

Silva Šēnhofa
Dagnija Lazdiņa
Āris Jansons

PAPEĻU (*POPULUS* SPP.) STĀDĪJUMU IERĪKOŠANA UN APSAIMNIEKOŠANA



LATVIJAS VALSTS
MEŽZINĀTNES INSTITŪTS "SILAVA"
2019

LATVIJAS VALSTS MEŽZINĀTNES INSTITŪTS «SILAVA»

Silva Šēnhofa, Dagnija Lazdiņa un Āris Jansons

**PAPEĻU (*POPULUS* SPP.)
STĀDĪJUMU IERĪKOŠANA UN
APSAIMNIEKOŠANA**

2019

UDK 630

Še 526



© Latvijas Valsts mežzinātnes institūts «Silava», Salaspils, 2019

Monogrāfija sagatavota pētījuma «Metodes selekcijas rezultātu efektīvai praktiskai izmantošanai un adaptācijas pārbaudēm lapu kokiem», ko īsteno Latvijas Valsts mežzinātnes institūts «Silava» ar Eiropas Reģionālās attīstības fonda atbalstu projekta «Meža nozares kompetences centrs» ietvaros saskaņā ar 13.10.2016. noslēgto līgumu Nr. 1.2.1.1/16/A/009 starp SIA «Meža nozares kompetences centrs» un Centrālo finanšu un līgumu aģentūru.

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
Eiropas Reģionālās
attīstības fonds

I EGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



Monogrāfija izdota ar
AS «Latvijas valsts meži» līdzdalību.

Redaktore:

Dr. Una Neimane, Latvijas Valsts mežzinātnes institūts «Silava»

Recenzenti:

Dr. Inese Fiļipova, LV Koksnes ķīmijas institūts

Dr. Linards Sisenis, LLU Meža fakultāte

Vāka noformējumam izmantoti foto no LVMI Silava arhīva.

Atsauce uz monogrāfiju:

Šēnhofa, S., Lazdiņa, D., un Jansons, Ā., 2019. *Papeļu (Populus spp.) stādījumu ierīkošana un apsaimniekošana*. Salaspils: LVMI Silava, DU AA Saule.

pISBN 978-9984-14-882-3

eISBN 978-9984-14-883-0

DAUGAVPILS UNIVERSITĀTES

AKADĒMISKAIS APGĀDS «SAULE»

Izdevējdarbības reģistr. apliecība Nr. 2-0197

Vienības iela 13, Daugavpils, LV-5401, Latvija

ANOTĀCIJA

Atjaunojamo koksnes resursu izmantošana būvniecībā, mēbeļu ražošanā un citām vajadzībām, t.sk. siltuma un elektroenerģijas ieguvei, ir nozīmīgs un aizvien plašāk izmantots klimata izmaiņu un gaisa piesārņojuma mazināšanas instruments. Eiropā straujai šo resursu apjoma kāpināšanai izmantojami papeļu stādījumi, kuru aprites periods kokmateriālu ieguvei ir 15–20 gadi, šķeldas ieguvei – 5 gadi. Šādu stādījumu ierīkošana turklāt ir efektīvs veids, kā izlīdzināt mežaudžu vecumstruktūras noteikto pieejamā koksnes apjoma nevienmērību. Aprites periodu, kas īsāks par 20 gadiem, Latvijas klimatiskajos apstākļos kokiem iespējams sasniegt tikai *Populus* ģints (papeļu un apšu) hibrīdu klonu stādījumos. Šāda aprites perioda stādījumu ierīkošana kļūst nozīmīgāka, palielinoties dažādu dabisko traucējumu, piemēram, vēja izraisītu bojājumu, biežumam, kā arī pieaugot zemes īpašnieku vēlmei jau savas dzīves laikā gūt ienākumus no ieguldījumiem koku stādījumos. Pirmie papeļu stādījumi Latvijā ierīkoti 20. gs. sākumā, bet kopš gadsimta vidus interese par tiem gandrīz pilnībā bija zudusi, un pētījumi atsākušies tikai 21. gs. sākumā.

Monogrāfijā apkopoti 21. gs. otrajā desmitgadē Latvijā iegūtie rezultāti, un sniegti praksē pārbaudīti ieteikumi, kas noderīgi papeļu stādījumu ierīkošanā. Dots izmantotās terminoloģijas skaidrojums. Izklāstītas pētījumu atziņas par papeļu stādījumu ierīkošanu un apsaimniekošanu, stādmateriāla kvalitāti, sasniedzamo ātraudzību un to ietekmējošiem faktoriem. Apkopoti dati par koku augstuma pieaugumu pirmajās sezonās atkarībā no spraužu garuma, un secināts, ka platībās ar lielāku aizzēluma risku rekomendējams izmantot garākus spraužus. Savukārt, analizējot augšanas gaitu, konstatēts, ka maksimālo pieaugumu papeļu hibrīdi sasniedz 10–15 gadu vecumā un tas strauji samazinās pēc 20 gadu vecuma, kas nosaka rekomendējamo cirtmetu papeļu stādījumos.

Monogrāfijā ietverta Ziemeļeiropas reģionā līdz šim neanalizēta informācija par klimatisko faktoru ietekmi uz papeļu hibrīdu caurmēra pieaugumu, izmantojot ilglaicīgus novērojumus līdz 65 gadu vecumam. Konstatēts, ka ietekmējošo klimatisko faktoru komplekss papeļēm atšķiras no vietējām koku sugām (priede, egle, bērzs). Papeles ir jutīgas pret mitruma

trūkumu (zemu nokrišņu daudzumu), īpaši kombinācijā ar paaugstinātu gaisa temperatūru vasaras beigās, kas negatīvi ietekmē pieaugumu (gadskārtas platumu) gan konkrētajā, gan arī nākamajā gadā. Šaurāku gadskārtu veidošanos izraisa arī temperatūras svārstības vasaras beigās un rudens sākumā (augustā, septembrī), kas saistāmas ar paaugstinātu sala bojājumu varbūtību garākas augšanas sezonas dēļ. Augšanas intensitāte papелēm septembrī ir tikai nedaudz zemāka nekā periodā no jūnija līdz augustam (10–15 mm diennaktī). Strauja temperatūras pazemināšanās uzreiz pēc šī perioda, it īpaši salnu apdraudētās vietās (reljefa pazeminājumos) izraisīja atsevišķu ātraudzīgu papелu klonu dzinumu bojājumus. Pētījuma ietvaros ir izstrādāts un monogrāfijā iekļauts papелu klonu virszemes biomasas aprēķināšanas vienādojums Latvijas apstākļiem. Atšķirībā no apšu hibrīda, papелēm relatīvi nelielu daļu (vidēji 10%) no kopējās virszemes biomasas veido zari, tādā līdзīgos apstākļos iegūstams lielāks augstākas vērtības sortimentu, piemēram, zāģbaļķu, iznākums.

Kopumā iegūtie rezultāti apliecina papелu hibrīdu klonu plašās audzēšanas un izmantošanas iespējas Latvijā stādījumos gan lauksaimniecības, gan meža zemēs, izmantojot reģiona klimatiskajiem apstākļiem piemērotus, pārbaudītus klonus.

SUMMARY

Application of renewable materials such as wood in construction, production of furniture, and for other purposes including energetics is a crucial tool for mitigation of climatic changes and reduction of air pollution. In this respect, plantations of poplar with rotation period of 15–20 years for timber and 5 years for woodchip production, are boosting the volume of renewable resources in Europe. Such plantations can also have significant effect in balancing of flow of conventional (forestry) wood resources, which are affected by socioeconomic and environmental factors. Under Latvian climate, rotation period shorter than 20 years can be achieved only by *Populus* (poplar and aspen) hybrids. The establishment of such short rotation plantations becomes more popular also as the frequency of various natural disturbances, such as wind, increases. The increasing application of poplars can also be related to the desire of landowners to get profit from investments in tree plantation during their life.

The first poplar plantations in Latvia were established at the beginning of the 20th century. However, since the middle of the 20th century interest in them has almost disappeared. Research in this area was resumed only in the 21st century. This monograph summarizes the results obtained in the second decade of 21st century in Latvia and provides practical recommendations for establishment of poplar plantations. Specifics of establishment and management of poplar plantations, quality and potential productivity of the reproductive material, as well as the main environmental interactions are presented.

New data on the height increment of cuttings of different length during the first growing seasons are presented, concluding that longer cuttings are favourable for areas with higher risk of overgrowth by competing vegetation. Analysis of radial increment showed that the maximum width of annual rings was reached at the age 10–15 years, rapidly decreasing after the age of 20 years, thus suggesting final harvest age of the plantations.

The monograph presents information on the long-term (65 years old trees) effect of climatic factors on radial increment of poplar hybrids. The set of climatic factors affecting increment of poplars differs from that affecting

growth of native tree species (Norway spruce, silver birch). Poplars are susceptible to moisture deficit at the end summer, especially in combination with high temperature, which affect increment (ring width) in both the current and the following year. Narrower annual rings are caused also by the fluctuations of air temperature in late summer (August–September), likely indicating frost damage. The growth rate for poplars in September is only slightly lower than in the June–August period (10–15 mm per day). Rapid drop in temperature immediately after mid-September, especially in frost prone areas (like relief depression), leads to frost damages of shoots of the fast-growing poplar clones. Cumulative effect of the growing conditions determines the biomass of trees. Biomass allocation differs regionally, therefore local above-ground biomass equation are important. Such equations for poplars in Latvia are presented in this monograph. Compared to aspen, poplar allocates relatively small proportion of biomass to branches (ca. 10%), thus aiding for higher volume of more valuable sentiments (e.g., saw logs) and higher yields. Overall, the results confirm increasing potential for a wide application of poplar hybrids for establishment of plantations, both on lands unsuitable for agriculture, as well as on forest lands.

SATURS

Ievads	9
1. Papeļu audzēšana Eiropā un citur pasaulē	13
1.1. Ekoloģiskā nozīme	14
1.2. Koksnes īpašības, produkti un tirgus	18
2. Mežsaimniecisko darbību ietekme uz papeļu augšanu	27
2.1. Stādīšanas vietas izvēle	27
2.2. Kloni	29
2.3. Augsnes sagatavošana	30
2.4. Stādmateriāla veida izvēle un tā uzglabāšana	32
2.5. Stādīšanas laiks un biežums	34
2.6. Agrotehniskā kopšana	37
2.7. Apūdeņošana	39
2.8. Mēslošana	40
2.9. Atzarošana	43
2.10. Atjaunošana pēc galvenās cirtes	45
2.11. Daudzfunkcionāla apsaimniekošana	46
3. Papeļu produktivitāte	48
3.1. Augstums un caurmērs	48
3.2. Krāja un biomasa	51
4. Rezistence	54
4.1. Slimības	54
4.2. Dendrofāgie kukaiņi	56
4.3. Citi biotiskie faktori	58
4.4. Abiotiskie faktori	59
Praktiskās rekomendācijas papeļu stādījumu ierīkošanai Latvijā	63
Pateicības	67
Literatūra	70

IEVADS

Pasaulē papeles tiek plaši audzētas – saskaņā ar Apvienoto Nāciju Pārtikas un lauksaimniecības organizācijas (FAO) datiem papeļu aizņemtā platība pārsniedz 83 milj. ha, no kuriem 91% ir mežos, 6% plantācijās un 3% agromežsaimniecības sistēmās. Papeļu ātraudzības dēļ tām bijusi un ir nozīmīga loma lauku reģionu ekonomiskās attīstības nodrošināšanā, tādēļ jau neilgi pēc II pasaules kara 1947. gadā FAO ietvaros dibināta Starptautiskā papeļu komisija (*International Poplar Commission – IPC*), kas nodrošina zinātnisko atbalstu gan zemes īpašniekiem, gan politikas veidotājiem plašākas papeļu izmantošanas veicināšanai.

Populus ģints, kurai pieder papeles, ir ļoti plaša, tajā ietilpst sugas ar dažādiem izplatības areāliem, kā arī atšķirīgām adaptāciju un ātraudzību raksturojošām pazīmēm. Sugu iedalījumam papeļēs (*poplar* vai *cottonwood*) un apsēs (*aspen*) nav vienotas starptautiskas sistēmas (Dickmann, 2001), tādēļ, iepazīstoties ar informāciju par papeļu audzēšanu, jāpievērš uzmanība, kāda tieši koku suga tiek analizēta. Ņemot vērā papeļu komerciālo nozīmi, ir attīstīta to selekcija, kas galvenokārt balstīta uz vairāku sugu krustojumu un šo starpsugu krustojumu – **hibrīdu** (*hybrids*) – pārbaudēm, atlasot pēc dažādām īpašībām vērtīgākos kokus. Šādi koki (genotipi) jeb **kloni** (*clones*) tiek pavairoti veģetatīvi, izmantojot spraudeņus. **Spraudeņi** (*cuttings*) ir 1–3 gadus vecu atvašu vai zaru posmi, kuri veido sakņu sistēmu un sāk augšanu pēc ievietošanas augsnē. Spraudeņus, kas iegūti no viena koka, sauc par **rametiem** (*ramets*), bet konkrēto koku, no kura rameti ņemti – par **ortetu** (*ortet*). Stādījumu ierīkošanas vajadzībām par ortetiem izvēlas labākos un veselīgākos konkrētā klona pārstāvjus. Tā kā jaunu klonu izveidē (selekcijā) jāiegulda ievērojami līdzekļi, šie kloni ir autortiesību objekti, t.i., daļa no katra spraudeņa cenas ir maksa organizācijai vai personai, kas selekcionējusi konkrēto klonu. Arī iegūstot spraudeņus savā stādījumā, pavairotā materiāla dokumentācijas nodrošināšanai jāsamaksā autoratlīdzība par selekciju. Lai nodrošinātu šādas sistēmas funkcionēšanu, kā arī iesaistīto organizāciju interesi ieguldīt līdzekļus jaunu, vēl ātraudzīgāku un izturīgāku klonu veidošanā, Eiropas mērogā tiek uzturēts klonu reģistrs. Ar to nodarbojas FAO IPC Taksonomijas, nomenklatūras un reģistrācijas

(*Taxonomy, Nomenclature and Registration*) darba grupa, bet autortiesību aizsardzību nodrošina Kopienas augu šķirņu birojs CPVO (*Community Plant Variety Office*). Latvijā informāciju par stādāmo materiālu (sertifikātus) stādījumos mežā (veicot meža atjaunošanu) un lauksaimniecībai maz piemērotās zemēs (ierīkojot plantāciju mežus) kontrolē Valsts meža dienests, bet stādījumos lauksaimniecības zemēs – Lauku atbalsta dienests.

Papeļu stādījumus iespējams ierīkot gan lauksaimniecības, gan meža zemēs. Tas rada neskaidrības Eiropas Savienības Kopējās lauksaimniecības politikas (*Common Agricultural Policy*) kontekstā, kur ar papeļu audzēšanu saistītās aktivitātes tiek pieskaitītas gan mežsaimniecībai, gan lauksaimniecībai, gan arī **agromežsaimniecībai** (*agroforestry*), kad platībā vienlaikus notiek koku un lauksaimniecības kultūru audzēšana (Nervo *et al.*, 2011). Pašreiz kā noteicošais kritērijs stādījumu klasifikācijai tiek lietots zemes izmantošanas veids.

Papeles iespējams izmantot meža atjaunošanā. Meža likumā vai citos normatīvos aktos tām nav noteikts minimālais ciršanas vecums; tas noteikts tikai apsei un ir 41 gads. Papeļu audzēšanai piemērotāki ir **plantāciju meži** (*short rotation forestry*). Ar plantāciju mežiem saprot ieaudzētas, īpašiem mērķiem paredzētas un Meža valsts reģistrā reģistrētas mežaudzes meža vai lauksaimniecības zemēs, uz kurām neattiecas Meža likumā noteiktā koku ciršanas un meža atjaunošanas kārtība. Tas nozīmē, ka plantāciju meža īpašnieks var brīvi izvēlēties, piemēram, ciršanas vecumu un atjaunojamo koku skaitu, lielāku par minimālo definēto (papelēm ≥ 800 koki ha⁻¹). Starptautiskā (FAO) terminoloģijā «plantāciju mežsaimniecība» (*plantation forestry*) skaidrota kā stādītu (atsevišķos gadījumos arī sētu) mežu apsaimniekošana (FAO, 2006), un tās galvenais mērķis ir maksimāla koksnes vai nekoksnes resursu ieguve (Tullus *et al.*, 2013). Ieviests arī plašāks termins – «stādītie meži» (*planted forests*), kas ietver arī stādījumus piesārņotu augšņu fitoatjaunošanai (*phytoremediation*) un aizsardzībai pret augsnes, ūdens eroziju, lavīnām, piesārņojuma nokļūšanu ūdenstilpnēs u.c., kā arī dabisko mežu (*semi-natural forests*) stādītās daļas (FAO, 2010).

Lauksaimniecības zemēs iespējams ierīkot **kokaugu stādījumus** (*short rotation plantations*) – tie ir ilggadīgi stādījumi (izņemot dekoratīvos kokaugus, augļu dārzus un stādaudzētavas), kuri īpašiem mērķiem un regulārā izvietojumā ierīkoti lauksaimniecībā izmantojamā zemē un kuru maksimālais audzēšanas ilgums ir 15 gadi. Pēc tam kultūru atjauno

vai turpina zemi izmantot citu lauksaimniecības kultūru audzēšanai. Kokaugu stādījumu, tāpat kā plantāciju mežu ierīkošana neizmantotās lauksaimniecības zemēs ir efektīvs veids, kā palielināt koksnes resursus valstī (Sutton, 1999), uzlabot vides kvalitāti (Sedjo, 1999), izlīdzināt pieejamo koksnes apjomu nevienmērīgas mežaudžu vecumstruktūras apstākļos. Tiek uzskatīts, ka vismaz 4,5% ES kopējās lauksaimniecības zemes platības (6,3 milj. ha) ir jāapsaimnieko kā kokaugu stādījumi (Foellner, 2008). Kokaugu stādījumus, kuru ierīkošanas mērķis ir biomasas ieguve īsā aprites periodā (parasti līdz 5 gadiem, bet atsevišķos gadījumos – vairāk), dēvē arī par:

- 1) **īsa aprites perioda kokaugu stādījumiem** (*short rotation woody crops*), ja pēc ražas novākšanas atkārtoti veic stādīšanu;
- 2) **īscirtmeta atvasājiem** (*short rotation coppice*), ja pēc ražas novākšanas atjaunošanās notiek ar celma vai sakņu atvasēm un stādīšana nav jāveic.

Tomēr kā starptautiskos, tā Latvijas informācijas avotos trūkst vienotas pieejas šo terminu lietošanā, tādēļ būtiski katrā konkrētajā gadījumā saprast, kā lietotais termins definēts. Latvijā par īscirtmeta atvasājiem parasti tiek dēvēti vienāda vecuma apšu, papeļu (*Populus* spp.), kārkļu (*Salix* spp.) vai baltalkšņa (*Alnus incana*) atvasāji ar maksimālo aprites periodu 5 gadi.

Turpmāk šīs monogrāfijas ietvaros lietots apzīmējums «papeļu stādījumi» – gadījumos, kad stādījuma statuss nav būtisks konkrētās informācijas izpratnei un pielietošanai.

Galvenā cirte papeļu stādījumos parasti tiek plānota, sasniedzot tekošā ikgadējā pieauguma kulmināciju, kas sakrīt ar audzes finansiālo gatavību (Tullus *et al.*, 2013). Eiropā papeļu audžu, kas klasificētas kā plantāciju meži vai kokaugu stādījumi, aprites periods ir 15–25 gadi (FAO, 2006), paredzot kokmateriālu (apaļkoku) ieguvī. Šādu stādījumu ierīkošanai nepieciešami augšanas apstākļi, kas ir optimāli konkrētajam klonam (kloniem). **Enerģētiskās koksnes** (*energy wood*) – šķeldas vai malkas – ieguvei ierīkoto stādījumu aprites periods parasti ir īsāks, stādījuma sākotnējais biežums (koku skaits uz hektāra) – augstāks.

Pirmie papeļu stādījumi Latvijā ierīkoti 20. gs. sākumā, bet kopš gadsimta vidus interese par tiem gandrīz pilnībā zudusi (Mangalis, 1998). Papeles izmantotas pilsētu un šoseju malu apstādījumos kā putekļu absorbents, vējlauzēju joslās, kļūdaini izvēloties sievišķos klonus, kas papeļu sēklu ienākšanās laikā rada nozīmīgu piegružojumu, kā arī izraisa elpceļu alerģiju daļai cilvēku. Tas sabiedrībā veicinājis negatīvu attieksmi

pret papelēm. Tāpat apstādījumu apsaimniekošanā bieži nav ņemts vērā apstāklis, ka papeles ir ne tikai ātraudzīgas (jau dažu gadu laikā panākams apzaļumošanas efekts), bet arī ar īsu mūžu – tātad, lai novērstu bojājumus infrastruktūras objektiem, savlaicīgi plānojama to aizstāšana ar lēnāk augošiem, bet ilgmūžīgākiem kokiem vai jaunu papeļu stādījumu. Interese par papeļu stādījumu ierīkošanu koksnes ieguvei un to pētījumi atsākušies šī gadsimta otrajā desmitgadē. Nozīmīgākie zinātniskie pētījumi saistīti ar atsevišķu klonu piemērotības pārbaudēm Latvijas apstākļos, stādījumu ierīkošanas metodikas pilnveidošanu, koksnes izmantošanas iespēju analīzi.

1. PAPEĻU AUDZĒŠANA EIROPĀ UN CITUR PASAULĒ

Dabiskas papeļu audzes pasaulē aizņem vairāk nekā 70 milj. ha. Lielākā daļa no tām (97%) atrodas Kanādā (28,3 milj. ha), Krievijā (21,5 milj. ha) un ASV (17,7 milj. ha) un tiek izmantotas kokmateriālu ieguvei. Tajās iegūtā ikgadējā koksnes krāja Krievijā un Kanādā ir attiecīgi 100 milj. m³ un 16 milj. m³. Citās valstīs šādas audzes lielākoties tiek izmantotas dabas aizsardzības mērķiem (Ball *et al.*, 2005; Coaloa, Nervo, 2011). Eiropā dabiski izveidojušās *Populus* sugu audzes aizņem 131 tūkst. ha, un tās koncentrētas Ungārijā, Spānijā, Rumānijā un Francijā, turklāt 70% uzskatāmas par perspektīvām industriālai izmantošanai. Šajās audzēs galvenokārt sastopamas sugas *P. nigra*, *P. alba*, *P. tremula* un *P. canescens* (Coaloa, Nervo, 2011). Laika posmā no 2004. līdz 2008. gadam dabiski atjaunojušos papeļu platības pieaugums vērojams Ķīnā, ASV, Spānijā un Krievijā, savukārt šādu platību apjoms samazinājies vai saglabājies nemainīgs Indijā, Horvātijā, Beļģijā, Turcijā un Argentīnā (FAO, 2008).

Kopējā mērķtiecīgi ierīkoto papeļu stādījumu platība pasaulē ir vairāk nekā desmit reizes mazāka salīdzinājumā ar dabiski izveidojušos audžu platību – 6,7 milj. ha, no kuriem 3,8 milj. ha jeb 56% ierīkoti koksnes ieguvei un 2,9 milj. ha ierīkoti dabas aizsardzības mērķiem. Vairāk nekā 1 milj. m³ papeļu koksnes gadā iegūst Turcijā, Ķīnā, Francijā, Itālijā un Indijā (Ball *et al.*, 2005). Ķīnā atrodas 73% no kopējās pasaules papeļu stādījumu platības (4,9 milj. ha), tai skaitā 53% no pasaules koksnes ieguves plantācijām un gandrīz visas plantācijas, kas ierīkotas vides aizsardzībai (Ball *et al.*, 2005; Coaloa, Nervo, 2011). Eiropā papeļu plantācijas aizņem 940 tūkst. ha jeb 4% no pasaules papeļu plantācijām (Coaloa, Nervo, 2011), un no tām 25% atrodas Francijā, 13% Turcijā, 12% Itālijā, 11% Ungārijā, 10% Vācijā, 10% Spānijā un 6% Rumānijā (Nervo *et al.*, 2011). Pirmās industriālās papeļu plantācijas ierīkotas 20. gs. sākumā Itālijā, un tajās ieguva koksni celulozes un finiera ražošanai (FAO, 1979).

No mērķtiecīgi veidotajiem papeļu stādījumiem 30% ierīkoti kā agromežsaimniecības sistēmas, un tajās ir 40% no kopējās papeļu koksnes krājas pasaulē (Ball *et al.*, 2005). Šādas audzes aizņem

15 tūkst. ha un nodrošina 45 tūkst. m³ koksnes gadā, pārsvarā enerģētiskās koksnes un malkas ieguvei (Coaloe, Nervo, 2011). Lielākā daļa agromežsaimniecības sistēmu ierīkotas Ķīnā un Indijā – katrā no šīm valstīm 49% no kopējā apjoma pasaulē (Ball *et al.*, 2005; Coaloe, Nervo, 2011).

Mērķtiecīgi ierīkoto stādījumu platība pieaug Ķīnā, Bulgārijā, Vācijā un Zviedrijā, nemainīga tā saglabājas Itālijā, Spānijā, Marokā, Serbijā un Indijā, bet samazinās – Argentīnā, Horvātijā, Rumānijā, Spānijā un Krievijā (FAO, 2008). Visbiežāk audzētās paņēlu sugas ir *P. deltoides*, *P. × canadensis*, *P. × deltoides*, *P. generosa* (Coaloe, Nervo, 2011).

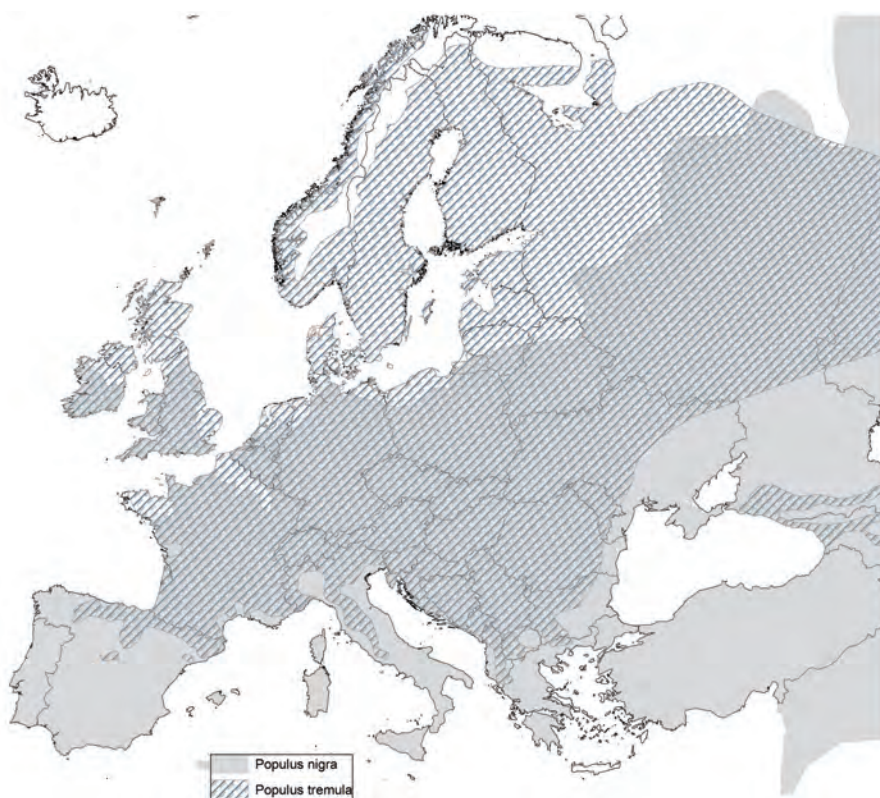
1.1. EKOLOĢISKĀ NOZĪME

Populus ģints (*Salicaceae* dzimta) dabiskās izplatības areāls (1. attēls) aptver lielāko daļu mērenā klimata joslas Ziemeļu puslodē un dienvidos sniedzas līdz pat Āfrikas ziemeļiem un Ķīnas dienvidiem, turklāt viena suga atrasta, augot izolēti tikai Āfrikas dienvidos. Lielākajā daļā Ziemeļeiropas tikai parastā apse (*P. tremula*) ir autohtona suga, tādēļ apse un tās hibrīdi ģenētiski ir mazāk līdzīgi citām *Populus* ģints sugām. Lielākā daļa *Populus* sugu ir ātraudzīgas; tie ir divmāju koki, kas veido hibrīdus (Rytter *et al.*, 2013). Papeles ir dominējošās koku sugas plašos apgabalos Ziemeļamerikā un Āzijā (National Poplar and Willow Users Group, 2007).

Papeles ir prasīgas pret augsnes mitrumu, tādēļ lielākā daļa sugu aug gar upju palienēm. Dažas sugas dod priekšroku zemienēm upju ielejās, citas – kalnu ielejām vai mitriem kalnu reģioniem. Vēl citas sugas piemērojušās sāļiem bagātām augsnēm piejūru reģionos, kamēr citas (īpaši *P. heterophylla*) aug periodiski applūstošās platībās (National Poplar and Willow Users Group, 2007).

Kopumā papeles ir:

- 1) mitrumprasīgas un ar augstu transpirācijas rādītāju;
- 2) ar augstu barības vielu izmantošanas efektivitāti;
- 3) ar spēju akumulēt atsevišķus smagos metālus, īpaši kadmiju (Dimitriou, 2008).



*1. attēls. Parastās apses un melnās papeles izplatības areāls
(dati no EUFORGEN 2009, 2015).*

Papelēm un to audzēm ir nozīmīga ekoloģiskā vērtība – tās pozitīvi ietekmē barības vielu un skābekļa apmaiņu starp augsni un augiem (EU Commission, 1997), samazina barības vielu iznesi no lauksaimniecības zemēm uz ūdeņiem, nodrošina oglekļa uzkrāšanu, tās iespējams izmantot kā atjaunojamu energoresursu, ar tām var rekultivēt degradētās augsnes, kā arī paaugstināt bioloģisko daudzveidību intensīvas lauksaimniecības reģionos.

Dabas aizsardzības mērķiem (augšnes un ūdens aizsardzībai) papeles tiek izmantotas to straujās augšanas, daudzo un dziļo sakņu, kā arī intensīvās transpirācijas dēļ (Ball *et al.*, 2005; Isebrands, 2007). Gan neizmantotas

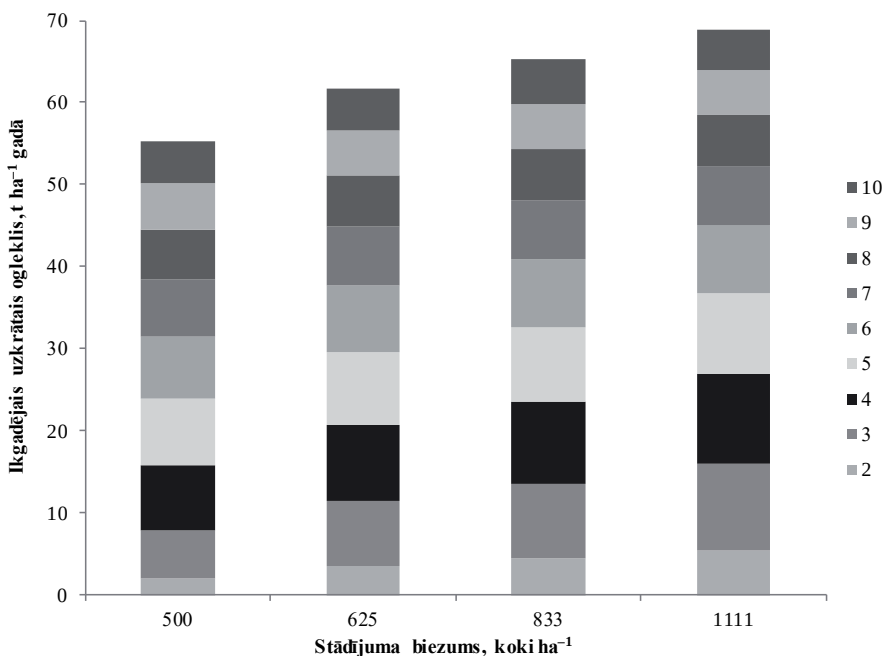
lauksaimniecības zemes, gan piesārņojuma skartas zemes industriālajos rajonos ir piemērotas papeļu audzēšanai (Laureysens *et al.*, 2005). Piemēram, Jaunzēlandē papeļu kloni, kas spēj uzņemt lielu bora daudzumu, tiek izmantoti atkritumu izgāztuvju rekultivācijai. Tāpat tās spēj absorbēt slāpekli, kas uzkrājas intensīvas lauksaimniecības rezultātā (Ball *et al.*, 2005), turklāt papeļēm nav konstatēta negatīva smago metālu ietekme uz biomasas veidošanos (Laureysens *et al.*, 2004).

Papeļu plašā un blīvā sakņu sistēma pasargā augsni no ūdens un vēja radītās erozijas (Isebrands, Karnosky, 2001; Isebrands, 2007), samazinot putekļu veidošanos, augsnes izskalošanos un izžūšanu (Laureysens *et al.*, 2005; Isebrands, 2007). Īpaši piemērotas nogāžu aizsardzībai ir sugas, kas viegli veido sakņu atvases, piemēram, baltā papele (Taubenbergs, 1971; Nervo *et al.*, 2011). Ķīnā papeles plaši tiek izmantotas aizsargjoslās jūru un okeānu piekrastē, ASV, Bulgārijā un Čīlē tās tiek stādītas upju krastu nostiprināšanai (Ball *et al.*, 2005), Rumānijā 75% plantāciju paredzētas kā aizsargsistēmas (Coaloea, Nervo, 2011), bet ASV simtiem nelielu plantāciju tiek veidotas ne tikai kā upju aizsargbarjeras, bet arī izmantotas notekūdeņu attīrīšanai (Ball *et al.*, 2005). Papeļu plantācijas tiek ierīkotas arī kā daļa no ražošanas vai sadzīves notekūdeņu attīrīšanas sistēmām.

Īscirtmeta atvasājos ir lielāka bioloģiskā daudzveidība nekā apsaimniekotajās lauksaimniecības zemēs, bet mazāka nekā vecos jauktu lapu koku mežos (Baum *et al.*, 2009), tādēļ no reģionā dominējošā zemes apsaimniekošanas veida atkarīgs, vai šādas kultūras ierīkošana palielina vai samazina bioloģisko daudzveidību. Īscirtmeta atvasāji tiek uzskatīti par alternatīvu intensīvi apsaimniekotajām lauksaimniecības zemēm, samazinot platību noplicinošu izmantošanu, pesticīdu lietošanu un palielinot bioloģisko daudzveidību (Heinsoo, 2008). Ja papeļu stādījumu ierīkošanai izmantotas neapsaimniekotas lauksaimniecības zemes (Klasa, 2008), tad šajos stādījumos zem papeļu vainagiem no blakus esošām teritorijām var ieviesties un saglabāties ēncietīgas un mitrumprasīgas retas sugas (Trinkauss, 1998; Hartley, 2002). Bioloģisko daudzveidību konkrētā īscirtmeta atvasājā galvenokārt nosaka gaismas apstākļi un audzes vecums, kas ietekmē kopējo tajā sastopamo sugu skaitu un sastāvu. Jo vecāka audze, jo vairāk samazinās apgaismojums zem audzes klāja, kas izraisa zemsedzes sugu nomaiņu no viengadīgām uz daudzgadīgām un no gaismasprasīgām uz ēncietīgām sugām (Baum *et al.*, 2009).

Putnu sugu daudzveidība īscirtmeta atvasājos ir lielāka nekā lauksaimniecības zemēs, augsnes kukaiņu daudzveidība – mazāka. Kopumā mežā sastopamās sugas plantācijās sastopamas mazāk nekā tipiskā meža ekosistēmā, bet to skaits pieaug līdz ar stādījuma vecumu (Schulz *et al.*, 2009). Par sugām bagātāko uzskatāma pāreja jeb robežjosla starp īscirtmeta atvasāju un atklātu lauku, tādēļ bioloģiskās daudzveidības palielināšanai ieteicams vienu lielu stādījumu aizstāt ar vairākiem platības ziņā mazākiem (Heinsoo, 2008). Kopējo sugu daudzveidību ietekmē arī zemes izmantošanas vēsture un apkārtējā vide – jo tā dažādāka, jo vairāk sugu sastopamas stādījumā.

Īscirtmeta atvasājiem ir nozīmīga loma fosilā kurināmā radīto izmešu (CO_2 u.c. siltumnīcefekta gāzu) apjoma samazināšanā (EU Commission, 1997). Pirmkārt, ātri augošie koki piesaista oglekli, otrkārt – koksne arvien vairāk aizstāj naftas produktu izmantošanu. Siltumenerģija, elektroenerģija un biodeģviela, kas ražota no biomasas, ir CO_2 neitrāla (neņemot vērā plantācijas apsaimniekošanas un novākšanas laikā izdalīto CO_2 , piemēram, no stādāmo vai mežizstrādes mašīnu izmantošanas), t.i., CO_2 apjoms, kas uzņemts no atmosfēras, tiek no jauna atgriezts atmosfērā (Foellner, 2008). Enerģijas apjoms, ko iespējams iegūt no 10 tonnām sausas koksnes, ir līdzvērtīgs enerģijas apjomam, ko iegūst no 4 m^3 naftas (Christersson, 2010). Izmantojot ātraudzīgās koku sugas enerģētiskās koksnes ieguvei, ogleklis tiek uzkrāts gan biomasā, gan augsnē, veidojot ilgtermiņa sistēmas CO_2 apritei. Daudzgadīgu sugu izmantošana arī palielina oglekļa uzkrāšanos (Rytter, 2012). Piesaistītā oglekļa daudzums atkarīgs no koku skaita platības vienībā, t.i., stādījuma biežuma (2. attēls). Piemēram, papeļu stādījums ar sākotnējo biežumu 1111 koki ha^{-1} 10 gadu vecumā uzkrāj 70 t ha^{-1} oglekļa, kas ir par 5%, 11% un 20% vairāk nekā stādījumi ar biežumu attiecīgi 833, 625 un 500 koki ha^{-1} tajā pašā vecumā (Fang *et al.*, 2007). Ikgadējā uzkrātā oglekļa daudzuma kulminācija (11 t ha^{-1} gadā) stādījumā ar sākotnējo biežumu 1111 koki ha^{-1} sasniegta ceturtajā gadā, un vēlāk šis rādītājs pakāpeniski samazinājās līdz 5 t ha^{-1} desmitajā gadā; pārējos stādījumos konstatēta līdzīga tendence.



2. attēls. Uzkrātais ikgadējais oglekļa daudzums no 2 līdz 10 gadu vecumam atkarībā no stādījuma biežuma (dati no Fang et al., 2007).

1.2. KOKSNES ĪPAŠĪBAS, PRODUKTI UN TIRGUS

Papeļu koksne ir mīksta, gaiša, ar samērā augstu celulozes saturu (46–54%), tā nesatur sveķus, krāsvielas (Smilga, 1988). To izmanto zāģmateriālu, mēbeļu, taras, sērkociņu, finiera ražošanā, celulozes rūpniecībā, koksnes pārstrādes rūpniecībā (spirts, deggāze u.c.), lopbarības proteīnu iegūšanai, kā kurināmo u.c. (Smilga, 1988; FAO, 2008). Pētījumu rezultāti apliecina, ka papeļu hibrīdi spēj aizstāt apsi masīvkoksnes produktu ražošanā (Balatinecz *et al.*, 2001). Tehnoloģiju attīstība atklāj arvien jaunus papeļu koksnes izmantošanas veidus, tai skaitā paneļu, mēbeļu, gleznu

rāmju, grīdlīstu un dekoratīvo kastu ražošanu (Balatinecz *et al.*, 2001; Isebrands, 2007).

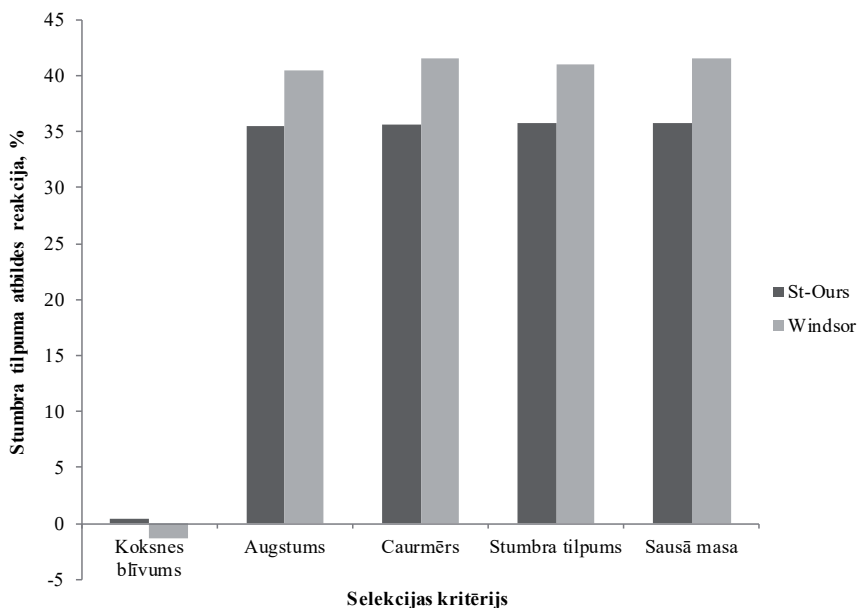
Gaišais koksnes tonis nosaka finiera izmantošanas iespējas produktu ražošanai estētiskiem mērķiem, tādēļ tumši plankumi un svītras, kas rodas kodola iekrāsošanās rezultātā, samazina finiera kvalitāti. Šāda koksne ir mazāk piemērota izmantošanai mēbeļu un citu koka izstrādājumu redzamajās detaļās vai tādu materiālu izgatavošanai, ko nepieciešams apdrukāt (piemēram, iepakojums, augļu kastes). Gaišas koksnes ieguvī iespējams veicināt ar augošu koku atzarošanu, kā arī ar selekcijas metodēm – atlasot klonus, kam raksturīgs salīdzinoši neliels kodolkoksnes īpatsvars. Saplākšņa ražošanai nav tik augstas koksnes prasības kā finierim, un tā ieguvei izmantojamas dažādu klonu un kvalitātes finiera loksnes (DeBoever *et al.*, 2007).

Vairumā gadījumu selekcijas darbs tiek veikts, lai paaugstinātu koku ražību vai rezistenci pret biotiskajiem un abiotiskajiem faktoriem, un šādos pētījumos nav pievērsta uzmanība koksnes īpašību vērtēšanai (Vallee, 1995a; Pliura *et al.*, 2007), kas var nozīmīgi ietekmēt koksnes izmantošanas iespējas un līdz ar to arī ekonomisko ieguvumu. Pētnieki uzsver, ka koksnes īpašībām un tās potenciālajam izmantošanas mērķim jābūt iekļautam selekcijas programmā, un, lai to sekmīgi paveiktu, jāapzinās koksnes īpašību veidošanās process, iedzimtība un saistība ar augšanas gaitu (Zhang *et al.*, 2003). Selekcijas procesā dažādas klonu īpašības jāvērtē kompleksi, lai, paaugstinot vienu no vēlamajām īpašībām (piemēram, konkrētu koksnes īpašību), netiktu būtiski pazeminātas citas (piemēram, rezistence vai augšana).

Pētījumos konstatētas nozīmīgas atšķirības starp dažādiem papeļu kloniem, gan vērtējot koksnes īpašības, gan augšanas gaitu. Papeļu hibrīdu klonu selekcija augšanas pazīmju uzlabošanai neizraisa būtisku koksnes īpašību pasliktināšanos (Zhang *et al.*, 2003), turklāt genotipa un vides mijiedarbība neietekmē koksnes īpašības (Dinus *et al.*, 2001), ļaujot tās uzlabot ar mērķtiecīgu selekcijas darbu. Kanādā veiktā pētījumā rezultāti atklāj būtisku klona ietekmi uz koksnes blīvumu, sausnes masu un krūšaugstuma caurmēru (Pliura *et al.*, 2007). Koksnes blīvumam ir augsta ģenētiskā variācija un vidējs līdz augsts iedzimstamības koeficients (Zobel, Jett, 1995; Rytter *et al.*, 2011a). *P. deltoides* kloniem iedzimstamības koeficients h^2 koksnes blīvumam ir 0,94, bet vidējam šķiedru garumam tas ir 0,61 (Klansja *et al.*, 2003). Ir iespējams atlasīt klonus, kuru koksnes

loksnēm raksturīga salīdzinoši mazāka viļņošanās žūstot un neizteikta kodolkoksnes krāsas maiņa, samazinot negatīvo ietekmi uz finiera kvalitāti (DeBoever *et al.*, 2007) .

Saskaņā ar pētījuma rezultātiem (Zhang *et al.*, 2003), ja selekcija tiek veikta ar mērķi uzlabot koksnes blīvumu, sagaidāms 7–8% ģenētiskais ieguvums, nenožīmīgs ieguvums stumbra sauso šķiedru masai, bet stumbra tilpuma palielināšanās nav sagaidāma (3. attēls). Selekcija stumbra tilpuma palielināšanai rada ieguvumu aptuveni 40% apmērā, stumbra sauso šķiedru masai ieguvums ir līdzīgs, bet koksnes blīvums šādas selekcijas rezultātā samazinās par 0,2%. Selekcijas darbs augšanas gaitas uzlabošanai neizraisa būtisku koksnes blīvuma samazināšanos, tomēr pastāv vāja negatīva korelācija starp blīvumu un augšanas pazīmēm, īpaši krūšaugstuma caurmēru un augstumu, tādēļ klonu atlase pēc šīm īpašībām var novest pie neliela koksnes blīvuma samazinājuma (Zhang, 1995; Zhang *et al.*, 2003).



St-Ours un Windsor: pētījuma objektu atrašanās vietas.

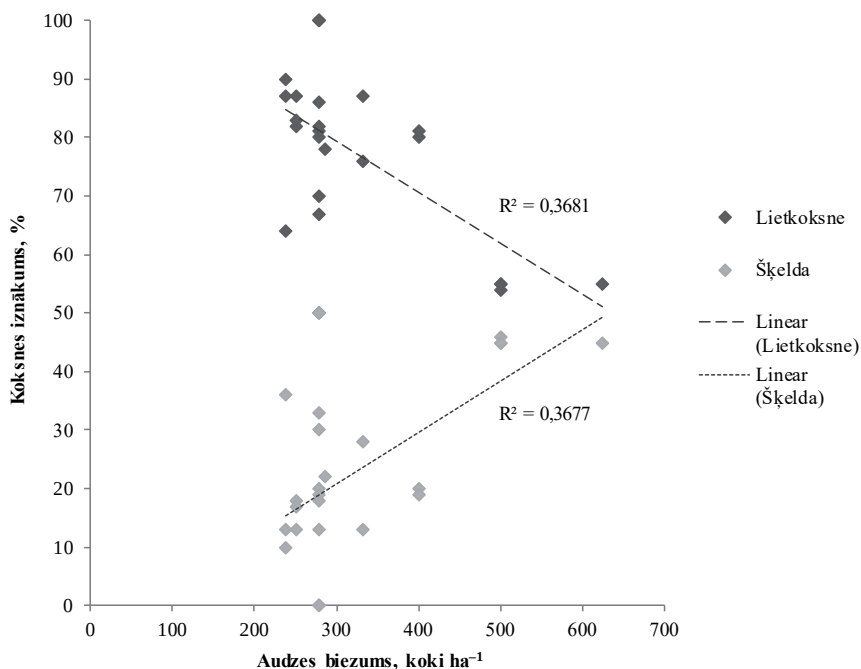
3. attēls. Sagaidāmā stumbra tilpuma atbildes reakcija, veicot selekciju pēc dažādiem kritērijiem pētījuma objektos Kanādā (dati no Zhang *et al.*, 2003).

Citos pētījumos starp augšanas pazīmēm un koksnes blīvumu konstatēta būtiska negatīva korelācija *P. euramericana* un *P. deltoides* kloniem (Olson *et al.*, 1985; Beaudoin *et al.*, 1992). Kanādas zinātnieki par piemērotāko selekcijas stratēģiju ir atzinuši klonu selekciju pēc stumbra sausnes masas (ģenētiskais ieguvums aptuveni 40%), jo šādā gadījumā tiek sabalansēts ģenētiskais ieguvums stumbra tilpumam (aptuveni 40%) un koksnes blīvumam (aptuveni 1%) (Zhang *et al.*, 2003).

Citā pētījumā Kanādā (Pliura *et al.*, 2007) konstatēts, ka sausnes papildus ieguvums no tiešas atlases pēc šīs pazīmes ir tikpat liels kā no atlases pēc stumbra tilpuma; koksnes blīvums šajā gadījumā samazinājās par 3%. Klonu atlase pēc krūšaugstuma caurmēra rada tikpat lielu ieguvumu stumbra tilpuma ziņā kā tieša atlase pēc stumbra tilpuma, kā arī izraisa koksnes blīvuma samazināšanos. Atlase pēc koku augstuma nenodrošina tikpat lielu ieguvumu stumbra tilpumam kā atlase pēc caurmēra, bet tai nav vērojama negatīva ietekme uz koksnes blīvumu (Pliura *et al.*, 2007). Selekcija ar mērķi pēc iespējas mazākā vecumā iegūt lielāku dimensiju kokus var radīt augstāku juvenilās koksnes īpatsvaru, kam ir būtiska ietekme uz koksnes īpašībām un izmantošanu rūpnieciskajā pārstrādē (Hernández *et al.*, 1998). Lai uzlabotu Ziemeļeiropas klimatiskajiem apstākļiem piemērotu koku mehāniskās īpašības, tiek rekomendēts veidot hibrīdus, kam viens no vecākiem ir *P. deltoides* ar augstu koksnes blīvumu un sausnes masu, bet otrs – *P. balsamifera* ar labu salciētību (Pliura *et al.*, 2007).

Dažādas papeļu sugas un kloni piemēroti koksnes ieguvei atšķirīgiem mērķiem. Piemēram, Indijā *P. ciliata* koksne atzīta par piemērotu saplākšņa, taras un plātņu ražošanai, to izmanto sērkokciņu un celtniecības materiālu ieguvei un kā enerģētisko koksnī. *P. gamblei* koksne arī ir piemērota saplākšņa, sērkokciņu un taras ražošanai, bet *P. euphratica* un *P. alba* Indijā tiek izmantotas lopbarībai (FAO, 2008). Arī viena un tā paša hibrīda dažādu klonu koksnes īpašību (piemēram, šķiedru garums, koksnes blīvums) būtiskās atšķirības (Huda *et al.*, 2018) nosaka koksnes piemērotību celulozes, saplākšņa vai citam produkcijas veidam.

Sortimentu iznākamam raksturīga liela variācija gan atkarībā no klona, gan stādījuma sākotnējā biezuma (4. attēls). Tāpat to ietekmē augšanas apstākļi (augšņu auglība, veģetācijas perioda garums), vecums u.c. faktori. Rekomendējamais stādījuma biezums atšķirīgos klimatiskajos reģionos var būt augstāks nekā 4. attēlā norādītais, tomēr saglabājas konstatētās sakarības.



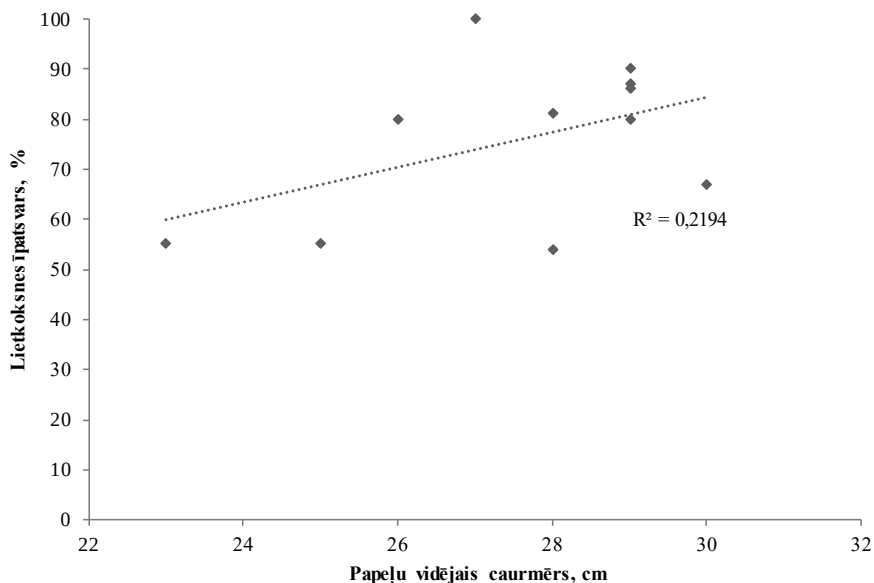
4. attēls. Sortimentu iznākums *P. euramericana* (*P. nigra* × *P. deltoides*) kloniem stādījumos Itālijā 10–23 gadu vecumā atkarībā no audzes biezuma (dati no Spinelli *et al.*, 2011).

Piemēram, Slovēnijā veiktā pētījumā, apkopojot datus no daudziem papeļu stādījumiem, konstatēts, ka faktisko lietkoksnē (finierkluču, zāģbaļķu) iznākumu ietekmē augsnes auglība (ko raksturo virsaugstuma bonitāte) un audzes vecums (Petráš *et al.*, 2008).

Papelēm finierkluču īpatsvars veido 0–80%, vidēji tuvu 40% no koka stumbra tilpuma. Nav konstatēta korelācija starp finierkluču iznākumu un kopējo krāju ($R^2 = 0,04$), to vairāk nosaka ģenētika un audzēšanas tehnoloģija. Viena koka stumbra tilpums 23 gadu vecumā var sasniegt 1,25 m³ (Spinelli *et al.*, 2011).

Stādījumā kopumā, pieaugot koka vidējām dimensijām, lietkoksnis īpatsvars palielinās (5. attēls). Tomēr konstatēta ievērojama rezultātu izkliede, kas saistīta gan ar apsaimniekošanas režīmu, gan izmantoto klonu (Spinelli *et al.*, 2011).

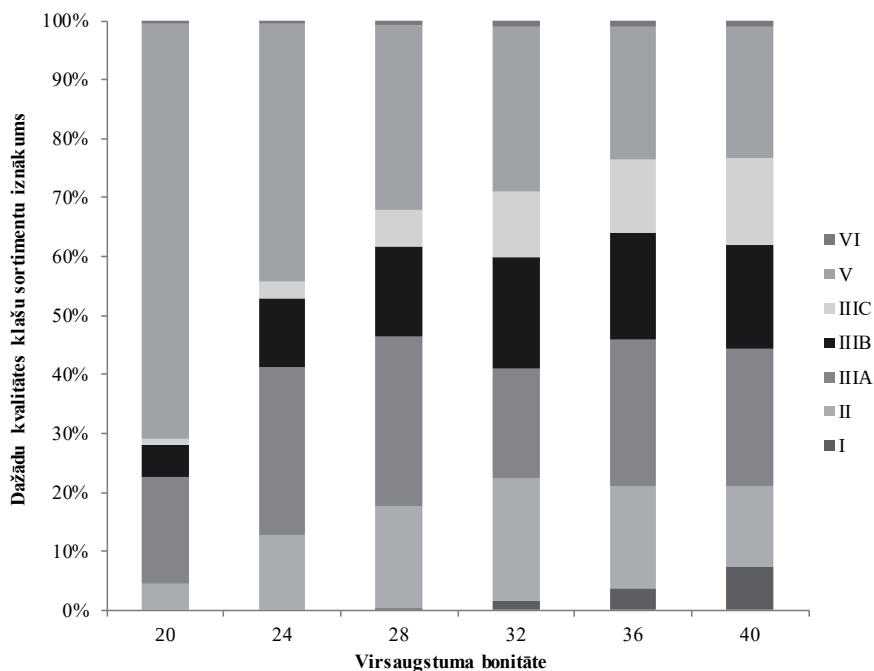
Trīsdesmit gadu vecumā visaugstākās kvalitātes (I klase) zāģbaļķus iespējams iegūt audzēs ar virsaugstuma bonitāti, augstāku par 28. Audzēs, kurām virsaugstuma bonitāte ir augsta (sasniedz 40), tievākos zāģbaļķus (IIIA klase) iespējams iegūt, sākot no 6 gadu vecuma, gadu vēlāk tajās iegūstami II klases zāģbaļķi, un pēc 14 gadu vecuma – visaugstākās kvalitātes zāģbaļķi (I klase). Tievāko (IIIA klases) zāģbaļķu iznākums kulmināciju sasniedz 14 gadu vecumā (~30% no kopējās iegūstamās krājas), II klases zāģbaļķu iznākums – 20 gadu vecumā (~20%), bet I klases zāģbaļķu iznākums pakāpeniski pieaug līdz ar vecuma palielināšanos. Papīrmalkas (V klase) iznākums likumsakarīgi uzrāda pretēju tendenci: palielinoties



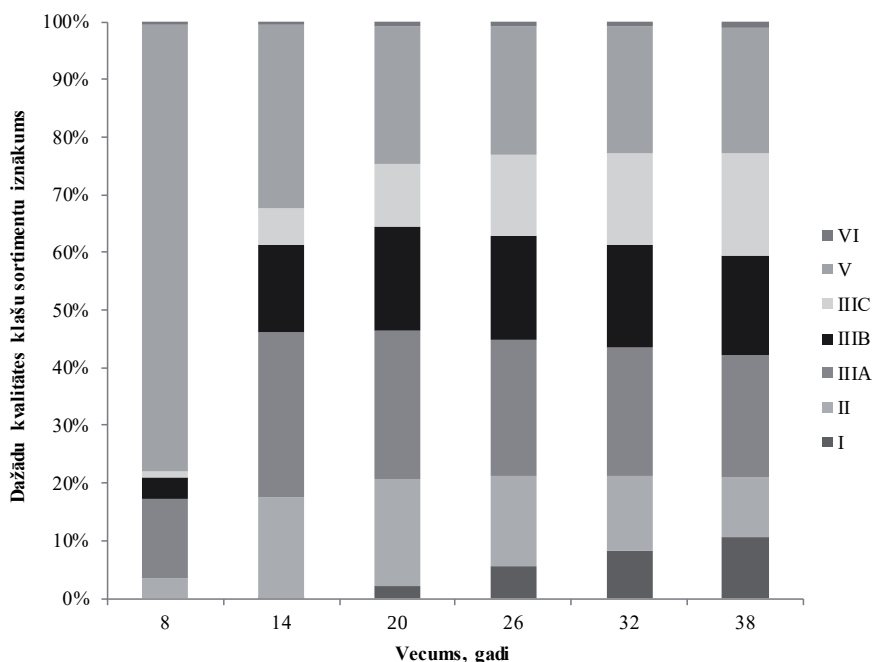
5. attēls. Lietkoksnis iznākums *P. euramericana* (*P. nigra* × *P. deltoides*) kloniem stādījumā Itālijā 10–23 gadu vecumā atkarībā no koku caurmēra (dati no Spinelli *et al.*, 2011).

vecumam, tas samazinās, un, sasniedzot 20 gadu vecumu, ir ~20%. Malkas īpatsvars (VI klase) ir konstants ~1% visā audzēšanas posmā līdz 38 gadu vecumam (Petráš *et al.*, 2008). Kā piemērs parādīts sagaidāmais dažādu kvalitātes klašu sortimentu iznākums *P. deltoides* × *P. nigra* klonam «Robusta» (6. un 7. attēls).

Koksnes ieguve ir galvenais papeļu audzēšanas mērķis. Eiropā ikgadējais pieejamais papeļu apaļkoksnes apjoms ir 8 milj. m³, no tiem 40% tiek izmantoti finiera vai saplākšņa ražošanai, 31% zāģmateriāliem (8. attēls). Eiropā nozīmīgākais ikgadējais papeļu koksnes pārstrādes apjoms ir Francijā (1,8 milj. m³), Turcijā (3,5 milj. m³), Itālijā (0,9 milj. m³) un Spānijā (0,8 milj. m³). Dabiskas izcelsmes audzēs Eiropā tekošais



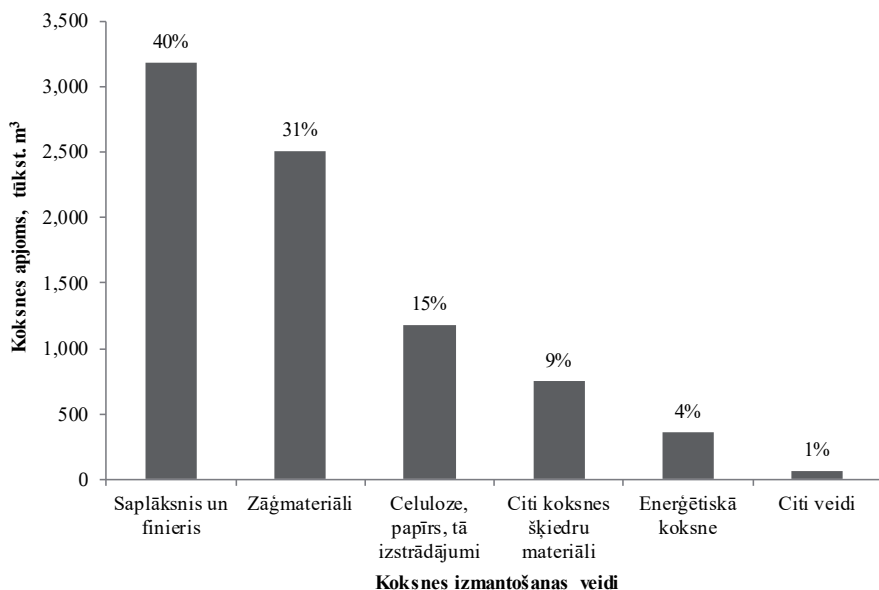
6. attēls. Sagaidāmais augstākās kvalitātes (I, II, IIIA) un zemākās kvalitātes (IIIB, IIIC, V, VI) klašu sortimentu īpatsvars *P. deltoides* × *P. nigra* klonam «Robusta» 30 gadus vecās audzēs Slovēnijā atkarībā no virsaugstuma bonitātes (dati no Petráš *et al.*, 2008).



7. attēls. Sagaidāmais augstākās kvalitātes (I, II, IIIA) un zemākās kvalitātes (IIIB, IIIC, V, VI) klašu sortimentu īpatsvars *P. deltoides* × *P. nigra* klonam «Robusta» audzēs ar virsaugstuma bonitāti 40 atkarībā no audzes vecuma (dati no Petrāš *et al.*, 2008).

krājas pieaugums ir 339 tūkst. m³ gadā, no kuriem 24% tiek izmantoti zāģmateriāliem, 30% enerģētikā un 22% celulozes ražošanai (Nervo *et al.*, 2011; Coaloa, Nervo, 2011).

Populārākie papeļu koksnes produkti Eiropā ir finieris, saplākšņa paneli, skaidu plātnes, celuloze, papīrs un tā izstrādājumi, tara (paletes, kastes) un mēbeles (Ball *et al.*, 2005; Christersson, 2010; Nervo *et al.*, 2011). Turcijā, Somijā, Argentīnā arvien nozīmīgākas kļūst papeļu koksnes konstrukcijas, arī ASV pieaug interese par papeļu kokmateriāliem, bet Beļģijā un Čīlē no šīs koksnes ražo mēbeles (Ball *et al.*, 2005). Eiropas valstīs papeļu koksne tiek izmantota bioenerģijas un biodeģvielas ieguvei, ekonomiski nozīmīga tā ir Zviedrijā, Apvienotajā Karalistē un



8. attēls. Papeļu koksnes izmantošana Eiropā (dati no Nervo et al., 2011).

Turcijā (Ball *et al.*, 2005). Kanādā arvien pieaug papeļu koksnes pārstrāde, un tā veido 50% no lapu koku un 11% no kopējiem koksnes resursiem (Avramidis, Mansfield, 2005). Galvenās papeļu apaļkoku eksportētājvalstis ir Francija (217 tūkst. m³ gadā), Ungārija (214 tūkst. m³ gadā) un Beļģija (209 tūkst. m³ gadā), bet importētājvalstis – Itālija (475 tūkst. m³ gadā), Beļģija (228 tūkst. m³ gadā). Kopējie Eiropas eksporta un importa apjomi ir līdzīgi (Nervo *et al.*, 2011).

2. MEŽSAIMNIECISKO DARBĪBU IETEKME UZ PAPEĻU AUGŠANU

Sagaidāmo krāju un biomasu papeļu stādījumos lielā mērā nosaka ne vien ātraudzīgu klonu atlase, bet arī piemērotas stādījuma vietas izvēle, platības sagatavošana un stādījuma kopšana, īpaši – pirmajos gados pēc tā ierīkošanas (Laureysens *et al.*, 2005; Spinelli *et al.*, 2011). Ieņēmumi no stādījumiem atkarīgi no iegūstamā augstākās klases finierkluču apjoma, un tiem jānosedz augstās ierīkošanas un apsaimniekošanas izmaksas (Venn, 2005).

2.1. STĀDĪŠANAS VIETAS IZVĒLE

Piemērotas vietas izvēle papeļu audzēšanā ir viens no svarīgākajiem posmiem, un to nosaka gan ekoloģiskie (augsnas apstākļi, ģeogrāfiskais novietojums), gan ekonomiskie aspekti. Kļūdaina vietas izvēle rada zaudējumus, ko gandrīz neiespējami labot stādījuma aprites periodā. Īscirtmeta atvasāju mērķis ir sasniegt maksimālu biomasas pieaugumu, tajā pašā laikā uzturot augsnas auglību (Klasa, 2008). Ņemot vērā šo stādījumu apsaimniekošanas intensitāti, novietojums pie ceļu tīkla ietekmē ekonomisko ieguvumu. Rekomendējamo attālumu starp stādījumu un gala patērētāju nosaka transportēšanas apjoms un degvielas cena, un tas ieteicams ne lielāks par 40–80 km. Stādījuma platība ieteicama ne mazāka par 1 ha, un tā galvenokārt atkarīga no produkcijas realizācijas iespējām (Klasa, 2008). Par vispiemērotākajām papeļu audzēšanai tiek atzītas barības vielām bagātas, vieglas mālsmilts augsnas ar labu aerāciju un sugai atbilstošu mitruma nodrošinājumu līdzenumos (Mangalis, 1971; Klasa, 2008). Tomēr šādas platības reti pieejamas kokaugu stādījumu ierīkošanai, tādēļ jāizvērtē stādījumu izvietojšanas iespējas arī mazāk piemērotās teritorijās.

Ūdens režīms augsnē nosaka gan stādījuma ierīkošanas iespējas, gan sagaidāmo krāju. Gruntsūdenim jābūt tekošam (Saliņš, 1971), tā optimālais

dziļums 1,0–1,5 m (Klasa, 2008). Latvijas apstākļos gruntsūdens dziļums pieļaujams 0,6–1,0 m, ir denās augsnēs līdz 2 m dziļumam (Saliņš, 1971). Līdzšinējos pētījumos papeles atzītas par piemērotām mežaudžu atjaunošanai uz smilts augsnēm periodiski applūstošos apgabalos (Nervo *et al.*, 2011). Augsnei jābūt viegla mehāniskā sastāva, ar māla daļiņu saturu 20–30%, nepiemērotas ir skābas un blīvas māla augsnes (Saliņš, 1971). Papeļu audzēšanai piemērota neitrāla vai bāziska augsnes reakcija (Isebrands, 2007). Balzāma papelei un apsei piemērotākas relatīvi skābākas augsnes, baltā papele un melnā papele labāk aug bāziskās augsnēs (National Poplar and Willow Users Group, 2007). Atšķiras arī prasības pret augsnes auglību – *P. alba* nepieciešama bagātīga augsne, savukārt pietiekama mitruma apstākļos *P. nigra* pret augsni ir mazprasīga (Saliņš, 1971). Tādēļ būtiski pirms stādījuma ierīkošanas noskaidrot arī konkrēto sugu (hibrīdu, klonu) augsnes prasības. Līdz šim Latvijas apstākļos par atbilstošākajiem meža tipiēm papeļu audzēšanai atzīts vēris un gārša (Saliņš, 1971).

Rudeņos un pavasaros kūdras augsnēs ir ierobežotas smagās tehnikas pārvietošanās iespējas, un tās nav piemērotas lauksaimniecībai, tādēļ var tikt izmantotas papeļu audzēšanai. Tomēr poļu mežzinātnieks A. Klasa (2008) raksta, ka kūdras augsnes ir nepiemērotas stādījumu ierīkošanai: lai gan atsevišķas *Populus* sugas dabiskos apstākļos var augt kūdras augsnēs, strauji augošie kloni šādā augsnē veido garu un druknu stumbru, taču nespēj veidot pietiekoši stipru sakņu sistēmu. Tas tiek saistīts ar anaerobajiem augsnes apstākļiem. Savukārt S. Saliņš (1971) platlapju kūdreni, kurā augsne ir labi aerēta, atzīst par vienu no piemērotākajiem meža tipiēm papeļu audzēšanai, un Zviedrijā kāda 17 gadus veca papeļu audze kūdras augsnē sasniegusi vidējo pieaugumu 23 m³ ha⁻¹ gadā, kas ir ļoti labs rādītājs šajā reģionā (Christersson, 2010). Tātad kopumā labi aerētas, barības vielām bagātas kūdras augsnes ar atbilstošu reakciju (pH) var tikt izmantotas papeļu stādījumu ierīkošanai.

2.2. KLONI

Pasaulē zināmas aptuveni 100 *Populus* sugas. No to hibrīdiem Eiropā visplašāk sastopams ir Eiropas un Amerikas melnās papeles hibrīds, kas sākotnēji saukts par *Populus canadensis* Moench. jeb Kanādas papeli, 1950. gadā starptautiski vienojoties to saukt par *Populus euramericana* (Saliņš, 1971). Visbiežāk sastopamās un izmantotās *Populus* sugas Eiropas ziemeļu daļā ir *P. tremula*, *P. tremuloides*, *P. trichocarpa*, *P. maximowiczii*, *P. deltoides* un *P. nigra* (Rytter *et al.*, 2013). Latvijas apstākļos par piemērotākajām atzītas *P. euramericana*, *P. trichocarpa* un *P. balsamifera* (Saliņš, 1971). Papeļu augšanas gaita ir atkarīga no izvēlētajās sugas vai hibrīda piemērotības klimatiskajiem apstākļiem (Rytter *et al.*, 2013), un šobrīd pētījumos ir pierādīts, ka ne visas līdz šim izmantotās papeles ir pietiekami adaptējušās Ziemeļeiropas klimatam (Christeresson, 2006). Kopumā balzāmpapelēm (*Tacamahaca*), piemēram, *P. balsamifera*, *P. trichocarpa*, ir lielāks potenciāls piemēroties Ziemeļeiropas klimatiskajiem apstākļiem nekā, piemēram, melnajām papelēm (*Aigeiros*), kā *P. deltoides*, *P. nigra* (Tullus *et al.*, 2013).

Ekonomiski nozīmīgākais faktors klonu izvēlē ir sagaidāmais lietkoksnas apjoms (Heinsoo, 2008), tādēļ par galvenajiem kritērijiem papeļu selekcijā tiek uzskatīta ātraudzība un izturība pret trupi (Gailis, 1971; Saliņš, 1971). Selekcionējot klonus enerģētiskās koksnas plantāciju ierīkošanai, svarīgs faktors ir spēja veidot atvases pēc ražas novākšanas (Heinsoo, 2008). Selekcijas programmās Eiropā mērķis ir augšanas gaitas, koku formas, adaptācijas un rezistences uzlabošana (Vallee, 1995a, 1995b). Par rezistences iekļaušanas nozīmi selekcijas kritērijos liecina, piemēram, eksperimentu rezultāti Zviedrijā, kur visi *P. trichocarpa* × *P. deltoides* koki gāja bojā stumbra vēža dēļ, tajā pašā laikā 70% *P. trichocarpa* koku izdzīvoja (Christeresson, 2010). Tāpat stādmateriāla izvēlē jāņem vērā sugas, hibrīda un klona spēja piemēroties atšķirīgiem klimatiskajiem apstākļiem. Pētījumu rezultāti ASV liecina, ka pielāgošanās spējas un produktivitāti galvenokārt nosaka vides apstākļi māteskoka izcelsmes reģionā. Kontrolētu krustojumu (hibrīdu) ģimenēm lielāka produktivitāte ir gadījumos, kad to māteskoka izcelsmes reģionā temperatūra (gada un vasaras) un vasaras nokrišņu

daudzums ir augstāks nekā reģionā, uz kuru pārvietoti to pēcnācēji. Savukārt ģeogrāfiskajam attālumam starp hibrīda vecāku izcelsmes reģioniem nav būtiskas ietekmes uz pēcnācēju produktivitāti (Chhin, 2010). Par hibrīda īpašībām vispārīgi var spriest, ņemot vērā pētījumus un pieredzi citos reģionos, savukārt hibrīda klona izvēlei nepieciešamas pārbaudes konkrētajos apstākļos (klimatiskajā zonā), kur to plānots audzēt.

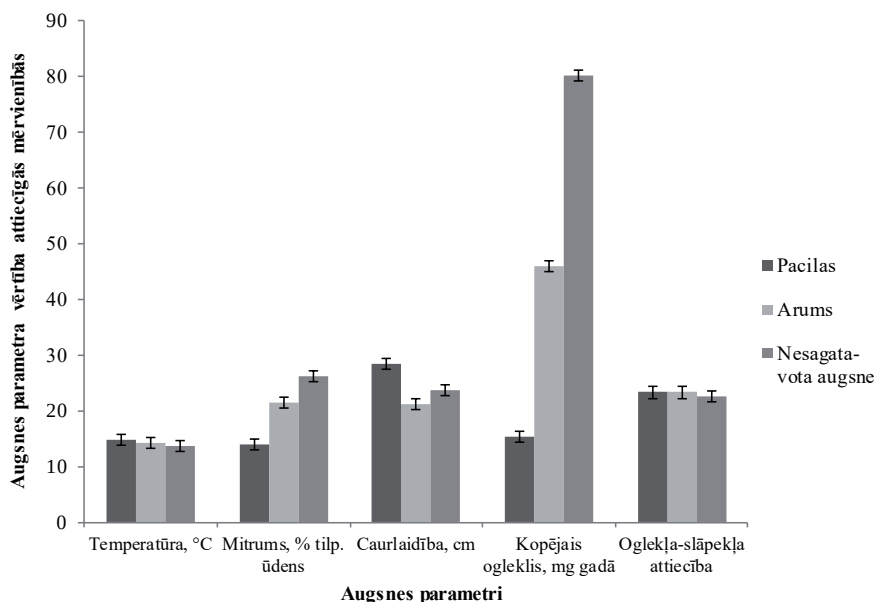
2.3. AUGSNES SAGATAVOŠANA

Augsnes sagatavošana ir svarīgs posms papeļu stādījuma ierīkošanā (Saliņš, 1971). Boreālajā zonā augsnes sagatavošanu lietderīgi veikt, lai paaugstinātu augsnes temperatūru (Landhäusser, 2009), kas uzlabo lapu, dzinum un sakņu augšanu (Landhäusser *et al.*, 2001).

Optimālais augsnes apstrādes dziļums atkarīgs no tās mehāniskā sastāva un izvēlētajā stādmateriāla veida un izmēra. Vecās atmatās un pļavās augsni pēc vienlaidus aršanas arī jākultivē blīvās zālaugu segas dēļ (Briedis, 1998). Augsnes apstrāde jāveic par 4–5 cm dziļāk nekā tiks stādīts spraudenis (Saliņš, 1971). No pirmajiem papeļu izmēģinājumu stādījumiem saglabājušās rekomendācijas augsni sagatavot vienlaidus 30–40 cm dziļumā rudenī, labvēlīgos augšanas apstākļos to var veikt arī laukumos (50 × 50 cm, 60 × 60 cm) 50–80 cm dziļi (Saliņš, 1971), citos literatūras avotos ieteikti 20 × 20 cm līdz 40 × 40 cm lieli laukumi, kas uzirdināti 20–25 cm dziļumā (Briedis, 1998).

Augsnes sagatavošana ietekmē tās īpašības: paaugstinās augsnes temperatūra un porainība, turpretī augsnes mitrums un kopējā oglekļa koncentrācija samazinās, oglekļa-slāpekļa attiecībai saglabājoties nemainīgai (9. attēls). Kopējā slāpekļa koncentrācija samazinās (no 3,44 līdz 0,80 mg gadā), toties palielinās augiem pieejamā slāpekļa koncentrācija (no 0,045 līdz 0,052 mg gadā) (Bilodeau-Gauthier *et al.*, 2011).

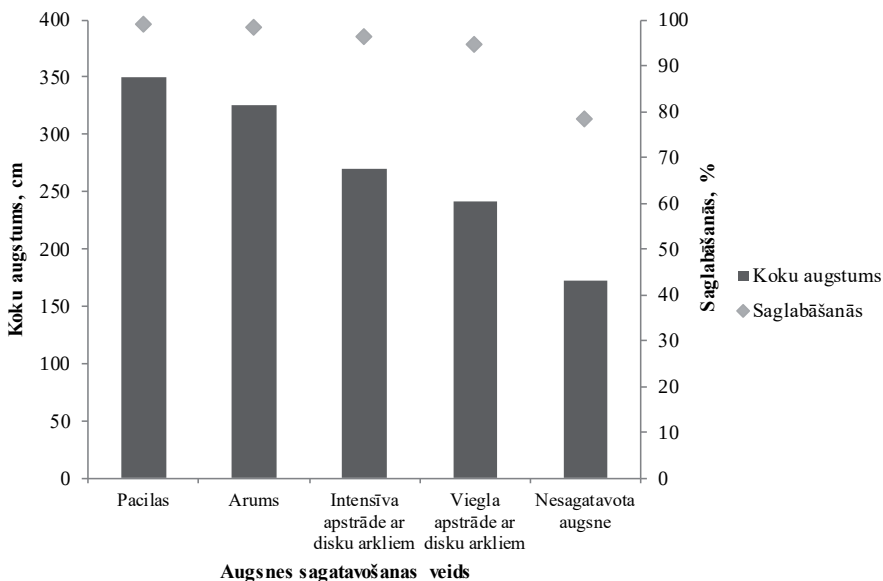
Citas īpašības, piemēram, augsnes skābums (pH), pirms un pēc augsnes sagatavošanas būtiski neatšķiras. Koku lapās kalcija un fosfora saturs attiecīgi bija 55–75 mg g⁻¹ un 13–16 mg g⁻¹, un šīs vērtības būtiski neietekmē augsnes apstrādes intensitāte, bet kālija (84–123 mg g⁻¹), magnija (14–21 mg g⁻¹) un slāpekļa saturu (13–15 mg g⁻¹) būtiski ietekmē augsnes sagatavošanas veids, un šīs vērtības ir lielākas apstrādātās augsnēs, nodrošinot straujāku koku augšanu (Bilodeau-Gauthier *et al.*, 2011).



9. attēls. Mehāniskās apstrādes ietekme uz augsnes parametru (temperatūra, mitrums, caurlaidība, kopējais ogleklis, oglekļa-slāpekļa attiecība) vērtībām ($\pm$ standartkļūda) (dati no Bilodeau-Gauthier *et al.*, 2011).

Papeļu augšanai vislabvēlīgāko vidi nodrošina augsnes sagatavošana pacilās, mazāk labvēlīgu – aršana vai apstrāde ar disku arkliem, bet vismazāk piemērota stādījuma ierīkošanai ir nesagatavota augsne (Bilodeau-Gauthier *et al.*, 2011). Augsnes sagatavošanas veids ietekmē arī koku saglabāšanos (10. attēls). Nesagatavotā augsnē stādītu koku atmirums sasniedz vairāk nekā 20%, turpretī sagatavotā augsnē tas ir mazāks par 6%.

Augsnes apstrāde būtiski paaugstina mēslošanas lietderību, nodrošinot labāku papeles sakņu attīstību (mēslojuma uzņemšanas iespējas) un minimālu citu augu klātbūtni (mazāku konkurenci par barības vielām). Vēl jo vairāk – ne mēslošana, ne konkurējošās veģetācijas ierobežošana nespēj aizstāt augsnes sagatavošanu. Parauglaukumos nesagatavotā augsnē koki bija būtiski zemāki un ar mazāku krūšaugsstuma caurmēru (Bilodeau-Gauthier *et al.*, 2011) nekā tajos parauglaukumos, kur veikta augsnes sagatavošana un agrotehniskā kopšana (10. attēls).



Agrotehniskā kopšana (veģetācijas pļaušana) visās platībās veikta 2., 3. un 4. gadā.

10. attēls. Koku augstums un saglabāšanās 5 gadu vecumā platībās ar atšķirīgu augsnes sagatavošanas veidu (dati no Bilodeau-Gauthier et al., 2011).

2.4. STĀDMATERIĀLA VEIDA IZVĒLE UN TĀ UZGLABĀŠANA

Visbiežāk izmantotie stādmateriāla veidi ir spraudeņi un kailsakņu stādi (Isebrands, 2007; Heinsoo, 2008). Ietvarstādi ieteicami tikai apsēm un to hibrīdiem, jo to spraudeņu apsākņošanās ir apgrūtināta (Isebrands, 2007). Papeļu reproduktīvais materiāls (spraudeņi, stādi) ir lētāks par apšu hibrīdu *P. tremula* × *P. tremuloides* stādiem, kuru pavairošanai izmanto audu kultūru metodi (Tullus et al., 2013).

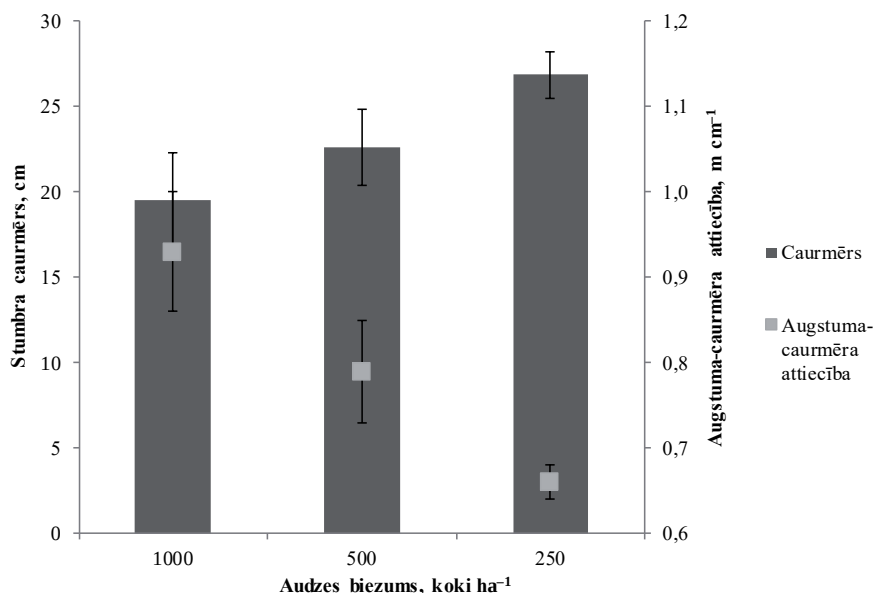
Literatūrā atrodamas dažādas rekomendācijas stādmateriāla izmēriem. Resnākie spraudeņi un kailsakņu stādi kopumā sākotnēji aug straujāk (Isebrands, 2007), tādēļ ātrāk pārsniedz zemsedzes veģetācijas augstumu, samazinot agrotehniskās kopšanas nepieciešamību. Tomēr nav viennozīmīga viedokļa ne par vēlamo spraudeņu diametru, ne garumu. Spraudeņu garums būtiski ietekmē pirmā gada pieaugumu; to rekomendē robežās no 25 līdz 30–45 cm (Isebrands, 2007). Jaunāki pētījumi norāda uz vēl garāku spraudeņu izmantošanas lietderību, jo pirmā gada augstuma pieaugums 50 cm gariem spraudeņiem ir par 30–50% lielāks nekā 30 cm gariem spraudeņiem (Šēnhofa *et al.*, 2018). Īpaši nozīmīga garu spraudeņu izmantošana ir strauji aizzeļošanās platībās. Ieteiktais diametrs svārstās no 1–2 cm (Isebrands, 2007), 1–3 cm (Boysen, Strobl, 1991) un 2,5–4,5 cm (Mangalis, 1971).

Spraudeņi kokaudzētavās tiek sagatavoti no decembra līdz martam. Šāds sagatavošanas laiks nodrošina, ka pumpuri atrodas miera stāvoklī (snaudoši). Līdz stādīšanai spraudeņi jāuzglabā no –2 līdz +4°C temperatūrā, izvairoties no tiešas saules gaismas (Isebrands, 2007; Heinsoo, 2008). Tos var turēt plastmasas maisos vai kartona kastēs, nodrošinot gaisa piekļuvi – tādējādi tiek samazināts mitruma zudums un vienlaikus pelēšanas risks (Heinsoo, 2008). Spraudeņi vienmēr jāuzglabā, ievērojot augšējās un apakšējās daļas novietojumu (Isebrands, 2007), lai spraudenī nesāktu pārvietoties dažādi bioloģiski aktīvie savienojumi, kas atbild par sakņu un dzinum veidošanu (Heinsoo, 2008). Ieteicams 5–7 dienas pirms stādīšanas spraudeņus novietot istabas temperatūrā, to apakšdaļu ($\frac{3}{4}$ no garuma) turot apēnojumā (Pliura *et al.*, 2007). Spraudeņi ir gatavi stādīšanai, kad pumpuri kļūst zaļi un sāk augt saknes (Isebrands, 2007). Lai paātrinātu plaukšanu un papildinātu mitruma krājumu, spraudeņus 1–2 dienas pirms stādīšanas var novietot ūdenī. Gadījumos, kad pēc stādīšanas tiek prognozēts sauss laika periods, ir lietderīgi spraudeņus pirms stādīšanas turēt ūdenī ilgāku laiku (Heinsoo, 2008). Spraudeņi jāstāda, ievērojot augšējās un apakšējās daļas novietojumu (Isebrands, 2007), un papēļu spraudeņiem jābūt vismaz 1–3 veselīgiem pumpuriem virs zemes (Isebrands, 2007; Heinsoo, 2008).

2.5. STĀDĪŠANAS LAIKS UN BIEZUMS

Stādīšana veicama pavasarī, kad diennakts vidējā gaisa temperatūra sasniedz $+5^{\circ}\text{C}$. Nokavējot stādīšanas laiku, pumpuri sāk strauji plaukt, bet spraudēni apsakņojas sliktāk un pumpuru un lapu transpirācijas dēļ zaudē būtisku daļu mitruma (Heinsoo, 2008). Agrāka stādīšana ļauj izmantot sniega kušanas ūdeņus (Heinsoo, 2008), tomēr citu valstu pieredze brīdina par paaugstinātu salnu bojājumu varbūtību (Isebrands, 2007).

Stādu vai spraudēju stādīšanas attālumi (tātad – sākotnējais koku skaits uz hektāra jeb biežums) atkarīgi gan no klimatiskajiem un augsnes apstākļiem, gan mērķa produkcijas, kas savukārt nosaka aprites periodu un apsaimniekošanas plānā paredzamās mežsaimnieciskās darbības. Aprites perioda noteikšana ir sarežģīta, jo maksimāli lielu dimensiju koku iegūšana saistīta ar riskiem – sakņu trupi, vēja radītiem bojājumiem un stumbra vēzi, turklāt riski palielinās līdz ar koku vecumu (Christeresson, 2010). Stādot augsnē ar augstu erozijas risku, piemērots lielāks sākotnējais stādīšanas biežums, kas pakāpeniski jāsamazina kopšanas cirtēs (National Poplar and Willow Users Group, 2007). Papeles ir saulmīles (Saliņš, 1971; Isebrands, 2007), un visstraujāk tās aug, ja vainagi izvietoti brīvi (Saliņš, 1971). Ir pierādīts, ka audzes ierīkošanas biežums būtiski iespaido koku augšanu un audzes produktivitāti (Zobel, van Buijtenen, 1989). Biezās audzēs ir ierobežota koku dimensiju augšana, savukārt mazs sākotnējais biežums nodrošina lielākas katra individuāla koka dimensijas, bet mazāku audzes kopējo krāju. Piemēram, Zviedrijā audze, kas ierīkota, stādot 2500 kokus ha^{-1} , 16 gadu vecumā sasniegusi krāju $500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, bet cita audze, stādot 410 kokus ha^{-1} , – uz pusi mazāku krāju tādā pašā vecumā (Christeresson, 2010). Lielāka atsevišķam kokam pieejamā platība nodrošina ne vien augstāku radiālo pieaugumu (Jiang *et al.*, 2007), bet arī plašākas aprites perioda izvēles iespējas īpašniekam: gadījumā, ja augošu koku cena ir zema, īpašnieks var atļauties vairākus gadus nogaidīt un neveikt galveno cirti (Nervo *et al.*, 2011). Ķīnā veikta pētījuma rezultāti par *P. xaohei* augšanu dažāda biežuma stādījumos (11. attēls) parāda būtisku biežuma ietekmi ne tikai uz koku radiālo augšanu un vainaga izmēru (zemāka biežuma audzēs koki veido lielāku stumbra caurmēru

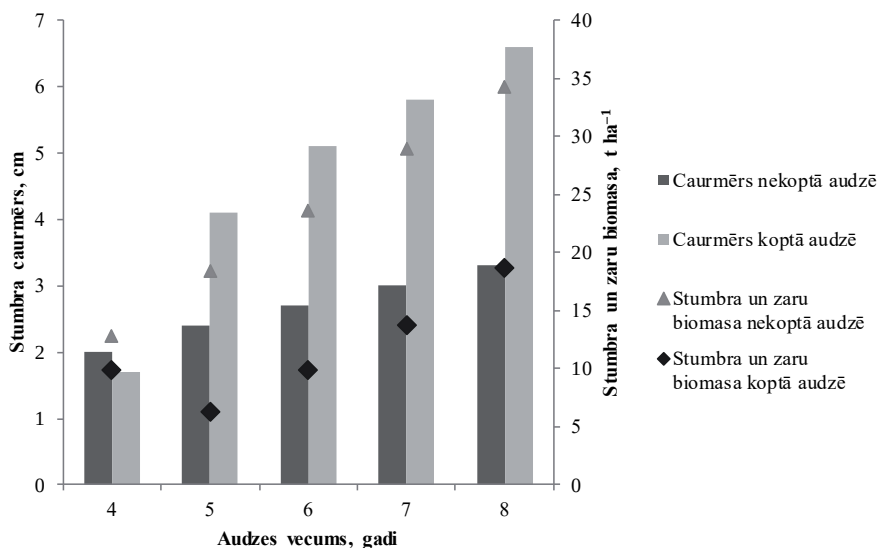


11. attēls. Vidējais stumbra caurmērs un augstuma-caurmēra attiecība ($\pm$ standartnovirze) *P. xiaohei* audzēs atkarībā no biežuma (dati no Jiang *et al.*, 2007).

un vainagu), bet arī uz stumbra formu – stumbra raukumu (cm m^{-1}) un augstuma-caurmēra attiecību stādījumos (Jiang *et al.*, 2007).

Stādot kokus nelielos savstarpējos attālumos (biežums 5000 koki ha⁻¹), tekošā ikgadējā pieauguma kulminācija tiek sasniegta agrāk, aprites periods ir īsāks, vienlaikus koku dimensijas ir mazākas nekā zemāka biežuma stādījumos (1000 koki ha⁻¹). Mazu dimensiju kokmateriālu izmantošanas iespējas ir ierobežotas – tie piemēroti enerģētiskajai koksnei (Karačić, 2005) vai ķīmiskai pārstrādei. Eiropas dienvidu daļā (Saliņš, 1971) un Ķīnā (Jiang *et al.*, 2007) stāda ne vairāk kā 500 kokus ha⁻¹, atsevišķos gadījumos tikai 250 kokus ha⁻¹, neveicot kopšanas cirtes un nosakot 15 gadu aprites periodu. Itālijā finiera ieguvei ierīkotās audzēs sākotnēji stādīja no 300 līdz 330 kokiem ha⁻¹, tagad skaits samazināts uz 280 kokiem ha⁻¹ (stādīšanas shēma 6 × 6 m). Veidojot tik zema biežuma stādījumus, tiek realizēta mērķtiecīga augošu koku atzarošana (Ulloa, Villacur, 2005;

Nervo *et al.*, 2011). ASV Minesotas štatā ieteicamais stādīšanas attālums apaļkoksnes ieguvei ir $2,5 \times 3,5$ m vai $3,5 \times 3,5$ m, kas atbilst attiecīgi 1150 vai 820 kokiem ha^{-1} , ja netiek plānota kopšanas cirte, un $1,8 \times 3,5$ m vai $1,8 \times 3,0$ m, veicot kopšanas cirti 5–6 gadu vecumā (Isebrands, 2007). Ziemeļeiropā (Rytter *et al.*, 2011b) rekomendē stādīšanas attālumu $3,6 \times 3,6$ m un $2,5 \times 2,5$ m, kas atbilst attiecīgi 800 un 1600 kokiem ha^{-1} , plānojot kopšanas cirti 10–15 gadu vecumā. Latvijā stādīšanas attālums 5×3 m (660 koki ha^{-1}) vai 5×4 m (500 koki ha^{-1}) ieteikts, neplānojot kopšanas cirti, bet stādīšanas attālums 3×3 m vai $3 \times 2,5$ m ieteikts, lai kopšanas cirtē iegūtu sīkbaļķus un malku (Briedis, 1998). Apšu hibrīdu stādījumu ierīkošanai Latvijā rekomendē 1100 kokus ha^{-1} (stādīšanas shēma 3×3 m) pirmajā aprites periodā, plānojot kopšanas cirti 12 līdz 15 gadu vecumā, vai arī – neveicot to. Labos augšanas apstākļos koku skaitu var samazināt līdz 800 kokiem ha^{-1} , neparedzot kopšanas cirtes (Zeps, 2017).



Nekopta audze – audzes biezums (atvašu skaits) 4 gadu vecumā 22 053 koki ha^{-1} , kopta audze – audzes biezums pēc atvašu skaita samazināšanas (agrotehniskās kopšanas) 4. sezonas rudenī 2472 koki ha^{-1} .

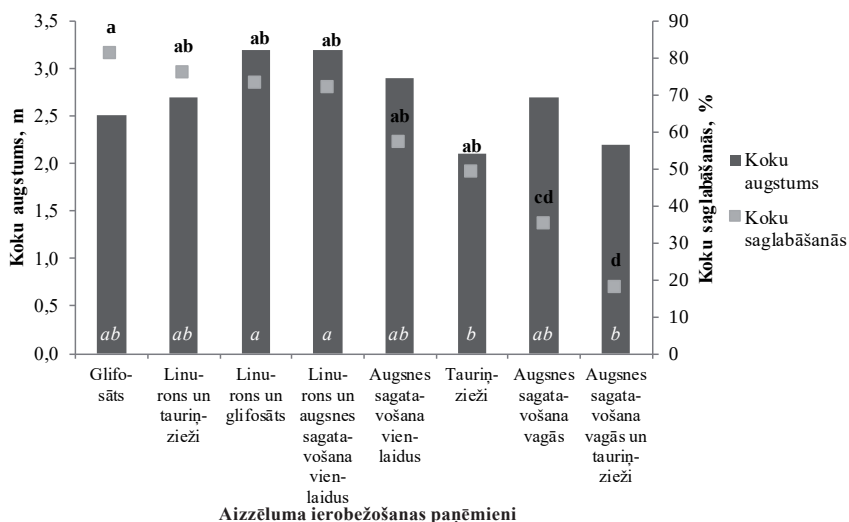
12. attēls. Populus tremuloides atvašu stumbra caurmērs un biomasa nekoptā un koptā audzē (dati no Hocker, 1982).

Pirmajos augšanas gados veikta koku skaita samazināšana jeb retināšana rada līdzīgu ietekmi kā mazāks sākotnējais stādīto koku skaits. Kanādā papēļu atvasājā pētīta stādīšanas attālumu palielināšanas ietekme uz stumbra, zaru un lapu biomasu (Hocker, 1982). Jaunaudžu kopšanā samazinot sākotnējo koku skaitu, koku augstums un stumbra caurmērs bija būtiski un ievērojami lielāks nekā nekoptajā platībā, bet stumbra un zaru biomasu uz hektāra – ievērojami mazāka (12. attēls).

2.6. AGROTEHNISKĀ KOPŠANA

Jebkāda veida konkurence pasliktina spraudņu iesaigāšanos, pazeminot saglabāšanos (Pliura *et al.*, 2007). Šāda konkurence ar apkārtesošo veģetāciju par gaismu un barības vielām ir tipiska problēma, kas ietekmē papēļu augšanu pirmajos gados pēc stādījuma ierīkošanas, būtiski samazinot koku pieaugumu (Hansen *et al.*, 1984) un līdz ar to arī krāju (Isebrands, 2007; Heinsoo, 2008).

Veģetācijas radīto konkurenci samazina, pirms stādīšanas veicot augsnes sagatavošanu (Pliura *et al.*, 2007; Bilodeau-Gauthier *et al.*, 2011). Turpmāku veģetācijas ierobežošanu var veikt mehāniski – platību pļaujot, augsni irdinot, frēzējot, ravējot. S. Saliņš (1971) rekomendē mehānisku rindstarpu irdināšanu pirmajos 2–3 gados, katru vasaru 2–3 reizes. Augsnes apstrāde vagās vai vienlaidus tauriņziežu audzēšana zemsedzē sniedz nepietiekami efektīvu risinājumu veģetācijas konkurences mazināšanai (Hansen *et al.*, 1984). Efektīvāka ir augsnes vienlaidus apstrāde un/vai herbicīdu izmantošana (13. attēls). Izmantojot herbicīdus veģetācijas ierobežošanai, iegūstama no 15% līdz pat 24% augstāka spraudņu saglabāšanās, un tā ir būtiski efektīvāka metode nekā augsnes sagatavošana vagās (Hansen *et al.*, 1984). Taču jāņem vērā, ka herbicīdi var atstāt negatīvu ietekmi arī uz kokiem (Byrnes *et al.*, 1978), jo papeles var būt jutīgākas pret specifiskiem herbicīdiem nekā ierobežojamās nezāles (Michler, Haissing, 1988). Plaša spektra herbicīdu izmantošana aktīvajā augšanas periodā var izraisīt arī koku bojāeju (Akinyemiju, Dickmann, 1982). Aktīvi augošām papelēm kaitējumu rada pat niecīgas glifosāta devas kontakt-saskarē – glifosāta skartajiem kokiem redzamas brūnganas lapas un «neveselīgs» izskats (Hansen *et al.*, 1984). Turpretī papeles netiek ietekmētas caur augsni miera periodā, kā arī caur mizu netiek bojāti koki, kas vecāki



Atšķirīgi burti norāda statistiski būtiskās atšķirības ($\alpha = 0,05$): slīprakstā – koku augstumam, treknrakstā – saglabāšanās.

13. attēls. Koku saglabāšanas īpatsvars un augstums pēc otrās augšanas sezonas (dati no Hansen *et al.*, 1984).

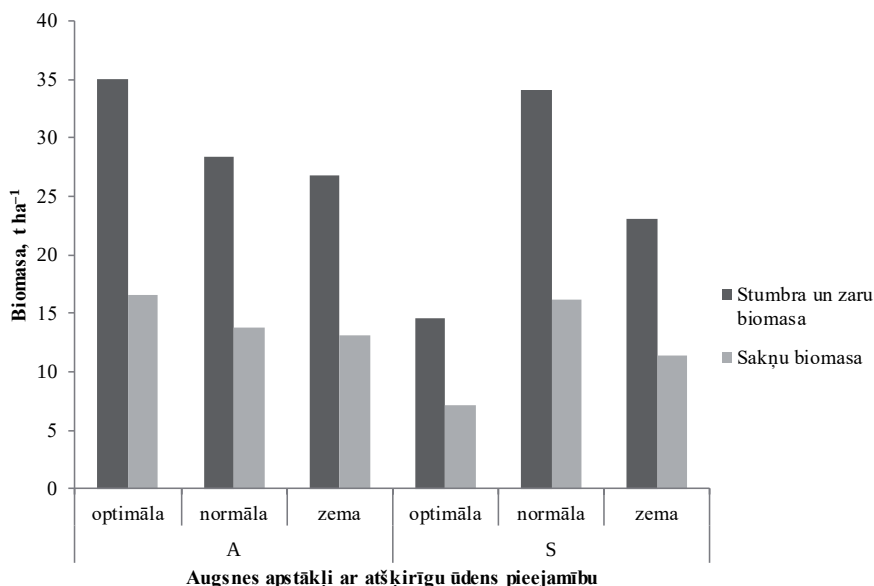
par gadu (Akinyemiju *et al.*, 1982). Dažu herbicīdu ietekme var izpausties specifiskos apstākļos, piemēram, tiem ieskalojoties koku sakņu zonā (Hansen *et al.*, 1984).

Kā viens no labākajiem veģetācijas ierobežošanas veidiem, izmantojot herbicīdus, senāk tika rekomendēta augsnes apstrāde ar linuronu pirms stādīšanas, kam vasaras otrajā pusē seko apstrāde ar glifosātu. Šajā gadījumā apstrāde ar linuronu ļauj novilcināt glifosāta izmantošanu, mazinot koku bojājumu risku herbicīda pielietošanas laikā (Hansen *et al.*, 1984).

Veģetācijas ierobežošanai var pielietot mulčēšanu, tomēr tā var samazināt arī pH līmeni augsnē (Heinsoo, 2008). Kā mulču var izmantot zāģskaidas, šķeldu, mizas, bet nav ieteicams lietot salmus, jo tie rada piemērotu vidi pelņveidīgajiem grauzējiem. Mulčas slānim jābūt vismaz 7–10 cm biezam, lai zālaugi nespētu to cauraut. Mulčas materiāls sadaloties patērē slāpekli, tādēļ to vēlams lietot kopā ar šo elementu saturošu mēslojumu (Isebrands, 2007). Kad koku sakņu sistēma ir attīstījusies, piemērota ir veģetācijas mehāniskā ierobežošana plaujot, jo ķīmiskā apstrāde var nelabvēlīgi ietekmēt koku saknes augsnes virsējā slānī (Laureysens *et al.*, 2005; Isebrands, 2007).

2.7. APŪDEŅOŠANA

Intensīva augšana papelēm saistīta ar paaugstinātu ūdens patēriņu. Ūdens nepieciešamību nosaka tā loma šūnu sastāvā, transpirācijā, barības vielu un oglekļa transportēšanā, fotosintēzē (Dickmann *et al.*, 2001). Apūdeņošana var palielināt papeļu koksnes krāju līdz pat 50% (Isebrands, 2007). Papeļu audzes, kas vecākas par 5 gadiem, var uzņemt vairāk nekā 1000 mm ūdens gadā (Dickmann *et al.*, 2001). Dienas vidū 5 gadus veca papele var izmantot 10–15 litrus ūdens stundā, kopējais ūdens patēriņš var būt no 20 līdz 51 litram ūdens diennaktī, atkarībā no koku lieluma un



Augšnes apstākļi: A un S ar attiecīgi 12,3% un 0,7% māla daļiņu saturu. Ūdens pieejamība: optimāla – nav limitēta; normāla – nav veikta apūdeņošana, bet saknēm pieejams gruntsūdens; zema – nav veikta apūdeņošana un nav pieejams gruntsūdens.

14. attēls. Pieejamā ūdens daudzuma ietekme uz papeļu biomasu
(dati no Deckmyn *et al.*, 2004).

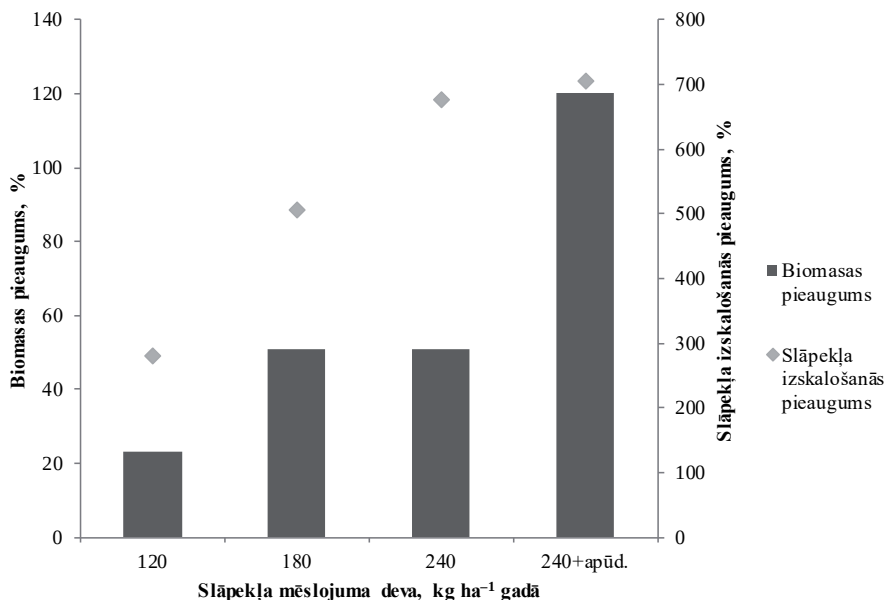
vides apstākļiem (Dickmann *et al.*, 2001). Beļģijā veiktā pētījumā (Deckmyn *et al.*, 2004) papeļu stādījuma apūdeņošana koku biomasu palielināja par 25% (līdz 15,5 t ha⁻¹ gadā), ņemot vērā, ka normālos apstākļos pieejamā ūdens daudzums ir zem optimālā. Apūdeņotajām papelēm pieejamais ūdens daudzums bija 750 mm gadā, bet vidējais nokrišņu daudzums Beļģijā ir 720 mm gadā. Ja kokiem pieejami tikai nokrišņi bez gruntsūdeņiem, to produktivitāte ir zemāka (14. attēls). Tomēr, lai gan apūdeņošana stimulē augšanu, tās efektivitāti nosaka slāpekļa saturs augsnē, jo līdz ar straujāku koku augšanu palielinās arī nepieciešamais slāpekļa apjoms (Deckmyn *et al.*, 2004).

2.8. MĒSLOŠANA

Mēslošana ir svarīgs priekšnosacījums, lai *Populus* stādījumi sasniegtu maksimālo produktivitāti (Isebrands, 2007) un noturību pret dendrofāgajiem kukaiņiem un slimībām (Saliņš, 1971). Tā tiek veikta intensīvi un ar salīdzinoši lielām devām (Mangalis, 1971). Gadījumos, kad papelēm trūkst barības vielu vai ūdens, to augšanas ātrums būtiski samazinās; nepietiekama mitruma apstākļos mēslošanas efekts ir niecīgs (Isebrands, 2007).

Efektīvākais un ekonomiski izdevīgākais veids mēslošanas nepieciešamības noteikšanai ir augsnes un lapu ķīmiskās analīzes. Mēslošanu nepieciešams veikt, ja slāpekļa daudzums lapās ir zemāks par 2% (Isebrands, 2007). Balkānu valstīs papeļu stādījumos uz 1 ha iestrādā 150–200 kg kālija un 150–250 kg slāpekļa minerālmēsli gadā, bet, sākot ar 7 gadu vecumu, slāpekļa deva tiek divkārsota, bet kālija mēslojumu lieto vēl divas reizes plantācijas audzēšanas laikā (Mangalis, 1971). ASV tiek ieteikts lietot 130–140 kg ha⁻¹ amonija nitrāta, ja konstatēts barības vielu deficīts (Isebrands, 2007).

Mēslošana palielina biomasu jauniem kokiem, un līdz ar to arī sagaidāmo krāju aprites periodā (Deckmyn *et al.*, 2004). Lietojot mēslojumu, sezonā augstuma pieaugums palielinās par 30% (Bilodeau-Gauthier *et al.*, 2011), citos pētījumos pat par 62% (Czapowskyj, Safford, 1993). Tomēr pārāk augstas mēslojuma devas var radīt pastiprinātu slāpekļa izskalošanos (15. attēls). Lietojot salīdzinoši nelielu mēslojuma devu un stādījumu neapūdeņojot, iespējams iegūt biomasas pieaugumu līdz 12,4 t ha⁻¹ gadā.



Mēslošana veikta ar devu 60, 120, 180 vai 240 kg ha⁻¹ slāpekļa gadā, vienā gadījumā (240+apūd.) veikta apūdeņošana, nodrošinot augsnes mitruma līmeni virs 80%.

Biomassas un slāpekļa izskalošanās pieaugums novērtēts, par 100% pieņemot vērtības pie mēslošanas devas 60 kg ha⁻¹ slāpekļa gadā.

*15. attēls. Slāpekļa mēslojuma un apūdeņošanas ietekme uz papeļu tekošo
ikgadējo biomasas pieaugumu un slāpekļa izskalošanos
(dati no Deckmyn et al., 2004).*

Mēslošana biomasu palielina par 26%, apūdeņošana par 25%, savukārt mēslošana un apūdeņošana kopā iegūstamo biomasu palielina līdz 22,45 t ha⁻¹ gadā (Deckmyn et al., 2004).

Īsirtmeta koksnes atvasājus iespējams veidot kā daudzfunkcionālas sistēmas, iegūstot ne tikai koksnes resursus, bet arī izmantojot tos piesārņotu notekūdeņu un to dūņu attīrīšanai, kas vienlaikus ir arī mēslojums kokiem (Foellner, 2008). Sarūkošais fosfora daudzums visā pasaulē ietekmēs mēslošanas līdzekļu cenas un var veicināt fosfora deficītu intensīvi audzējamo pārtikas produktu un to mēslojuma pieprasījuma dēļ. Sadzīves notekūdeņi un to dūņas satur lielu daudzumu tādu augiem nepieciešamu barības elementu kā slāpekļi un fosfors, bet

organiskā un neorganiskā piesārņojuma līmenis tajos parasti ir zems. Vides un higiēnas prasību nodrošināšanai notekūdeņu dūņu izmantošanu lauksaimniecības zemēs strikti regulē Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 91/676/EEK par maksimālo pieļaujamo barības vielu daudzumu un Direktīva 86/278/EEK par pieļaujamo piesārņojuma līmeni (Foellner, 2008). Tā kā koksne netiek izmantota pārtikas rūpniecībā, īscirtmeta stādījumos ir samazināts risks smago metālu nokļūšanai pārtikā. Līdz ar to sadzīves notekūdeņi var būt ekonomiski pamatots, alternatīvs mēslošanas veids īscirtmeta atvasājos (Foellner, 2008). Tomēr jāatceras, ka Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2004/35/EK nosaka, ka dalībvalstu zemes īpašniekiem, kuru darbība var būtiski pasliktināt augsnes funkcijas, jāveic piesardzības pasākumi, lai mazinātu savas darbības negatīvo ietekmi (Klasa, 2008). Tātad, plānojot papeļu mēslošanu ar notekūdeņu dūņām, jāņem vērā informācija par to ķīmisko sastāvu.

Notekūdeņu un to dūņu izmantošana apūdeņošanā un mēslošanā:

- 1) palielina biomasas ražošanu nabadzīgās augsnēs;
- 2) kokiem uzņemot slāpekli, fosforu u.c. ķīmiskos elementus, samazina notekūdeņu attīrīšanas izmaksas;
- 3) atgriež barības vielas no digestāta, radot pozitīvu ietekmi uz vidi, līdz ar to mazāks daudzums piesārņojošo vielu nonāk ūdenskrātuvēs;
- 4) aizstāj kultūru audzēšanai nepieciešamo apūdeņošanas ūdeni, īpaši reģionos ar ierobežotu tīrā ūdens pieejamību;
- 5) izslēdz smagos metālus no barības ķēdes, ja pēc koksnes sadedzināšanas pelni tiek deponēti atkritumu poligonā.

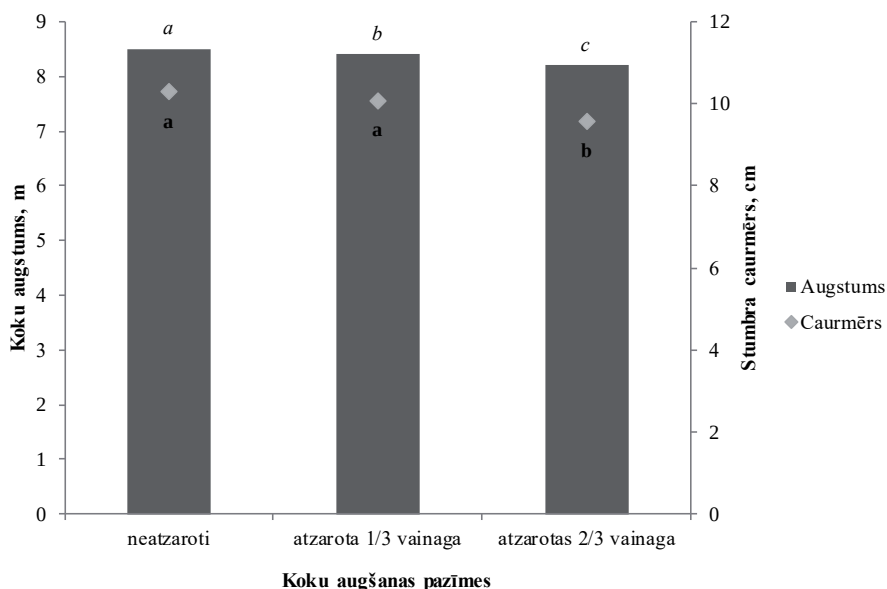
Populus stādījumā Latvijā, kas kultivēts agromežsaimniecības sistēmā un mēslots ar biogāzes ražošanas atlikumiem, notekūdeņu dūņām un koksnes pelniem, piecu gadu laikā pēc mēslošanas slāpekļa izskalošanās samazinājās par 99,6%, fosfora izskalošanās – par 97,1%, bet kālija jonu izskalošanās – par 76,5% (Bardule *et al.*, 2018).

Latvijā mēslojuma izmantošana papeļu stādījumos veicama atbilstoši Mēslošanas līdzekļu aprites likumam un saistošajiem Ministru kabineta noteikumiem (www.likumi.lv).

2.9. ATZAROŠANA

Augošu koku atzarošana tiek veikta, lai iegūtu bezzarainu koksni no stumbra vērtīgākās daļas (Hubert, Courraud, 2002) un stimulētu koka augšanu garumā (Pinkard *et al.*, 2004; Shock *et al.*, 2005). Koku fizioloģiskā atbildes reakcija uz atzarošanu ir paaugstināta fotosintēzes intensitāte (Maurin, DesRochers, 2013), pastiprināta jaunu lapu veidošana (Tschaplinski, Blake, 1994), tādējādi kompensējot vainaga daļas zudumu. Atzarošana izraisa slāpekļa koncentrācijas palielināšanos lapās un samazina kopējo vienkāršo ogļhidrātu daudzumu saknēs (Maurin, DesRochers, 2013). Turklāt šīs izmaiņas spēcīgāk izpaužas kokiem, kas atzaroti vasarā, nevis pavasarī vai rudenī (Maurin, DesRochers, 2013).

Atzarošanu neiesaka veikt ziemas miera periodā, jo tad rētu dzīšana ir lēnāka un koku aizsargspējas zemākas (Dujesiefken *et al.*, 2005). *A.L. Shigo* (1989) atzarošanu iesaka veikt ziemas beigās, kad koku aizsargsistēma sāk kļūt aktīva, bet ogļhidrātu rezerves vēl nav izsīkušas. Rezultātā brūces dzīst strauji, neļaujot kokam inficēties ar slimībām (Soutrenon, 1995). Lai rētas ātri sadzītu un no snaudošajiem pumpuriem neveidotos jauni zari, citi autori atzarošanu iesaka veikt pavasarī vai vasaras sākumā (Saliņš, 1971; Isebrands, 2007). Atzarošanu lietderīgi veikt tikai vērtīgākajiem jeb mērķa kokiem (Isebrands, 2007). Atzarošanas laiku, t.i., koku vecumu atzarošanas brīdī, kā arī paņēmieni skaitu nosaka klona produktivitāte un zaru resnums. Pirmo atzarošanu nepieciešams veikt, pirms apakšējo (atzarojamo) zaru diametrs sasniedzis 2 cm. Piemēram, Itālijā stādījumā, kas ierīkots finierkluču iegūšanai, pirmo atzarošanu veic jau otrajā gadā pēc iestādīšanas (Ente Nazionale per la Cellulosa e per la Carta, 1994). Atzarošanas laikā ieteicams veikt arī vainaga korekciju, t.i., izgriezt dubultgalotnes vai sānarus, kuri varētu konkurēt ar galotni. Kanādā rekomendē papeļu hibrīdus atzarot 6–7 m augstumā, 3–5 paņēmienos, atkarībā no koku augstuma, katrā paņēmienā atzarojot $\frac{1}{3}$ zaļā vainaga (Fortier *et al.*, 2011). Līdzīgi citā pētījumā (Maurin, DesRochers, 2013) konstatēts, ka, atzarojot $\frac{2}{3}$ no vainaga, atzarotajiem kokiem augstums bija statistiski būtiski mazāks nekā neatzarotajiem gan pirmajā gadā, gan otrajā (16. attēls) pēc atzarošanas. Līdzīgi rezultāti novēroti arī stumbra caurmēram, vienīgi šai pazīmei samazinājums pirmajā gadā pēc atzarošanas nebija statistiski būtisks.



Atšķirīgi burti norāda statistiski būtiskās atšķirības ($\alpha = 0,05$): slīprakstā – koku augstumam, treknrakstā – stumbra caurmēram.

16. attēls. Atzarošanas intensitātes ietekme uz koku augstumu un caurmēru otrajā gadā pēc atzarošanas (dati no Maurin, DesRochers, 2013).

Turpretī, atzarojot $\frac{1}{3}$ vainaga, ietekme uz koku augstumu un caurmēru bija mazāka: pirmajā gadā pēc atzarošanas tā nebija statistiski būtiska nevienai no abām pazīmēm, bet otrajā gadā – atzaroto koku caurmērs saglabājās līdzvērtīgs, tomēr augstums bija būtiski mazāks salīdzinājumā ar neatzarotajiem kokiem. Netika konstatētas būtiskas atšķirības starp kloniem, un to atbildes reakcija uz atzarošanu bija līdzīga. Koki pirmās divas sezonas pēc atzarošanas ir jutīgāki pret nelabvēlīgu faktoru (piemēram, ilgstoša sausuma) ietekmi. Konstatēta būtiska mijiedarbība starp atzarošanas intensitāti un sezonu, kurā tā veikta. Par piemērotāko atzarošanas metodi un sezonu, nodrošinot bezzarainu koksni un vienlaikus būtiski neietekmējot papeļu hibrīdu augšanas rādītājus un fizioloģiskos procesus, atzīta $\frac{1}{3}$ vainaga atzarošana vasarā – jūlijā (Maurin, DesRochers, 2013).

2.10. ATJAUNOŠANA PĒC GALVENĀS CIRTES

Papeļu audzēšanas mērķis – enerģētiskās koksnes vai apaļkoku ieguve – nosaka arī darbības, kas veicamas pēc mežizstrādes.

Visām *Populus* ģints sugām piemīt spēja atjaunoties ar atvasēm pēc stumbra bojāejas vai mežizstrādes. Atvašu augšanu ietekmē dažādi faktori, tai skaitā koku suga (hibrīds, klons), stumbra dimensijas un vecums, augšanas apstākļi un sezona, kurā tiek veikta galvenā cirte (Lust, Mohammady, 1973). Dažas *Populus* sugas (*Aigeiros*) veido stumbra atvases, citas – sakņu atvases (apses), un vēl citas veido gan stumbra, gan sakņu atvases (piemēram, baltā un melnā papele) (Dickmann *et al.*, 2001). Atvašu veidošanos būtiski ietekmē klons: pētījumā Zviedrijā konstatēts, ka pēc otrās sezonas aptuveni 50% klonu atvases bija izveidojušās 100% celmu, bet 20% klonu – mazāk kā 50% celmu (McCarthy *et al.*, 2012). Atvašu veidošanās efektīvāk noris audzēs, kas izstrādātas pirms 10 gadu vecuma sasniegšanas (Stanturf *et al.*, 2001). Sastopama pretrunīga informācija par celma augstuma ietekmi uz atvašu veidošanos. J.G. Isebrands (2007) iesaka mežizstrādes laikā atstāt pēc iespējas zemākus celmus, lai veicinātu atvašu veidošanos, savukārt citos pētījumos (Crist *et al.*, 1983; Strong, Zavitkovski, 1983) konstatēts, ka augstākiem celmiem veidojas vairāk atvašu nekā zemākiem. Arī celma caurmēram ir būtiska ietekme uz atvašu veidošanos. Pētījumā Zviedrijā (klons OP 42, *P. trichocarpa* un 2 nezināmi kloni) celmiem, kuru caurmērs mazāks nekā 20 cm, veidojās mazāk nekā 20 atvases no celma, bet celmiem, kuru caurmērs lielāks nekā 20 cm, atvašu skaits variēja no 1 līdz 68 (Johansson, Hjelm, 2012). Izpētīts, ka atvašu veidošanos veicina mežizstrāde fizioloģiskajā miera periodā (ziemā) (Isebrands, 2007; Carboni, 2008). Veģetācijas perioda laikā izstrādātās audzēs atvašu veidošanos kavē zemais cietes un šķīstošo ogļhidrātu saturs saknēs (Johansson, 1993). Gadījumos, kad audze tiek izstrādāta vasaras periodā, pieaug sausuma radītā stresa varbūtība, turklāt gan atvases, gan sakņu sistēma var iet bojā (Dickmann *et al.*, 2001). Nepieciešamības gadījumā iespējama atvasāja papildināšana (Blake, 1983), tomēr papildinātie koki ir ar mazāku caurmēra pieaugumu, kā arī tiem vērojama zemāka saglabāšanās (Laureysens *et al.*, 2005). Vidēji atvašu

augšana pirmajos 2–5 gados pēc koka nociršanas ir straujāka nekā stādu vai spraudņu augšana, un to nodrošina ogļhidrātu rezerves nocirstā koka sakņu sistēmā (Dickmann *et al.*, 2001; Isebrands, 2007).

Atvasāju izmantošana produkcijas iegūšanai otrajā aprītē *Populus* sugām, kas veido celmu atvases, ir iespējama, tomēr to rekomendē tikai gadījumos, kad pirmajā aprītes periodā audzēšanas mērķis bijis enerģētiskās koksnes ieguve, un celmu diametrs nepārsniedz 8 cm (Ente Nazionale per la Cellulosa e per la Carta, 1994). Gadījumos, kad pirmajā aprītē audzēšanas mērķis bijis apaļkoku sortimentu iegūšana, tātad stādījuma biežums bijis zems un individuālu koku dimensijas lielas, veidot otro aprīti no celmu atvasēm nerekomendē. Kaut gan atvašu veidošanās šādās platībās notiek un pirmajos gados vērojams straujš augstuma un caurmēra pieaugums, tomēr atvases savienojums ar veco celmu bieži ir neizturīgs, tāpēc, sasniedzot lielākus izmērus, atvases var nolūzt. Platībā atkārtoti plānojot apaļkoku iegūšanu, jāparedz celmu izraušana vai jāapkaro atvases, un stādījums jāierīko, izmantojot jaunus ražīgākus klonus.

2.11. DAUDZFUNKCIONĀLA APSAIMNIEKOŠANA

Pirmajos gados *Populus* stādījums nelīdzinās mežam un rindstarpas iespējams izmantot citu kultūru, tai skaitā, lauksaimniecības kultūru audzēšanai (Saliņš, 1971; Isebrands, 2007; Foellner, 2008), lai maksimāli efektīvi izmantotu zemi un gūtu papildu peļņu (Ulloa, Villacur, 2005). Papeļu rindstarpās iespējams audzēt miežus, āboliņu, auzas, rudzus, kviešus, kukurūzu, kartupeļus un citas kultūras. Lauksaimniecības kultūru audzēšana samazina veģetācijas augšanu un veido zaļmēslojumu. Vēlāk papeļu vainagi saslēdzas, ierobežojot gaismas, ūdens un barības vielu pieejamību šīm kultūrām (Isebrands, 2007).

Franču zinātnieki (Borrell *et al.*, 2005) veikuši teorētisku mežsaimniecības un agromežsaimniecības sistēmās augošu koku salīdzinājumu. Papeles agromežsaimniecības sistēmās parasti izvietotas lielākos savstarpējos attālumos, tādēļ to pieaugums ir lielāks. Šāda tendence, kad, palielinot savstarpējo koku attālumu, palielinās to pieaugums, turpinās līdz biežumam 100 koki ha⁻¹. Samazinot biežumu vēl vairāk, katra koka stumbra tilpums vairs nepieaug.

Zālaugu vai citu sugu kokaugu audzēšana papeļu stādījumā starprindās kavē aizzēluma veidošanos, uztur augsni irdeni un mitru, veicina papeļu stumbru atzarošanos (Saliņš, 1971). Izmēģinājumos Latvijā konstatēts, ka agromežsaimniecības sistēmās sēklu ražu iespējams iegūt austrumu galegai, miežubrālim, niedru auzenei. Tāpat iespējams audzēt sētos zālājus siena un zaļbarības ieguvei. Ierīkojot stādījumu ar sākotnējo biežumu 800 koki ha⁻¹ un starp papeļu rindām sējot zālaugus, platība tiek izmantota produkcijas ieguvei nepārtraukti, un jau otrajā gadā pēc šādas agromežsaimniecības sistēmas izveidošanas naudas plūsma ir pozitīva (Rancāne *et al.*, 2014).

3. PAPEĻU PRODUKTIVITĀTE

Papelēm, salīdzinājumā ar citām koku ģintīm, raksturīgi lieli augstuma un caurmēra pieaugumi. Jau pagājušā gadsimta vidū Nīderlandē *G. Houtzagers* (1952) aprakstījis paradoksālo situāciju, ka papeles aizņem tikai 2% no mežu platības, bet veido 20% no krājas, uzsverot papeļu, īpaši selekcionēto, straujāku augšanu salīdzinājumā ar citiem kokaugiēm. Pētījumi liecina, ka arī uz barības vielām nabadzīgām, skābām augsnēm un barga klimata apstākļos, kādi ir boreālo mežu zonā, papeļu plantācijās īsā aprites periodā (<20 gadi) iespējams iegūt līdzīgu krāju kā vietējām meža koku sugām divas līdz trīs reizes ilgākā laikā (Pothier, Savard, 1998).

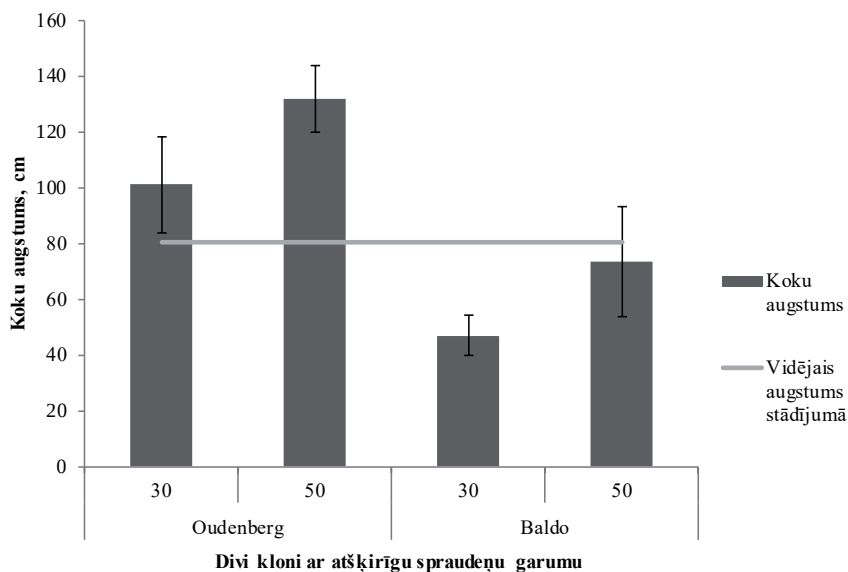
3.1. AUGSTUMS UN CAURMĒRS

Pētījumos viena stādījuma ietvaros nereti konstatēta salīdzinoši liela variācija papeļu caurmēram, bet ne augstumam (Jiang *et al.*, 2007; Christersson, 2010). Lēnāk augošie koki izstīdžē, cenšoties sasniegt vienādu augstumu ar ātrāk augošajiem kokiem (Christersson, 2010), lai nodrošinātu piekļuvi gaismai. Piemēram, Zviedrijā veiktā pētījumā koku caurmērs 18 gadus vecā audzē bijis no 20 līdz 42 cm (vidēji 25,9 cm), bet to augstumam būtiskas atšķirības nav konstatētas (Christersson, 2010).

Augstuma pieaugumu *Populus* hibrīdiem būtiski ietekmē temperatūra, un līdz ar to arī veģetācijas perioda garums, kā arī augsnes auglība (Yu *et al.*, 2001; Zeps *et al.*, 2012). Audzes vecums ietekmē augstuma pieaugumu (Williamson, 1913); tas pakāpeniski samazinās, koku vecumam pārsniedzot 10–15 gadus. Piemēram, saskaņā ar *A.W. Williamson* (1913) datiem, papeles maksimālo tekošo pieaugumu (1,7 m gadā) sasniedza 10 gadu vecumā, bet 50 gadu vecumā tas bija divas reizes mazāks (0,8 m gadā). ASV Minesotas štatā konstatēts, ka ikgadējais tekošais augstuma pieaugums papelēm vidēji bija 0,75–2,1 m (Isebrands (2007), bet citā pētījumā konstatēts, ka 10 gadus vecā papeļu stādījumā vidējais ikgadējais augstuma pieaugums bija 1,5–2,0 m, bet radiālais pieaugums – 1,27–2,29 cm (Netzer *et al.*, 2002). Pirmajos izmēģinājumu stādījumos Latvijā (Mangalis, 1998) vidējais

ikgadējais augstuma pieaugums bijis 0,74 m, un jau 35 gadu vecumā audze bija sasniegusi 26 metru augstumu (Saliņš, 1971). Jaunākos pētījumos Latvijā konstatētais pašu augstums vienā augšanas sezonā (jūnijs–septembris) ir $81,0 \pm 6,8$ cm (17. attēls). Šajā aspektā atšķirības starp izmēģinājumā iesaistītajiem 12 kloniem bija būtiskas, un to vidējie augstumi pirmajā sezonā bija no 32 līdz 132 cm (Šēnhofa *et al.*, 2018).

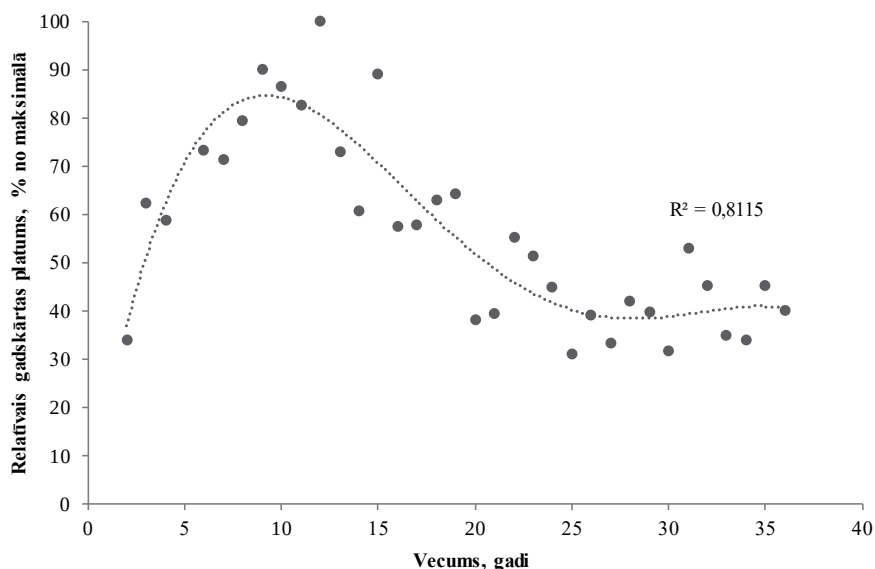
Stādījumos, kas Latvijā ierīkoti 20. gs. sākumā, izmantots tikai viens pašu hibrīds – *P. balsamifera* × *P. laurifolia*; nav pamata uzskatīt, ka tas būtu visātraudzīgākais mūsu valsts klimatiskajos apstākļos. Tomēr šis hibrīds 54–65 gadu vecumā sasniedzis ievērojamas dimensijas: vidējais augstums un caurmērs ir būtiski (vidēji attiecīgi par 16,7% un 25,1%) lielāks nekā egles audzēm (Meža statistiskās inventarizācijas (turpmāk tekstā – MSI) otrā cikla dati) tajos pašos meža tipos. Tik lielā vecumā hibrīdās papeles vidējais augstums bija mazāks, bet caurmērs – līdzvērtīgs kā



17. attēls. Pašu klonu «Oudenberg» un «Baldo» (spraužu garums 30 cm un 50 cm) augstums stādījumā pirmās augšanas sezonas beigās ($\pm$ ticamības intervāls) (dati no Šēnhofa *et al.*, 2018).

apses audzēs (MSI otrā cikla dati) konstatētais. Jāuzsver, ka papelēm radiālā pieauguma kulminācija ir 10–15 gadu vecumā, vēlāk pieaugums ievērojami samazinās (18. attēls), tāpēc papeles parasti neaudzē tik ilgi.

Latvijā ierīkotu jaunu (līdz 6 gadi) stādījumu dati liecina, ka mūsu valsts klimatiskajos apstākļos ir iespējams atlasīt arī ievērojami ātraudzīgākus papeļu hibrīdus (klonus).



18. attēls. Papeļu hibrīda radiālā pieauguma dinamika (dati no Šēnhofa et al., 2016).

3.2. KRĀJA UN BIOMASA

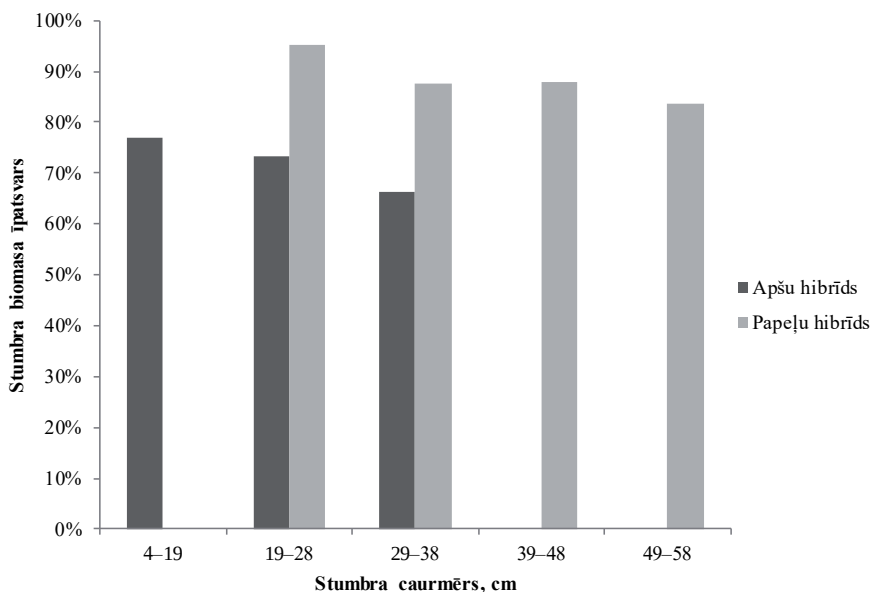
Papeļu audzes uzrāda augstāku produktivitāti nekā Latvijā plaši sastopamās koku sugas. Vidējais krājas pieaugums papeļu audzēs 54–65 gadu vecumā sasniedz $11,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā. Tas ir līdzvērtīgs ($11\text{--}12 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā) pirmo Latvijā ierīkoto stādījumu datiem (Mangalis, 1998), kā arī Lietuvā iegūtiem rezultātiem, kur 23 gadus vecā pēcnācēju pārbaužu stādījumā labākie kloni uzrāda vidējo pieaugumu $11\text{--}13 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā (Pliura, Suchockas, 2010). Zviedrijā pētījumos iegūtie dati par papeļu vidējo pieaugumu ir šādi: $8,5\text{--}22 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā 14 gadu vecumā, $18\text{--}22 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā 9–12 gadu vecumā (Karačić *et al.*, 2003), $21\text{--}23 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā 18–20 gadu vecumā (Christersson, 2010, 2011).

Salīdzinājumam izmantotie dati par citām Ziemeļeiropā izplatītajām koku sugām ir šādi: parastā egles sasniedz maksimālo vidējo krājas pieaugumu $14 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā (Eriksson, 1976), bērzs – $8\text{--}10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā 50–70 gadu vecumā (Elfving, 1986; Sonesson *et al.*, 1994), bet baltalksnim (Granhall, Verwijst, 1994) un parastajai apsei (Johansson, 1999) maksimālais vidējais pieaugums ir $\sim 9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā. Vidējais ikgadējais krājas pieaugums egles, bērza un apses audzēs (tajos pašos meža tipos, kur ierīkoti hibrīdās papeles izmēģinājuma stādījumi) Latvijā ir attiecīgi 4,71, 4,52 un $7,12 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā (MSI otrā cikla dati), kas ir par 58, 60 un 37% mazāk nekā hibrīdajai papelei vecumā no 51 līdz 60 gadiem. Papeļu hibrīdu audzēs sākotnēji stādīti 5000–7000 koki ha^{-1} , un šajās audzēs pirms datu ievākšanas saimnieciskā darbība nav veikta. Tomēr papeļu hibrīdi saglabā līdzīgu koku caurmēru kā retākās apses audzēs, un papeļu krāja 51 gada vecumā, sasniedzot $560 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, ir par 65% lielāka nekā parastās apses audzēs un vairāk nekā 2 reizes lielāka (par 124%) nekā parastās egles audzēs šajā vecumā (MSI otrā cikla dati) tajos pašos meža tipos. Līdzīga biezuma ($6000 \text{ koki ha}^{-1}$) jaunā stādījumā, kur izmantoti papeļu kloni AF 2, AF 6, AF 7 un AF 8, iegūtas 4–6 t sausas ha^{-1} (Lazdina *et al.*, 2018).

Vidējais ikgadējais biomasas pieaugums Eiropā papelēm variē no 2 līdz $13,5 \text{ t ha}^{-1}$ gadā (Makeschin, 1999; Kauter *et al.*, 2003; Laureysens *et al.*, 2003). Zviedrijas dienvidu daļā, kur klimats ir līdzīgs Latvijai, ikgadējais

sausās biomasas pieaugums no 5 līdz 10 t ha⁻¹ tiek uzskatīts par labu līdz izcilu (Christersson, 2006), lai gan literatūrā ir ziņas pat par ikgadējo biomasas pieaugumu 20–25 t ha⁻¹ gadā (Heilman, Stettler, 1985; Scarascia-Mugnozza *et al.*, 1997).

Papeļu hibrīdiem un apšu hibrīdiem (*P. tremula* × *P. tremuloides*) vienādu dimensiju kokiem konstatēta līdzīga virszemes biomasas. Tomēr šīs biomasas sadalījums komponentēs nozīmīgi atšķiras: apšu hibrīdiem stumbrs veido 69% no kopējās virszemes biomasas, bet papeļu hibrīdiem tas pārsniedz 90%. Papeļu hibrīdu stumbra biomasu var aprēķināt kā $3886 \cdot d^{1,778}$ (d – stumbra caurmērs); vienādojums izstrādāts, izmantojot kokus ar caurmēru 23–57 cm. Mazākiem kokiem (no 9 cm caurmēra) izmantojami vienādojumi, kas izstrādāti apšu hibrīdam (Jansons *et al.*, 2017). Abiem *Populus* hibrīdiem ir izteikta tendence zaru biomasas īpatsvaram palielināties līdz ar koku caurmēra palielināšanos (19. attēls).



19. attēls. Stumbra biomasas īpatsvars no kopējās virszemes biomasas apšu hibrīdam un papeļu hibrīdam (dati no Jansons *et al.*, 2017).

Papeles var tikt izmantotas arī tām mazpiemērotu platību apmežošanai, bet jāņem vērā, ka tādā gadījumā krāja būs līdz pat 50% mazāka nekā optimālos apstākļos, jo ātraudzīgie kloni ir jutīgi pret barības vielu nodrošinājumu augsnē (Bārdule *et al.*, 2018; Lazdina *et al.*, 2018).

4. REZISTENCE

Papeles ir uzņēmīgas pret plašu patogēnu klāstu – dažādām sēnēm, dendrofāģajiem kukaiņiem un vīrusiem (Carboni, 2008), turklāt tām draudus rada arī abiotiskie faktori, piemēram, vējš, sausums. Vecākiem kokiem ir augstāks sakņu trupes, vēja un stumbra vēža bojājumu risks (Christersson, 2010). Noturība pret noteiktiem patogēniem ir ģenētiski noteikta (Newomble *et al.*, 2001). Daudzās valstīs papeļu stādījumos tiek izmantots neliels skaits klonu, kas palielina slimību un dendrofāģo kukaiņu masveida izplatīšanās vai savairošanās risku, ja stādījumu platības ir ievērojamas (Du Cros, 1984). Piemēram, pašreiz Zviedrijā, kur papeļu plantācijas aizņem 200–300 ha, lapu rūsu un stumbra vēža izraisītie bojājumi konstatēti mazās platībās, tomēr, balstoties uz *Salix* sugu audzēšanas pieredzi, var prognozēt, ka patogēnu nozīme pieaugs līdz ar plašāku papeļu stādījumu ierīkošanu (Karačić, 2005). Selekcijas procesā nepārtraukti tiek izvēlēti jauni kloni ar augstāku ražību un noturību pret dažādiem riska faktoriem (Carboni, 2008). Risku mazināšanai plantāciju ierīkošanā ieteicams izmantot nevis vienu, bet 4–8 klonus, kas veidoti, savstarpēji krustojot dažādas sugas (Isebrands, 2007; Carboni, 2008).

4.1. SLIMĪBAS

Sēņu izraisītas slimības papelēm rada vislielākos bojājumus, īpaši gados, kad veģetācijas periodā ir paaugstināts nokrišņu daudzums (Pliura *et al.*, 2007; Carboni, 2008). Īsircimeta plantācijās lapu rūsa (izraisītājs *Melampsora* spp.) ir visizplatītākā un bīstamākā slimība (Carboni, 2008). Tā inficē lapas un stumbrus, izraisot priekšlaicīgu lapu nobiršanu, līdz ar to samazinot sagaidāmo krāju (Carboni, 2008). Atsevišķās vasarās *M. larici-populina* izraisītā papeļu rūsa kopā ar mizu bojājošo sēni *Discosporium populeum* izraisījusi augstu papeļu mirstību īsircimeta plantācijās Beļģijā (Laureysens *et al.*, 2005). Itālijā joprojām sastopamākā

rūsa ir *M. allii-populina* izraisīta. Defoliācija palielina risku, ka nākamajā gadā kokus var apdraudēt slimības un dendrofāgie kukaiņi, kas izvēlas novājinātus kokus (Nervo *et al.*, 2011). Lapu plankumainība, ko izraisa *Marssonina brunnea*, rada intensīvu defoliāciju vasaras periodā, un par nopietnu draudu plantācijām tā tiek uzskatīta Itālijā, Serbijā, Melnkalnē, Spānijā (Ball *et al.*, 2005; Nervo *et al.*, 2011).

Atlasot un praksē izmantojot pret slimībām rezistentus klonus, iespējams būtiski samazināt šo slimību izraisītos ekonomiskos zaudējumus. Piemēram, Itālijā *Pollaccia elegans*, kas izraisa defoliāciju pavasara mēnešos, nerada nozīmīgus ekonomiskus zaudējumus, jo tās izplatību ierobežo rezistento «Kanādas klonu» izmantošana plantācijās (Nervo *et al.*, 2011). Kloni, kas uzņēmīgi pret papeļu rūsu, vairs netiek izmantoti Francijā (Ball *et al.*, 2005). Savukārt ASV sastopami *P. deltoides* indivīdi (genotipi), kas rezistenti pret *Septoria* spp. izraisītajām slimībām, un tas ļauj selekcionēt rezistentus šīs sugas hibrīdus (Ball *et al.*, 2005).

Papeles jau jaunilā vecumā var inficēties ar stumbra trupi (izraisītājs *Fomes ignarius f. tremulae*) (Taubenbergs, 1971), tomēr spilvaugļu papele *P. trichocarpa* pat lielā vecumā ar to neslimo (Briedis, 1998). Vairumā gadījumu trupes iekļūst *Populus* ģints koku stumbros caur nokaltušo zaru vietām, atsevišķos gadījumos arī caur sala plaisām (Hinds, 1985). Saules apdegumi uz mizas veicina inficēšanos ar stumbra vēzi (izraisītājs *Hypoxylon mammatum*), kas rada kambija slāņa bojājumus, izraisot koku bojāeju (Christersson, 2010). Bakteriālais vēzis (izraisītājs *Xanthomonas populi*) ievērojamus papeļu bojājumus radījis Horvātijā, Melnkalnē un Serbijā (Ball *et al.*, 2005).

Papeles apdraud arī vīrusu izraisītas slimības. Papeļu mozaīkveida vīruss (karlavīrusu grupa), kuram vienīgais dabiskais saimniekaugs ir *Populus* ģints koki, konstatēts Lietuvā (Staniulis, 2001). Ar šo vīrusu inficētajiem kokiem parādās mozaīkveidā izkļiedēti dzeltenīgi punkti uz lapām. Saskaņā ar pētījumiem ļoti jutīgiem kloniem var parādīties mizas, lapu kātiņu un dzīslu nekroze, samazinot šo klonu krājas pieaugumu (Brunt *et al.*, 1996).

4.2. DENDROFĀGIE KUKAIŅI

Atsevišķu sugu dendrofāgie kukaiņi var būtiski apdraudēt papeļu plantāciju ražību – gan izraisot pieauguma samazināšanos, gan arī pazeminot koksnes kvalitāti.

Nozīmīgākie dendrofāgie kukaiņi īscirtmeta plantācijās ir lapgrauži (*Chrysomelidae* dzimta), kas samazina lapu laukumu, tādējādi negatīvi ietekmējot pieauguma veidošanos un intensīvas invāzijas gadījumā arī izraisot koku bojāeju. Piemēram, Indijā nozīmīgākais dendrofāgais kukainis ir *Clostera cupreata*, kas izraisījis masveida defoliāciju, īpaši bojājot *P. deltoides*. Kopš 2000. gada Serbijā un Melnkalnē notikušas vairākas *Porthetria dispar* masveida savairošanās (Carboni, 2008).

Taču, vērtējot dendrofāgo kukaiņu ietekmi uz papeļu plantācijām pasaules kontekstā, lapgrauži nav vienīgie, kas tām rada draudus. Vītulu urbējs *Cossus cossus* Itālijā bojā aptuveni 8% papeļu, un tā bojātā koksne nav izmantojama saplākšņa ražošanai, radot ekonomiskus zaudējumus. Kopumā dendrofāgo kukaiņu radītie bojājumi Itālijā ir nozīmīgs drauds, jo vairāk nekā puse koku pieder jutīgiem (nerezistentiem pret slimībām, dendrofāgajiem kukaiņiem) kloniem (Nervo *et al.*, 2011). No līdzekļiem, kas šajā valstī izmantoti papeļu fitosanitārajai aizsardzībai, 30% paredzēti *Cryptorhynchus lapathi* ierobežošanai.

Argentīnā tiek veikti pētījumi, lai atrastu metodes, kā pasargāt papeles no *Platypus sulcatus* radītajiem bojājumiem. Čīlē saimnieciski nozīmīgākais papeļu dendrofāgais kukainis ir *Tremex fuscicornis*, kas apdraud fizioloģiski novājinātus kokus (Ball *et al.*, 2005). Jauniem, sausuma radītā stresa novājinātiem kokiem Itālijā uzbrūk *Agrilus suvorovi populnaeus* un *Melanophila picta*, izraisot stumbru lūšanu. Francijā vairākkārt notikušas *Phloeomyzus passerinii* masveida savairošanās; tas rada mizas bojājumus un ilgstošas ietekmes gadījumā arī koku bojāeju (Nervo *et al.*, 2011).

Labvēlīgos apstākļos dendrofāgie kukaiņi papildina savu dabisko barības bāzi. Piemēram, Spānijā un Itālijā *Paranthren tabaniformis* postījumus nodara ne tikai kokaudzētavās, kur tas ir bieži sastopams kaitēklis, bet tas sācis apdraudēt arī jaunaudzes (Ball *et al.*, 2005). Pretēja tendence novērota ar *Gypsonoma aceriana*, kas sācis radīt bojājumus arī jaunajiem kokiem kokaudzētavās (Nervo *et al.*, 2011).

Populus spp. rezistences raksturojums (dati no Heinsoo, 2008)

	Papeļu hibrīds, klons								
	<i>Populus</i> × <i>canadensis</i> Mönch	<i>Populus</i> × <i>canadensis</i> Mönch	<i>Populus alba</i> L.	<i>Populus</i> spp.	<i>Populus</i> spp.	<i>Populus alba</i> L.	<i>P. deltoides</i> Bart. × <i>Populus canadensis</i> Mönch	<i>Populus</i> × <i>gen-rosa</i> × <i>Populus nigra</i>	<i>Populus</i> × <i>generosa</i>
Bojājums (izraisītājs)	83.148.041	AF2	Marte	Monviso	Pegaso	Saturno	Sirio	AF6	AF8
Zaru vēzis (<i>Cytospora</i> spp., <i>Phomopsis</i> spp., <i>Dothichiza populea</i>)	vidēja	vidēja	nav datu	ļoti augsta	ļoti augsta	ļoti augsta	augsta	augsta	augsta
Vēja bojājumi	nav datu	augsta	augsta	vidēja	augsta	augsta	vidēja	augsta	ļoti augsta
Papeļu mozaīkveida vīruss (PMV)	ļoti augsta	ļoti augsta	ļoti augsta	augsta	vidēja	nav datu	ļoti augsta	ļoti augsta	ļoti augsta
Jauno dzinumu un lapu puve (<i>Venturia</i> spp.)	ļoti augsta								
Mizas nekroze (<i>Discosporium populeum</i>)	vidēja	vidēja	nav datu	ļoti augsta	ļoti augsta	ļoti augsta	augsta	augsta	augsta
Lapu rūsa (<i>Melampsora</i> spp., <i>Marssonina</i> spp.)	ļoti augsta	ļoti augsta	ļoti augsta	ļoti augsta	augsta	ļoti augsta	ļoti augsta	vidēja	augsta
Laputu bojājumi (<i>Phloeomyzus passerinii</i>)	ļoti augsta	ļoti augsta	ļoti augsta	augsta	vidēja	ļoti augsta	vidēja	augsta	augsta

Jāņem vērā, ka mainās arī dendrofāgo kukaiņu izplatības areāli, piemēram, no Amerikas Eiropā ievestais *Platypus mutatus* spēj baroties ar lielāko daļu no lapu koku sugām, radot potenciālus draudus papelu stādījumiem (Ball *et al.*, 2005; Nervo *et al.*, 2011). Arī citi papelēm bīstamie dendrofāgie kukaiņi var mainīt savu saimniekaugu visas *Populus* ģints ietvaros.

Latvijā *Populus* ģints kokiem bieži uzbrūk lielais apšu ūsainis (koksngrauzis) *Saperda carcharias* un mazais apšu ūsainis (koksngrauzis) *Saperda populnea*. Netiek veikti speciāli pasākumi ūsaiņu invāzijas novēršanai, par efektīvāko uzskatot profilaktisku darbību, kas ietver savlaicīgu bojātu koku izvākšanu un vispārējā audzes fitosanitārā stāvokļa monitoringu (Taubenbergs, 1971). Kopumā trūkst efektīvu dendrofāgo kukaiņu ierobežošanas bioloģisko metožu. Lai pasargātu kokus no to bojājumiem, jācenšas nodrošināt dabiskajiem ienaidniekiem (parazitoīdiem, putniem, zīdītājdzīvniekiem) piemērotas mājvietas (Carboni, 2008). Tāpat jāatceras, ka dažādu genotipu papelu rezistence pret dažādiem patogēniem ir atšķirīga. K. Heinsoo (2008) apkopojusi datus par dažādu papelu sugu un to hibrīdu klonu rezistenci pret slimību, kukaiņu un vēja ietekmi (1. tabula).

4.3. CITI BIOTISKIE FAKTORI

Īpaša vērība koku aizsardzībai jāpievērš stādījuma ierīkošanas posmā, jo dzīvnieku radītie bojājumi var izraisīt plantācijas vai ilggadīgā kokaugu stādījuma pilnīgu iznīkšanu. Pirmajos divos gados papeles apdraud gliemeži un peļveidīgie grauzēji (Isebrands, 2007; FAO, 2008). To radīto bojājumu risku samazina konkurējošās veģetācijas ierobežošana, kā arī plēsīgo putnu piesaistīšana. Gan pirmajos gados, gan arī vēlāk briežu dzimtas dzīvnieki (stirnas, brieži, aļņi), kā arī zaķi, beбри var radīt ievērojamus postījumus, papelēm apgraužot lapas, dzinumus, mizu (Carboni, 2008; FAO, 2008). Piemēram, vienā no klonu pārbaužu stādījumiem Latvijā aptuveni pusei no papelu dzinumiem bija pārnadžu un gliemežu radīti bojājumi (Šēnhofa *et al.*, 2018). Pirmie parasti tiek apkosti kloni, kuri veidoti, krustojot balzama papeli. Dzīvnieku ierobežošanai izmantojami repelenti, bet bieži žoga ierīkošana ir vienīgais efektīvais aizsardzības veids (Isebrands, 2007; Carboni, 2008). Tomēr žoga ierīkošana un repelentu

lietošana ne vienmēr ir ekonomiski pamatota. Augsta briežveidīgo dzīvnieku populācijas blīvuma un citas piemērotas barības bāzes trūkuma gadījumā papeļu audzēšana konkrētajā reģionā var tikt apdraudēta.

4.4. ABIOTISKIE FAKTORI

No plašās *Populus* ģints Latvijā autohtona ir tikai parastā apse, bet visām papelēm un to hibrīdiem izcelsme meklējama citos reģionos. Koku augšanu ārpus to dabiskā izplatības areāla ierobežo klimatiskie faktori, svarīgākie no tiem ir gaisa temperatūra un nokrišņu daudzums. Tādēļ, lai gan līdzšinējos pētījumos Latvijā un citur Eiropā *Populus* hibrīdi uzrādījuši augstu produktivitāti, pirms to izmantošanas plašākā mērogā nepieciešams novērtēt klimatisko faktoru ietekmi uz to augšanu.

Veicot koku gadskārtu platuma retrospektīvo analīzi ar dendro-hronoloģijas metodēm, nav konstatēta izteikta limitējošā faktora ietekme (Šēnhofa *et al.*, 2016). Konstatēta kārtējā gada augšanas perioda (jūnija un augusta) vidējās mēneša temperatūras negatīva ietekme uz gadskārtu platumu, kas, iespējams, skaidrojams ar nepietiekamu pieejamā ūdens daudzumu vai pastiprinātu transpirāciju (Haldimann, Feller, 2004; Pallardy, 2008). Lai gan veģetācijas perioda temperatūra biežāk limitē augšanu sausās vasarās (Kelly *et al.*, 2002; Drobyšev *et al.*, 2008), tomēr nav konstatēta būtiska mēneša nokrišņu daudzuma ietekme. Tā kā koki aug ārpus dabiskā izplatības areāla (gan māteskoka, gan tēvakoka), tie, iespējams, nav piemērojušies augšanas apstākļiem un paaugstinātas temperatūras gadījumos reaģē, samazinot transpirāciju pat pietiekoša mitruma apstākļos. Iespējams arī fizioloģiskais sausums – ja īslaicīgas faktoru ietekmes dēļ koksne zaudējusi ūdens vadītspēju, tad, pat palielinoties pieejamā ūdens daudzumam augsne, tas var netikt sekmīgi novadīts līdz lapām (Haldimann, Feller, 2004; Pallardy, 2008). Limitēta kokiem pieejamā ūdens daudzuma negatīvā ietekme uz papeļu gadskārtu platuma veidošanos apstiprināta arī citā pētījumā (Jansons *et al.*, 2016); vienlaikus tiek uzskatīts, ka Latvijā nokrišņu daudzums reti limitē vietējo sugu koku augšanu (Mauriņš, Zvirgzds, 2006; Elferts, 2007).

Barības vielu rezerves var ietekmēt koku augšanu veģetācijas perioda sākumā (Barbaroux, Bréda, 2002; Pallardy, 2008). Konstatētā negatīvā

korelācija ar marta vidējo temperatūru varētu būt skaidrojama ar koku fizioloģiskās aktivitātes uzsākšanu laikā pirms lapu plaukšanas, kad koks nevis veido koksnes pieaugumu, bet tērē uzkrātās barības vielu rezerves (Pilcher, Gray, 1982; Essimah, Eschrich, 1985) un līdz ar fotosintēzes uzsākšanu tās atjauno.

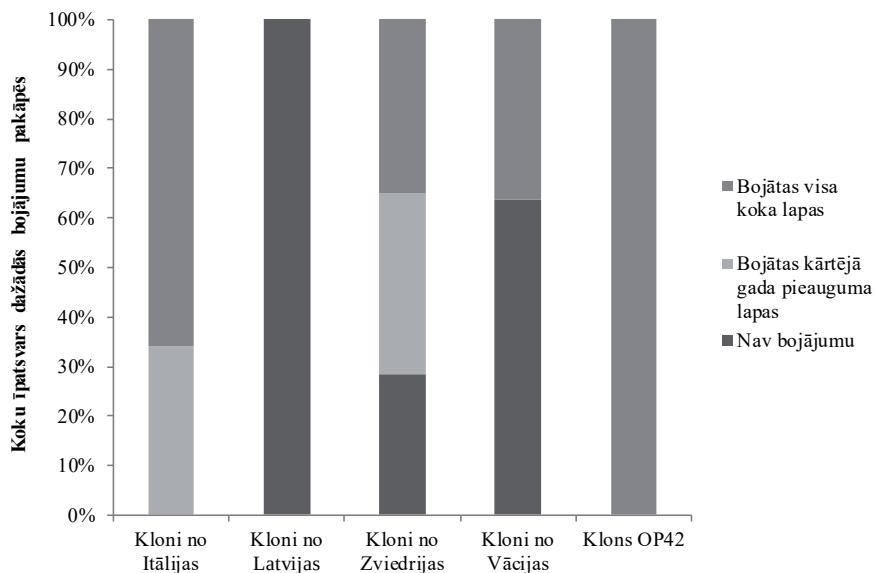
Klimata izmaiņas var palielināt ne vien dendrofāgo kukaiņu un patogēno sēņu radītos bojājumus (Ball *et al.*, 2005; Nervo *et al.*, 2011), bet arī veicināt abiotisko faktoru radīto bojājumu veidošanos. Pēdējo gadu laikā Eiropā piedzīvoti vairāki ekstrēma nokrišņu daudzuma vai to trūkuma (un augstas temperatūras) gadījumi. Pašreizējās prognozes rāda, ka dienu skaits ar intensīviem nokrišņiem un maksimālais nokrišņu daudzums dienā lielākajā daļā Eiropas pieaugs (Kundzewicz *et al.*, 2006). Tas var atstāt negatīvu ietekmi uz papeļu stādījumiem. Piemēram, netipiskais nokrišņu sadalījums laika posmā no 2000. līdz 2010. gadam Itālijā izraisījis koku augstu bojāeju jaunaudzēs, samazinājies tekošais ikgadējais pieaugums, jaunajiem dzinumiem kavēta pārkoksņēšanās un samazinājies uzkrāto barības vielu daudzums. Novājinātajiem kokiem konstatēti *Phomopsis* spp. un periodiski *Cytospora* spp. izraisīti bojājumi. Pieaugušās audzēs, kas cieš no ūdens radītā stresa, novērota mizas nekroze, kas var ievērojami samazināt koksnes kvalitāti (Nervo *et al.*, 2011).

Vācijā veiktie pētījumi parāda, ka ekstrēmi sausuma periodi pavasarī izraisa koku augstāku bojāeju jaunaudzēs, un to novēršanai nepieciešama apūdeņošana (FAO, 2008). Kokiem, kas noteiktu laiku bijuši applūdušā teritorijā, nepieciešams ilgāks atjaunošanās periods nekā kokiem, kas pārcietuši sausuma radīto stresu (Dickmann *et al.*, 2001). Tomēr dažas papeļu sugas applūdušā platībā spēj izdzīvot vairākas nedēļas vai pat mēnešus (Dickmann *et al.*, 2001). Pie mitruma tolerantām *Populus* sugām pieskaitāmas *P. angustifolia*, *P. balsamifera*, *P. trichocarpa*, *P. deltoides* un *P. fremontii* (Braatne *et al.*, 1996), kā arī *P. nigra* un *P. alba* (Saliņš, 1971).

Papeļu pieaugumu nozīmīgi ietekmē pavasara un rudens gaisa temperatūra (Jansons *et al.*, 2016), un tās ir jutīgas arī pret tādu abiotisko faktoru kā salnas (Carboni, 2008; Šēnhofa *et al.*, 2017). Vēlās pavasara salnas rada pumpuru un dzinumu bojāeju, plaisas stumbros (FAO, 2008). Nozīmīgi sala bojājumi – rudens salnās nosalušas lapas un jaunie dzinumi – konstatēti arī Latvijā ierīkotajos izmēģinājuma stādījumos, būtiski ietekmējot saglabāšanos, augstuma pieaugumu un augšanu nākamajā veģetācijas sezonā (Lazdiņa *et al.*, 2016). Gadā ar strauju temperatūras

pazemināšanos rudenī (oktobrī) kopumā 81% koku (vienu un divu gadu vecumā) konstatēti dažāda apjoma sala bojājumi. Atsevišķiem kloniem vairāk nekā 80% koku bija ar nosalušām visām lapām (20. attēls). Konstatētas būtiskas atšķirības starp kloniem, gan vērtējot fenoloģisko stāvokli (lapas nokritušas vai dzīvas), gan bojājumu apjomu, turklāt nebija saistības starp sala bojājumiem un koku augstumu vai biomasu, norādot, ka iespējams atlasīt ātraudzīgus un sala rezistentus klonus. Ņemot vērā iegūtos rezultātus, pirms rekomendēt kāda klona plašāku izmantošanu, būtiski veikt tā salcietības novērtējumu.

Nozīmīgus papeļu stādījumu bojājumus gan pašreizējos, gan sagaidāmajos klimatiskajos apstākļos Latvijā var izraisīt arī vējš. Lielākos postījumus mūsu reģionā nodara ciklonu vētras, kas visbiežāk veidojas rudens un ziemas periodā. Kompleksa abiotisko faktoru ietekme (spēcīgs vējš, nokrišņi) kopā ar ilgu lapotnes saglabāšanos rudenī (garāka veģetācijas perioda dēļ) var pakļaut galotnes un tekošā gada dzinumus negatīvai



20. attēls. Salnu bojājumu pakāpe divus gadus veciem papeļu kloniem (dati no Lazdiņa et al., 2016).

vēja ietekmei, nolauztās daļas garumam sasniedzot pat vairāk nekā 2 m (Christersson, 2010). Vētrā papeles var arī izgāzt, kā liecina novērojumi Dienvidzvidrijā pēc ciklona vētras 1999. gada nogalē (Karačić, 2005). Koku noturība pret vēju samazinās, pieaugot koku vecumam un augstumam (Cremer *et al.*, 1982; Telewski, 1995). Vēja radītie bojājumi par nozīmīgu risku tiek uzskatīti pēc koku vainagu saslēgšanās, kas papeļu stādījumos ar sākotnējo biezumu 1000 koki ha⁻¹ notiek 6–7 gadu vecumā. Tāpat stādījumā ar 15–20 gadu aprites periodu nozīmīgs vēja bojājumu risks pastāv mazāk nekā 10 gadus (Harrington, DeBell, 1996). Noturību pret vēja bojājumiem iespējams palielināt ar atbilstošiem mežsaimniecības paņēmieniem – augsnes sagatavošanu un garu spraudņu dziļu stādīšanu (Karačić, 2005). Ierīkojot zema biezuma stādījumu, nav jāveic starpcirtes, tādējādi samazinot vēja bojājumu risku (Christersson, 2010). Augot minerālaugsnei, vēja noturība audzei ir lielāka nekā kūdras augsnē, kur augsta gruntsūdens līmeņa gadījumā papелēm var veidoties seklāka sakņu sistēma (Christersson, 2010). Ierīkojot papeļu stādījumus, nepieciešams izvērtēt nozīmīgākos riskus konkrētajos augšanas apstākļos, lai izvēlētos piemērotākos klonus un nodrošinātu ekonomisko ieguvumu.

PRAKTISKĀS REKOMENDĀCIJAS PAPEĻU STĀDĪJUMU IERĪKOŠANAI LATVIJĀ

Šajā nodaļā apkopotas rekomendācijas papeļu stādījumu ierīkošanā, kas balstītas uz iepriekšējās nodaļās veikto literatūras apskatu un līdzšinējo zinātnisko stādījumu ierīkošanas pieredzi.

Stādījuma vietas izvēle

Stādījumu ieteicams ierīkot agro rudens un vēlo pavasara salnu neapdraudētās platībās, kuras neapplūst ilgāk par vienu nedēļu sezonā. Vairumā gadījumu finansiāli attaisnojas stādījuma platība, ne mazāka kā 1 ha. Ja stādījums ierīkots ar mērķi iegūt enerģētisko koksnī (malku, šķeldu), tad attālumam līdz potenciālajai realizācijas vietai nevajadzētu pārsniegt 50 km. Šādam stādījumam, plānojot mašinizētu biomasas novākšanu ar pašgājējiem smalcinātājiem, jāizvēlas līdzena platība ar atbilstošu augsnes nestspēju. Ja stādījums paredzēts galvenokārt apaļkoksnēs sortimentu ieguvei, pirms platības izvēles jānovērtē arī pārnadžu, bebru un citu grauzēju bojājumu risks.

Augsnes apstākļi

Augsnes apstākļi ietekmē sakņu attīstību, pieejamā ūdens un barības vielu daudzumu – līdz ar to stādījuma ražību, kā arī koku vēja noturību.

Smaga māla un putekļaina māla augsne papeļu stādījumu ierīkošanai maz piemērota; ja stādījumu ierīko, izmantojami īsi (0,3 m) spraudeņi.

Kūdras augšņu piemērotība var būt stipri atšķirīga. Skāba kūdras augsne ($\text{pH} < 5$) nav piemērota papeļu stādījumu ierīkošanai; neitrālas ($\text{pH} > 5$), bāziska ($\text{pH} > 7$), ar noregulētu ūdens režīmu – piemērota papeļu stādījumu ierīkošanai, taču jāņem vērā, ka koki būs mazāk vēja noturīgi, tādēļ izmantojami garāki spraudeņi (spraudeņa daļa augsnē aptuveni 0,5 m), labi panākumi ir ar 1,4–1,8 m gariem spraudeņiem.

Viegla smilšmāla augsne, kā arī vērī, gārša, šaurlapju ārenis ir vispiemērotākie meža tipi papeļu stādījumu ierīkošanai; spraudeņu garumu šajos stādījumos galvenokārt nosaka aizzēluma risks.

Augsnes sagatavošana

Apstrādei jānodrošina labvēlīga vide sakņu augšanai. Dziļāka augsnes apstrāde (dziļirdināšana) nepieciešama platībās, kurās ir īslaicīgas applūšanas risks, un augsnēs, kur ir izveidojies sablīvēts ūdens vai gaisa necaurļaidīgs slānis. Šāds slānis bieži ir augsnēs ar lielāku māla daļiņu īpatsvaru, tieši zem kādreizējās aramkārtas, un tas kavē sakņu augšanu dziļumā (sekmē virspusējas sakņu sistēmas veidošanos) un ilgtermiņā būtiski palielina vēja bojājumu risku stādījumiem, kuru audzēšanas mērķis ir apaļkoksnes sortimentu ieguve.

Augsnes sagatavošana nodrošina koku labāku augšanu pirmajos gados. Tā veicama vienlaidus visā platībā vai joslās, kuru platums ir vismaz 0,5 m, vasaras otrajā pusē vai rudenī. Platībās, kas vēsturiski izmantotas lauksaimniecībā, jāparedz atkārtota sadīgušo nezāļu mehāniska vai ķīmiska apkarošana tajā pašā gadā. Tādējādi iespējams nozīmīgi samazināt aizzēšanas risku nākamajā gadā. Jaunie papeļu dzinumi ir jutīgi pret vairumu divdīgļlapju apkarošanai paredzēto sistēmas iedarbības herbicīdu, tādēļ pēc stādījuma ierīkošanas izmantojama tikai mehāniskā aizzēluma apkarošana (kaplēšana, pļaušana, frēzēšana). Līdz ar to nozīmīgāki ieguldījumi augsnes sagatavošanā un sākotnējā nezāļu apkarošanā samazina kopējās stādījuma apsaimniekošanas izmaksas.

Stādmateriāla izvēle

Izmantot Latvijā iepriekš nepārbaudītus papeļu klonus liela apjoma stādījumu ierīkošanai ir riskanti. Informācija par pārbaudītiem papeļu kloniem iegūstama no dažādiem avotiem, t.sk., no šīs grāmatas autoriem un pētījumu atziņu publikācijām LVMI Silava mājas lapā (www.silava.lv). Klons vairumā gadījumu ir autortiesību objekts; tā selekcionārs (persona vai uzņēmums) ir investējis resursus klona izveidē un tā pārbaudēs. Tādēļ stādījuma ierīkotājam jāveic maksājums par klona izmantošanu, iegūstot sertifikātu par spraudeņu izcelsmi. Šādu dokumentu esamību meža atjaunošanā un plantāciju mežu ierīkošanā kontrolē Valsts meža dienests, īsircmēta atvasāju ierīkošanā – Lauku atbalsta dienests.

Stādījumu ierīkošanai kvalitatīvi sagatavotās platībās, kur sagaidāms mazs aizzēlums un/vai būs iespējama efektīva ar papeļiem konkurējošās veģetācijas (zālaugu, krūmu) ierobežošana (aizzēluma apkarošana), rekomendējams izmantot 25–30 cm garus spraudeņus, bet citās platībās, t.sk. meža zemēs – 0,8–1,8 m garus spraudeņus.

Stādījuma biezums (koku skaits uz ha) un aprites periods

Stādījuma ierīkošanai izmantojamais koku skaits uz hektāra un aprites periods atkarīgs no izvēlēta papeļu audzēšanas mērķa:

- 1) šķeldas ieguve (saglabājot ES atbalsta maksājumus par lauksaimniecības zemes apsaimniekošanu) – aprites periods ir līdz 5 gadi, ierīkošanai izmantojot 6600 papeles (sprauņus) uz hektāra. Kokus stāda $3,0 \times 0,5$ m, vai citādi, jo stādīšanas attālumi jāsapasa ar to agregātu platumu, ar kuriem plānota aizzēluma apkarošana;
- 2) malkas/šķeldas ieguve – aprites periods 7–8 gadi, ierīkošanai izmantojot 2500 papeles (sprauņus) uz hektāra;
- 3) apaļkoksnes (finierkluču, zāģbaļķu) ieguve – aprites periods 15–25 gadi, ierīkošanai izmantojot 2500 (ja paredz arī malkas ieguvei aprites perioda vidū) vai 1100 papeles (sprauņus) uz hektāra.

Stādījuma ierīkošana un apsaimniekošana

Smagās māla augsnēs stādījumi ierīkojami tikai agri pavasarī. Arī citās augsnēs stādīšanai piemērotākais laiks ir pavasaris, taču stādīt var līdz jūnija beigām, ja augsnē ir saglabāties pietiekami daudz mitruma. Vēlie stādījumi ir sekmīgāki, ja izmanto stādus. Tomēr jāņem vērā, ka, vēlāk iestādot, kokiem ir īsāks pirmā gada augšanas periods – līdz ar to mazāks pieaugums un izveidotā sakņu sistēma. Visos gadījumos būtiski sprauņus uzglabāt tā, lai tie nesaplauktu pirms stādīšanas.

Pirms stādīšanas sprauņus, it īpaši to daļu, ko spraudīs zemē, ieteicams iemērkāt ūdenī vismaz uz diennakti. Šāda apstrāde stimulē sakņu veidošanos un nodrošina ūdens rezervju uzkrāšanu spraudenī. Stādīšanas un transportēšanas laikā sprauņi jāargā no vēja un saules. Stādīšanu vienmēr veic tā, lai sprauņa tievākais gals būtu vērsts augšup, tādējādi nodrošinot ātrāku jaunā dzinuma veidošanos.

Konkurējošās veģetācijas novākšana (aizzēluma apkarošana) ieteicama 1–2 reizes sezonā, vismaz pirmos 3 gadus pēc stādījuma ierīkošanas, ar šo pasākumu vienlaikus gan samazinot konkurenci ar apkārtējiem augiem par ūdeni un barības vielām un tādējādi uzlabojot papeļu augšanu, gan mazinot pelņveidīgo grauzēju bojājumu un ugunsgrēku risku.

Ja augsnei ir piemērota struktūra un pietiekams nodrošinājums ar ūdeni, bet konstatēts nozīmīgs barības vielu deficīts, veicama stādījuma mēslošana. Nozīmīgākā tās ietekme var būt pirmajos gados pēc stādījuma ierīkošanas,

taču arī vecākas papeles strauji reaģē uz papildus barības vielām, nodrošinot lielāku pieaugumu. Pirms mēslošanas jānoskaidro, kuras papelēm vajadzīgās barības vielas augsnē ir nepietiekamā daudzumā. Zināms, ka papeļu plantācijas 10–12 gadu laikā, lai izveidotu zaru un stumbru masu, kas atbilst 90 t ha^{-1} , patērē 163 kg ha^{-1} slāpekļa, 75 kg ha^{-1} fosfora, 239 kg ha^{-1} kālija un 580 kg ha^{-1} kalcija. Latvijā papeļu stādījumos tieši kālija nodrošinājumam un pieejamībai var būt nozīmīga ietekme, jo tas sekmē koku sala izturību un noturību pret slimībām.

Atzarošanu plāno, ja stādījums ierīkots finierkluču ieguvei. Papeļu stādījumos atzarošanu veic ar mērķi iegūt 3,5 līdz 7 m garus stumbrus bez zaru vietām. Katrā atzarošanas paņēmienā nenogriež vairāk par $\frac{1}{3}$ no zaļā vainaga. Atzarošana jāplāno ar mērķi, lai zaru rētas paliek pirmajos 10 cm no koka serdes – tātad jānoslēdz 5–6 gadus pēc stādījuma ierīkošanas.

Rekomendētie pasākumi nodrošinās maksimālo finansiālo ieguvumu no papeļu stādījumu ierīkošanas.

PATEICĪBAS

Autori izsaka pateicību LVMI Silava Meža selekcijas un adaptācijas un Meža atjaunošanas un ieaudzēšanas radošo grupu kolēģiem, īpaši Unai Neimanei un Mārtiņam Zepam par sadarbību zinātniskajos pētījumos un iedvesmu grāmatas tapšanā. Pateicamies recenzentiem par piezīmēm un rekomendācijām manuskripta uzlabošanai.

Nozīmīgākie LVMI Silava zinātniskie pētījumi par atsevišķu klonu piemērotību audzēšanai Latvijā, stādījumu ierīkošanas metodikas pilnveidošanu, koksnes izmantošanas iespējām:

- 1) DAUDZFUNKCIONĀLU LAPU KOKU UN ENERĢĒTISKO AUGU PLANTĀCIJU IERĪKOŠANAS UN APSAIMNIEKOŠANAS MODEĻU IZSTRĀDE,
Eiropas Reģionālās attīstības fonda (ERAF) līguma
Nr. 2010/0268/2DP/2.1.1.2.0/10/APIA/VIAA/118
(2010.–2013. g.g.)
un
- 2) ĀTRAUDZĪGO KOKU SUGU PLANTĀCIJU IERĪKOŠANAS UN APSAIMNIEKOŠANAS METOŽU IZPĒTE UN IEGŪSTAMĀS KOKSNES PIEMĒROTĪBAS NOVĒRTĒJUMS KOKSNES GRANULU RAŽOŠANAI,
ERAF līguma Nr. 2013/0049/2DP/2.1.1.1.0/13/APIA/VIAA/031
(2013.–2015. g.g.);



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

- 3) WOOD BASED ENERGY SYSTEMS FROM NORDIC AND BALTIC FORESTS (ENERWOODS),
Nordic Energy Research programmas *Sustainable Energy Systems 2050* līguma Nr. 06-2011-37
 (2011.–2015. g.g.);



- 4) ĪSCIRTMETA KOKSNES PLANTĀCIJAS: VIETĒJĀS PIEGĀDES ĶĒDES SILTUMENERĢIJAS IEGŪŠANAI (SRCplus),
 Eiropas Komisijas programma Saprātīga enerģija Eiropai (*Intelligent Energy Europe*), ko koordinē Mazo un vidējo uzņēmumu izpildaģentūra (EASME)
 (2014.–2017. g.g.);



- 5) METODES SELEKCIJAS REZULTĀTU EFEKTĪVAI PRAKTISKAI IZMANTOŠANAI UN ADAPTĀCIJAS PĀRBAUDĒM LAPU KOKIEM,
 SIA «Meža nozares kompetences centrs» pētījuma «Meža kapitāl-vērtības palielināšana un mežsaimniecība» (ERAF līguma Nr. 1.2.1.1/16/A/009) aktivitāte P2
 (2016.–2018. g.g.);



- 6) LAUKSAIMNIECĪBAI MAZPIEMĒROTAS PLATĪBAS: APGRŪ-
TINĀJUMA PĀRVĒRŠANA IESPĒJĀ (MAGIC),
Apvārsnis 2020 programmas līguma Nr. 727698
(2017.–2021. g.g.).



Līdzfinansē Eiropas Savienības
programma "Apvārsnis 2020"



- 7) BIOMATERIĀLU IZMANTOŠANAS STRATĒGIJAS UN
CEĻVEŽI ES LAUKU UN REĢIONĀLĀS ATTĪSTĪBAS
UZLABOŠANAI (BE-RURAL),
Apvārsnis 2020 programmas līguma Nr. 818478
(2019.–2022. g.g.).



Līdzfinansē Eiropas Savienības
programma "Apvārsnis 2020"



LITERATŪRA

- Akinyemiju, O. A., and Dickmann, D. I., 1982. Variation among 21 *Populus* clones in tolerance to simazine and diuron. *Canadian Journal of Forest Research* 12(3), 708–712.
- Akinyemiju, O. A., Isebrands, J. G., Nelson, N. D., and Dickmann, D. I., 1982. Use of glyphosate in the establishment of *Populus* in short rotation intensive culture. In: Zavitkovski, J., and Hansen, E. A. (Eds.) *Proceedings of the North American Poplar Council meeting, Rhinelander, Wisconsin, July 1982*. Manhattan, Kansas: Kansas State University, pp. 161–169.
- Avramidis, S., and Mansfield, S. D., 2005. On some physical properties of six aspen clones. *Holzforschung* 59(1), 54–58.
- Balatinecz, J. J., Kretschmann, D. E., and Leclercq, A., 2001. Achievements in the utilization of poplarwood: guideposts for the future. *Forestry Chronicle* 77(2), 265–269.
- Ball, J., Carle, J., and Del Lungo, A., 2005. Contribution of poplars and willows to sustainable forestry and rural development. *Unasylva* 56(221), 3–9.
- Barbaroux, C., and Bréda, N., 2002. Contrasting distribution and seasonal dynamics of carbohydrate reserves in stem wood of adult ring-porous sessile oak and diffuse-porous beech trees. *Tree Physiology* 22(17), 1201–1210.
- Bardule, A., Grinfelde, I., Lazdina, D., Bardulis, A., and Sarkanabols, T., 2018. Macronutrient leaching in a fertilized juvenile hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *P. tremuloides* Michx.) plantation cultivated in an agroforestry system in Latvia. *Hydrology Research* 49(2), 407–420.
- Baum, S., Weih, M., Busch, G., Kroiher, F., and Bolte, A., 2009. The impact of short rotation coppice plantations on phytodiversity. *Landbauforschung Volkenrode* 59(3), 163–170.
- Beaudoin, M., Hernández, R. E., Koubaa, A., and Poliquin, J., 1992. Interclonal, intraclonal and within-tree variation in wood density of poplar hybrid clones. *Wood and Fiber Science* 24(2), 147–153.

- Bilodeau-Gauthier, S., Paré, D., Messier, C., and Bélanger, N., 2011. Juvenile growth of hybrid poplars on acidic boreal soil determined by environmental effects of soil preparation, vegetation control, and fertilization. *Forest Ecology and Management* 261(3), 620–629.
- Blake, T. J., 1983. Coppice systems for short-rotation intensive forestry: the influence of cultural, seasonal and plant factors. *Australian Forest Research* 13(3/4), 279–291.
- Borrell, T., Dupraz, C., and Liagre, F., 2005. Economics of silvoarable systems using a novel approach: the Land Equivalent Ratio based generator. In: *SAFE Project Final Progress Report*. Zurich, Switzerland: ETH, Vol. 4, pp. 13–49.
- Boysen, B., and Strobl, S., 1991. *A Grower's Guide to Hybrid Poplar*. Ontario: Ministry of Natural Resources.
- Braatne, J. H., Rood, S., and Heilman, P. E., 1996. Life history, ecology, and conservation of riparian cottonwoods in North America. In: Stettler, R. F., Bradshaw, H. D., Heilman, P. E., and Hinckley, T. M. (Eds.) *Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation*. Ottawa: NRC Research Press, pp. 57–85.
- Briedis, A., 1998. Papeļu plantāciju ierīkošana. *Praktiskais Latvietis* 5, 10. lpp.
- Brunt, A. A., Crabtree, K., Dallwitz, M. J., Gibbs, A. J., and Watson, L., 1996. *Viruses of plants: Descriptions and lists from VIDE Database*. Wallingford, UK: CAB International, 1484.
- Byrnes, W. R., Merritt, C., and Braun, J. M., 1978. Growth response of black walnut and yellow-poplar to site improvement and weed control. In: Pope, P. E. (Ed.) *Proceedings of Central Hardwood Forest Conference*. Indiana: Purdue University, pp. 412–424.
- Carboni, A., 2008. Plantation – crop management. In: Heinsoo, K., Dimitriou, I., Foellner, S., and Buerge, G. (Eds.) *Short Rotation Plantations: Guidelines for efficient biomass production with the safe application of wastewater and sewage sludge*. European Commission, BIOPROSS Project, pp. 37–48.
- Chhin, S., 2010. Influence of climate on the growth of hybrid poplar in Michigan. *Forests* 1, 209–229.
- Christersson, L., 2006. Biomass production of intensively grown poplars in the southernmost part of Sweden: Observation of characters, traits and growth potential. *Biomass and Bioenergy* 30(6), 497–508.

- Christersson, L., 2010. Wood production potential in poplar plantations in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 34(9), 1289–1299.
- Christersson, L., 2011. The potential for production of biomass for biofuel by the cultivation of hybrid poplar and hybrid aspen in the south of Sweden. In: Dos Santos Bernardes, M.A. (Ed.) *Economic Effects of Biofuel Production*. InTech, pp. 163–180.
- Coaloa, D., and Nervo, G., 2011. *Poplar wood production in Europe on account of market criticalities and agricultural, forestry and energy policy*. [online]. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. [viewed 10.10.2018]. Available from: http://www.populus.it/pdf/JS2011_COALOA_NERVO.PDF.
- Cremer, K. W., Borough, C. J., McKinnel, F. H., and Carter, P. R., 1982. Effects of stocking and thinning on wind damage in plantations. *New Zealand Journal of Forestry Science* 12(2), 244–268.
- Crist, J.B., Mattson, J.A., and Winsauer, S.A., 1983. Effect of severing method and stump height on coppice growth. In: Hansen, E. A. (Ed.) *Intensive Plantation Culture: 12 Years Research*. St. Paul, Minnesota: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Central Forest Experimental Station, pp. 58–63.
- Czapowskyj, M. M., and Safford, L. O., 1993. Site preparation, fertilization, and 10-year yields of hybrid poplar on a clearcut forest site in eastern Maine, USA. *New Forests* 7(4), 331–344.
- DeBoever, L., Vansteenkiste, D., Van Acker, J., and Stevens, M., 2007. End-use related physical and mechanical properties of selected fast-growing poplar hybrids (*Populus trichocarpa* × *P. deltoides*). *Annals of Forest Science* 64(6), 621–630.
- Deckmyn, G., Laureysens, I., Garcia, J., Muys, B., and Ceulemans, R., 2004. Poplar growth and yield in short rotation coppice: model simulations using the process model SECRETS. *Biomass and Bioenergy* 26(3), 221–227.
- Dickmann, D. I., 2001. An overview of the genus *Populus*. In: Dickmann, D. I., Isebrands, J. G., Eckenwalder, J. E., and Richardson, J. (Eds.) *Poplar Culture in North America*. Ottawa: NRC Research Press, pp. 1–42.
- Dickmann, D. I., Isebrands, J. G., Blake, T. J., Kosola, K., and Kort, J., 2001. Physiological ecology of poplars. In: Dickmann, D. I., Isebrands, J. G., Eckenwalder, J. E., and Richardson, J. (Eds.) *Poplar Culture in North America*. Ottawa: NRC Research Press, pp. 77–118.

- Dimitriou, I., 2008. Safe refuse of municipal wastewater and sewage sludge for irrigation and fertilization. In: Heinsoo, K., Dimitriou, I., Foellner, S., and Buergow, G. (Eds.) *Short Rotation Plantations: Guidelines for efficient biomass production with the safe application of wastewater and sewage sludge*. European Commission, BIOPROSS Project, pp. 28–32.
- Dinus, R. J., Payne, P., Sewell, M. M., Chiang, V. L., and Tuskan, G. A., 2001. Genetic modification of short rotation poplar wood: Properties for ethanol fuel and fiber production. *Critical Reviews in Plant Sciences* 20(1), 51–69.
- Drobyshev, I., Niklasson, M., Eggertsson, O., Linderson, H., and Sonesson, K., 2008. Influence of annual weather on growth of pedunculate oak in southern Sweden. *Annals of Forest Science* 65(5), 512–512.
- Du Cros E., 1984. Breeding strategies with poplars in Europe. *Forest Ecology and Management* 8(1), 23–39.
- Dujesiefken, D., Liese, W., Shortle, W., and Minocha, R., 2005. Response of beech and oaks to wounds made at different times of the year. *European Journal of Forest Research* 124, 113–117.
- Elferts, D., 2007. Scots pine pointer-years in northwestern Latvia and their relationship with climatic factors. *Acta Universitatis Latviensis* 723, 163–170.
- Elfving, B., 1986. Odlingsvärdet av björk, asp och al på nedlagd jordbruksmark i Sydsverige. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 5, 31–41.
- Ente Nazionale per la Cellulosa e per la Carta, 1994. *Pioppi*. Roma: Ente Nazionale per la Cellulosa e per la Carta.
- Eriksson, H., 1976. *Yield of Norway spruce in Sweden*. Stockholm: Department of Forest Yield Research, Royal College of Forestry.
- Essiamah, S., and Eschrich, W., 1985. Changes of starch content in the storage tissues of deciduous trees during winter and spring. *IAWA Journal* 6(2), 97–106.
- EU Commission, 1997. *Energy for the future: Renewable sources of energy. White paper for a community strategy and action plan*. COM (97) 599 final (26.11.1997).
- EUFORGEN, 2009. *Distribution map of aspen (Populus tremula)*. [online]. EUFORGEN [viewed 03.04.2018]. Available from: http://www.euforgen.org/fileadmin/templates/euforgen.org/upload/Documents/Maps/PDF/Populus_tremula.pdf.

- EUFORGEN, 2015. *Distribution map of Black poplar (Populus nigra)*. [online]. EUFORGEN [viewed 03.04.2018]. Available from: http://www.euforgen.org/fileadmin/templates/euforgen.org/upload/Documents/Maps/PDF/populus_nigra.pdf.
- Fang, S., Xue, J., and Tang, L., 2007. Biomass production and carbon sequestration potential in poplar plantations with different management patterns. *Journal of Environmental Management* 85(3), 672–679.
- FAO, 1979. *Poplars and willows in wood production and land use*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO, 2006. *Global planted forests thematic study: Results and analysis*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO, 2008. *Poplars, willows and people's wellbeing: Synthesis of Country Progress Reports*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO, 2010. *Global Forest Resources Assessment 2010: Main report*. Rome: Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Foellner, S., 2008. Introduction. In: Heinsoo, K., Dimitriou, I., Foellner, S., and Buergow, G. (Eds.) *Short Rotation Plantations: Guidelines for efficient biomass production with the safe application of wastewater and sewage sludge*. European Commission, BIOPROSS Project, pp. 6–13.
- Fortier, J., Bigué, B., Morissette, S., and Couture, J., 2001. *Le Guide de populiculture au Québec: Un guide pratique sur la culture du peuplier hybride*. Québec: Réseau Ligniculture Québec.
- Gailis, J., 1971. Meža selekcija. Grām.: Bušs, M., un Mangalis, I. (red.) *Meža kultūras*. Rīga: Zvaigzne, 49.–96. lpp.
- Granhall, U., and Verwijst, T., 1994. Grey alder (*Alnus incana*) – a N₂-fixing tree suitable for energy forestry. In: Hall, D. O., Grassi, G., and Scheer, H. (Eds.) *Proceedings of 7th E.C. Conference: Biomass for Energy and Industry, Florence, Italy, October 1992*. Bochum, Germany: Ponte Press, pp. 409–413.
- Haldimann, P., and Feller, U., 2004. Inhibition of photosynthesis by high temperature in oak (*Quercus pubescens* L.) leaves grown under natural conditions closely correlates with a reversible heatdependent reduction of the activation state of ribulose-1.5-bisphosphate carboxylase/oxygenase. *Plant Cell and Environment* 27(9), 1169–1183.
- Hansen, E., Netzer, D., and Rietveld, W. J., 1984. Weed control for establishing intensively cultured hybrid poplar plantations. *Research Note NC-317*, 1–6.

- Harrington, C. A., and DeBell, D. S., 1996. Above- and below-ground characteristics associated with wind toppling in a young *Populus* plantations. *Trees* 11(2), 109–118.
- Hartley, M. J., 2002. Rationale and methods for conserving biodiversity in plantation forests. *Forest Ecology and Management* 155(1-3), 81–95.
- Heilman, P. E., and Stettler, R. F., 1985. Genetic variation and productivity of *Populus trichocarpa* and its hybrids. II. Biomass production in a 4-year plantation. *Canadian Journal of Forest Research* 15(2), 384–388.
- Heinsoo, K., 2008. Plantation design and planting. In: Heinsoo, K., Dimitriou, I., Foellner, S., and Buergow, G. (Eds.) *Short Rotation Plantations: Guidelines for efficient biomass production with the safe application of wastewater and sewage sludge*. European Commission, BIOPROSS Project, pp. 19–27.
- Hernández, R. E., Koubaa, A., Beaudoin, M., and Fortin, Y., 1998. Selected mechanical properties of fast-growing poplar hybrid clones. *Wood and Fiber Science* 30(2), 138–147.
- Hinds, T. E., 1985. Diseases in Aspen: Ecology and Management in the Western United States. In: DeByle, N. V., and Winokur, R. P. (Eds.) *General Technical Report RM-119*. Fort Collins, Colorado: USDA Forest Service, pp. 87–106.
- Hocker, H. W., 1982. Effects of thinning on biomass growth in young *Populus tremuloides* plots. *Canadian Journal of Forest Research* 12(4), 731–737.
- Houtzagers, G., 1952. Forest genetics and poplar breeding in The Netherlands. *Euphytica* 1(1), 10–14.
- Hubert, M., and Courraud, R., 2002. *Élagage et taille de formation des arbres forestiers*. Paris: Institut pour le développement forestier, 3rd ed.
- Huda, A., Koubaa, A., Cloutier, A., Hernández, R. E., Périnet, P., and Fortin, Y., 2018. Phenotypic and genotypic correlations for wood properties of hybrid poplar clones of Southern Quebec. *Forests* 9(3), 1–17.
- Isebrands, J. G., 2007. *Best Management Practices Poplar Manual for Agroforestry Applications in Minnesota*. New London, Wisconsin: Environmental Forestry Consultants, LLC.
- Isebrands, J. G., and Karnosky, D. F., 2001. Environmental benefits of poplar culture. In: Dickmann, D. I., Isebrands, J. G., Eckenwalder, J. E., and Richardson, J. (Eds.) *Poplar Culture in North America*. Ottawa: NRC Research Press, pp. 207–218.

- Jansons, Ā., Matisons, R., Šēnhofa, S., Katrevičs, J., and Jansons, J., 2016. High-frequency variation of tree-ring width of some native and alien tree species in Latvia during the period 1965–2009. *Dendrochronologia* 40, 151–158.
- Jansons, Ā., Rieksts-Riekstiņš, J., Šēnhofa, S., Katrevičs, J., Lazdiņa, D., and Sisenis, L., 2017. Above-ground biomass equations of *Populus* hybrids in Latvia. *Baltic Forestry* 23(2), 507–514.
- Jiang, Z. H., Wang, X. Q., Fei, B. H., Ren, H. Q., and Liu, X. E., 2007. Effect of stand and tree attributes on growth and wood quality characteristics from a spacing trial with *Populus xiaohei*. *Annals of Forest Science* 64(8), 807–814.
- Johansson, T., 1993. Seasonal changes in contents of root starch and soluble carbohydrates in 4–6-year old *Betula pubescens* and *Populus tremula*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8(1), 94–106.
- Johansson, T., 1999. Biomass equations for determining fractions of European aspen growing on abandoned farmland and some practical implications. *Biomass and Bioenergy* 17(6), 471–480.
- Johansson, T., and Hjelm, B., 2012. The sprouting capacity of 8-21-year-old poplars and some practical implications. *Forests* 3(3), 528–545.
- Karačić, A., 2005. *Production and ecological aspects of short rotations poplars in Sweden*. Thesis (PhD), Swedish University of Agricultural Sciences.
- Karačić, A., Verwijst, T., and Weih, M., 2003. Above-ground woody biomass production of short-rotation *Populus* plantations on agricultural land in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18(5), 427–437.
- Kauter, D., Lewandowski, I., and Claupein, W., 2003. Quantity and quality of harvestable biomass from *Populus* short rotation coppice for solid fuel use: A review of the physiological basis and management influences. *Biomass and Bioenergy* 24(6), 411–427.
- Kelly, P. M., Leuschner, H. H., Briffa, K. R., and Harris, I. C., 2002. The climatic interpretation of pan-European signature years in oak ring-width series. *The Holocene* 12(6), 689–694.
- Klasa, A., 2008. Plantation site selection. In: Heinsoo, K., Dimitriou, I., Foellner, S., and Buerge, G. (Eds.) *Short Rotation Plantations: Guidelines for efficient biomass production with the safe application of wastewater and sewage sludge*. European Commission, BIOPROSS Project, pp. 13–18.

- Klasnja, S., Kopitovic, S., and Orlovic, S., 2003. Variability of some wood properties of eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) clones. *Wood Science and Technology* 37(3-4), 331–337.
- Kundzewicz, Z. W., Radziejewski, M., and Pińskwar, I., 2006. Precipitation extremes in the changing climate of Europe. *Climate Research* 31(1), 51–58.
- Landhäusser, S. M., 2009. Impact of slash removal, drag scarification, and mounding on lodgepole pine cone distribution and seedling regeneration after cut-to-length harvesting on high elevation sites. *Forest Ecology and Management* 258(1), 43–49.
- Landhäusser, S. M., DesRochers, A., and Lieffers, V. J., 2001. A comparison of growth and physiology in *Picea glauca* and *Populus tremuloides* at different soil temperatures. *Canadian Journal of Forest Research* 31(11), 1922–1929.
- Laureysens, I., Blust, R., De Temmerman, L., Lemmens, C., and Ceulemans, R., 2004. Clonal variation in heavy metal accumulation and biomass production in a poplar coppice culture: I. Seasonal variation in leaf, wood and bark concentrations. *Environmental Pollution* 131(3), 485–494.
- Laureysens, I., Deraedt, W., Indeherberge, T., and Ceulemans, R., 2003. Population dynamics in a 6-year old coppice culture of poplar. I. Clonal differences in stool mortality, shoot dynamics and shoot diameter distribution in relation to biomass production. *Biomass and Bioenergy* 24(2), 81–95.
- Laureysens, I., Pellis, A., Willems, J., and Ceulemans, R., 2005. Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar. III. Second rotation results. *Biomass and Bioenergy* 29(1), 10–21.
- Lazdina, D., Rancane, S., Makovskis, K., Sarkanabols, T., and Dumins, K., 2018. Hybrid aspen and perennial grass agroforestry system interactions In: *Proceedings of 4th European Agroforestry Conference: Agroforestry as Sustainable Land Use, Nijmegen, The Netherlands, May 2018*. European Agroforestry Federation and University of Santiago de Compostela Lugo, pp. 523–527.
- Lazdiņa, D., Šēnhofa, S., Zeps, M., Makovskis, K., Bebre, I., and Jansons, Ā., 2016. The early growth and fall frost damage of poplar clones in Latvia. *Agronomy Research* 14(1), 109–122.**

- Lust, N., and Mohammady, M., 1973. Regeneration of Coppice. *Sylva Gardavensis* 39, 1–28.
- Makeschin, F., 1999. Short rotation forestry in Central and Northern Europe – Introduction and conclusions. *Forest Ecology and Management* 121(1-2), 1–7.
- Mangalis, I., 1971. Vītoli un kārklu ieaudzēšana. Grām.: Bušs, M., un Mangalis, I. (red.) *Meža kultūras*. Rīga: Zvaigzne, 424.–427. lpp.
- Mangalis, I., 1998. Vai audzēsīm papeles? *Praktiskais Latvietis* 5, 10. lpp.
- Maurin, V., and DesRochers, A., 2013. Physiological and growth responses to pruning season and intensity of hybrid poplar. *Forest Ecology and Management* 304, 399–406.
- Mauriņš, A., un Zvirgzds, A., 2006. *Dendroloģija*. Rīga: Latvijas Universitātes apgāds.
- McCarthy, R., Ekö, P. M., and Rytter, L. 2014. Reliability of stump sprouting as a regeneration method for poplars: clonal behavior in survival, sprout straightness and growth. *Silva Fennica* 48(3), id 1126, 9 p.
- Michler, C. H., and Haissig, B. E., 1988. Increased herbicide tolerance of *in vitro* selected hybrid poplar. *Forestry Sciences* 30, 183–189.
- National Poplar and Willow Users Group. 2007. *Growing Poplar and Willow Trees on Farms: Guidelines for Establishing and Managing Poplar and Willow Trees on Farms*. New Zealand: National Poplar and Willow Users Group.
- Nervo, G., Coaloa, D., Vietto, L., Giorcelli, A., and Allegro, G., 2011. *Current situation and prospects for European poplar culture: the role of Italian research*. [online]. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. [viewed 10.10.2018]. Available from: http://www.populus.it/pdf/JS2011_NERVO_PRESENTAZIONE.PDF.
- Netzer, D. A., Tolsted, D. N., Ostry, M. E., Isebrands, J. G., Riemenschneider, D. E. and Ward, K. T., 2002. *Growth, yield, and disease resistance of 7- to 12-year-old poplar clones in north central United States*. St. Paul, Minnesota: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Central Research Station.
- Newomble, G., Ostry, M., Hubbes, M., Périnet, P., and Mottet, M. J., 2001. Poplar diseases. In: Dickmann, D. I., Isebrands, J. G., Eckenwalder, J. E., and Richardson, J. (Eds.) *Poplar Culture in North America*. Ottawa: NRC Research Press, pp. 249–276.

- Olson, J. R., Jourdain, C. J., and Rousseau, R. J., 1985. Selection for cellulose content, specific gravity, and volume in young *Populus deltoides* clones. *Canadian Journal of Forest Research* 15(2), 393–396.
- Pallardy, S. G., 2008. *Physiology of Woody Plants*. London: Elsevier, 3rd ed.
- Petráš, R., Mecko, J., and Nociar, V., 2008. Models of assortment yield tables for poplar clones. *Journal of Forest Science* 54(5), 227–233.
- Pilcher, J. R., and Gray, B., 1982. The relationships between oak tree growth and climate in Britain. *Journal of Ecology* 70(1), 297–304.
- Pinkard, E. A., Mohammed, C., Beadle, C. L., Hall, M. F., Worledge, D., and Mollon, A., 2004. Growth responses, physiology and decay associated with pruning plantation-grown *Eucalyptus globulus* Labill. and *E. nitens* (Deane and Maiden) Maiden. *Forest Ecology and Management* 200(1-3), 263–277.
- Pliura, A., and Suchockas, V., 2010. *Application and dissemination of innovative technologies and scientific knowledge on hybrid aspen propagation for establishing of very productive plantations in field of short rotation forestry*. Kaunas: Lithuanian Forest Research Institute.
- Pliura, A., Zhang, S. Y., MacKay, J., and Bousquet, J., 2007. Genotypic variation in wood density and growth traits of poplar hybrids at four clonal trials. *Forest Ecology and Management* 238(1-3), 92–106.
- Pothier, D., and Savard, F., 1998. *Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec*. Québec: Ministère des Ressources naturelles.
- Rancāne, S., Makovskis, K., Lazdiņa, D., Daugaviete, M., Gūtmane, I., and Bērziņš, P., 2014. Analysis of economical, social and environmental aspects of agroforestry systems of trees and perennial herbaceous plants. *Agronomy Research* 12(2), 589–602.
- Rytter, L., Johansson, K., Karlsson, B., and Stener, L.G., 2013. Tree species, genetics and regeneration for bioenergy feedstock in northern Europe. In: Kellomäki, S., Kilpeläinen, A., and Alam, A. (Eds.) *Forest bioenergy production: Management, carbon sequestration and adaptation*. New York: Springer, pp. 7–37.
- Rytter, L., Johansson, T., Karačić, A., and Weih, M., 2011a. *Orienterande studie om ett svenskt forskningsprogram för poppel*. Uppsala: Skogforsk.
- Rytter, L., Stener, L. G., Övergaard, R., 2011b. *Odling av hybridasp och poppel*. Uppsala: Skogforsk.

- Rytter, R. M., 2012. The potential of willow and poplar plantations as carbon sinks in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 36, 86–95.
- Salņš, S., 1971. Speciālo kultūru veidi. Grām.: Bušs, M., un Mangalis, I. (red.) *Meža kultūras*. Rīga: Zvaigzne, 379.–409. lpp.
- Scarascia-Mugnozza, G., Ceulemans, R., Heilman, P. E., Isebrands, J. G., Stettler, R., and Hinckley, T. M., 1997. Production physiology and morphology of *Populus* species and their hybrids grown under short rotation. II. Biomass components and harvest index of hybrid and parental species clones. *Canadian Journal of Forest Research* 27(3), 285–294.
- Schulz, U., Brauner, O., and Gruß, H., 2009. Animal diversity on short-rotation coppices – a review. *Agriculture and Forestry Research* 59(3), 171–182.
- Sedjo, R. A., 1999. The potential of high-yield plantation forestry for meeting timber needs. *New Forests* 17(1-3), 339–360.
- Shigo, A. L., 1989. *A new tree biology: facts, photos, and philosophies on trees, and their problems and proper care*. Durham, New Hampshire: Shigo and Trees.
- Shock, C., Feibert, E., and Eaton, J., 2005. Effect of pruning severity on the annual growth of hybrid poplar. *OSU Agricultural Experiment Station, Special Report* 1062, 118–123.
- Smilga, J., 1988. *Populus* sugas pasaules mežsaimniecībā. *Mežsaimniecība un mežrūpniecība* 5(127), 5–7.
- Sonesson, J., Albrektson, A., and Karlsson, A., 1994. *Björkens produktion på nedlagd jordbruksmark i Götaland och Svealand*. Umeå: Swedish University of Agricultural Sciences.
- Soutrenon, A., 1995. Période d'élitage et traitement des plaies sur feuillus. *Ingénieries EAT* 3, 3–12.
- Spinelli, R., Magagnotti, N., Sperandio, G., Cielo, P., Verani, S., and Zanuttini, R., 2011. Cost and productivity of harvesting high-value hybrid poplar plantations in Italy. *Forest Products Journal* 61(1), 64–70.
- Staniulis, J., 2001. Poplar mosaic virus detected in Lithuania. *Biologija* 4, 46–48.
- Stanturf, J. A., van Oosten, C., Netzer, D. A., Coleman, M. D., and Portwood, C. J., 2001. Ecology and silviculture of poplar plantations. In: Dickmann, D. I., Isebrands, J. G., Eckenwalder, J. E., and Richardson, J. (Eds.) *Poplar Culture in North America*. Ottawa: NRC Research Press, pp. 153–206.

- Strong, T. F., and Zavitkovski, J., 1983. Effect of harvesting season on hybrid poplar coppicing. In: Hansen, E. A. (Ed.) *Intensive Plantation Culture: 12 Years Research*. St. Paul, Minnesota: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Central Forest Experimental Station, pp. 54–57.
- Sutton, W., 1999. The need for planted forests and the example of radiate pine. *New Forests* 17(1-3), 95–110.
- Šēnhofa, S., Neimane, U., Grava, A., Sisenis, L., Lazdiņa, D., and Jansons, Ā., 2017. Juvenile growth and frost damages of poplar clone OP42 in Latvia. *Agronomy Research* 15(5), 2113–2125.
- Šēnhofa, S., Zeps, M., Kēniņa, L., Neimane, U., Kāpostiņš, R., Kārklīņa, A., and Jansons, Ā., 2018. Intra-annual height growth of hybrid poplars in Latvia: Results from the year of establishment. *Agronomy Research* 16(1), 254–262.
- Šēnhofa, S., Zeps, M., Matisons, R., Smilga, J., Lazdiņa, D., and Jansons, Ā., 2016. Effect of climatic factors on tree ring width of *Populus* hybrids in Latvia. *Silva Fennica* 50(1), id 1442, 12 p.
- Taubenberg, F., 1971. Apstādījumu ierīkošana. Grām.: Bušs, M., un Mangalis, I. (red.) *Meža kultūras*. Rīga: Zvaigzne, 510.–530. lpp.
- Telewski, F. W., 1995. Wind-induced physiological and developmental responses in trees. In: Coutts, M. P., and Grace, J. (Eds.) *Wind and Trees*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 237–263.
- Trinka, P., 1998. Short-rotation forestry: Discussion of 10 Austrian principles from the viewpoint of preservation of environment and nature. *Biomass and Bioenergy* 15(1), 109–114.
- Tschaplinski, T. J., and Blake, T. J., 1994. Carbohydrate mobilization following shoot defoliation and decapitation in hybrid poplar. *Tree Physiology* 14(2), 141–151.
- Tullus, H., Tullus, A., and Rytter, L., 2013. Short-rotation forestry for supplying biomass for energy production. In: Kellomäki, S., Kilpeläinen, A., and Alam, A. (Eds.) *Forest bioenergy production: Management, carbon sequestration and adaption*. New York: Springer, pp. 39–57.
- Ulloa, J., and Villacur, L., 2005. Contribution of a private poplar industry in Chile to sustainable rural development. *Unasylva* 56(221), 12–17.
- Vallee, G., 1995a. *Liste des clones recommandés selon les régions écologiques forestières du Québec et exemples de production ligneuses obtenues avec ces clones*. Québec: Ministère des Ressources naturelles.

- Vallee, G., 1995b. Projet du MRNQ sur l'amélioration génétique des peupliers dans la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean. In: *Compte rendu de la réunion annuelle 1995 du Conseil du peuplier du Canada, Chicoutimi, Septembre 1995*. Québec: Ministère des Ressources naturelles, pp. 89–105.
- Venn, T., 2005. Financial and economic performance of long-rotation hardwood plantation investments in Queensland, Australia. *Forest Policy and Economics* 7(3), 437–454.
- Williamson, A. W., 1913. *Cottonwood in the Mississippi Valley*. Washington: US Department of Agriculture.
- Yu, Q., Tigerstedt, P. M. A., and Haapanen, M., 2001. Growth and phenology of hybrid aspen clones (*Populus tremula* L. × *Populus tremuloides* Michx.). *Silva Fennica* 35(1), 15–25.
- Zeps, M., 2017. *Apšu hibrīdu (Populus tremuloides Michx × Populus tremula L.) audzēšanas potenciāls Latvijā*. Promocijas darba kopsavilkums Dr. silv zinātniskā grāda iegūšanai, Latvijas Lauksaimniecības universitāte.
- Zeps, M., Jansons, A., Smilga, J., and Purina, L., 2012. Growth intensity and height increment in a young hybrid aspen stand in Latvia. In: Ramos, R. A. R., Straupe, I., and Panagopoulos, T. (Eds.) *Recent Researches in Environment, Energy Systems and Sustainability: Proceedings of the 8th WSEAS International Conference, Faro, Portugal, May 2012*. WSEAS Press, pp. 120–124.
- Zhang, S. Y., 1995. Effect of growth rate on wood specific gravity and selected mechanical properties in individual species from distinct wood categories. *Wood Science and Technology* 29(6), 451–465.
- Zhang, S. Y., Yu, Q., Chauret, G., and Koubaa, A., 2003. Selection for both growth and wood properties in hybrid poplar clones. *Forest Science* 49(6), 901–908.
- Zobel, B. J., and van Buijtenen, J. P., 1989. *Wood Variation: Its Causes and Control*. Berlin: Springer-Verlag.
- Zobel, B. J., and Jett, J. B., 1995. *Genetics of Wood Production*. Berlin: Springer-Verlag.

Latvijas Valsts mežzinātnes institūts «Silava»

Rīgas iela 111, Salaspils, Salaspils novads

Tālr.: 67942555

E-pasts: inst@silava.lv

www.silava.lv

Datorsalikums: Ilva Konstantinova, LVMI «Silava»

Vāka dizains: SIA «Latgales druka»

Iespiests: SIA «Latgales druka»

Baznīcas iela 28, Rēzekne

Tālr./fakss: 64625938