coefficients (black bars) between climatic factors and residual chronologies of the hybrid aspen

Parādīti tikai nekolineārie faktori / Collinear factors have been omitted. PET – potenciālā evapotranspirācija / potential evapotranspiration.

Apšu hibrīdiem konstatēta pozitīva reakcija uz nokrišņiem vasarā, periodā, kas sakrīt ar paaugstinātu augšanas intensitāti (3.5. att.). Tas liecina, ka apšu hibrīdi spēj sekmīgi izmantot nokrišņus un augstu diennakts vidējo temperatūru.

3.2.2. Trupes sēņu izplatība

Slimības un kaitēkļi ir nozīmīgs riska faktors, ko ietekmē gan apstākļi konkrētā veģetācijas periodā, gan plantācijas atrašanās vieta un citi vides faktori, kas var veicināt vienas vai otras slimības uzliesmojumu. Analizējot celma augstumā ievāktās koku šķērsriezuma ripas, 51 gadu vecā apšu hibrīdu ģimeņu izmēģinājuma stādījumā (Eksperiments Nr. 58), 170 paraugkokos (no 171) identificēja serdes trupi un 157 – konstatēja apšu lielā koksngrauža (*Saperda carcharias* L.) ejas.

Konstatēts, ka trupes laukums būtiski ($p < 0.01$) atšķirās starp apšu hibrīdu ģimenēm (3.6. tabula). Kokiem ar lielāku caurmēru trupes laukums bija lielāks, bet trupes aizņemtā proporcija bija būtiski ($p < 0.01$) mazāka. Konstatēta arī būtiska ($p < 0.01$) ģimenes ietekme uz trupes proporciju. Koksngraužu ejas 56.9 % gadījumu bija inficētas ar trupi, un var uzskatīt, ka tie izplata trupes sēnes vai arī veicina to iekļūšanu stumbūrā. Koksngraužu eju skaits apšu hibrīdu ģimenēm un parastajai apsei bija līdzīgs. Koksngraužu eju skaits korelēja ar trupes laukumu skaitu ($r = 0.33$, $p < 0.01$), kā arī eju skaits korelēja ar kopējo trupes platību ($r = 0.31$, $p < 0.01$), turklāt eju skaits nebija atkarīgs no stumbra caurmēra ($r = 0.01$, $p = 0.88$).

3.6. tabula / Table 3.6.

Apšu hibrīdu ģimeņu un parastās apses raksturojums un bojājumi celma augstumā 51 gada vecumā
Mean values of stem parameters, area and proportion of rot, total number of rot patches and galleries and those galleries enclosed by rot per stump at age 51 year

Apšu hibrīdu ģimenes / Hybrid aspen families	D, cm / DBH, cm	Trupes laukums vid., cm ² / Mean area of rot, cm ²	Vidējā trupes proporcija, % / Mean proportion of rot, %	Trupējušo laukumu skaits, gab. / Number of rot patches	Eju* skaits, gab. / Number of galleries	Trupējušo eju skaits, gab. / Number of galleries enclosed by rot
A	29.8±2.2 ^{bc}	221.1±86.9 ^a	19.6±7.9 ^{ab}	2.4±0.8 ^{ab}	6.1±2.0 ^a	3.3±1.9 ^a
B	31.3±2.5 ^{bc}	156.7±73.6 ^a	11.4±5.6 ^b	4.1±1.4 ^b	6.8±1.9 ^a	4.2±2.0 ^a
H64	31.4±2.1 ^{bc}	269.5±75.8 ^a	21.8±7.0 ^{ab}	2.6±0.8 ^{ab}	5.8±1.7 ^a	3.2±1.2 ^a
J	29.2±2.0 ^{abc}	327.4±105.8 ^{ab}	32.2±11.7 ^a	1.8±0.8 ^a	5.9±2.4 ^a	5.0±2.4 ^a
M	31.9±1.6 ^{bc}	438.0±90.0 ^b	29.0±6.2 ^a	2.7±0.8 ^{ab}	8.0±1.7 ^a	4.6±1.3 ^a
Vidēji / mean	30.8±0.9 ^A	294.5±40.9 ^A	23.4±3.5 ^A	2.7±0.4 ^A	6.5±0.8 ^A	4.0±0.7 ^A
Apse / Aspen	26.0±1.6 ^{Ba}	258.7±69.9 ^{Aa}	27.2±5.9 ^{Aa}	2.0±0.4 ^{Aa}	5.8±2.0 ^{Aa}	4.6±2.0 ^{Aa}

*Koksngrauža *Saperda carcharias* eju skaits celma daļā / Number of *Saperda carcharias* galleries in stem. D – caurmērs / diameter. Ar atšķirīgiem lielajiem burtiem apzīmētas būtiskas ($\alpha < 0.05$) atšķirības vidējām vērtībām starp apšu hibrīdiem un parasto apsi. Ar atšķirīgiem mazajiem burtiem apzīmētas būtiskas ($\alpha < 0.05$) atšķirības starp apšu hibrīdu ģimenēm. / Different capital letters indicates significant differences in mean values between hybrid aspen and European aspen. Different small letters indicates significant differences between specific pairs of families at $\alpha = 0.05$

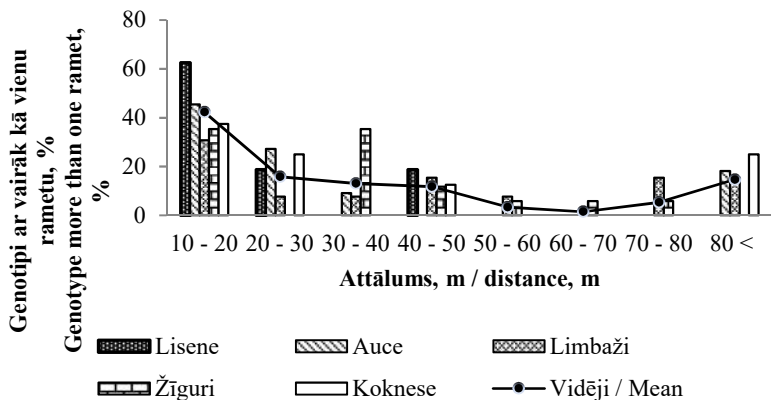
Trupes laukumu skaits bija būtiski atšķirīgs starp apšu hibrīdu ģimenēm ($p = 0.02$). Neatkarīgi no koka izcelsmes (ģimenes) ātrāk augošiem kokiem

(lielāks caurmērs) bija mazāks trupējušas koksnes laukumu skaits uz laukuma vienību ($r < -0.27$, $p = 0.01$). Kopumā trupe aizņēma 24.3 % no celma laukuma, bet koksngrauzu eju laukums bija nenozīmīgs (0.8 %).

Starp apšu hibrīdu ģimenēm konstatētas būtiskas atšķirības trupes izplatībā, no kā var secināt, ka ir krustojumu kombinācijas, kuru pēcnācējiem ir lielāka rezistence pret trupes sēnēm. Selekcijā kā papildus kritēriju iekļaujot rezistenci pret trupes sēnēm, ir iespējams atlasīt klonus, kuru augstā produktivitāte nodrošinās augstāku lietderīgās koksnes iznākumu.

3.2.3. Klonu skaits plantācijā ģenētiskās daudzveidības nodrošināšanai

Parastās apsēs audzes Latvijā bieži atjaunojas dabiskās atjaunošanas ceļā – ar sakņu atvasēm. Audzes, kas veidojušās pēc apšu audžu nociršanas, ja tās nav atjaunojušās ģeneratīvi, var uzskatīt par dabiskām klonu audzēm. Turpmākā paaudžu maiņā visbiežāk notiek klonu skaita pakāpeniska samazināšanās, savstarpēji konkurējot, un sāk dominēt atsevišķi, konkrētajiem apstākļiem piemērotākie kloni (Watkinson, Powel, 1993). Informācija par parastās apsēs ģenotipu aizņemto teritoriju, atjaunojoties ar sakņu atvasēm, dod iespēju rekomendēt nepieciešamo klonu skaitu apšu hibrīdu plantācijās.



3.7. att. Genotipu ar vairāk nekā vienu rametu sadalījums % pēc lielākā attāluma starp rametiem

Fig. 3.7. Distribution of clones according to maximum distance between their ramets

Attālums starp rametiem 42 % genotipu ir no 10 līdz 20 m, 16 % – no 20 līdz 30 m, bet pārējiem 42 % virs 30 metriem (3.7. att.). Piecpadsmit kloniem attālums starp rametiem pārsniedz 80 m. Mazākā vidējā distance starp viena klona rametiem konstatēta Lisenas reģionā (22 m), un lielākā vidējā distance – Kokneses reģionā (85.6 m). Lielākie attālumi starp viena klona rametiem – 169.4 m (Limbažu ĢRM) un 136.3 m (Auce) nozīmīgi pārsniedz citu valstu pētījumos fiksēto – maksimāli 60 m (Suvanto, Latva-Karjanmaa, 2005). Konstatēta arī būtiska pozitīva korelācija ($r = 0.77$, $p < 0.05$) starp rametu skaitu un attālumu starp tiem.

Vidējais attālums starp viena genotipa rametiem (48 ± 9.54 m) ir nedaudz lielāks nekā platība ap celmu, kurā visvairāk veidojas atvases no viena celma (Suvanto, Latva-Karjanmaa, 2005), tātad spēcīgs genotips potenciāli var aizņemt lielāku teritoriju (ja $d = 48$ m, tad 0.2 ha); maksimālās konstatētās distances gadījumā genotipa aizņemtā platība būtu 2.3 ha. Līdz ar to var secināt, ka parastā apse veido dabiskas viena genotipa klonu grupas. Balstoties uz parastās apses mežaudzēs konstatēto viena genotipa aizņemtās platības lielumu, viena hibrīdo apšu klona vienlaidus stādījumam nevajadzētu pārsniegt 2.5 ha.

3.3. Plantāciju ierīkošanas un apsaimniekošanas modeļi dažādiem audzēšanas mērķiem

Reālistiskajā scenārijā potenciāli lielāka investīciju atdeve ir zāgbaļķu plantācijām (IRR = 6.41 %), tad seko zāgbaļķu plantācija ar kopšanas cirti (IRR = 6.22 %). Optimistiskajā scenārijā potenciāli lielāka investīciju atdeve ir zāgbaļķu plantācijai ar kopšanu (IRR = 8.75 %), kurā 15 gadu vecumā ieņēmumi no krājas kopšanas cirtes nosedz aptuveni 75 % no ierīkošanas izmaksām. Jebkuri ieņēmumi iespējami agri audzēšanas ciklā palielina finanšu rādītājus. Papīrmalkas un enerģētiskās koksnes plantācijās reālistiskajā scenārijā IRR ir no viena līdz trijiem procentiem, bet optimistiskajā scenārijā papīrmalkas plantācijā IRR sasniedz 4.6 %. Plantāciju finanšu rādītājus apskatītajos apsaimniekošanas modeļos tieši ietekmē iegūstamo koksnes sortimentu cenas ciršanas brīdī. Piemēram, palielinoties šķeldas un papīrmalkas cenai, plantāciju apsaimniekošanas modeļu finanšu rādītāji var ievērojami mainīties. Lai gan esošā analīze balstīta uz cenām Latvijā, tomēr rezultātus nevar vērtēt kā lokālus, jo cenas reģionā ietekmē kopējās tendences visā Baltijas reģionā, Skandināvijā un Somijā. Turklāt nevar izslēgt arī kopējo integrāciju Eiropas koksnes tirgū (Hänninen et al., 2007).

LEV vērtības zāgbaļķu plantācijām pie diskonta likmes 1 % (3.7. tabula), vairākas reizes lielākas nekā šobrīd lauksaimniecības zemes cena Latvijā. Papīrmalkas un enerģētiskās koksnes plantācijām LEV lielākoties ir negatīvs,

izņemot pie diskonta likmes 1 % un pie diskontna likmes 3 % optimistiskajā scenārijā – LEV vērtības ir 1015 EUR papīrmalkas un -87 EUR enerģētiskās koksnes plantācijām, kas norāda, ka šāds zemes apsaimniekošanas veids ir mazāk efektīvs kā zāgbaļķu plantācijas. Zāgbaļķu plantācijām pie 5 % diskonta likmes reālistiskajā scenārijā LEV ir 765 EUR un zāgbaļķu plantācijai ar kopšanu – 660 EUR, kas ir tuvu meža zemes cenai Latvijā.

3.7. tabula / Table 3.7.

Zemes sagaidāmā vērtība (LEV, EUR ha⁻¹) pie dažādām diskonta likmēm
Land expected value (LEV, EUR ha⁻¹) for different discount rates

Plantācijas audzēšanas mērķis <i>Plantation growing target</i>	LEV 1%		LEV 3%		LEV 5%	
	Real.*	Opt.**	Real.	Opt.	Real.	Opt.
Zāgbaļķu plantācija <i>Saw logs plantation</i>	16667	24019	3298	5609	765	2034
Zāgbaļķu plantācija ar kopšanu <i>Saw logs plantation by thinning</i>	16792	28758	3200	6724	660	2468
Papīrmalkas plantācija <i>Pulpwood plantation</i>	3527	7147	-218	1015	-1364	-612
Enerģētiskās koksnes plantācija <i>Energy wood plantation</i>	383	4357	-1343	-87	-1768	-1089

*reālistiskais scenārijs / *realistic scenario*

**optimistiskais scenārijs / *optimistic scenario*

Apskatītajos modeļos audzēšanas mērķis aprēķinu periodā nemainās. Iespējams, ja pirmā cirtes aprītē audzēšanas mērķis ir zāgbaļķu plantācija, un nākamajā cirtes aprītē maina audzēšanas mērķi uz enerģētiskās vai papīrmalkas plantāciju to audzēšana ir ekonomiski pamatota arī pie aprēķinos izmantotajām cenām. Zviedrijā veiktajos pētījumos secināts, ka no apšu hibrīdu atvasāja iegūstamās biomasas apjoms ir nedaudz virs 9 t sausnas gadā, ar četrus gadus cirtes aprīti, bez mēslošanas (Rytter, 2006). Iegūtā biomasa ir līdzīga tai, ko var iegūt, audzējot kārklu plantācijas enerģētiskās koksnes ieguvei Zviedrijā (Ledin, 1996, Larsson, 2001). Tādējādi dažādas plantāciju apsaimniekošanas veidus var kombinēt atkarībā no tirgus situācijas, kā arī no plantācijas produktivitātes, vitalitātes un citiem faktoriem.

Kopumā iegūtie rezultāti apliecina, ka Latvijā bijušo lauksaimniecības zemju izmantošana apšu hibrīdu plantāciju audzēšanai ir viena no finansiāli pamatotām alternatīvām.

SECINĀJUMI

1. Apšu hibrīdu klonu vidējā krājas diference 15 gadu vecumā sasniedz $16.4 \pm 2.31 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, bet 18 gadu vecumā (6 gadus pēc kopšanas cirtes) – $22.6 \pm 4.74 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā, gandrīz divas reizes pārsniedzot parastās apses klonu produktivitāti.
2. Apšu hibrīdu klonu atlasei rekomendējamās pazīmes ir koku augstums un stumbra taisnums, kurām konstatēti augstākie iedzimstamības koeficienti ($H^2 > 0.40$).
3. Apšu hibrīdu klonu ikgadējo augstuma pieaugumu būtiski ietekmē augstuma pieauguma intensitāte un izmantotā veģetācijas perioda ilgums. Galvenais augstuma pieauguma intensitāti ietekmējošais faktors ir diennakts vidējā temperatūra, kas norāda uz potenciālu produktivitātes pieaugumu klimata pārmaiņu ietekmē Latvijā.
4. Apšu hibrīdu gadskārtu platumu augšanas intensitātes kulminācijas laikā – jūlijā – pozitīvi ietekmē nokrišņu daudzums un negatīvi – diennakts temperatūras amplitūda. Negatīva ietekme uz gadskārtu platumu konstatēta vidējai temperatūrai martā, diennakts temperatūras amplitūdai septembrī, kas norāda, ka klimata pārmaiņu scenārijos prognozētās veģetācijas perioda garuma palielināšanās pozitīvā ietekme uz apšu hibrīdu klonu augšanu jāvērtē kontekstā ar pavasara un rudens salnu ietekmi.
5. Apšu hibrīdu kloni, kas auguši bijušajās lauksaimniecības zemēs, koksnes īpašību ziņā ir līdzvērtīgi vai pārāki salīdzinājumā ar parasto apsi līdzīgos augšanas apstākļos.
6. Trupējušas koksnes laukums un proporcija (trupes skartais laukums pret kopējo virsmas laukumu) atšķiras starp apšu hibrīdu ģimenēm, kā arī kokiem ar lielāku caurmēru trupējušas koksnes laukums ir lielāks, bet trupes aizņemtā proporcija – mazāka. Inficēšanās gadījumā lietderīgais koksnes iznākums būs augstāks produktīviem kloniem, un ir iespējams atrast krustojumu kombinācijas ar augstāku rezistenci.
7. Parastās apses atvasajos vidējais attālums starp viena genotipa rametiem ir $48.0 \pm 9.54 \text{ m}$, maksimālais konstatētais – 169.4 m , kas apliecina apšu spēju ar sakņu atvasēm izplatīties relatīvi lielā attālumā.
8. Apšu hibrīdu zāģbaļķu plantācijas bijušajās lauksaimniecības zemēs ir izdevīgs investīciju veids; iekšējā atmaksāšanās likme tām ir no 6.2 % līdz 8.8 %.

REKOMENDĀCIJAS

1. Atbilstoši klonu produktivitātei, stumbra kvalitātei, zarojuma rādītājiem un koksnes īpašībām zāģbaļķu plantācijām rekomendējami kloni Nr. 4, 44, 16, 28 un 24, bet papīrmalkas un enerģētiskās koksnes plantācijām – kloni Nr. 25, 9 un 10.
2. Bijušajās lauksaimniecības zemēs pirmajā audzēšanas ciklā rekomendējams ierīkot apšu hibrīdu plantācijas, kuru audzēšanas mērķis ir zāģbaļķu ieguve.
3. Tā kā apšu hibrīdu klonu izmēģinājumos konstatēts, ka 15 gadu vecumā krājas pieaugums nav sasniedzis kulmināciju, nepieciešamas izmaiņas Lauksaimniecības un lauku attīstības likumā lietotā termina “kokaugu stādījumi” definējumā, maksimālo audzēšanas cikla garumu mainot no 15 gadiem uz 25 gadiem.
4. Ņemot vērā ierobežoto informāciju par apšu hibrīdu plantāciju audzēšanas riskiem, rekomendējams plantāciju izveidē izmantot pēc iespējas lielāku klonu skaitu. Balstoties uz parastās apsēs mežaudzēs konstatēto rametu aizņemtās platības lielumu, viena klona vienlaidus stādījumam nevajadzētu pārsniegt 2 līdz 2.5 ha.

1. GENERAL DESCRIPTION

1.1 Topicality of subject

Regardless long-term traditions in forest growing and management, the global market, increasing restrictions of use of forests with an aim to implement nature conservation requirements, opportunities to reduce the expected climate change, and demand of energy from renewable natural resources all create a necessity to intensify extraction of wood. Plantations world – wide cover increasing areas, and it is predicted that 44 % of wood by 2020 will be obtained from plantations. As risks of damaging forest stands are increasing, forestation and establishment of plantations or ligneous plant stands should be perceived as a significant measure for provision of continuousness and volume of a wood flow in Latvia. The Rural Development Programme for 2014 to 2020 foresees facilitating the establishment of forest stands (incl. plantation forests) in insufficiently productive areas or in the areas that are otherwise not suitable to agriculture.

In the doctoral thesis, results of selection work and growth potential of separate clones are reflected and economic return of different types of plantation growing is assessed. The first aspen hybrids have been created in the fifties of the last century, still in the Baltic and Scandinavian states, there is comparatively small experience in establishment and management of hybrid aspen plantations and ligneous plant stands. Current experiments of hybrid aspen clones in Latvia have reached the age when it is possible to assess their growth, and when the results are combined with experience of industrial plantation management, they provide recommendations for managing the plantations and ligneous plant stands.

1.2 Objective, tasks, and theses of doctoral paper

The objective of the Doctoral paper: to assess the hybrid aspen clones and cost-efficiency of plantations in Latvia.

According to the research objective, the following work tasks have been proposed:

1. To assess productivity, stem quality, and wood properties of different hybrid aspen clones.
2. To determine selection criteria of the hybrid aspen clones for a further selection cycle.

3. To characterise impact of abiotic and biotic factors on the hybrid aspen.
4. To evaluate economic return of plantations depending on their growth objective.

Hypotheses

1. Productivity and quality of the hybrid aspen clones are significantly higher than those of common aspen.
2. Impact of a clone (genetics) on stem volume, stem straightness, branch thickness, wood density, and resistance to climatic factors is crucial when ensuring the selection potential.
3. Plantations of the hybrid aspen clones are cost – effective regardless their growth objective.

1.3 Scientific novelty and practical importance of paper

In the doctoral thesis, for the very first time in the Baltic States, differences in progress of height increment formation among the hybrid aspen clones, as well as relation of the increment to climatic factors have been identified. Long-term impact of climatic factors on formation of annual ring width, which together with the analysis of height increment shows growth potential of the hybrid aspen clones and possible risks in relation to the expected climate change.

For the first time, in the Baltic States, natural genetic diversity in shoots of common aspen has been analysed, as well as the areas covered by certain genotypes have been mapped. Based on these observations, a recommendation on the acceptable area, covered by a single hybrid aspen clone, as well as on the optimum number of the clones in plantations have been elaborated.

The doctoral thesis summarises and comprehensively evaluates all information, which is available in Latvia, on the selection of hybrid aspen clones, their productivity, quality indices, and wood properties. For the first time, reasoned growth models of dominant height of clones, which can be used for a financial assessment of establishment and management of the plantations (investment planning), have been elaborated. Use opportunities of wood of the hybrid aspen clones and economic evaluation for various growing objectives of the plantations have been described.

1.4 Approbation of scientific work

Research results have been summarised in 11 publications and 5 scientific conferences.

1.5 Structure and volume of doctoral thesis

The structure of the doctoral thesis is subordinated to the research tasks. The paper consists of three chapters.

The first chapter analyses the former literature on the hybrid aspen, and the analysis is structured in sub-chapters that reflect distribution and differences of *Populus* genus, selection results, problematic issues of establishment and management of plantations and ligneous plant stands, use of shoots, and growth risks.

The second chapter describes the experiments of hybrid aspen that are included in the research and methods of the clone selection, wood property evaluation, and risk assessment.

The third chapter analyses the results according to the study objective and work tasks. The first sub-chapter describes differences in productivity, stem quality, and wood properties of the hybrid aspen clones. The second sub-chapter analyses abiotic (damage caused by rot fungi and *Saperda carcharias*) and biotic (meteorological factors) risks that are related to management of hybrid aspen plantations. The third sub-chapter analyses models of the plantation establishment and management for different growth objectives.

The doctoral thesis consists of 103 pages, information is summarised in 19 tables and 34 figures; 273 literature sources have been used.

2. RESEARCH MATERIAL AND METHODS

The results of the doctoral thesis have been obtained by analysing data from test plantations of a hybrid aspen selection or experiments. The origin of hybrid aspen (*Populus tremuloides* Michx. × *Populus tremula* L.) – Latvia; crossing has been performed in 60s and 70s of the previous century (forest researcher J Smilga), and the best progenies have been selected at the end of 80s of the same century and in 2005. The selected clones have been reproduced at Plant Physiology Laboratory of LSFRI Silava.

The experiments have been arranged on different ecological backgrounds according to a scheme of bocks or single-tree plots. The initial thickness 1100 or 2500 trees per a ha⁻¹, composition and number of clones differed, their measuring and evaluation have been carried out at various age (Table 2.1.).

To evaluate productivity and quality of the clones, the experiments included measuring height (m) and stem diameter (mm) of each tree, as well as enlisting of spike knots. Branch thickness, its angle to the stem, and the stem's straightness have been visually evaluated at 3 points compared to the trees of similar dimensions within the same experiment.

To describe and compare dominance of the selection (sets of trees selected by certain traits) in test plantations of the hybrid aspen clones, a selection margin, expressed both in per cents and standard deviations, among the experiments have been used; genetic parameters have been calculated (Falconer, Mackay, 1996).

To calculate stem volume, an equation by I Liepa for common aspen has been used (Liepa, 1996).

For eight hybrid aspen clones, which have been represented in at least two experiments and height-measured at different age, a height growth model has been elaborated by using data medians since 30 % of the measuring did not correspond to the normal distribution (Shapiro-Wilk test). Considering the current amount of data from non-linear models, the Gompertz's non-linear model was empirically better:

$$f(A) = \alpha \exp(\beta \exp(-kA)), \quad (1)$$

where:

α – asymptote parameter;

β – displacement parameter;

k – growth rate parameter;

A_A – tree age; was fitted for each clone individually.

To determine variable parameters of the model, identical initial values were used: $\alpha = 35$, $\beta = 15$, and $k = 0.40$. To clarify an asymptote parameter, data from a 51-year-old experiment of hybrid aspen families, with assumed tree height to be the maximum possible height in theory, were used. Compliance of the model's residual values with the normal distribution has been established by using the Shapiro-Wilk test. Heteroscedasticity was determined by using a Breusch-Pagan test, as well as it was evaluated graphically. Accuracy of the model has been established by using a standard error, mean square error, mean absolute error of the residual values (Sokal, Rohlf, 1995), and index of determination.

Samples to determine the wood properties have been collected in three experiments, No. 62, 65, and 791. In the experiment No. 62, 19 most productive clones at the age of 12 were selected and 2 to 4 sample trees were sawn off in each clone. In the experiment No. 65, 7 most productive hybrid aspen clones and one clone of common aspen at the age of 12 were selected and 8 sample trees were sawn off in each clone. In the experiment No. 791, 6 most productive clones at the age of 19 were selected and 2 sample trees were sawn off in each clone. A total of 121 sample trees was analysed. Wood have been analysed in cooperation with Cellulose Laboratory of the Institute of Wood Chemistry. Wood density has been determined according to DIN 52 185, DIN 52 182 (DIN, 1976), and TAPPI 258 om-94 (TAPPI, 1994) standards, when conditioning the samples according to DIN 50014-20/65-1 standard. Cellulose

content in wood has been established using the Kirschner method (TAPPI 203 om-99, TAPPI, 1994). Lignin content in wood and paper pulp has been established by Klason method (TAPPI, 1994). Content of extractives has been determined by extracting the wood Soxhlet; yield of extractives has been calculated by the residual mass of dry wood. Fibre dimensions (length, width) have been established with Lorentzen & Wettre “FiberTester” device. From the paper pulp, according to ISO 5269/2 standard by using a “Rapid-Köthen” machine, sample papers have been cast, and their mechanic properties – breaking length and burst index (ISO 1924-1, ISO 2758) – have been determined.

To evaluate the spatial structure of the clones’ number and placement, regions with a high share of common aspen stands have been selected with 20 pure stands chosen at the age of 6 – 8 covering at least 1 ha, incl. 16 pure stands in a spruce forest, 3 – in a rich deciduous forest, and 1 – in a broad-leaved peat-land. In each stand, on a regular net, a sample tree was selected after every 10 to 15 metres, and its coordinates were registered, as well as material for separation of DNA was collected. At Molecular Genetics Laboratory of LSFRI Silava, the DNA was separated from 779 trees and, using 6 micro-satellite markers, their distribution by genotypes were established.

Rot distribution has been assessed in the hybrid aspen progeny experiment No. 58. Sample trees of 43 common aspen and of 129 hybrid aspen from five families at different diameter levels were selected. The stem’s surface was drawn on a film, areas of stems and areas of rot of *Phellinus tremulae* Bond. were measured with a planimeter, and galleries of *Saperda carcharias* L. were counted.

Climatic factors were assessed in the experiment No. 620, when analysing growth of 15 hybrid aspen clones (12 to 23 ramets, a total of 278 trees) in 2010 and 2011 (at the age of 5 and 6), phenological observations were carried out from March to October, while height increment was measured from April to October. Overall, the measuring was performed 18 times, on average every 9 (4 to 22) days with accuracy of 1 cm. Meteorological data were obtained from Vecauce Hydro-Meteorological Station. Phenological stages – bud swelling and leaf flushing – were evaluated in both years with a one-day interval in 6 classes (UPOV, 1981). The differences in growth intensity of the clone groups in each period have been assessed using a dispersion analysis and Tukey’s HSD test (Sokal, Rohlf, 1995). Impact of climatic factors on growth intensity in each clone group has been evaluated using multiple linear regression (Mc Gullagh, Nelder, 1989). The most appropriate height increment model has been defined according to Akaike information criterion (AIC) (Sakamoto et al., 1986), R^2 (*multiple and adjusted*) value (Sokal, Rohlf, 1995), standard error of Fisher criterion and residual values that characterise and explain compliance of the model with data. Conformity of the residual values to

the normal distribution and heteroscedasticity were verified using Shapiro-Wilk and Breusch-Pagan tests, as well as by a graphical assessment. Various models, which describe the same variable, were compared using *ANOVA* function. Data were analysed with R v. 3.0.1 (R Core team 2013), by using the package “Gvlma”.

Long-term impact of climatic factors on radial growth has been evaluated in the experiment No. 58 of hybrid aspen families. In a stand, 22 trees (I – II Kraft’s classes) were chosen and approximately 5 cm thick wood discs thereof were collected at the stump height. Measurement rows of annual ring width were crossdated, their conformity and quality were inspected both graphically and statistically. A double detrending was performed to remove the age-related and competition-related part of the total variation in the annual ring widths. The age trend was removed using a negative logarithmic function, while competition impact was removed using a three-fold polynomial function (spline). Impact of the previous growth was removed using an autoregressive model. Data were processed with ARSTAN software (Cook, Holmes, 1986). To characterise the data sets, the following indices were calculated: mean inter-series correlations ($r - bar$), expressions of population signal (EPS) (Wigley et al., 1984), synchronicity (*Gleichläufigkeit*), first-stage autocorrelation and signal strength (*signal to noise ratio*) indices; the calculations were made for the detrended series. Relations between the variations of annual ring width and climatic data were characterised by Pearson correlation analysis, while significance of the ratios was verified using the bootstrap method (Johnson, 2001). Climatic data – minimum, maximum, and average monthly temperature, range of daily temperature, total precipitation, and potential evapotranspiration (PET) – were divided in an impact season from the last January to September of the year, when the annual ring was forming. Multicollinearity was assessed for significant factors, and only non-collinear factors that demonstrated more distinct relations were used for interpretation of the results. Meteorological data were obtained from the website of UEA *Climatic Research Unit*. The data were analysed in R software by using the package “dplR”.

To evaluate the plantation management models, four growth objectives of plantations were defined:

- 1) Saw log plantation. Growth objective – to obtain as large-dimension saw logs as possible at the felling age. Rotation period – 20 years. Initial density – 800 trees ha⁻¹. Trimming of growing trees are planned at the age of five and ten. After being cut down, they restore with shoots; tree thinning with collection of biomass is performed in the second year.
- 2) Saw log plantation with thinning. Growth objective – to obtain saw logs by foreseeing thinning at the age of 15. Rotation period – 20 years. Initial density – 1100 trees ha⁻¹. Trimming of growing trees

are planned at the age of five and ten. After being cut down, they restore with shoots; tree thinning with collection of biomass is performed in the second year.

- 3) Pulpwood plantation. Growth objective – to obtain a maximum amount of wood at the felling age. Rotation period – 15 years. Initial density – 1100 trees ha⁻¹. After being cut down, they restore with shoots and are left without thinning.
- 4) Energy wood plantation. Growth objective – to obtain a maximum amount of wood biomass in a short period. Rotation period – 10 years. Initial density – 2500 trees ha⁻¹. After being cut down, they restore with shoots and are left without thinning.

For each of the objectives, two production models have been elaborated and economic calculations have been made for two scenarios:

- A. Realistic – average data of the experiments have been used in calculations;
- B. Optimistic – data of the most productive clones have been used in calculations.

Division in assortments has been made according to an equation of Ozoliņš (2002) in a software developed by J Donis. For calculations, data from two experiments (No. 62 and 791) have been used. The amount of assortment has been referred to the total standing volume, and theoretical assortment distribution has been obtained. The assumed minimum diameter at the smaller end for saw logs is 24 cm, for packaging woodblocks – 12 to 24 cm, for pulpwood – 6 to 11 cm. The top part (diameter at the smaller end < 6 cm) has been included in biomass. Economic calculations for the saw log plantations have been made regarding 40 years (2 rotation cycles), for pulpwood plantations – 30 years (2 rotation cycles), while for the energy wood plantation – four rotation cycles. The economic assessment of the plantation growth models made has been performed by using an internal rate of return (IRR) (Guo et al., 2006). A land expectation value (LEV) was used as the second indicator, as it just like the IRR allows evaluating which plantation growth objective is more profitable. The LEV is calculated with a formula made by Faustmann in 1849, which has not experienced significant changes (Gong, 1998). The LEV is calculated by discounting the current net income of each year and thus defining the expected capital value of the rotation period. All soil preparation costs for financial calculations have been taken from gross coverage calculation in agriculture in 2014 by Latvian Rural Advisory and Training Centre. A ratio of 1.5 has been applied to land tilling costs, assuming that the area has not been cultivated for several years. Costs of the planting material have been obtained from AS Latvia's State Forests, while prices of round timber – from the website <http://www.lmd.lv/aktualas-apalkoku-cenas-tabula> (2014).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Clone differences in productivity, stem quality, and wood properties

3.1.1 Determination of clone selection criteria

Preference of criteria for choosing the hybrid aspen clones is the key pre-condition to launch the clone selection. Productivity of trees is the main criterion, as such productivity depends on directly measurable traits – height and diameter. The relevant trait should have a potentially high heritability ratio that would prove that the differences among the clones within a specific experiment are mainly genetically determined differences. Furthermore, the chosen trait, which characterises the productivity, should have low (or desirable, from a point of view of a selection) correlation to quality parameters of trees. The highest heritability ratios have been established for tree height and stem straightness, therefore the author recommends to select the hybrid aspen clones by these traits (Table 3.1).

In the selection of hybrid aspen, it is important to select the best clone at early age in a couple of experiments. Spearman's rank correlations of the clones at different age (the traits assessed within the experiment is 0.69 to 0.97 approving that the most productive clones can be selected at early age – at the age of five). Almost always, the highest selection values in the experiments were a characteristic of the same clones (No. 4, 44, 25, 16, 26, a.o.), which indicates that the clones can be selected by the results of some experiments and that Latvia can be perceived as a test zone of hybrid aspen. Various number and composition of the experiments, as well as evaluation at different ages make it more difficult to mutually compare the experiments. Therefore, the clones No. 10, 34, 16, 4, 44, 43, 30'95, and 25 (Fig. 3.1) are possibly the best when using the height selection differences expressed as standard deviations.

Within the experiment, comparison of a clone and the mean value of the experiment is related to an uncertainty since it is affected by the number and composition of the clones. There is an alternative to include in the experiments the clones with certain growth pace and compare against them. In future, for this purpose, clones No. 4 and 28, which have respectively been included in experiments No. 6 and 8, should be used.

3.2.1 Quality of stem and branching

The most important quality traits of the clones depend on the expected type of use of the wood (or on a growth objective of a plantation, which determines what kind of an assortment is planned to be obtained). Along with productivity of the clones, also the stem quality, wood density and its mechanic properties in the plantations of saw logs, the content of cellulose and lignin in wood in the plantations of pulpwood, and wood density in the plantations of energy wood are important.

Assessment of quality traits for the clones at different age also among the experiments does not significantly differ. After evaluating 18 hybrid aspen clones, it was established that 31 % of the trees has a straight stem, 58 % has a significant (> 5 cm) crook, while the rest of the trees have two or more crooks. 10 % of the trees has a narrow branch angle (less than 75°), while 23 % of trees has a spike knot. Statistically significant ($p < 0.05$) impact (and thus also selection opportunities) of genetic factors (of a clone) has been established for the quality traits such as stem straightness, branch thickness and angle, but not the share of spike knots.

Significant relations among the quality traits have not been established, therefore they are genetically controlled in different manners (Stener, Karlson, 2004). Weak correlations between the stem diameter and branch thickness ($r = -0.52$; $\alpha = 0.05$), between the stem diameter and branch angle ($r = 0.22$; $\alpha = 0.05$), and between the stem diameter and share of trees with straight stems ($r = 0.2$; $\alpha = 0.05$) have been established. There were no significant correlations between tree height and quality traits, therefore the selection can be made by productivity traits, without leaving serious negative impact on the quality, since close correlation between the productivity and quality traits was not established.

The most suitable clones for saw log plantations: No. 4, 24, 30'95, 44, 16, 23, and 21. The most suitable clones for energy wood plantations: No. 25, 9, 10.

3.1.3 Productivity

When evaluating the results of the test plantations of hybrid aspen clones (experiments No. 62, 63, 64, 65), for the clones, which are represented in at least two experiments, an average standing volume difference by the age of 18 was calculated and it is close to the recommended length of the rotation period. The average standing volume difference of the hybrid aspen clones in the experiments with initial thickness 2500 trees per ha^{-1} (2×2 m) at the age of 10 is $19.0 \pm 3.32 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, while at the age of 12 years – $18.6 \pm 3.43 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$

(Table 3.2). This demonstrates that, in the plantations with high initial thickness, the first systematic thinning (in diagonals) should be performed at the age of 10 already or even earlier in order not to lose productivity of the stand. Six years after the thinning (at the age of 18), the average standing volume difference reaches $22.6 \pm 4.74 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$. The average standing volume difference of five most productive clones reaches $28 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ at the age of 18.

The average standing volume difference in the experiments with initial thickness of 1100 trees per ha^{-1} ($3 \times 3 \text{ m}$) at the age of 15 is $16.4 \pm 2.31 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, which corresponds to $246 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$. The average standing volume difference of the clone No. 16 is $24 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ ($360 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$) at the age of 15, while the average standing volume difference of the clone No. 44 at the age of 12 is $23 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ ($276 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$). The average standing volume difference of the five most productive clones is $19 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ at the age of 15 (Table 3.2) that corresponds to $285 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$. It is foreseen that the average standing volume difference of hybrid aspen plantations in Finland, Scandinavian and Baltic states will exceed $20 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ per year with a rotation of 20 to 25 years (Stener, Karlsson, 2004, Rytter, Stener, 2005, Tullus et al., 2012).

High productivity at early age indicates suitability for hybrid aspen to grow in a plantation with a reduced rotation period and for various growth objectives with an aim to obtain energy wood, pulpwood, or saw logs. Taking a decision in favour of any of the growth objectives should be based on economic calculations. The plantations with initial planting density of 2500 trees per ha^{-1} with the average standing volume of $160 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, average diameter reaching 11.5 cm, and with a theoretical possibility to obtain packaging woodblocks correspond to acquisition of energy wood. The standing volume of five most productive clones reaches $230 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$. The plantations with initial planting density of 1000 trees per ha^{-1} where the average standing volume is $246 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ at the age of 15 and the standing volume of five most productive clones is $285 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ correspond to acquisition of pulpwood. The growth cycle of saw log plantations depend on whether the trees are planned to be cut down after reaching the projected diameter or at the moment of increment peak. To take a decision, knowledge on the growth process of hybrid aspen clones is important.

By using the data from the experiments, growth models for dominant height have been developed for six hybrid aspen clones up to the age of 40, while practically the plantations are planned to be cut down at the age of 20 to 25. Differences in growth progress of the clones are defined by pace of formation of the height increment, which is characterised by a model's displacement parameters with different placements (at different ages) on the clones.

The clone No. 44 is one of the fastest-growing clones, and its "log" stage starts at the age of five and ends at the age of 13; the "log" stage of the clone No. 4 starts at the age of six and ends at the age of 15 (Fig. 3.2). The

smallest increment pace has been observed for the clones No. 16 and 28, and their “log” stage respectively ends at the age of 18 and 20. Considering that wood of hybrid aspen is used for technical needs as well, the clones No. 44 and 4 are recommended for arrangement of saw log plantations. The clones No. 25, 26, and 28 form the greatest height increment in the first ten years, therefore they are recommended for biomass production in shorter rotation cycles, possibly also in more dense plantations (2000 – 2500 trees per ha⁻¹). The peak of height increment on average occurs at the age of 25, which points at theoretical growth length of the first rotation of saw log plantations.

H₂₀ of the clones, selected in Latvia, according to Gompertz model is 24 – 29 meters. The clones No. 44 and 4 correspond to quality class I, while other clones – to quality class II (Johansson, 2013). It is expected that the average productivity of the plantations, which have been established with the hybrid aspen clones that are selected in Latvia, could reach 20 m³ha⁻¹ per year that is planned for the Baltic States (Stener, Karlsson, 2004, Tullus et al., 2012).

3.1.4 Wood properties of hybrid aspen and common aspen

Latvian wood processors are not familiar with hybrid aspen wood, and the main criterion of its use is that wood properties should be equal to the wood properties of common aspen (Kīrsons, 2014). When comparing the wood properties of hybrid aspen at the age of 19 (which is close to the felling age of 20 – 25 years) and those of common aspen, which is obtained from the trees that grow in similar conditions, it has been concluded that the wood properties of hybrid aspen equal the wood properties of common aspen (Table 3.3). Evaluation of the wood properties of hybrid aspen clones at the age of 12 allows concluding that the average wood density is 420 kg m⁻³ (Table 3.4). The clones No. 4 and 28 have the highest wood density, while the clone No. 3 and common aspen clone No. 130 have significantly ($p < 0.05$) lower wood density. The average cellulose content is 51 %. The clone No. 4 has the highest cellulose content, while the clone No. 25 – the lowest. The clone No. 28 has the lowest lignin content, while the clones No. 3 and 44 – the highest. The clones No. 28, 25, 44, and 3 have the highest content of extractives, while the clone No. 23 – the lowest.

There is significant, weak positive correlation between the wood density and clone productivity ($r = 0.17$, $p < 0.05$). In separate studies, it has been established that there is weak negative correlation between the clone productivity and wood density (Yu et al., 2001b), therefore also the wood properties are assessed during the selection process. Weak negative correlation has been established between productivity and cellulose content in the wood ($r = -0.02$). Also between the cellulose content and lignin content, weak

negative correlation has been observed ($r = -0.73$), indicating that increasing cellulose content in the wood will result in reduction of the lignin amount. Lower lignin content in the wood should be considered as a positive feature, since less chemical reagents are to be used in paper industry.

The fibre length determines paper strength, while width determines the printing quality of the paper made. The fibres of hybrid aspen wood are included in the group of “short” wood fibres, with their length ranging from 0.34 to 0.70 mm (Yu et al., 2001). The clones, which have been selected in Latvia, correspond to the group of “long” fibres (Table 3.5). The average fibre width is 21.4 μm , between 20.3 and 22.4 μm , that corresponds to study results of other countries (Hart et al., 2013). Weak positive correlation ($r = 0.13$) was established between the weighted mean length and wood density, while negative correlation ($r = -0.3$) was established between fibre width and wood density.

After evaluating the clones by wood and fibre properties, it was showed that the clone No. 28 is suitable for pulpwood plantations, as it has short still wide wood fibres, medium cellulose content, and the lowest lignin content. The clone No. 25 has the longest and narrowest fibres and medium cellulose and lignin content. The clone No. 44 is one of the fastest-growing clones, and it has average indices of cellulose and lignin content, while wood fibres are medium-long and wide; the clone No. 4 has high wood density and cellulose content, medium lignin content, and wood properties correspond to average indices.

3.2 Impact of abiotic and biotic factors on hybrid aspen

3.1.2 Impact of metrological factors

When assessing phenology and annual formation of height increment of hybrid aspen, height differences among the clone groups (early, intermediate, late flushing), which were separated at the beginning and at the end of the experiment, have been established. Similar tendency has been observed also for the average height increment (HI) per day, which differed among the clone groups (Fig. 3.4). The intensity of height increment per day differed between the observation years; however, the increment peak in both years occurred in July (Fig. 3.5).

Early and intermediate flushing clones have significantly greater HI from early to late June. At the peak moment, HI of the clones, which are late-flushing in July, is significantly greater than the HI of the early and intermediate flushing clones. At the end of the vegetation period, HI of late flushing clones is smaller than the HI of early and intermediate flushing clones (Fig. 3.5).

However, the total height increment of the late flushing clones was smaller than the HI of the early and intermediate flushing clones.

The clones have different reaction to climatic factors; therefore, it is important to clarify, which factors significantly affect growing of trees and give cumulative effect to formation of the height increment. The number and types of the variables, which are included in the models, that significantly affected development of height increment vary among the clone groups, and this indicates different reaction of the clones to climatic factors. However, the variables, which have been included in the models, cannot be considered universal and long-term changes to the HI cannot be described as the variable factors greatly differ between both years of observations. The fact that significance of certain climatic factors change along with an increasing age of trees cannot be excluded (Carrer, Urbinati, 2006).

Average daily temperature was the only factor with significant ($p < 0.001$) impact in all models, and its ratio values differed between the years of observation (the highest – in 2011) and among the clone groups (the highest – for late flushing clones). Evapotranspiration was the only variable that included also precipitation, which significantly affected also HI of intermediate and late flushing clones. HI of the early flushing clones was affected not only by the average daily temperature, but also by the sum of temperatures ($> 5^{\circ}\text{C}$) and number of days of growing.

Slower-growing clones (late flushing) were most affected by climatic factors (the highest values of the variable ratios in the models). Available water significantly affected the late flushing clones, as impact of potential evapotranspiration on HI in 2011 was essential. Sharp fluctuations of temperature and precipitation during the vegetation period may initiate reduction of height increment. Solar radiation has had positive impact on HI; however, the average air temperature of a sunny summer day was higher than that of a cloudy day (Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre) and thus the potential evapotranspiration (PET) is higher (Trajkovic, 2005) and impact of sun radiation may even be negative. Differences of tree height at the beginning (2010) and end (2011) of the observations, as well as the HI differences among the clone groups (by flowering phenology) indicate that entire tree increment and thus also the productivity depend on growth intensity.

Climatic conditions (average temperature) has the least impact on HI of the early flushing clones compared to the rest two groups, which also explain a greater HI of the early flushing clones. Positive impact of temperature on HI demonstrates that its growth could increase the clone productivity and therefore, climate changes could have positive effect. Still it should be taken into account that the early flushing clones are subjected to higher risk of late frost (Yu et al., 2001b, Gu et al., 2008). The intermediate flushing clones are fast-growing enough, yet they are more sensitive to changes of climatic factors. Negative

potential evapotranspiration (PET) impact on the formation of HI indicate that changes of increased temperature and precipitation may negatively affect the growth process.

Long-term impact of the climatic factors on the growth of trees is analysed in a test plantation of 51-year-old hybrid aspen families in the experiment No. 58. When analysing data of annual ring width from 1965 to 2013, the minimum annual ring width of progenies of the hybrid aspen was 0.14 mm, while the maximum – 15.74 mm (an average of 4.01 mm). Analysis of a series of 21 crossdated annual rings shows close relation among the tree measuring ($r = 0.51$), which is also proved by high synchronicity of the series (GLK = 0.70). The value of the estimated population signal (EPS = 0.95) of the given data set exceeded 0.85 that points out applicability of data to characterise (determine) the factors that define width at the given spot (Wigley et al., 1984). There was a high autocorrelation ($r = 0.69$) in variability of the annual ring width indicating that the current increment greatly depends on previous growth.

Residual chronologies of the annual ring width series significantly correlated to four out of 132 climatic factors that were examined (Fig. 3.6). Average temperature in March and the range of average daily temperature in July and September negatively affected the annual ring width, while the amount of precipitation in July has positive impact. Although the environmental signal for the annual ring width was strong, it is possible that the weak impact of the climatic factors was determined by their mutual interaction and/or their impact's time deviation (Büntgen et al., 2006).

Trees can gradually adapt to different climatic conditions, and the adaptation needs certain time. In case of sharp changes of temperature, the trees can fail to adapt, which is explained by impact of a negative temperature range in July on the annual ring width. Usually September comes with the first autumn frost, therefore the correlation between the annual ring width and temperature range in September might be linked to frost damage, or temperature fluctuations can make trees to react and stop growing. Impact of March temperatures on the annual ring width of hybrid aspen can be explained by both use of nutrients during the resting period (Foote, Sheadle, 1976 Ögren et al., 1997), which can result in lack of nutrients for leaf flushing, and higher sensitivity to frost damage at the end of the resting period (Rixen et al., 2011).

It was established that the hybrid aspen positively reacted to precipitation in summer – during the period that matches an increased growth intensity (Fig. 3.5). This indicates that hybrid aspen can successfully utilise precipitation and high average daily temperature.

3.2.2 Distribution of rot fungus

Diseases and pests are a significant risk factor that is affected by both conditions in a certain vegetation period and location of a plantation, as well as other environmental factors that can promote outbreak of one or other disease. After analysing the cross-sectional tree disks, which were collected at the stump height, of a test plantation of 51-year-old hybrid aspen families (experiment No. 58), rot at the core was identified in 170 sample trees (out of 171) and galleries of *Saperda carcharias* L. were established in 157 sample trees.

It was concluded that the rot area significantly ($p < 0.01$) differed among the hybrid aspen families (Table 3.6). The trees with larger diameter had a larger rot area, while the mean proportion of rot was significantly ($p < 0.01$) smaller. Also, significant ($p < 0.01$) family impact on the proportion of rot was established. In 56.9 % of cases, the galleries of *Saperda carcharias* L. were rot-infected, and it can be considered that they distribute the rot fungi or help them to enter the stem. Families of hybrid aspen and common aspen have a similar number of galleries of *Saperda carcharias* L, which correlated to the number of rot patches ($r = 0.33$, $p < 0.01$), as well as to the total rot area ($r = 0.31$, $p < 0.01$). Furthermore, the number of galleries did not depend on the stem's diameter ($r = 0.01$, $p = 0.88$).

The number of rot patches a significantly differed among the hybrid aspen families ($p = 0.02$). Regardless the origin (family) of a tree, the fast-growing trees (larger diameter) had a smaller number of rot patches per rot area ($r < -0.27$, $p = 0.01$). Overall, the rot covered 24.3 % of the stem area, while the area of galleries of *Saperda carcharias* L. was insignificant (0.8 %).

Distribution of rot in hybrid aspen families differed, and thus it can be established that there are crossing combinations with progenies having higher resistance to rot fungi. When the resistance to rot fungi was included in the selection as an additional criterion, it was possible to select the clones whose high productivity ensure better yield of efficient wood.

3.2.3 Number of clones for provision of genetic diversity in plantation

Stands of common aspen in Latvia usually renew naturally, with coppice shoots. The stands that have formed after felling of aspen stands, when their restoration had not been generative, can be considered to be natural clone stands. In further change of generations, the number of clones often gradually reduces by mutual competition, and separate clones, which suit the relevant conditions, begin their dominance (Watkinson, Powel, 1993). Information on

the territory covered by common aspen genotypes by renewing with coppice shoots gives an opportunity to recommend the necessary number of clones in hybrid aspen plantations.

Distance among ramets in 42 % of genotypes is 10 to 20 m, in 16 % – 20 to 30 m, while in the rest 42 % it exceeds 30 meters (Fig. 3.7). For fifteen clones, the distance among the ramets exceeds 80 m. The shortest distance among the ramets of the same clone was established in Lisene Region (22 m), while the largest average distance – in Koknese Region (85.6 m). The greatest distance among the ramets of the same clone – 169.4 m (genetic resource forests of Limbaži) and 136.3 m (Auce) – significantly exceeds the maximum distance, which was registered in studies of other countries, namely, 60 m (Suvanto, Latva-Karjanmaa, 2005). Also, significant positive correlation ($r = 0.77$, $p < 0.05$) was observed between the number of ramets and distance among them.

The average distance among the ramets of the same genotype (48 ± 9.54 m) is slightly larger than the area around a single stump, which is the place where the most shoots are generating (Suvanto, Latva-Karjanmaa, 2005), thus a strong genotype potentially can cover a larger territory (0.2 ha when $d = 48$ m); in case of the maximum distance, the genotype would cover 2.3 ha. Therefore, it can be concluded that common aspen creates natural groups of single genotype clones. Based on the size of the areas covered by single genotype in forest stands of common aspen, the size of a continuous plantation of single hybrid aspen clone should not exceed 2.5 ha.

3.3 Models of plantation establishment and management for different growth objectives

The realistic scenario shows that a saw log plantation is the most profitable (IRR = 6.41 %) followed by a saw log plantation with thinning (IRR = 6.22 %). According to the optimistic scenario, the saw log plantation with thinning is more profitable (IRR = 8.75 %) when, at the age of 15, the income from thinning of the standing volume covers about 75 % of establishment costs. Any income gained as early as possible during the growing cycle increases profitability. IRR of pulpwood and energy wood plantations in the realistic scenario is from 1.2 to 3.2 %, while in the optimistic scenario, the IRR of the pulpwood plantation is 4.6 %. Cost-effectiveness of plantations in the examined management models are directly affected by prices of obtainable wood assortment at the moment of felling. For instance, as the price of chips and pulpwood increases, the cost-effectiveness of plantation management models may change. Although the current analysis is based on the prices in Latvia, the results cannot be assessed as local, since prices in the region are

affected by common tendencies through the Baltic region, Scandinavia, and Finland. Furthermore, also the overall integration in the European wood market cannot be excluded (Hänninen et al., 2007).

The highest LEVs of saw log plantations have been calculated at a discount rate of 1 % (Table 3.7), and they exceed the current price of agricultural land in Latvia multiple times. LEV of pulpwood and energy wood plantations is negative in both scenarios, except for the optimistic scenario when the discount rate is 1 % and the LEV of pulpwood plantations is 3527 EUR and the LEV of the energy wood plantations – 383 EUR, while in the realistic scenario, when the discount rate is 5 %, the LEV of saw log plantations is 765 EUR and of the saw log plantation with thinning – 660 EUR that approaches to the price of forest land in Latvia.

The growth objectives in the scenarios examined during the calculation period are not changing. It is possible that upon selling the first rotation as a saw log plantation and the next rotations as the energy wood or pulpwood plantations, the growing is economically reasoned also in the case of the prices of chips and pulpwood that are used in the calculations. In studies, carried out in Sweden, it was concluded that the volume of biomass obtained from the hybrid aspen shoots slightly exceeds 9 t of dry substance per year, with a four-year rotation without fertilisation (Rytter, 2006). The biomass obtained is similar to the biomass that can be acquired when growing willow plantations to obtain the energy wood in Sweden (Ledin, 1996, Larsson, 2001). Thus, different plantation management types can be combined depending on a market situation, as well as on the plantations' productivity, vitality, and other factors.

Overall, the results obtained approve that the use of former agricultural land in Latvia for growing hybrid aspen plantations is one of the economically reasoned alternatives.

CONCLUSIONS

1. The average difference of standing volume of hybrid aspen clones at the age of 15 reaches $16.4 \pm 2.31 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, while at the age of 18 (6 years after the thinning) – $22.6 \pm 4.74 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ in a year, exceeding productivity of the common aspen clones almost twice.
2. Tree height and stem straightness, for which the highest heritability ratios ($H^2 > 0.40$) have been established, are the traits for selection of the hybrid aspen clones.
3. Annual height increment of the hybrid aspen clones is significantly affected by height increment intensity and length of the used vegetation period. The main factors, which affect height increment intensity, is the average daily temperature that points at potential increase in productivity under the impact of climate change.
4. At the peak of growth intensity, in July, annual ring width of hybrid aspen is positively affected by volume of precipitation and negatively – by the range of daily temperature. It was established that the average temperature in March and range of daily temperature in September negatively affect the annual ring width, and this indicates that positive impact of a longer period of the expected vegetation in the climate change scenarios on the growth of hybrid aspen should be considered in the context of impact of late frost and autumn frost.
5. The hybrid aspen clones, which have grown in former agricultural land, regarding the wood properties are equal or outwork the common aspen grown under similar conditions.
6. Area and proportion of rot (the rotted area against the total surface area) differ among the hybrid aspen families, as well as trees with larger diameter had a larger rot area, while the rot proportion was smaller. In case of infecting, more productive clones will have higher yield of efficient wood, and it is possible to find crossing combinations with higher resistance.
7. The average distance in common aspen shoots among the ramets of single genotype is $48.0 \pm 9.54 \text{ m}$, the maximum – 169.4 m that approves ability of aspen to distribute with coppice shoots in a relatively long distance.
8. The saw log plantations of hybrid aspen in former agricultural land potentially is the most profitable type of land use, with their internal return rate of 6.2 to 8.8 %.

RECOMMENDATIONS

1. According to clone productivity, stem quality, branching indicators, and wood properties, clones No. 4, 44, 16, 28, and 24 are recommended for saw log plantations, while clones No. 25, 9, and 10 – for pulpwood and energy wood plantations.
2. During the first growth cycle in the former agricultural land, it is recommended to arrange hybrid aspen plantations with an aim to obtain saw logs.
3. As tests of the hybrid aspen clones allowed establishing that, at the age of 15, the standing volume has not reached the peak, amendments need to be made to the definition of “ligneous plant stands”, the term used in the law On Agriculture and Rural Development, by changing the maximum growth cycle from 15 to 25 years.
4. Considering the limited information on growth risks of hybrid aspen plantations, it is recommended to use, in plantation creation, as large number of clones as possible. Based on the size of the area covered by ramets in forest stands of common aspen, the size of a continuous plantation of single clone should not exceed 2 to 2.5 ha.