



**Saimnieciski nozīmīgo koku sugu
(parastā priede, parastā egle, kārpainais bērzs) un apses
selekcijas darba programma
a/s „Latvijas valsts meži”
30 gadiem**

/Ā. Jansons/

Selekcijas programmas mērķis ir nodrošināt sistemātisku, plānveidīgu selekcijas darbu, koordinējot atsevišķus tematus vienota mērķa sasniegšanai un tādejādi nodrošinot, ka ieguldītie resursi sniedz maksimālo atdevi sēklkopības nozares attīstībā un meža kapitāla vērtības palielināšanā. Garantēt darba nepārtrauktību un nodrošina visu ilgtspējīgas attīstības aspektu ievērošanu: maksimālo atdevi (selekcijas efektu) no ieguldītajām investīcijām, tanī pat laikā saglabājot ģenētisko daudzveidību un fleksibilitāti (iespēju pielāgoties klimata izmaiņām, selekcijas mērķu un metožu maiņai), kā arī paaugstinot saimniecisko meža rekreācijas vērtību.

I TEORĒTISKĀ BĀZE.....	4
1. Baltijas jūras reģiona valstu meža selekcijas programmas.....	4
2. Selekcijas shēma.....	14
3. Selekcijas populācija	19
4. Ģenētiskā daudzveidība.....	25
Ģenētisko daudzveidību ietekmējošie procesi un indikatori	25
Klonu skaits sēkļu plantācijās.....	31
5. Krustošanas shēma un atlasē veids	36
6. Pēcnācēju pārbaudes.....	42
Veģetatīvo pēcnācēju pārbaudžu praktiskās izmantošanas iespējas.....	48
Genotipa-vides mijiedarbība.....	49
7. Atlasē laiks.....	60
8. Atlasē kritēriji	66
9. Selekcijas darba ekonomiskais aspekts	83
II DARBA PROGRAMMA	87
1. Selekcijas materiāls	87
2. Darba plāns un sagaidāmie rezultāti.....	89
Nozīmīgākie rezultāti pa 5 gadu periodiem.....	97
Pētnieciskās prioritātes	100
3. Ekonomiskais novērtējums.....	102
Izmantotā literatūra.....	107
Pielikums	125

I TEORĒTISKĀ BĀZE

Šajā darba daļā apkopota informācija un aprēķinu rezultāti par selekcijas programmai nozīmīgiem aspektiem un Latvijas apstākļos izmantojamajiem to kvantitatīvajiem lielumiem, tādiem kā koku skaits selekcijas populācijā, minimālais pēcnācēju pārbaužu vietu skaits u.c.

1. Baltijas jūras reģiona valstu meža selekcijas programmas

Baltijas jūras reģiona valstīs selekcijas programmas izstrādātas ar mērķi nodrošināt eksistējošās ģenētiskās variācijas izpēti, paplašināšanu (lietojot krustošanu) un ilgtspējīgu izmantošanu. Ņemot vērā ilgstošo laika periodu viena selekcijas cikla izpildei (24-48 gadi), ir svarīgi, lai programma būtu efektīva līdzekļu izmantošanā un tanī pat laikā saglabātu iespējas selekcijas mērķu maiņai nākotnē. Mežsaimniecība ziemeļu platuma grādos ir ar garu rotācijas ciklu – tas nozīmē, ka šobrīd izdarītā meža atjaunošanas materiāla izvēle ietekmēs no meža iegūstamos produktus un to īpašības ilgstošā laika periodā (pat 120 gadus).

Selekcijas stratēģijas izstrāde Baltijas jūras reģiona valstīs notikusi balstoties uz zinātnisku analīzi, kontekstā ar meža nozares attīstības perspektīvām un iesaistot visas ieinteresētās puses: meža īpašniekus un meža reproduktīvā materiāla audzētājus, atbildīgās valsts iestādes.

Norvēģija

Meža selekcijas mērķis – paaugstināt meža reproduktīvā materiāla adaptācijas spējas, ātraudzību un kvalitāti (Steffenrem, 2005, pers.kom.).

Meža selekcijas stratēģija – definēta dokumentā: „Stratēģiskā programma sēklu materiāla nodrošināšanai, meža selekcijai un ģenētisko resursu saglabāšanai” 1999. gadā (Skaret, 2004).

Egle Norvēģijā tiek stādīta 85% no kopējās mākslīgi atjaunotās meža platības, tādēļ arī galvenais selekcijas darbs veltīts šai koku sugai. Ar potēšanas metodi ierīkoti kopumā 260 ha sēklu plantāciju (Skrøppa, 2002), no kuriem 2005. gadā ražojoši ir 185 ha (Steffenrem, 2005, pers.kom.). Plantāciju ierīkošanā izmantotajiem (aptuveni 2000) kloniem ierīkotas pēcnācēju pārbaudes: 400 kloniem izmantojot kontrolēto krustošanu (sibu ģimenes), 700 kloniem izmantojot pussibu ģimenes (polikrosu) un pērējiem lietojot brīvapputes materiālu (Steffenrem, 2005, pers.kom.). Selekcijas efekts krājai (salīdzinot ar mežaudžu pēcnācēju krāju) pēc sēklu plantāciju ģenētiskās kopšanas 10% (Steffenrem, 2005, pers.kom.).

2000. gadā no stādu audzēšanai meža kokaudzētāvās izmantotajām egles sēklām 25% bija no sēklu plantācijām, 14% no atlasītām sēklu audzēm un 60% no zināmām (identificētām) sēklu audzēm, kā arī aptuveni 1% ievesto sēklu (Skrøppa, 2002).

Pieņemtās stratēģijas galvenais uzdevums ir mākslīgo meža atjaunošanu nodrošināt ar ģenētiski uzlabotu sēklu materiālu no sēklu plantācijām. Lai to nodrošinātu, atsevišķiem valsts reģioniem paredzēti dažādi selekcijas pasākumi. Valsts dienvidu daļā, kur mežaudžu produktivitāte augstāka, plānots turpināt ierīkot 2. kārtas potētās sēklu plantācijas (Skrøppa, 2002). Tās iespēju robežās tiks veidotas no pārbaudītiem un atlasītiem kloniem, taču tiks izmantoti arī atlasīti fenotipiski labākie koki no pēcnācēju pārbaužu stādījumiem (Steffenrem, 2005, pers.kom.). Bez tam ilgākā laika periodā tiks veikta kontrolētā krustošana un jaunas atlases sibu stādījumos, lai pakāpeniski aizstātu ražošanā esošos klonus (Skrøppa, 2002).

Valsts ziemeļu daļā, kur audžu ražība zemāka, paredzēts izmantot zemākas intensitātes selekciju. Tur katrai selekcijas zonai tiks atlasīti 200-300 pluskoki un ierīkotas 3-4 brīvapputes pēcnācēju ģimeņu pārbaudes ar nosacījumu, lai vismaz viena no tām atrodas

sēklu ražošanai piemērotā vietā (vēlāk iespējams pārveidot par sējeņu sēklu plantāciju) un vismaz viena – ārpus attiecīgā provenienču reģiona robežām (Skrøppa, 2002).

Saskaņā ar šo plānu Norvēģijas ziemeļu daļā (3 selekcijas zonas) jau veikta labāko audžu izvēle, tajās atlasīti kopumā 408 pluskoki un ierīkoti 11 stādījumi katrā 30 bloki, izmantotas vienkoka parces, stādīšanas biežība $2500 \text{ koki} \cdot \text{ha}^{-1}$, stādīts meža zemē (Skaret, 2004).

Pat ņemot vērā samērā sekmīgo selekcijas darbu, Skrøppa (2002) atzīmē, ka Norvēģijā lielākā daļa meža īpašnieki nav ieinteresēti ģenētiski augstvērtīga stādāmā materiāla izmantošanā. To apliecina fakts, ka beidzoties valsts subsīdiu programmai meža mākslīgās atjaunošanas atbalstam, egles sēklu patēriņš Norvēģijas ziemeļu daļā samazinājās no 100 kg 1994. gadā līdz 13 kg 2003. gadā (Skaret, 2004).

Zviedrija

Meža selekcijas mērķis – paaugstināt mežaudžu produktivitāti, adaptācijas spējas un koku kvalitāti, vienlaikus nodrošinot nepieciešamo ģenētisko daudzveidību (Ståhl, Jansson, 2002).

Meža selekcijas stratēģija – apkopota dokumentā „Zviedrijas meža selekcijas programmas” 1995. gadā.

Priedes un egles selekcijai tiek novirzīti lielākā daļa (80%) resursu (Ståhl, Jansson, 2002), tādēļ programmu sagatavošanā un aprakstā tās akcentētas visbiežāk.

Selekcijas populācija (aptuveni 1000 koku) sadalīta vairākās selekcijas grupās pēc reģionālā principa. Katrā grupa ietverti 50 koki, grupu skaits: eglei 22, priedei 24, bērzam 7. Veicot kontrolēto krustošanu tiek veidotas sibu ģimenes – katrs vecāku koks piedalās 2 krustojumos, bez tam labākie (pēc selekcijas vērtības) vecāku – koki tiek krustoti ar labākajiem, sliktākie – ar sliktākajiem. No katras sibu ģimenes tiek atlasīti 2 koki selekcijas grupai nākamajam selekcijas ciklam (Ståhl, Jansson, 2002), tādējādi panākot samērā lēnu radniecības pakāpes palielināšanos starp īpatņiem: tikai 0,5% paaudzē (Danell, 1993b).

Priedei lieto ģeneratīvo (no sēklām izaudzētu) pēcnācēju pārbaudes, eglei – klonālās (apsakņotus spraudņus). Plānots tuvākajā nākotnē arī parastās priedes pēcnācēju pārbaudēs izmantot apsakņotu spraudņu materiālu, kā tas no 2006. gada jau tiek praktizēts Klinškalna priedes selekcijā. Klonālās pārbaudes padara selekcijas procesu efektīvāku – tām nepieciešams īsāks laiks un mazāks stādu daudzums, kā arī rezultāti ir precīzāki (Ståhl, Jansson, 2002). Notiek pētnieciskais darbs ar mērķi izveidot efektīvākas metodes klonu ziedēšanas stimulēšanai, līdz ar to samazinot gaidīšanas laiku selekcijas ciklā (Klintenäs, 2005).

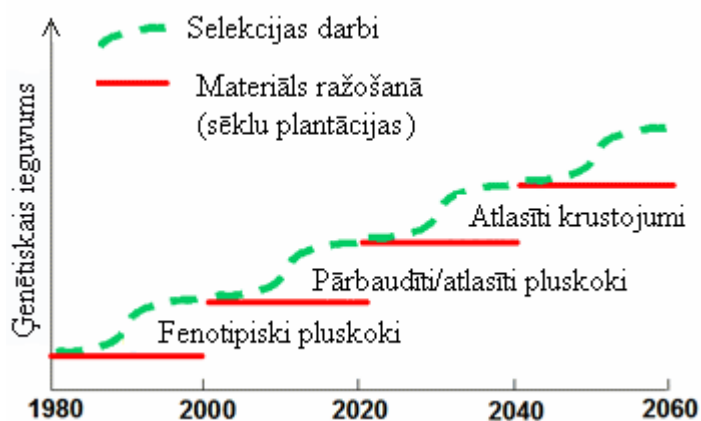
Sēklu plantācijas šobrīd nodrošina pieprasījumu pēc priedes sēklu materiāla par 80%, pēc egles – 20% (Ståhl, Jansson, 2002). Fenotipiski atlasīto pluskoku (1. kārtas) sēklu plantācijas, kas iekārtotas periodā no 1940 līdz 1970 gadam, nodrošina krājai palielinājumu par 10% - no kā 6% ir selekcijas efekts, 2% - neradniecīgu klonu krustošanās efekts, 2% - labāka sēklu fizioloģiskā stāvokļa efekts. Plantāciju ierīkošanā no 1980. gada izmanto pēcnācēju pārbaudītus klonus un papildus fenotipiski atlasītus (no 25-50 gadus vecām, ar pirmo sēklu plantāciju materiālu ierīkotām mežaudzēm) kokus, no šīm plantācijām iegūstot selekcijas efektu krājai (salīdzinot ar mežaudžu pēcnācējiem) līdz pat 25% (Ståhl, Jansson, 2002).

Lai nodrošinātu sēklu materiāla pietiekamību, kā arī paaugstinātu ģenētisko ieguvumu, Zviedrijā 2003. gadā uzsākta un šobrīd notiek aktīva jaunu sēklu plantāciju ierīkošana. Atlases intensitāte izvēloties klonus šīm plantācijām ir augsta, jo ar pēcnācēju pārbaudēm priedei novērtēti kopumā 4000 koki. Plānoto ģenētiskā ieguvuma realizāciju ražošanā dažādos laika posmos raksturo 1.1. attēls. No pārbaudītajiem un atlasītajiem pluskokiem plānotais produktivitātes ieguvums ir vidēji +25%.

Nozīmīgākās pazīmes, pēc kurām notiek atlase, ir ātraudzība, rezistence, adaptācijas spējas, kvalitāte. Taču to secība (sadalījums pēc nozīmīguma) atšķiras starp reģionālajām populācijām. Valsts ziemeļu daļā svarīgākās ir adaptācijas spējas (saglabāšanās), turpretī dienvidu daļā – ātraudzība un kvalitāte. Tiek pievērsta uzmanība arī atsevišķām koksnes

īpašībām – piemēram, atlasot kandidātus nākamajam selekcijas ciklam eglei tiek izslēgti koki ar pārāk zemu koksnes blīvumu, jo negatīva ietekme uz koksnes blīvumu jau ir praksē izmantotajiem stādīšanas attālumiem un ātraudzībai (Ståhl, Jansson, 2002), tādēļ ar selekcijas darbu svarīgi šo ietekmi mazināt (nepastiprināt).

Notiek arī Klinškalna priedes (*Pinus contorta* var. *latifolia*) selekcija Ziemeļzvidrijas vajadzībām – izveidotas 11 reģionālā populācijas. Bērza selekcija ekstensīvi notiek Ziemeļzvidrijā (sēklu plantācija ar fenotipiski atlasītiem kloniem) un intensīvāk Dienvidzvidrijā (sēklu plantācija ar ģeneratīvu vai veģetatīvu pēcnācēju testos pārbaudītiem kloniem). Bērzam tiek izmantots reproduktīvais materiāls arī no Somijas, pārbaudīts – no Polijas, Lietuvas, Vācijas (Ståhl, Jansson, 2002). Pārbaudes ierīko uz lauksaimniecības zemēm (tādējādi rezultātus sasniedzot agrāk, kā arī precīzāk nosakot ģenētiskās atšķirības). Bērzam konstatēta cieša sakarība (ģimeņu rangu korelācija) starp rezultātiem no pēcnācēju pārbaudēm ar mikroklonāli un ģeneratīvi pavairotu materiālu (Stener, 2005).



1.1. attēls. Meža selekcijas stratēģijas realizācijas procesā dažādās pakāpēs plānotais ģenētiski uzlabota reproduktīvā materiāla iegūšanas un realizācijas (izmantošanas sēklu plantācijās) laiks (attēls no www.skogforsk.se, 2005)

Ierīkoti arī nelieli lapegles (Eiropas, Japānas un hibrīdās) un Sitkas egles selekcijas stādījumi materiāla atlasei sēklu plantācijām, kā arī veikta ozola pluskoku atlase un pēcnācēju pārbaude ierīkošana (SkogForsk, 2005)

Nozīmīgākās turpmākās pētnieciskās jomas Zvidrijā meža slekcijas kontekstā: adaptācija globālajām klimata izmaiņām (to iespējamo sekū mazināšana), veģetatīvās pavairošanas iespējas priedei, selekcijas efektivitātes paaugstināšana izmantojot molekulārās ģenētikas metodes, dažādu pazīmju korelācijas juvenīlā un pieaugušas audzes vecumā (Ståhl, Jansson, 2002).

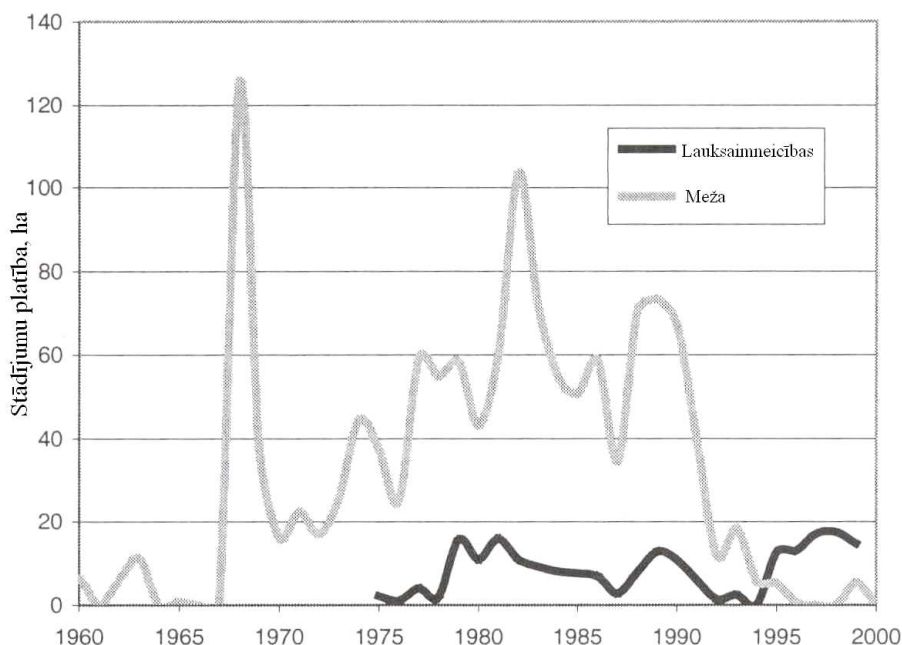
Somija

Meža selekcijas mērķis – ar ģenētikas metodēm uzlabot ekonomiski nozīmīgās meža koku īpašības, veidojot bāzi tāda reproduktīvā materiāla ražošanai, kurš ir adaptējies tā plānotās pielietojuma apgabala klimatiskajiem apstākļiem, vienlaikus nodrošinot nepieciešamo ģenētisko daudzveidību.

Meža selekcijas stratēģija – apkopota dokumentā „Somijas meža selekcijas plāns” ar darbības termiņu līdz 2050. gadam, kurš pabeigts izstrādāt 2004. gadā.

Somijas ekonomikā mežam un tā produktiem ir nozīmīga loma, tādēļ arī selekcija veikta intensīvi un katru gadu ierīkotas ievērojamas pēcnācēju pārbaude stādījumu platības (1.2. att.). Veikta fenotipiskā pluskoku atlase un eglei valsts ziemeļu daļā ierīkotas pēcnācēju pārbaudes,

dienvīdu daļā tās jau sasniegušas izvērtēšanas vecumu un sniedz rezultātus; priedei ziemeļu daļā notiek pēcnācēju pārbaužu izvērtēšana, dienvīdu – tā jau pabeigta un uzsākta atlasīto īpatņu krustošana nākamās paaudzes pēcnācēju pārbaužu ierīkošanai; bērzam jau 2. paaudzes pēcnācēji pēc dažiem gadiem būs sasnieguši izvērtēšanas un uzmērīšanas vecumu (Haapanen, 2005). Selekcijas darbs plānots sadalot valsti 6 zonās (atkarībā no klimatiskajiem apstākļiem, aptuveni 2⁰ Z.p. viena zona) un katrā no tām eglei un priedei paredzēts izvietot pa vienai selekcijas grupai (kura sastāv no 160 kokiem). Bērzam selekcijas darbs paredzēts tikai 3 dienvīdu zonās. Atkarībā no reģiona atrašanās vietas mainās galvenais atlasē kritērijs – ziemeļos tiek meklēti salcietīgākie koki (šī pazīme vienlaikus nodrošina, ka atlasītais materiāls būs ar augstāku saglabāšanos, kvalitāti un krāju), divās zonās uz dienvīdiem nozīmīgākā ir salcietības un ātraudzības kombinācija, valsts dienvīdu daļā – stumbra kvalitāte, ātraudzība un noturība pret slimībām un kaitēkļiem. Svarīgi atzīmēt, ka selekcijas zonas nav definētas strikti ģeogrāfiski, bet atkarībā no teritorijas klimatiskajiem faktoriem (galvenokārt aktīvo temperatūru summas) – tās plānotas ar domu, ka iespējamo klimata izmaiņu ietekmē robežas var tikt pārvietotas. Papildus šīm galvenajām īpašībām var veikt atlasī un izveidot nelielas koku grupas, kuras izceļas ar kādas citas pazīmes augsto vērtību (piemēram – koksnes blīvumu) un uzturēt tās, lai būtu pieejams selekcionēts materiāls speciālām vajadzībām (Haapanen, 2005).



1.2. att. Somijā uz lauksaimniecības un meža zemēm ierīkoto meža selekcijas stādījumu platības (attēls no Haapanen, 2002).

Selekcijas darba turpināšanai plānots izmantot kontrolēto krustošanu. Ģimenes selekcijas grupās ir atlasītas saskaņā ar pēcnācēju pārbaužu rezultātiem, tātad tās iespējams ranžēt pēc nepieciešamo pazīmju kopuma. Tas tiek ņemts vērā un selekcijas grupas robežās savā starpā tiek krustoti labākie (pēc selekcijas vērtības) ar labākajiem un sliktākie ar sliktākajiem kokiem. Tādā veidā selekcijas populācijā palielinās atšķirības un uz to bāzes veidotajās sēkļu plantācijās (atlasot labākos kokus) iespējams panākt pat par 15% augstāku ģenētisko ieguvumu nekā krustojot īpatņus pēc nejaušības principa (Ruotsalainen, Lindgren, 2000).

Paredzēts, ka katrs koks iesaistīts viena krustojuma veidošanā. Labākie var tikt iesaistīti 2 vai 3, bet tad tālākai atlasei izvēlas tikai labāko no tiem. Tas darīts, lai būtu iespējams kontrolēt radniecību (tā nepalielinātos pārāk strauji). Vidēji no katra krustojuma izvēlas 100 pēcnācējus (no labākajiem – līdz 120, no sliktākajiem – 80). Tos stāda lauksaimniecības zemē, lietojot bloku parces (pa 15 kokiem) 3 stādīšanas vietās 2-3 atkārtojumos. Eglei – pēc

5 gadiem, priedei – pēc 10-12 gadiem atlasa fenotipiski labākos (kandidātus) – vidēji 10 no katra krustojuma (no labākajiem var būt 15, no sliktākajiem – 7). Kandidātus pavairo: eglei – ar spraudņiem, priedei – lietojot potēšanu uz pieauguša koka (tātad – panākot ziedēšanu jau pēc 1-2 gadiem) un izmantojot putekšņu maisījumu (polikrosu). Katram kandidātam iegūst 100-150 pēcnācējus, kurus stāda pēcnācēju pārbaudēs vairākās pārbaužu vietās lauksaimniecības zemēs lietojot vienkoka parces uz 10-15 gadiem. Pēc šī laika perioda stādījumus izvērtē un ranžē kandidātus (saskaņā ar to pēcnācējos konstatētajām pazīmēm). Labākie kandidāti tiek atlasīti nākamajam selekcijas ciklam - divi no katras sibu ģimenes, bet labākajām ģimenēm var būt arī vairāki, kā arī pašas sliktākās var tikt aizstātas ar pluskoku no dabiskas populācijas (Haapanen, 2005). Kandidātu pēcnācēju pārbaudes tiek ierīkotas ne tikai attiecīgajā selekcijas zonā, bet arī vairākos eksperimentos ārpus tās, lai novērtētu to adaptācijas spējas un iespējamās globālo klimata izmaiņu sekas, kā arī varētu atlasīt produktīvās ģimenes ar augstāko fenotipisko plastiskumu. Saglabājot nākamajam selekcijas ciklam vairāk pēcnācēju no labākajiem krustojumiem nekā no mazāk vērtīgajiem, iespējams paaugstināt sasniedzamā selekcijas efekta vērtību (Ruotsalainen, Lindgren, 2001).

Sēklu plantāciju sēklas nodrošina kokaudzētavu vajadzības eglei un priedei par 70—75%, bērzam – 90%. Ierīkoto 1. kārtas sēklu plantāciju platība pārsniedz 2000 ha priedei un ir gandrīz 300 ha eglei. Izstrādāta sēklu plantāciju programma ar mērķi ieviest ražošanā pieejamo augstākas ģenētiskā uzlabojuma pakāpes materiālu un savlaicīgi aizstāt novecojošās plantācijas (Nikkanen u.c., 2005).

Krievija

Informācija apkopota par Komi autonomo republiku.

Meža selekcijas mērķis – ražības (ātraudzības) uzlabošana priedei, eglei un lapeglei, kā arī sēklu materiāla ieguve Sibīrijas priedei (Fedorkov, 2005, pers.kom.).

Meža selekcijas stratēģija – atrodas izstrādes stadijā.

Liela vērība veltīta ģeogrāfisko provenienču eksperimentiem – tādi ierīkoti gan priedei (Shutyayev, Giertych, 1997, 2000), gan eglei un lapeglei (Fedorkov, 2005, pers.kom.).

Pēcnācēju pārbaužu ierīkošana fenotipiski atlasītiem parastās priedes pluskokiem uzsākta 1988. gadā. Jaunākajiem eksperimentiem izmantotas 20 koku rindu parces, 4 atkārtojumos (23. attēls). Mērījumus veic katrus 2-3 gadus. Daļu stādījumu pēc novērtēšanas paredzēts izkopt un izmantot kā sējeņu sēklu plantācijas, tādēļ tie ierīkoti ar lielu starprindu attālumu (4-5 m), bet attālums starp kokiem rindā ir 0,5 m. Plānots saskaņā ar pēcnācēju pārbaužu rezultātiem vidēji 12 gadu vecumā ierīkot 2. kārtas sēklu plantācijas priedei (Fedorkov, 2005).

Pirmās kārtas sēklu plantācijas Komi republikā ierīkotas 3 vietās ar kopējo platību parastajai priedei 160 ha / 614 kloni, eglei 28 ha / 56 kloni, lapeglei 1 ha / 13 kloni un Sibīrijas priedei 9 ha / 183 kloni, kā arī klonu arhīvi tām pašām sugām kopumā 31 ha platībā. Par spīti ievērojamajai plantāciju platībai, visai nedaudz sēklu nonāk kokaudzētavās – piemēram, no parastās priedes lielākās plantācijas (88 ha) ik gadus novāc vidēji 15 kg sēklu. Sēklu plantāciju ģeogrāfiskā novietojuma dēļ atsevišķā teritorijās izdevīgāk ir kokaudzētavām nepieciešamo sēklu materiālu iegūt mežaudzēs pēc kailcirtes, nevis mērot ievērojamo attālumu līdz plantācijai; rezultātā tikai 18% kokaudzētavās izmantoto sēklu ir no sēklu plantācijām. Nav arī atrisināts jautājums par sēklu materiāla rajonēšanu – plantācijā ir kloni no dažādām (klimatiski ievērojami atšķirīgām) republikas daļām, tādējādi ievērojami samazinot potenciālā selekcijas efekta vērtību (Fedorkov, 2005, pers.kom.).

Igaunija

Meža selekcijas mērķis – nodrošināt meža atjaunošanu ar augstas fizioloģiskās un ģenētiskās kvalitātes sēklu materiālu.

Meža selekcijas stratēģija – apkopota dokumentā „Igaunijas meža koku sēklu materiāla apgādes plāns līdz 2030. gadam”.

Igaunijā vēsturiski selekcija attīstījusies līdzīgi kā Latvijā – sākot ar pluskoku un mežaudžu atlasī pagājušā gadsimta piecdesmitajos, sešdesmitajos gados. Ierīkoti arī priedes un egles ģeogrāfisko provenienču (gan starptautisko, gan valsts robežās), tāpat kā iedzimtības pārbaūžu stādījumi. Bērza pētījumi vēsturiski notikuši tikai ģeogrāfisko provenienču līmenī, atsevišķu pluskoku atlase ar mērķi ierīkot sēklu plantācijas un pēcnācēju pārbaudes sākusies 1996. gadā. Melnalksnim novērtēti atsevišķu koku brīvapputes pēcnācēji, kā arī Igaunijas proveniencas (Tamm, 1996). Iepriekš atlasītā materiāla apjoms ir atzīts par nepietiekamu, tādēļ uzsākta papildus pluskokus un plusaudžu izdalīšana. Atlasītajam materiālam tiks veiktas brīvapputes pēcnācēju pārbaudes, daļu no mežaudžu līmenī atlasītā materiāla vienlaikus izmantojot par sēklu ieguves avotu meža atjaunošanai ar sēšanu (Kurm, Maaten, 2005, pers.kom.). Šobrīd nav konkrētas nostādnes par nākamo selekcijas ciklu (krustošanas shēma, pēcnācēju pārbaūžu ierīkošanas vietu skaits un izvietojums, parcelu veids u.c.) (Kurm, Maaten, 2005).

Igaunijas pirmās kārtas sēklu plantācijās iekļauti kopumā 503 priedes un 178 egles pluskoki. Ņemot vērā sēklu plantāciju vecumu un nepieciešamību pēc uzlabota sēklu materiāla, uzsākta iepriekš ierīkoto pēcnācēju pārbaūžu eksperimentu izvērtēšana. Saskaņā ar tās rezultātiem atlasīti labākie kloni un uzsākta arī 2. kārtas sēklu plantāciju ierīkošana – 2000. gadā ierīkoti 22 ha priedes un 0,7 ha egles plantāciju (Tamm, Kurm, 2002).

Zinātnieku skaits meža selekcijā tāpat kā interese par meža selekciju un stādāmā materiāla ģenētiskajām īpašībām ievērojami samazinājusies kopš 1996. gada – konstatē Tamm un Kurm (2002). Igaunijas Mežsaimniecības attīstības plāns (Estonian Forestry..., 2005) nosaka, ka meža atjaunošanā var tikt izmantotas tikai sēklu materiāls ar augstu ģenētisko un tehnisko kvalitāti, tomēr netiek definēts, kas saprotams ar augstu ģenētisko kvalitāti. Tāpat Mežsaimniecības attīstības plāns neparedz intensīvi atlasīta materiāla lietošanu un selekcijas procesa maksimālu paātrināšanu (Kurm, Maaten, 2005, pers.kom.).

Lietuva

Meža selekcijas mērķis – uzlabot koksnes kvalitāti, palielināt audžu ražību un adaptācijas spēju izmantojot ekonomiski efektīvus paņēmienus un nodrošinot pietiekamu pavairojamā materiāla ģenētisko daudzveidību (Meža ģenētisko..., 2003).

Meža selekcijas stratēģija – apkopota dokumentā „Meža ģenētisko resursu saglabāšanas un selekcijas attīstības programma” 2004. – 2013. gadam (Meža ģenētisko..., 2003).

Lietuvas vides ministrijas dokumentā uzsvērts, ka tikai ar meža selekcijas palīdzību iespējams nodrošināt ražīgu un noturīgu mežaudžu izveidi un ka tai ir būtiska loma realizējot Lietuvas meža platību palielināšanas (lauksaimniecības zemju apmežošanas) programmu. Norādīts, ka meža selekcijas metodes tiks izvēlētas ņemot vērā koku sugu bioloģiskās un ekoloģiskās īpašības, mežsaimniecības vajadzības un finansiālās iespējas. Kā obligāts nosacījums sekmīgam selekcijas procesam minēta atlase saskaņā ar pēcnācēju pārbaudēm, kuras ierīkotas atšķirīgos ekoloģiskos apstākļos. Atzīmēta nepieciešamība pēc fundamentāliem un pielietojamiem pētījumiem programmas ieviešanas un izpildes gaitā, kā arī plānotie finansējuma apjomi un finansētāji (Meža ģenētisko..., 2003).

Stratēģiskajā programmā norādīts, ka selekcijas darbam jābūt ar atšķirīgu galveno mērķi dažādās mežu kategorijās (Meža ģenētisko..., 2003):

- 1) aizsargājamos mežos – nodrošināt reproduktīvo materiālu ar augstām adaptācijas spējām un ģenētisko daudzveidību;
- 2) saimnieciskajos mežos – nodrošināt reproduktīvo materiālu ar labām adaptācijas spējām, koksnes kvalitāti un produktivitāti;

- 3) Īsircirtmeta mežos un plantācijās – nodrošināt reproduktīvo materiālu ar nelielu ģenētisko daudzveidību, bet maksimālu selekcijas efektu noteiktai pazīmei (lielākajā daļā gadījumu krājai).

2004. gadā Lietuvā uzsākta 2. kārtas sēklu plantāciju izveide eglei un priedei saskaņā ar pēcnācēju pārbaužu rezultātiem, labākajiem pluskokiem potzarus iegūstot no vecāku kokiem (tādejādi nodrošinot augstāko ieguvumu no selekcijas), bet zemāk ranžētiem kloniem – no fenotipiski atlasītajiem labākajiem pēcnācējiem (kas ir vienkāršāk un lētāk) (Baliuckas u.c., 2004).

Lietuvā, līdzīgi kā Zviedrijā un Somijā, plānots selekcijas populāciju sadalīt atsevišķās selekcijas grupās atbilstoši reģioniem ar atšķirīgām augsnes un klimata īpašībām. Tādejādi iespējams efektīvāk kontrolēt radniecības pakāpes palielināšanos starp kokiem selekcijas populācijā un sasniegt augstāku selekcija efektu. Katrā selekcijas grupā (priedei un eglei tās paredzētas 5-6) tiks ietverti 50 vecāku koki. Eglei Danusevičius (2004) iesaka izmantot kontrolēto krustošanu pēc dubultpāru shēmas (katrs koks ar 2 citiem), selekcijas grupā iegūstot 50 sibu ģimenes (ar vismaz 24 pēcnācējiem katrai). Pēc 4-5 gadiem no katras ģimenes izvēlas 8 kokus, un no katra iegūst 20 apsakņotus spraudņus. Šie spraudņi tiek stādīti pēcnācēju pārbaužu stādījumā lauksaimniecības zemēs, lietojot 2 (vai 3) koku parces un 4 atkārtojumus. Plānotais testa ilgums – 12 gadi. Priedei tāpat plānots lietot 50 koku selekcijas grupu, pēc kontrolētās krustošanas iegūstot 50 ģimenes, katrā 70 kokus, kurus izmanto pēcnācēju pārbaudēs un 10 gadu vecumā pēc fenotipa izvēlas 5 labākos (kandidātus). Kandidātiem veic ziedēšanas stimulēšanu un iegūst no katra 30 pēcnācējus turpmākām pārbaudēm. Saskaņā šīm pēcnācēju pārbaudēm izvēlas labāko no 5 kandidātiem katras ģimenes ietvaros. Baliuckas u.c. (2004) piedāvā citu selekcijas stratēģijas variantu, kas atšķiras no jau Vides ministrijas līmenī pieņemtā: no kloniem sēklu plantācijās iegūt brīvapputes pēcnācējus, veikt vidēji ilgus (apmēram 20 gadus) pēcnācēju pārbaudes un atlasīti izdarīt pēc fenotipa ģimeņu ietvaros vienlaikus rekomendējot arī materiālu sēklu plantācijām. Priedei un eglei šajā gadījumā jāizdala 12 selekcijas grupas, bērzam, ozolam, melnalksnim, apsei, osim – piecas.

Polija

Meža selekcijas mērķis – saglabājot ģenētisko daudzveidību nodrošināt nepieciešamo sēklu materiāla apjomu, kā arī pakāpeniski pieaugošu ģenētisko kvalitāti, meža atjaunošanas vajadzībām.

Meža selekcijas stratēģija – apkopota dokumentā „Meža ģenētisko resursu saglabāšanas un meža selekcijas programma Polijai 2010.-2035. gadam”, kuru šobrīd izstrādā Polijas mežzinātnes institūts (IBL) sadarbībā ar Polijas Valsts meža dienestu, kas ir valsts mežus apsaimniekojošā organizācija.

Meža selekcijas darbs Polijā līdz 1991 gadam galvenokārt koncentrējies uz provenienču eksperimentu ierīkošanu un analīzi (Kowalczyk, 2005a, pers.kom.). Saskaņā ar programmu: „Meža ģenētisko resursu saglabāšanas un meža selekcijas programma Polijai 1991-2010. gadam” veikta pluskoku un plus-audzju atlase, nelielās platībās arī pēcnācēju pārbaužu stādījumu un sēklu plantāciju (t.sk. arī sējeņu) ierīkošana. Nozīmīgs darbs veltīts provenienču reģionu izdalīšanai, kura pabeigta 2004. gadā. Vienā reģionā apvienotas mežaudzes ar līdzīgām fenotipiskajām un ģenētiskajām (cik zināms) pazīmēm. Noteikts, starp kuriem reģioniem konkrētai koku sugai var notikt reproduktīvā materiāla apmaiņa. Atsevišķi katrai koku sugai izdalīti sēklu provenienču reģioni, kuros esošās populācijas raksturojas ar ļoti labām augšanas un kvalitātes īpašībām. Tādēļ tajos atļauts meža atjaunošanai izmantot tikai vietējo sēklu materiālu (Matras, 2005).

Jaunā programma (2010.-2035. gadam) ietver:

- 1) meža ģenētisko resursu saglabāšanu;
- 2) meža selekciju;
- 3) meža reproduktīvā materiāla ieguves pietiekamā kvalitātē un daudzumā nodrošināšanu.

Norādīts, ka selekcijas darbā svarīgākais ir ģenētiskās daudzveidības saglabāšana tādā līmenī, kas garantē meža ekosistēmas ilgtspējīgu izmantošanu un noturību. Bez tam nozīmīgi ir arī meža produktivitātes paaugstināšanas aspekti, ņemot vērā, ka Polijā iekšējais koksnes pieprasījums pārsniedz piedāvājumu.

Meža selekcijas darbam plānoti šādi vispārīgie uzdevumi:

- Populāciju (mežaudžu) atlase saskaņā ar pēcnācēju pārbaudīto rezultātiem, tādējādi paaugstinot atlases intensitāti un reizē ar to pēcnācēju ātraudzību un kvalitāti. Šādu mežaudžu sēklas iegūst kategoriju „pārāks”;
- Populāciju un genotipu ar augstu fenotipisko plasticitāti atlase selekcijas darba sekmīgai turpināšanai iespējamo globālo klimata izmaiņu apstākļos;
- Sēklu plantāciju (gan pirmās, gan otrās paaudzes) izveide, iekļaujot tajās relatīvi daudz neradniecīgus vecāku kokus (radniecība tiks pārbaudīta ar DNA analīzēm);
- Individuālu koku atlase saskaņā ar pēcnācēju pārbaudīto rezultātiem pēc noteiktām specifiskām pazīmēm – kvalitātes, rezistences pret biotiskajiem un abiotiskajiem faktoriem, kā arī augsti produktīvus klonus īsircmeta plantāciju vajadzībām.

Šobrīd tikai 10-20% sēklu meža atjaunošanas vajadzībām tiek iegūtas no sēklu plantācijām, pārējās – no īslaicīgām vai pastāvīgām sēklu audzēm un nav kategorijā „pārāks” atestētu sēklu ieguves avotu (Kowalczyk, 2005a, pers.kom.). Plānots, ka programmas sekmīga izpilde garantēs 10% no Polijā izmantotā meža sēklu materiāla daudzuma kategorijā „pārāks”. Paredzamais selekcijas efekts (attiecībā pret mežaudžu pēcnācējiem) krājai – 15% audzēm un 25% individuāliem atlasītajiem kokiem. Tāpat no kopējā sēklu materiāla 30% ietilps kategorijā „atlasīts” – attiecīgi 10% un 15% ģenētiskais ieguvums. Pārējais – kategorijā “ieguves vieta zināma” – 2-5% ģenētiskais ieguvums (Matras, 2005). Tas nozīmē, ka selekcionētā materiāla izmantošana plānota ar visai zemu intensitāti. Galvenais iemesls varētu būt politiskais viedoklis, ka citas meža funkcijas (rekreācija, dabas aizsardzība), ir nozīmīgākas par produktivitāti, tādēļ tām pievērsta lielāka vērība un resursi.

Programmā noteikts, cik paraugus konkrētai koku sugai no katras grupas un sēklu izcelsmes reģiona plānots pārbaudīt: piemēram, priedei izdalīti 11 reģioni un kopumā plānots pārbaudīt atlasīto 455 sēklu audžu paraugus, 3666 pluskokus un 81 sēklu plantācijas vidējo paraugu. Koku sugām ar mazāku ekonomisko nozīmi šie skaitļi nav tik lieli: piemēram, melnalksnim 2 reģioni un kopumā attiecīgi 60, 474 un 8 paraugi. Kopumā līdz 2035. gadam plānots pārbaudīt 1200 sēklu audzes, 10000 pluskokus un 282 sēklu plantācijas (Matras, 2005). Pluskoku pēcnācēju pārbaudēs plānots izmantot vienkoka parces, pārējās – bloku parces. Lai nodrošinātu iespējas salīdzināt rezultātus starp izmēģinājumiem, kā arī novērtēt selekcijas darba rezultātu, katrā stādījumā tiks ievietoti „standarti” – sēklu paraugi no vienām un tām pašām mežaudzēm un/vai pluskokiem, kuri uzrāda vidējas vērtības selekcijas indeksam lokāli, reģiona vai valsts līmenī.

Vienlaikus ar programmas realizāciju plānotas arī papildus zinātniskās aktivitātes, kuru rezultāti var sniegt ievērojamu ieguldījumu meža selekcijā. Piemēram, ģenētiskā analīze (QTL), lai meklētu saistības starp koku fenotipiskajām pazīmēm un ģenētisko kodu. Tāpat tiks vērtētas arī ģenētiskās struktūras izmaiņas dažādu ražas gadu sēklām no tās pašas mežaudzes un šī procesa iespējamo ietekmi (Matras, 2005).

Vācija

Meža selekcijas mērķis –nodrošināt optimālu meža ražību dažādos ekoloģiskajos apstākļos un apgādāt koksnes tirgu ar nepieciešamo koku sugu un kvalitātes izejmateriālu,

vienlaikus ņemot vērā nepieciešamību saglabāt ģenētisko daudzveidību un nodrošināt mežaudžu noturību pret biotiskajiem un abiotiskajiem faktoriem (Paul u.c., 2000).

Meža selekcijas stratēģija – apkopota dokumentā „Meža ģenētisko resursu aizsardzības un ilgtspējīgas izmantošanas plāns” (Paul u.c., 2000).

Šobrīd ne Vācijā kopumā ne kādā no pavalstīm nav atsevišķas meža selekcijas stratēģijas. Tā tiek uzskatīta par daļu no ģenētisko resursu saglabāšanas, izpētes un izmantošanas darba. Par galveno selekcijas darba virzienu tiek uzskatīts atrast piemērotas proveniencas un populācijas, kuras varētu tikt izmantotas kā sēkļu avots konkrētā reģionā. Vienlaikus tiek uzsvērtas iespējamās negatīvās sekas lietojot intensīvāku selekciju (respektīvi – sēkļu materiālu no mazāka koku skaita) un izmantojot mežņus – kuri var neizrādīties pietiekami produktīvi vai kvalitatīvi (Paul u.c., 2000).

Stratēģiskajā programmā identificēti arī nepieciešamie pētījumu virzieni, kas aptver ģenētisko īpašību vispārīgu izpēti, monitoringu, pētījumus par dažādu faktoru (iespējamo) ietekmi un adaptācijas mehānismiem, kā arī ģenētisko resursu aizsardzības efektīvākās metodes (Paul u.c., 2000).

Jāatzīmē, ka citētās ir tikai vispārējās vadlīnijas. Konkrēti plāni un zinātniskās aktivitātes tiek organizētas atsevišķi katrā pavalstī. Sīkāk novērtēta situācija bijušajā Austrumvācijā – Brandenburgas pavalstī, un bijušajā Rietumvācijā Nordrhein-Westfalen pavalstī.

Brandenburg

Meža selekcija sākusies ar pluskoku atlasīti ap 1950. gadu. Kopumā atlasīti 2000 skuju koki un 450 lapu koki. Ierīkots ievērojams skaits provenienču pārbažu stādījumu – gan Vācijas, gan starptautiskās, galvenokārt parastajai priedei. Vairākos stādījumos iekļauta arī Latvijas priede, kura uzrāda labu saglabāšanos un kvalitāti (gan stumbra taisnuma, gan zaru resnuma ziņā), taču pēc krājas atpaliek no vietējās izcelsmes priedēm (Schneck, 2002). Brandenburgas nozīmīgākajai koku sugai – priedei (ap 80% no mežu platības) plaši veikta kontrolētā krustošana, izmantojot gan dažādas ģeogrāfiskās izcelsmes, gan vietējo pluskoku materiālu (Schneck, Schneck, 1997, Schneck, 2002). Krustošanas un stādījumu ierīkošanas mērķis: atrast vecāku kokus ar augstām specifiskajām kombinatīvajām spējām un izmantot tos biklonālās sēkļu plantācijās. Vienlaikus stādītas arī pluskoku brīvapputes (vai polikrosa ceļā iegūtu) pēcnācēju pārbaudes. Kopumā ierīkoti 480 ha selekcijas stādījumu, kuri aptver pavisam 17 sugas (Schneck, 2005, pers.kom.). Minēto selekcijas darbu rezultāts: ierīkotas gan pirmās, gan otrās kārtas sēkļu plantācijas, pieejams materiāls 3. kārtas sēkļu plantācijām. Taču par šo materiālu trūkst privāto meža īpašnieku intereses, jo meža audzēšana Vācijā lielākajā daļā gadījumu nav rentabla, kas liek meža īpašniekiem vairāk izmantot dabisko atjaunošanos. Vācijā ir attīstīta un politiski atbalstīta „zaļās mežsaimniecības kustība” (Pro-Silva, 1996), kas aicina izmantot izlases un/vai pakāpeniskās cirtes un dabisko atjaunošanos, veidot mistraudzes. Tanī pat laikā, ņemot vērā nepieciešamību pēc bioenerģijas, ir atjaunojusies interese par hibrīdo apsi un plānots veikt iepriekš ierīkoto stādījumu apsekošanu un perspektīvāko klonu identifikāciju. Tiek veikts darbs arī ar bērza pēcnācēju pārbaudēm, īpaši analizējot triploīdo un tetraploīdo, kā arī Karēlijas bērzu (Schnecks, 2005, pers.kom.).

Nordrhein-Westfalen

Šī pavalsts no Brandenburgas atšķiras ar augsnes un klimatiskajiem apstākļiem (dominē egļu un dižskābaržu meži) un ievērojami blīvāku apdzīvotību, taču līdzīgi kā Brandenburgā tiek veicināta „dabai tuva” mežsaimniecības prakse (Becker u.c., 1997, Cramer u.c., 2005). Tomēr šajā pavalstī daļa meža īpašnieku uzskata egles (saimnieciski nozīmīgākā koku suga) stādīšanu par saprātīgām un attaisnojamām investīcijām kvalitatīvu mežaudžu iegūšanā – aptuveni 70% atjaunoto egļu audžu tiek stādītas, 30% atjaunojas dabiski. Pamatojoties uz aprēķinu, ka sēkļu plantācijas ierīkošanas un kopšanas izmaksas pārsniedz ieguvumu no regulārākas un vieglākas sēkļu ieguves, tās faktiski netiek izmantotas. Būtiski atzīmēt, ka aprēķinā netiek ņemts vērā papildus ieguvums, sēkļu plantācijās atlasot tikai konkrētās sēkļu zonas pašus piemērotākos kokus – tāvad ilgtermiņa (jaunās mežaudzes produktivitātes) perspektīva. Galvenā sēkļu ieguve notiek atlasītās sēkļu audzēs, neizmantojot pēc fenotipa

sliktākos kokus. Reizē ar to likumsakarīgi arī galvenais selekcijas darbs ir tikai atkārtota plusaudžu izvēle (Schmitt, 2005, pers.kom). Sēklu audzes – parasti 50 – 60 ha – cērt pakāpeniski pa 20 – 30 kokiem gadā, sēklas iegūstot no nocirstajiem kokiem.

Nozīmīgas zinātniski pētnieciskās tēmas saistītas ar populāciju ģenētiku, pēcleduslaikmeta koku migrāciju. Ar pielietojamo selekciju saistās galvenokārt jautājumi par rezistenci pret dažādiem faktoriem (klimatu, piesārņojumu, kaitēkļiem, slimībām) un ģenētisko marķieru studijas ar mērķi izstrādāt sēklu materiāla izcelsmes noteikšanas metodiku (Schmitt, 2005, pers.kom.). Labs piemērs minētajam ir komplekss pētījums par ozolu audžu vitalitāti un ģenētisko daudzveidību (Vitalität and genetische..., 2004).

Dānija

Meža selekcijas mērķis – paaugstināt meža koku rezistenci, kvalitāti un produktivitāti, kā arī adaptācijas spējas konkrētā reģiona klimatam.

Meža selekcijas stratēģija – ir atsevišķām nozīmīgām koku sugām (piemēram, Duglāzijai – Hansen, 2005), bet nav visaptveroša.

Ievērojams darbs sākotnēji ieguldīts provenienču selekcijā, ierīkojot un izvērtējot dažādas izcelsmes materiālu. Spilgts piemērs tam ir parastā priede, Pedersen (1994) apkopojis datus par 47 eksperimentiem (ierīkoti laika periodā no 1910. līdz 1978. gadam) ar pavisam 122 proveniencēm. Izdalīti sēklu materiāla izmantošanas apgabali, jo konstatēts, ka dažādās Dānijas daļās labākās ir atšķirīgas izcelsmes priedes. Atzīmēts arī, ka uz relatīvi bagātām augsnēm augstāko ražību uzrāda Latvijas priedes. Šobrīd jaunas provenienču eksperimentu sērijas (izņemot ozolam) ierīkotas netiek – darbs turpinās ar jau identificēto materiālu.

Nozīmīgākais pēcnācēju pārbažu un atlases darbs veikts ar parasto egli (pārbaudīti 1000 pluskoki, 2. kārtas plantācijām atlasīti 100), Sitkas egli (153 pluskoki, atlasīti 20), hibrīdo lapegli (atlasīti 100 2. kārtas kloni). Parastajai un Sitkas eglei izmantotas brīvapputes pēcnācēju pārbaudes. Bez tam veikta arī atlase balstoties uz pārbaudēm kokaudzētavās (Nielsen, 2002).

Ģenētiski uzlabots reproduktīvais materiāls (no sēklu plantācijām) parastajai eglei un hibrīdajai lapeglei apmierina 40% no pieprasījuma, Sitkas eglei 20%. Aktīvi tiek ierīkotas jaunas plantācijas ar mērķi 2020. gadā nodrošināt 80-100% no patēriņa (Nielsen, 2002).

Zinātniskā izpēte plānota par rezistences un koksnes īpašību uzlabošanas iespējām. Nozīmīgi ir arī jautājumi par sēklu plantāciju pēcnācēju ģenētisko struktūru, kā arī selekcionētā materiāla vietu mistrotās mežaudzēs un atlasītā materiāla un dažādu mežkopības režīmu mijiedarbību. Arī Dānijā novērojama meža īpašnieku (un valsts) vēlme aizvien vairāk izmantot dabisko meža atjaunošanu. Tādēļ par selekcijas darba galveno uzdevumu tiek uzskatīta lielāka skaita sugu nodrošināšanā ar sēklu materiāla bāzi kategorijā „atlasīts” (Nielsen, 2002).

Kopsavilkums

- Visās Baltijas jūras reģiona valstīs ir vai nu izstrādāta atsevišķa selekcijas stratēģija, vai definēti tās perspektīvie attīstības virzieni un mērķi.
- Selekcijas stratēģija izstrādāta sadarbojoties mežzinātnes institūtam (vai atsevišķiem pētniekiem) un valsts mežus apsaimniekojošajai organizācijai. Šādas vienošanās nodrošina stabilitāti stratēģijas realizācijā, kas ir līdzekļu, darba, zinātniskā potenciāla un laika ietilpīgs process un tūlītēju atdevi nesniedz.
- Meža selekcijas stratēģija nevar tikt veidota atrauti no vispārējām tendencēm meža izmantošanā un atjaunošanā, kā arī plānotā (sagaidāmā) koksnes resursu apjoma un kvalitātes pieprasījuma.
- Valstīs ar ievērojamu mežainumu un meža sektora nozīmi ekonomikā (Zviedrija, Somija, Lietuva) izstrādātas un tiek realizētas intensīva meža selekcijas programmas, kura

balstās uz kontrolēto krustojumu un veģetatīvo pēcnācēju pārbaūžu, ierīkotu uz lauksaimniecības zemēm, izmantošanu.

- Valstīs, kur meža sektora nozīme ekonomikā nav tik liela, vai politiski selekcijas nozīme meža produktivitātes un kvalitātes un vitalitātes paaugstināšanā nav atzīta (Vācija, Igaunija, daļēji Dānija), lielākoties tiek izmantots sēklu materiāls kategorijas „atlasīts” vai „ieguves vieta zināma”. Visās minētajās valstīs atsevišķām koku sugām nelielos apjomos tiek izmantots arī sēklu materiāls kategorijās „uzlabots” un „pārāks”, kurš pieejams iepriekš veiktā selekcijas darba rezultātā.
- Polijā ir politiski atzīta un saprasta selekcionēta materiāla pozitīvā ietekme uz nākotnes mežaudžu īpašībām, taču kā meža pamatfunkcijas tiek definētas bioloģiskā (tai skaitā ģenētiskā) daudzveidība un rekreācija, tādēļ produktivitātes paaugstināšanai netiek veltīts tik daudz vērības un investīciju.
- Lielākajā daļā valstu tiek uzsvērtā nepieciešamība turpmākajos pētījumos analizēt adaptācijas aspektus potenciālajām klimata izmaiņām. Valstīs ar intensīvu selekcijas darbu – arī ierīkojot iedzīmtības pārbaūžu stādījumus plašā atšķirīgos klimatiskajos apstākļos, lai būtu iespējama selekcijas materiāla ar augstu fenotipisko plasticitāti atlase.
- Meža selekcijas un ģenētikas pētījumu loma Eiropas Savienības kontekstā tiek atzīta un uzsvērtā, lai sasniegtu tās stratēģiskos mērķus – paaugstinātu biomasas īpatsvaru enerģijas un produktu bilancē, nodrošinātu zemes resursu efektīvu izmantošanu un reģiona ilgtspējīgu attīstību sabalansējot sociālos, ekonomiskos un ekoloģiskos aspektus ierobežotā teritorijā. Šīs zinātņu nozares neapšaubāma loma tiek paredzēta arī klimata pārmaiņu efekta ietekmes prognozēšanā un samazināšanā.
- Paredzama pieaugoša koksnes kā biomasas izmantošana, taču, ņemot vērā reģiona klimatiskos apstākļus, globālajā tirgū ar koksnes masas ražošanu Eiropas Savienības valstis konkurēt nespēj. Iespējamais stratēģiskais risinājums ir īsirtmeta plantācijas uz šobrīd neizmantotajām lauksaimniecības zemēm (kā arī mazliet garāka rotācijas periodā – arī uz auglīgākajām meža augsnēm), lai nodrošinātu reģiona patēriņu. Plānojams arī koksnes kā būvmateriāla pieprasījuma pieaugums, kā arī masīvkoka (kā prestiža materiāla) un finierrūpniecības izejmateriāla izmantošana. Tādēļ galvenajām koku sugām nozīmīga vērība jāveltī kvalitātes parametru (īpaši, stumbra taisnuma, zaru daudzuma un augšanas leņķa) un daļēji arī koksnes īpašību uzlabošanai.

2. Selekcijas shēma

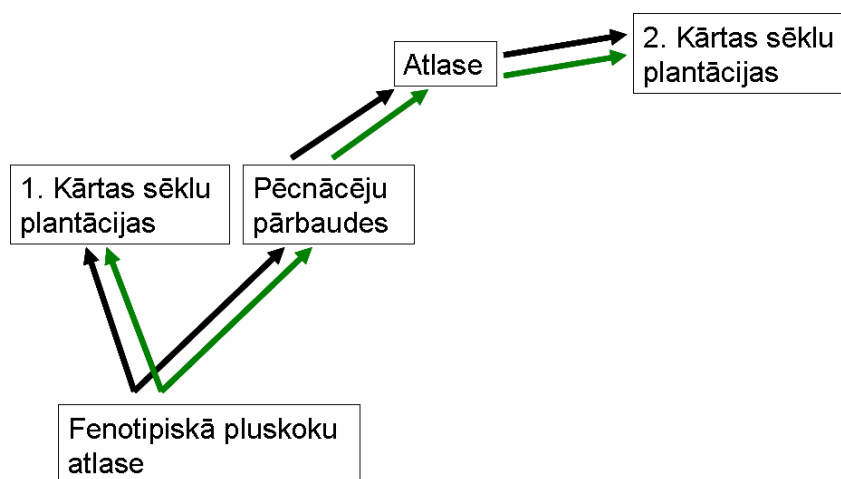
Vienkāršākā selekcijas shēma ir **masu atlase**: izvēlās plus kokus audzēs, no tiem ievāc sēklas, pēcnācēju stādījumu veido pēc nejaušības principa (neievērojot ģimeņu struktūru) vairākās eksperimentu vietās – apstākļos, kādos plānots sēklu materiālu izmantot. Noteiktā vecumā veic individuālu koku atlasīšanu pēc fenotipa. Metode ir ļoti vienkārša, reizē ar to ar zemām izmaksām, piemērota selekcijai pēc vienas noteiktas pazīmes, pie tam pazīmei jābūt ar augstu iedzīmtamības koeficientu. Tā labi izmantojama provenienču selekcijā – novērtējot adaptācijas spējas jauniem vides apstākļiem.

Ierobežojumi metodes izmantošanai:

- ✓ netiek saglabāti dati par koku radniecību, tātad ar šo metodi iegūtā selekcijas populācija nav piemērota nākamās atlases veikšanai. Ir iespējams, ka fenotipiski pārākie (atlasītie) koki (F_1 paaudze) ir tikai dažu vecāku-koku pēcnācēji un tos krustojot savā starpā pēcnācējiem (F_2 paaudzei) izpaudīsies tuvradnieciskās krustošānās izsaukta augšanas depresija.
 - ✓ zems ģenētiskais ieguvums pazīmēm ar zemu iedzīmtamības koeficienta vērtību (kāda raksturīga lielākajai daļai produktivitāti un kvalitāti raksturojošo pazīmju)
- El-Kassaby et al. (2006) norāda, praksē iespējams izmantot masu selekcijas modificētu variantu: fenotipisko atlasīšanu veic starp kokiem stādījumā, kas ierīkots no noteiktas sēklu plantācijas pēcnācējiem. Fenotipiski labākajiem (izvēlētajiem) kokiem ar ģenētisko marķieru

palīdzību nosaka genotipus, tos sagrupē ģimenēs; kā arī nosaka koordinātes un aprēķina konkurences un augšanas vietas apstākļu situāciju (stādījumu virtuāli sadalot atkārtojumos). Tālākos aprēķinus šādā gadījumā iespējams veikt jau kā vienkāršā iedzimtības pārbaūžu stādījumā; arī rezultāts ir līdzīgs; iespējams darbu turpināt nākamajā selekcijas ciklā, jo radniecības struktūra ir zināma. Metodes trūkums: šobrīd vēl salīdzinoši augstās izmaksas, jo genotipēt nepieciešams ļoti lielu īpatņu skaitu. Tomēr iespējas šo metodi izmantot nākotnē ir papildus iemesls sēklu plantāciju vidējo paraugu stādījumu ierīkošanai.

Vienkārša selekcijas shēma, kas atsevišķos gadījumos tiek izmantota arī materiāla papildināšanai, ir arī **atkārtota pluskoku atlase** (2.1. att.).



Ar melnām bultām apzīmēti šobrīd jau veiktie pasākumi, ar zaļām – perspektīvie saskaņā ar šo selekcijas shēmu

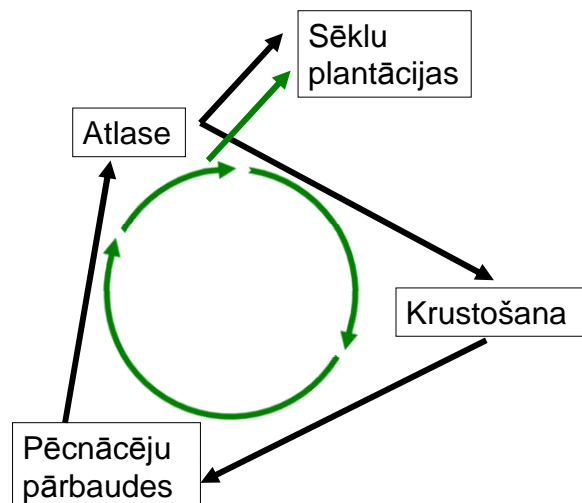
2.1. att. Atkārtotas pluskoku atlases selekcijas shēma

Izmantojot atkārtotu pluskoku atlasī, nav pamata uzskatīt, ka sasniedzamais ģenētiskais ieguvums var būt augstāks par jau realizēto no iepriekšējām pluskoku atlasēm. Sēklu materiāla ražošanā tiek iesaistīti citi vecāku koki, kas ir paaugstina ģenētisko daudzveidību. Darba un līdzekļu ieguldījums pēcnācēju pārbaūžu ierīkošanai katram no mātes kokiem līdzvērtīgs kā citām shēmām, taču atlasīto koku skaits un līdz ar to arī investīciju kopapjoms lielāks, jo atkārtotai atlasī nepieciešams veikt arī atlasī starp ģimenēm (izslēdzot fenotipiski labus, bet zemas ģenētiskās vērtības pluskokus).

Atkārtotās atlases mērķis ir paaugstināt no mežsaimnieciskā viedokļa nozīmīgāko koku pazīmju pozitīvi ietekmējošo allēļu īpatsvaru katrā selekcijas ciklā (2.1. att.) . Sākotnēji tiek izvēlēti ģenētiski pārāki koki, tos krusto, tādējādi rekombinējot allēles, un veic atkārtotu atlasī (izvēloties indivīdus ar augstākajām selekcijas indeksa vērtībām – respektīvi, labākajām ģenētiskajām kombinācijām). Tie tiek izmantoti sēklu plantācijās, kā arī atkārtoti krustoti, ģenētisko informāciju atkārtoti rekombinējot un atlasot vēl labākas kombinācijas, utt.

Atlase tiek veikta saskaņā ar pēcnācēju pārbaūžu rezultātiem, kur bez ģenētiskajiem, pazīmju variāciju ietekmē arī citi (klimata, augsnes) faktori. Tādēļ tā nav absolūti precīza. Jo augstāks ir aditīvā ģenētiskā efekta īpatsvars kopējā pazīmes dispersijā (respektīvi, iedzīmstamības koeficients, h^2), jo augstāka varbūtība, ka atlasītajiem kokiem tiešām ir vairāk nozīmīgās pazīmes pozitīvi ietekmējošo allēļu (McKeand, Bridgwater, 1998).

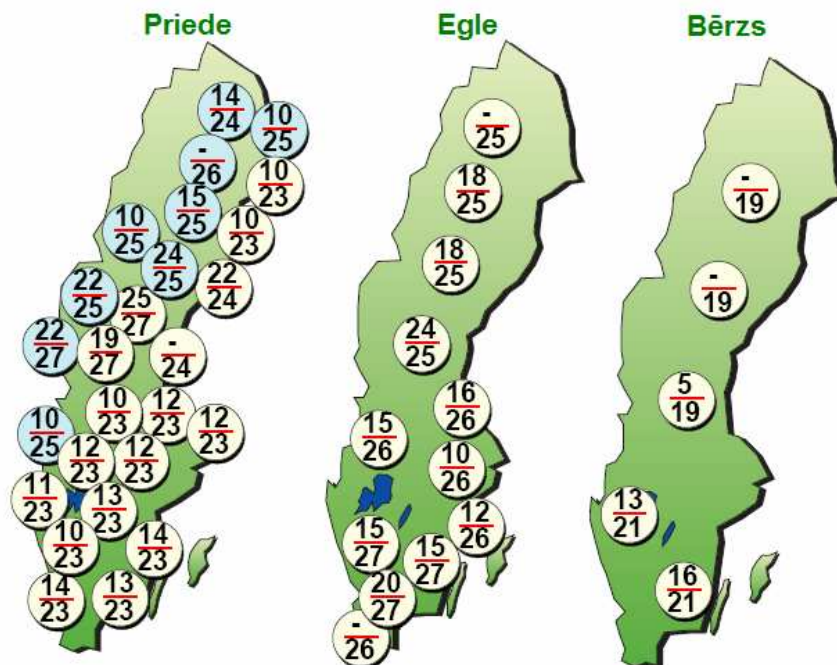
Pagaidām Latvijā trūkst plašāku eksperimentālo datu par iegūstamo papildus krāju rotācijās vecumā. Aprēķināts, ka Zviedrijā līdzīgos klimatiskajos apstākļos 1. kārtas sēklu plantācijās tas ir aptuveni 10% (Rosvall et al., 2002), Somijā – priedei ~4% un eglei 10-12% (Velling et al., 2002), pēc citu autoru informācijas vidēji ~7% (Nikkanen, Haapanen, 1997).



Ar melnām bultām apzīmēti šobrīd jau veiktie pasākumi, ar zaļām – perspektīvie saskaņā ar šo selekcijas shēmu
2.2. att. Atkārtotas atlases selekcijas shēma

Ieguvumu no 1. kārtas sēklu plantācijām Zviedri daļēji skaidro ar sēklu plantāciju sēklu augstāku fizioloģisko kvalitāti (Rosvall et al., 2002, Prescher et al., 2006). Līdzīgi Latvijā Gailis (1974) konstatējis, ka plantācijās klonu čiekuru izmēri ir vidēji par 20% lielāki kā to mātes kokiem, tāpat par ~18% (6-24%) lielāks ir arī sēklu svars.

Potenciālais ģenētiskais ieguvums no 2. un 3. kārtas sēklu plantācijām Zviedrijā atspoguļo 2.3.att. Atsevišķām koku sugām ir veikts salīdzinājums starp teorētisko (prognozēto) un faktisko ģenētisko ieguvumu, konstatējot, ka to vērtības sakrīt (Carsons et al., 2000), tādēļ var pieņemt, ka šeit atspoguļotās vērtības arī ir tuvas praktiski sasniedzamajām.



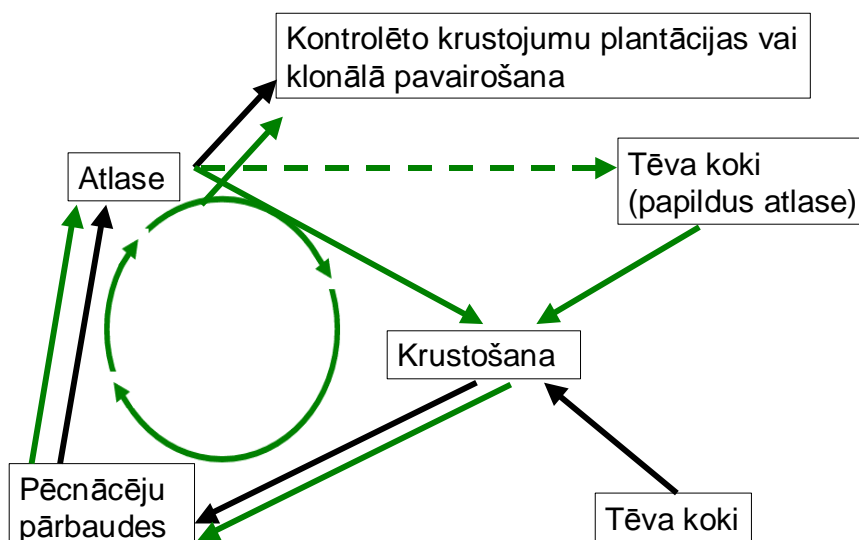
Papildus krājas (%) rotācijas vecumā izmantojot attiecīgo sēklu plantāciju, nevis mežaudžu sēklu materiālu. Skaitītājā – 2. kārtas plantācijām, saucējā – 3. kārtas plantācijām

2.3. att. Potenciālais ģenētiskais ieguvums no 2. un 3. kārtas sēklu plantāciju materiāla izmantošanas Zviedrijā (attēls no Rosvall, 2001).

Jāņem vērā, ka ģenētiskā ieguvuma vērtības galvenokārt balstās uz aprēķinātiem, nevis praktiski (uzmērot) salīdzinātiem lielumiem, jo:

- 1) koku rotācijas cikls ir garš, tātad eksperimentu ierīkošanai un precīzai rezultātu novērtēšanai būtu nepieciešams ļoti ilgs laika periods. Šādi praktiski rezultāti tikai nesen pirmo reizi iegūti par fenotipiski atlasītu pluskoku pēcnācējiem, kas lielā mērā reprezentē ieguvumu no 1. kārtas plantācijām (Westin, Sonesson, 2005)
- 2) problemātiski izvēlēties atskaites sistēmu: ar cik un kādu mežaudžu pēcnācējiem veikt salīdzinājumu. Salīdzinot ar dažu mežaudžu pēcnācējiem rezultāts būs neprecīzs, ar liela skaita – eksperiments dārgs.

Atkārtoto atlasī, izvēloties individuus ar augstu specifiskās kombinatīvās spējas vērtību (2.4. att.), ir nozīmīgi izmantot tikai gadījumos, ja plānots rūpnieciskai materiāla pavairošanai lietot kontrolēto krustojumu vai veģetatīvo pavairošanu. Izvēlas (homozigotu) testerī – tēva koku – ar vēlamajām īpašībām (vai vairākus šādus kokus) un krusto ar lielu daudzumu mātes koku (pēc faktoriālās shēmas). Atlasa krustojumus ar augstāko specifisko kombinatīvo spēju. Procesu atkārtoti izvēloties citus tēva kokus. Starp vecāku kokiem var veikt atlasī balstoties uz vispārējām un specifiskajām kombinatīvajām spējām un tālākos selekcijas ciklos izmantot tikai kokus, kam šīs vērtības ir augstākās. Liela nozīme sekmīga rezultāta sasniegšanai ir izvēlētajam tēva kokam (kokiem).



Ar melnām bultām apzīmēts 1. selekcijas cikls, ar zaļām – nākamie. Zaļa bulta ar raustītu līniju apzīmē informācijas plūsmu

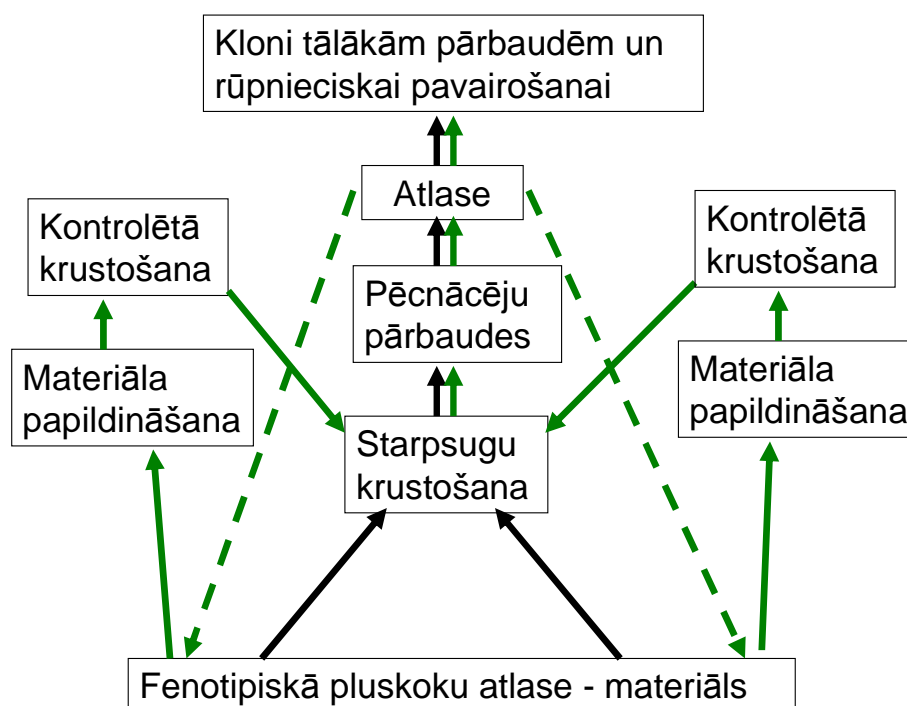
2.4. att. Atkārtota atlase izvēloties individuus ar augstu specifisko kombinatīvo spēju

Metodi plaši izmanto lauksaimniecības augu selekcijā, meža koku sugām metode galvenokārt ir efektīva kvalitātes uzlabošanai un slimību rezistences paaugstināšanai.

Shēmas realizācijai nepieciešamas augstas investīcijas, jo notiek atlase starp ģimenēm. Lai ieguldītie līdzekļi atmaksātos, dominances ģenētiskā efekta vērtībām jāstāda ievērojama daļa no nozīmīgo pazīmju (pēc kurām veic atlasī) ģenētiskās determinācijas. Parastajai priedei līdzīgi kā citām *Pinus* sugām konstatēts, ka dominances ģenētiskajam efekta ietekme produktivitātes pazīmēm ir aptuveni 1/3 no aditīvā ģenētiskā efekta ietekmes (Danusevicius, Lindgren, 2002a, Jansson et al., 2003, Xiang et al., 2003a). Taču dominances efekta noteikto pārākumu var realizēt tikai vai nu materiālu pavairojot veģetatīvi, vai izmantojot kontrolētos krustojumus. Abas šīs metodes stādāmā materiāla ieguvei rūpnieciskos apjomos parastajai priedei ir dārgas (neefektīvas), tātad praksē dominances efekta noteikto pārākumu nevar realizēt. Reizē ar to nav nozīmes selekcijas darbā ieguldīt papildus līdzekļus individu ar

augstām specifiskās kombinatīvās spējas vērtībām atlasē un šī selekcijas shēma nav rekomendējama. Līdzīgi tas ir arī citām meža koku sugām.

Abpusējā atkārtotā atlase tiek izmantota veicot starpsugu hibrīdu selekciju (2.5. att.). Starp atlasītajiem vecāku kokiem sugas ietvaros tiek veikti kontrolētie krustojumi, meklējot krustojumu kombinācijas ar vēl augstākām vēlamās īpašības vērtībām. Atrastos krustojumos katras sugas (parastās un Amerikas apses) ietvaros krusto savā starpā un salīdzina to pēcnācējus (starpsugu hibrīdus) pēc vēlamās īpašības. Izvēlas tos vecāku kokus, kuru hibrīdie pēcnācēji uzrādījuši labākos rezultātus. Šos vecāku kokus katras sugas ietvaros atkal izmanto kontrolēto krustojumu veidošanai nākamās paaudzes hibrīdu radīšanas vajadzībām, kā arī papildus atlasa jaunus vecāku kokus no mežaudzēm. Tātad pēcnācēju pārbaudes (un atlase) tiek veiktas katras sugas ietvaros, bet galvenokārt ņemot vērā starpsugu hibrīdo pēcnācēju uzrādītos rezultātus.



Melnās bultas pazīmē pirmo selekcijas ciklu, zaļās – nākamos. Bulta ar zaļu pārtrauktu līniju – informācijas plūsmu.

2.5. att. Abpusējās atkārtotās atlase shēma

Kopsavilkums

- Parastās priedes, egles, un kārpainā bērza selekcijā rekomendējams izmantot atkārtotās atlases shēmu, kas nodrošina selekcijas efekta paaugstināšanu katrā selekcijas ciklā;
- Hibrīdās apses selekcijai, kur ģenētiskais ieguvums balstās uz heterozes efektu starpsugu hibrīdiem F_1 paaudzē, rekomendējams izmantot abpusējās atkārtotās atlases shēmu.

3. Selekcijas populācija

Koku skaits selekcijas populācijā ir galvenais, kas nosaka izvēli (attiecību) starp ģenētiskās daudzveidības saglabāšanu un maksimālā ģenētiskā ieguvuma sasniegšanu. Ģenētiskās daudzveidības saglabāšanas ir nozīmīga no ilgtermiņa perspektīvas viedokļa (Paul et al., 2000):

- 1) tiek saglabātas atlases iespējas pēc pazīmēm, kuras pirmajos selekcijas ciklos var nebūt uzskatītas par svarīgām (piemēram, izturība pret noteiktu gaisa piesārņojumu);
- 2) saglabājas plaša ģenētiskā variācija atbilstoša materiāla atlasei iespējamo klimatisko izmaiņu gadījumā.

Lai saglabātu reti pārstāvētās allēles, var būt nepieciešamība uzturēt 500 koku vai pat lielāku (~1000 koku) selekcijas populāciju (Kang, 1979, Lynch et al., 1995). Tās apsaimniekošana – krustošana dažu gadu laikā, pēcnācēju pārbaužu ierīkošana un kopšana, uzmērīšana – praktiski grūti izpildāma. Tādēļ bieži vien selekcijas populācija tiek sadalīta atsevišķās, konkrētam reģionam adaptētās selekcijas grupās. Reģioni parasti tiek izdalīti atbilstoši nozīmīgāko klimatisko apstākļu un ģeoloģisko formu izvietojumam, kā arī provenienču un pēcnācēju pārbaužu stādījumu rezultātiem. Piemēram, Lietuvā priedei un eglei izdalītas 6 selekcijas zonas (reģioni) (Sakalauskaitē, Kazlauskienē, 2003) un plānotas 5 – 6 selekcijas grupas (Danusevičius, 2004), Zviedrijā, balstoties uz temperatūras un fotoperioda režīmu, izdalītas – priedei 24 (Wilhelmsson, Andersson, 1993), eglei 20 (Karlsson, Rosvall, 1993), kārpainajam bērzam 6 (Werner, 1993) selekcijas zonas. Somijā – priedei 6, eglei 5 un kārpainajam bērzam 3 selekcijas zonas (Haapanen, 2005). Jāņem vērā, ka selekcijas grupa Somijā (160 koki) ir gandrīz 3 reizes lielāka kā Zviedrijā un Lietuvā (50 koki). Zviedrijā un Somijā 50 selekcijas grupas koki ir uz ~0,9 miljoniem ha mežu platību, Lietuvā uz ~0,3 miljoniem.

Skaitliski lielā selekcijas populācijā vienlaikus tiek nodrošināta gan ģenētiskās daudzveidības saglabāšana, gan ģenētiskais ieguvums. Taču tās uzturēšanai nepieciešami ievērojami kapitālieguldījumi. Klonu arhīvos un rezervātos esošais materiāls (kurš ir neaizstājams zemas pārstāvētības allēļu saglabāšanai – Yanchuk, 2001) pēc ģenētiskā uzlabojuma līmeņa ievērojami atšķiras no selekcijas grupas, tādēļ tā izmantošana (piemēram, ja nepieciešami pret konkrētu slimību noturīgi genotipi) pazemina kopējo ģenētisko vērtību. Kompromisu Latvijas situācijā iespējams atrast attīstot sadarbību ar kaimiņvalstīm, kurās ir līdzīgi klimatiskie apstākļi (Lietuvu, Igauniju, Zviedrijas daļu Latvijai atbilstošajos ģeogrāfiskā platuma grādos, Krievijas un Baltkrievijas pierobežas apgabaliem). Tas nozīmē, ka katra no minētajām teritorijām var uzturēt mazāku selekcijas populāciju un nepieciešamības gadījumā paaugstināt ģenētisko daudzveidību vai atrast konkrētus genotipus (rezistentus vai ar specifiskām īpašībām) kaimiņu selekcijas populācijās. Sadarbība var tikt tālāk attīstīta arī ierīkojot pēcnācēju pārbaužu stādījumus (vai atsevišķas to daļas) teritorijās ar atšķirīgiem klimatiskajiem apstākļiem, kā tas jau paredzēts Somijas meža selekcijas programmā (Haapanen, 2005). Tādā veidā iespējams precīzi novērtēt un atlasīt dažādiem apstākļiem piemērotāko selekcijas materiālu, sagatavojoties iespējamām klimata pārmaiņām. Lai realizētu šo ideju, kā arī novērtētu mežsaimnieciski nozīmīgāko koku sugu pierobežas populāciju saglabāšanos, augšanu un kvalitāti Latvijā (kas līdz šim nav darīts), nepieciešams ierīkot atbilstošus pēcnācēju pārbaužu eksperimentus. Par to uzsāktas sarunas ar Lietuvas, Igaunijas un Zviedrijas meža selekcionāriem. Selekcijas darba turpināšanai Latvijā rekomendējams neliels selekcijas populācijas koku skaits, koncentrējoties uz augstāka ģenētiskā ieguvuma sasniegšanu, reti pārstāvētās allēles saglabājot ar ģenētisko rezervātu, klonu arhīvu un selekcijas materiāla apmaiņas ar kaimiņvalstīm vienošanos palīdzību. Katrai no mežsaimnieciski nozīmīgākajām koku sugām varētu tikt izveidotas 2–4 selekcijas grupas, atbilstoši iepriekš noteiktajiem reproduktīvā materiāla ieguves apgabaliem (Noteikumi par meža..., 2003), kurus nepieciešams precizēt pēc visu pēcnācēju pārbaužu stādījumu rezultātu apkopošanas.

Sadalot selekcijas populāciju vairākās grupās, lai nodrošinātu maksimālo ieguldītā laika un darba atdevi, nozīmīgi izvēlēties optimālu grupas lielumu (koku skaitu tajā).

Piemērotākais (optimālais) selekcijas grupas lielums ir kompromiss starp īstermiņa un ilgtermiņa ieguvumu no meža selekcijas (McKeand, Bridgwater, 1998):

- 1) īstermiņa ieguvums palielinās reizē ar atlasē intensitāti, tātad – samazinoties atlasītajai grupai;
- 2) ilgtermiņā augstākos rezultātus iespējams sasniegt ar zemāku atlasē intensitāti un lielāku selekcijas grupu.

Sasniedzamos rezultātus (potenciālu) selekcijas procesā nosaka selekcijas grupā saglabātās vēlamo pazīmi pozitīvi ietekmējošās allēles. Samazinot selekcijas grupu, palielinās risks zaudēt kādu no tām gēnu dreifa rezultātā, īpaši tās allēles, kuras pārstāvētas reti. Tātad – jāizvēlas minimālais efektīvais selekcijas grupas apjoms, kurš lielā mērā novērš gēnu dreifa negatīvo ietekmi, respektīvi – saglabā lielāko daļu no ģenētiskā potenciāla.

McKeand un Bridgwater (1998), atsaucoties uz White (1992), norāda, ka 20 – 50 koki spēj nodrošināt nepieciešamo ģenētisko bāzi selekcijas grupai. 50 koki ir pietiekami, lai saglabātu bieži pārstāvētās allēles pat 80 selekcijas ciklu laikā (Kang, 1979). Konstatēts, ka mutācijas un epistātiskās ģenētiskās mijiedarbības iziršana pat nelielās grupās (30-50 koki) pret darbojas gēnu dreifam, nodrošinot ģenētiskās daudzveidības saglabāšanu (Eriksson, Ekberg, 2001). Apkopojot lielu skaitu dažādu autoru pētījumu Yanchuk (2001), norāda, ka 20-80 koku grupa ir optimāla pietiekamas aditīvās ģenētiskās variācijas nodrošināšanai 10-20 selekcijas ciklu laikā. Selekcijas grupa 50 koki atzīta par optimālu Lietuvā (Danusevičius, 2004), Zviedrijā (Rosvall et al., 2002) un atsevišķu *Pinus* sugu selekcijā arī ASV (White et al., 2003). Salīdzinot selekcijas grupas ar 20 un 200 kokiem Andersson et al. (1998), secina, ka sasniedzamā ģenētiskā ieguvuma vērtības atkarīgas no katras sibu ģimenes koku skaita, nevis grupas apjoma, taču lielākā selekcijas grupā kopējā ģenētiskā daudzveidība samazinās lēnāk (vairākos selekcijas ciklos).

McKeand un Bridgwater (1998) norāda, ka lielāks koku skaits selekcijas grupā var būt nepieciešams, ja:

- 1) uzsākot selekcijas procesu, starp kokiem ir radniecība (tātad efektīvais populācijas skaits ir ievērojami mazāks par faktisko). Izmantojot 50 koku selekcijas grupu radniecības pakāpes palielināšanās selekcijas procesā, kurā pielietota dubultpāru krustojšanas shēma un tālākam darbam atlasīts 2 koki katrā ģimenē, pēc 10 atlasē cikliem (paaudzēm) neizraisa nozīmīgu aditīvās ģenētiskās variācijas samazinājumu (Rosvall et al., 1998);
- 2) notiek atlase pēc daudzām pazīmēm vienlaicīgi;
- 3) plānots ieguldīt ievērojamus līdzekļus un sasniegt augstu ģenētisko ieguvumu dažos pirmajos selekcijas ciklos (tas nozīmē, ka jāveic intensīva atlase arī starp ģimenēm);
- 4) selekcijas grupa pilda arī ģenētisko resursu saglabāšanas funkcijas, respektīvi, saglabā populācijā neitrālas allēles, kas var būt nozīmīgas mainoties apstākļiem vai selekcijas mērķiem. Lai nodrošinātu augstu varbūtību šādu allēļu saglabāšanai, nepieciešamais populācijas apjoms vienmēr ir lielāks kā vajadzīgais selekcijai pakļautajām allēlēm (atsauce uz Kang, 1979).

Latvijas apstākļos palielinātas selekcijas grupas izvēlei priecē un eglei varētu būt vēl viens cēlonis – iespējamās neprecizitātes atlasē. Ņemot vērā eksperimentu augsto biežību, trupes un dzīvnieku bojājumu ietekmi, stādījumu vecumu un daudzus gadījumos nezināmo attīstības gaitu, kā arī to, ka lielākā daļa ģimeņu pārbaudītas tikai 1 eksperimentā, precīzu rezultātu iegūšana ir apgrūtināta. Lai novērstu iespējamo kļūdu ietekmi, rekomendējams selekcijas grupā sākotnēji iekļaut 20-30% vairāk ģimeņu un pēc kontrolētās krustojšanas pēcnācēju pārbaūžu rezultātiem materiālu ar zemāko selekcijas indeksu no turpmākā darba izslēgt.

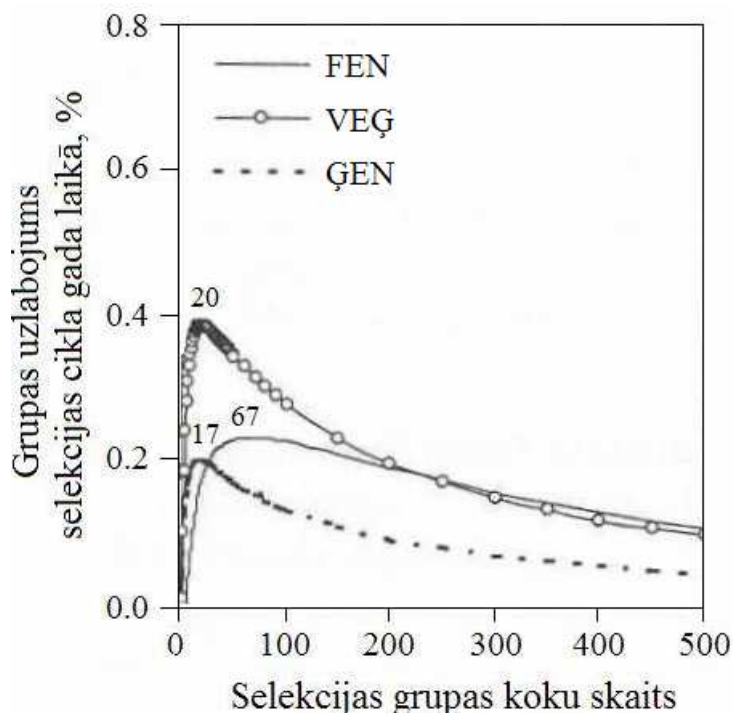
Papildus jau uzskaitītajam, optimālo selekcijas grupas apjomu ietekmē arī izmaksas (budžets), paredzamais ģenētiskais ieguvums, iedzimuma koeficienta vērtības, plānotais

(vēlamais) efektīvais populācijas apmērs (koku skaits) pēc atlasē. Šos rādītājus iespējams apvienot kompleksā funkcijā (Lindgren et al., 1997).

Lai salīdzinātu vairākus iespējamus selekcijas populāciju lielumus un determinētu optimālo, kā arī sekas, turpmākam atlasē un krustošanas darbam izvēloties ievērojami mazāku vai lielāku koku skaitu Danusevicius un Lindgren (2005) veikuši modelēšanas pētījumu. Analīzē kā indikators, kura vērtību nepieciešams maksimizēt, izmatots grupas uzlabojums, viena selekcijas cikla gada laikā ietverot pilnu selekcijas ciklu. Grupas uzlabojums ir selekcijas procesā panāktā ģenētiskā ieguvuma un paaugstinātās radniecības pakāpes, kura pārvērsta tādās pat mērvienībās kā ieguvums, starpība. Pieņemts, ka tiek veikta dubultpāru krustošana un no katra krustojuma tālākam selekcijas darbam izvēlēti 2 koki, izmantojot:

- 1) fenotipisko atlasē starp pēcnācējiem (FEN);
- 2) krustojuma koku veģetatīvu pavairošanu un labāko atlasēti pēc klonālo pārbažu rezultātiem (VEĢ);
- 3) krustojuma koki pavairošanu ar sēklām un labāko atlasēti pēc pēcnācēju pārbažu rezultātiem (ĢEN).

Optimālais selekcijas grupas lielums izmantojot dažādas atlasē metodes un pieņemot, ka ģenētiskās daudzveidības saglabāšana 2 reizes nozīmīgāka par ģenētisko ieguvumu, $h^2=0,1$ uzrādīts 3.1. attēlā.



3.1. attēls. Optimālais selekcijas grupā lielums izmantojot dažādas pēcnācēju pārbažu metodes (attēls no Danusevicius un Lindgren, 2005)

Kā redzams, izmantojot atlasē, kas balstīta uz ģeneratīvo vai klonālo pēcnācēju pārbažu shēmu, selekcijas populācija optimālais lielums ir ap 20 (± 5) koki un izmantojot fenotipisko atlasē starp pēcnācējiem – ap 70 (± 10) koki.

Konstatēts, ka, palielinoties iedzimstamības koeficienta vērtībai, samazinās optimālās selekcijas populācijas lielums – respektīvi, ja iespējams precīzāk noteikt ģenētiski pārākos kokus, proporcionāli lielāka budžeta daļa var tikt veltīta pēcnācēju pārbaudēm (pārbaudot lielāku koku skaitu no katra kontrolētā krustojuma) un arī grupā uzlabojums būs ievērojami lielāks. Paaugstinot ģenētiskās daudzveidības saglabāšanas nozīmi, samazinās grupā uzlabojums un pēcnācēju pārbaudēm atvēlamā budžeta daļa, vienlaikus selekcijas grupā nepieciešams vairāk koku.

Palielinoties pieejamajiem resursiem, palielinās gan selekcijas grupa, gan pēcnācēju pārbaudžu apjoms (tām atvēlētā budžeta daļa), taču tas visu laiku ir robežās starp 30 un 80. Vienlaikus konstatēts, ka iegūstamais grupas uzlabojums nepalielinās tieši proporcionāli budžeta pieaugumam, tātad ir arī budžeta optimums (līdzekļi, ar kuru palīdzību iespējams nosegt izmaksas pēcnācēju pārbaudēm ar ~100 kokiem ģimenē). To pārsniedzot, atdeve no papildus investētajiem līdzekļiem ir neliela.

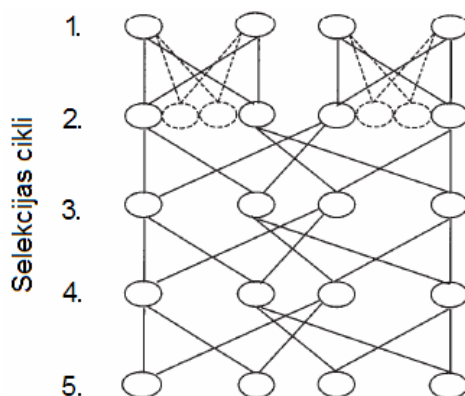
Pētījums sniedz galvenokārt vispārīgu likumsakarību aprakstu, vienlaikus izmantojot priedei un eglei Baltijas jūras reģionā praktiski konstatētās parametru vērtības. Tādēļ autori norāda, ka iegūtais rezultāts – optimāls selekcijas grupas lielums 30-70 koki, veicot fenotipisko atlasīšanu un 20-25 izmantojot veģetatīvās vai ģeneratīvās pēcnācēju pārbaudes – ir tuvs praktiski izmantojamām vērtībām šajā reģionā.

Izvēloties selekcijas grupu skaitu un koku skaitu tajās, jāņem vērā arī prognozētie nepieciešamā sēkļu materiāla un ar to saistīto sēkļu plantāciju ierīkošanas apjomi (Gailis, Baumanis, 2003).

McKend un Bridgwater (1998) norāda, ka pirmajos selekcijas ciklos svarīgi saglabāt lielākas selekcijas grupas, lai reti sastopamās allēles, kuras pazīmes ietekmē pozitīvi (no selekcijas viedokļa), krustošanas rezultātā atlasītajā grupā tiktu pārstāvētas biežāk. Tas nozīmē, ka selekcijas darbam nākamajos ciklos būs labāki rezultāti.

Konstatēts, ka ģenētiskās daudzveidības nodrošināšanai plantācijā labāk izmantot mazāku skaitu, bet neradniecīgus, nekā lielu skaitu radniecīgu klonu (Lindgren, 2003). Veicot krustojumu starp selekcijas grupas kokiem, to radniecības pakāpe katrā selekcijas ciklā palielinās. Lai nodrošinātu iespēju plantācijām vienmēr atlasīt savstarpēji neradniecīgus klonus, katra selekcijas grupa tiek sadalīta atsevišķās „līnijās”. Krustošana tiek veikta tikai starp vienas līnijas kokiem, bet nekad starp tām (McKend, Beineke, 1980, Burdon, Namkoong, 1983, Zobel, Talbert, 1984, Routsalainen, Lindgren, 2000). Rezultātā radniecības pakāpe starp kokiem katrā no līnijām palielinās ievērojami straujāk, taču vienmēr iespējams atlasīt neradniecīgus klonus sēkļu plantācijas ierīkošanai. Līniju skaits selekcijas grupā atkarīgs no nepieciešamo plantācijas klonu skaita, katrā no tām var būt ietverti no 4 (McKend, Bridgwater, 1998) līdz pat 40 koki (Routsalainen, Lindgren, 2000 atsaucoties uz White, 1992).

Routsalainen un Lindgren (2000) izmantojot datorsimulāciju palīdzību modelējuši 4 koku līniju attīstību vairāku selekcijas ciklu laikā. Lai palēninātu radniecības uzkrāšanos, izmantota dubultpāru krustošanas shēma, vienkāršoti pieņemot, ka katrai sibu ģimenei tiek izveidoti un pārbaudīti 4 pēcnācēji, no kuriem 2 labākie izvēlēti kā vecāku koki nākamajā selekcijas ciklā (3.2.att.).



Apļi apzīmē kokus, līnijas – veiktos krustojumus. Ar raustītām līnijām atzīmēti pēcnācēji, kuri turpmākā atlasē nav izmantoti (tie eksistē arī nākamajos ciklos, bet uzskatāmības dēļ nav iezīmēti).

3.2. att. Krustošanas shēma 4 koku līniju izveidei un uzturēšanai selekcijas grupā (attēls no Routsalainen, Lindgren, 2000)

Salīdzināti rezultāti izmantojot 2 atšķirīgas krustošanas shēmas:

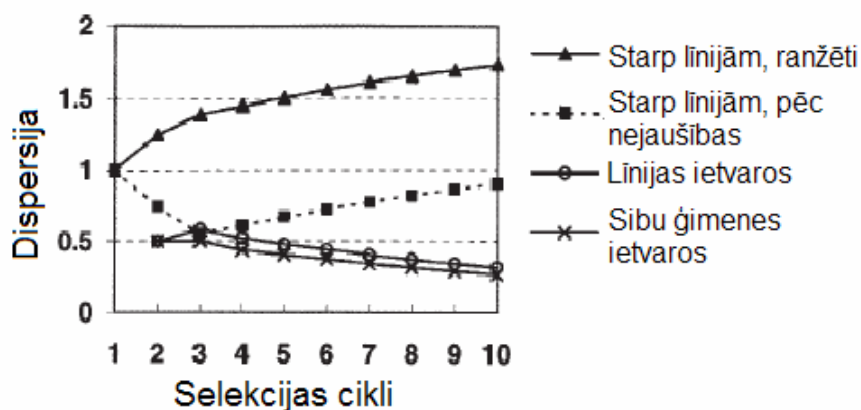
A – pirmajā selekcijas ciklā krusto vecākus (un otrajā – apvieno vecāku pārus) saskaņā ar to selekcijas vērtību (rangu), respektīvi – 1. labāko ar 2., 3. ar 4. utt.;

B – krustojumus izvēloties pēc nejaušības principa.

Turpmākos selekcijas ciklos izveidotās 4 koku līnijas saglabātas nemainīgas un krustojumi veikti tikai starp kokiem tajās abos scenārijos (A un B).

Izmantojot līnijas, kuras ranžētas pēc vecāku koku selekcijas vērtībām, dispersija starp līnijām ievērojami augstāka kā gadījumā, kad līnijas veidotas kokus kombinējot pēc nejaušības principa (3.3. att.). Likumsakarīgi, arī sēkļu plantācijās sasniedzamā selekciais efekta vērtība ir augstāka. Metode savu priekšrocību absolūtās vērtībās saglabā līdz pat 10. selekcijas ciklam, lai gan procentuāli pārkums samazinās (matemātisku iemeslu dēļ – pieaug kopējais ģenētiskais ieguvums, pret kuru starpība tiek rēķināta). Jāņem vērā, ka papildus ieguvums daļēji balstās arī uz faktu, ka kloni sēkļu plantācijai tiek atlasīti tikai no 50% (labākajām) līnijām (Routsalainen, Lindgren, 2000).

Ja turpmākos selekcijas ciklos tiek konstatēts, ka radniecības uzkrāšanās līnijas ietvaros ir pārāk strauja – vairākas līnijas var apvienot. Ja kāda līnijām izrādās ļoti „nekvalitatīva” (ar zemu selekcijas vērtību), to var aizstāt ar no jauna atlasītiem pluskokiem. Tātad līniju izmantošana izpilda būtisku nosacījumu ilgtermiņa selekcijas stratēģijas sākuma fāzei – saglabā praktiskas iespējas nākamajos selekcijas ciklos veikt izmaiņas. Bez tam, līnijas nodrošina iespēju fiksēt populācijā reti satopamas, bet no selekcijas viedokļa nozīmīgās pazīmes pozitīvi ietekmējošas allēles. Piemēram, ja šāda allēle raksturīga tikai 1 kokam no 200 populācijā esošajiem, tās pārstāvītība ir 1/200 un samērā maza varbūtība nonākt nākamajā paaudzē. Turpretī, ja šis pats koks ietverts līnijā, pārstāvītība palielinās līdz 1/4.



Starp līnijām, ranžēti – starp līnijām, ja tās veidotas pēc ranžēšanas principa (metode A)

Starp līnijām, pēc nejaušības – starp līnijām, ja tās veidotas pēc nejaušības principa (metode B)

3.3. att. Koku augstuma dispersijas proporcionālās vērtības starp līnijām, kā arī līniju un sibu ģimeņu ietvaros (attēls no Routsalainen, Lindgren, 2000)

Minētie argumenti un pētījumu rezultāti liecina, ka līniju izmantošana un koku krustošana saskaņā ar selekcijas vērtībām (labākie ar labākajiem, sliktākie ar sliktākajiem) selekcijas grupā ir rekomendējama.

Ar datorsimulāciju palīdzību, salīdzinot dažādu koku un krustojumu skaitu katrā līnijā 20 paaudžu laikā, McKend un Bridgwater (1998) konstatē, ka līnijās ar mazāko koku skaitu (4) saglabā augstāku selekcijas grupas aditīvo ģenētisko dispersiju (tātad atlases potenciālu), kā arī augstāko efektīvo populācijas koku skaitu (tātad ģenētisko daudzveidību). Ģenētiskais ieguvums (vidējā selekcijas vērtība) starp dažādām alternatīvām pirmajos 3 selekcijas ciklos būtiski neatšķirās, taču nākamajos tas bija augstāks, izmantojot līnijas ar lielāku koku skaitu (10).

Vērtējot selekcijas populācijas lielumu hibrīdajai apsei jāņem vērā, ka ar veģetatīvo pavairošanu saistīta iespēja izmantot visu (gan aditīvā, gan dominances un epistatiskā) ģenētisko efektu noteikto atlasītā pārkumu, respektīvi – realizēt visu sasniegto selekcijas darba rezultātu praksē. Tas nozīmē, ka ieguldīto investīciju apjoms var būt lielāks kā

gadījumos, kad tiek izmantotas sēkļu plantācijas (praksē realizējot tikai aditīvā ģenētiskā efekta noteikto daļu). Tāpat arī selekcijas procesam jābūt intensīvākam, producējot un pārbaudot lielu skaitu hibrīdu, jo:

- 1) nepieciešams mazināt slimību / kaitēkļu postījumu riskus plantācijās, kādi ir, ja plaši tiek pielietots tikai viens klons (Zsuffa et al., 1993). Ierīkoto hibrīdapšu plantāciju no ekonomiskā aspekta ir lietderīgi vismaz 2-3 rotācijas, jo sākot ar 2. rotāciju atjaunošanās notiek ar sakņu atvasēm. Tas nozīmē, ka bez papildus izmaksām tiek nodrošināti pat labāki pirmo gadu augšanas rādītāji kā stādījums, jo tiek izmantoti veco koku sakņu sistēmas resursi (Yu, 2001). Reizē ar to jāreķinās, ka viens un tas pats materiāls saglabāsies stādīšanas vietā vairākus rotācijas periodus un, lai nodrošinātu risku samazināšanu un ģenētisko dažādību (mozaīku) ainavas līmenī izmantotie kloni nepārtraukti jāmaina.
- 2) atlase notiek pēc liela skaita pazīmju (rezistences, ātraudzības, kvalitātes un koksnes mehāniskajām un šķiedru īpašībām) tātad nepieciešama augsta atlasē intensitāte. Nozīmīga ir atlase gan pēc izturības pret slimībām (īpaši, sakņu trupi), gan koksnes īpašībām – vienmērīga izmēra šķiedrām un iespējami zemu lignīna saturu, lai iegūtu augstvērtīgu papīrrūpniecības izejvielu. Tas nozīmē, ka nepieciešams ievērojams sākotnējais (hibrīdu) materiāls, no kura atlasīti veikt.
- 3) tikai aptuveni 10 % no kloniem vairojas pietiekami labi, lai rūpnieciskā mikroklonālā pavairošana būtu efektīva (Pulkkinen, 2006, pers.kom.). Šis aspekts vēl vairāk paaugstina atlasē intensitāti (samazina atlasīto koku daļu no sākotnējā materiāla).

Ņemot vērā, ka heterozes efekta ģenētiskie cēloņi joprojām ir tikai daļēji izpētīti, selekcijas shēmas optimizācija (krustojumu skaits, atlasāmo kandidātu skaits) ir problemātiska (Kerr et al., 2004). Tādēļ papildus praktiskajam nepieciešams arī fundamentālās pētniecības darbs par dažādu pazīmju maksimālo variāciju starp hibrīdajām ģimenēm un to ietvaros, kā arī efektu no dažādās pakāpēs uzlabotu (pēc vispārējās kombinatīvās spējas atlasītu) parastās apsēs mātes koku izmantošanas ietekmi uz sasniedzamo hibrīdo pēcnācēju produktivitātes paaugstināšanu. Kamēr šis jautājums vēl nav noskaidrots, rekomendējams veikt lielāku skaitu starpsugu krustojumu un arī daļu mātes kokus selekcijas populācijai atlasīt balstoties uz to specifiskajām kombinatīvajām spējām (hibrīdo pēcnācēju augšanas rezultātiem).

Kopsavilkums

- Selekcijas populāciju rekomendējams sadalīt atsevišķās grupās, nodrošinot varbūtējo ģenētisko savdabību saglabāšanos, lēnāku radniecības pakāpes paaugstināšanos un vieglāku praktiskāku apsaimniekošanu.
- Selekcijas grupas priedei, eglei un kārpainajam bērzam rekomendējams noteikt atbilstoši to reproduktīvā materiāla ieguves apgabaliem.
- Koku skaits selekcijas grupās kārpainajam bērzam un eglei 50; priedei, kur ievērojams skaits stādījumu pirmo reizi tiek uzmērīti tikai 25-30 gadu vecumā (tātad rezultāti ir koku savstarpējās konkurences ievērojami ietekmēti, vidējais kokus skaits ģimenē neliels) un daudzas ģimenes pārstāvētas tikai vienā eksperimentā, rekomendējams selekcijas grupā izmantot 80 kokus un selekcijas cikla beigās saglabāt tikai 50 augstvērtīgākās ģimenes.
- Hibrīdajai apsei rekomendējams izveidot 1 selekcijas grupu ar 120 parastās apsēs un 30 Amareikas apsēs kokiem, krustojšanas rezultātā iegūstos iespējas atlasīt gan starp ģimenēm (ar intensitāti 1/4), gan starp kokiem ģimeņu ietvaros.

4. Ģenētiskā daudzveidība

Ģenētiskās daudzveidības saglabāšana selekcijas procesā nepieciešama, lai:

- 1) saglabātu iespējas selekcijas mērķu maiņai nākotnē, kas ir saskaņā ar vienu no ilgtspējības pamatprincipiem „apmierināt šī brīža sabiedrības vajadzības tādā veidā, lai neietekmētu nākotnes sabiedrības iespējas apmierināt savas vajadzības”. Piemēram, ja augstāka nozīme nākotnē tiek piešķirta koksnē ķīmiskai pārstrādei: sveķu vai celulozes saturam koksnē (piemēram, otrās paaudzes biodegvielas ieguvei), tad iespējams veikt papildus atlasi pēc šī jaunās pazīmes tikai tādā gadījumā, ja selekcijas populācijā saglabāta pietiekama ģenētiskā variācija. Ja šādas variācijas nav, materiāls jāmeklē dabiskajās populācijās. Papildus materiāla ieviešana no dabiskajām populācijām nozīmē jau sasniegtā selekcijas darba rezultāta (selekcijas efekta ātraudzībai, kvalitātei) samazinājumu vai pilnīgu zaudēšanu, kas nebūtu ekonomiski izdevīgs risinājums;
- 2) novērstu tādas negatīvas parādības kā gēnu dreifu un tuvradnieciskās krustošanas negatīvo ietekmi. Par šo jautājumu plašāka analīze jau tika iekļauta 2007. gada pārskatā;
- 3) nodrošinātu selekcionēta materiāla adaptācijas iespējas gan esošajos, gan nākotnē sagaidāmajos klimatiskajos apstākļos.

Ģenētiskā daudzveidība nav raksturojama tikai ar kāda viena indikatora statistiku vērtību. Selekcijas populācijai vai sēklu plantācijām to iespējams novērtēt tikai salīdzinot ar dabiskajās populācijās konstatējamajām dažādu indikatoru vērtībām (FAO, 2002). Jāņem vērā, ka ģenētiskā daudzveidība arī dabiskās populācijās nav statistisks (nemainīgs) lielums – to ietekmē:

- 1) populācijas vēsturiskā izcelsme – vai pagātnē bijis stāvoklis, kad populācijā saglabājies tikai neliels īpatņu skaits, tātad zema ģenētiskā daudzveidība; ja jā – cik ilgi šāds stāvoklis turpinājies, vai vērojama nozīmīga gēnu dreifa ietekme. Tātad ģenētiskās daudzveidības vērtības būs atšķirīgas arī starp dabiskām populācijām;
- 2) šī brīža efektīvais koku skaits populācijā: jau samērā sen pierādīts, ka arī dabiskā populācijā liela daļa krustošanās notiek starp tuvāk esošajiem kokiem (Koski, 1970), tāpat efektīvo koku skaitu var samazināt ziedēšanas laika atšķirības starp kokiem (Gullberg, et al., 1982);
- 3) ikgadējās klimatisko faktoru variācijas, kas var ietekmēt gan ziedēšanas laika atšķirību apmēru (Hansen, 2007, Alizoti, et al., 2008), gan sēklu dīgšanas un koku saglabāšanos rādītājus, kā rezultātā pat vienas audzes ietvaros vecāku koki un to dabiskās atjaunošanās pēcnācēju paaudze var būt ģenētiski atšķirīga (Tigerstedt, et al., 1982).

Tas nozīmē, ka rūpīgi jāizvēlas dabiskā populācija, ar kuru salīdzinot iespējams novērtēt ģenētiskās daudzveidības rādītāju vērtības selekcijas populācijā un sēklu plantāciju pēcnācējiem, kā arī salīdzinājums objektīva slēdziena izdarīšanai jāveic vairākus gadus.

Jāņem vērā, ka dabiskās populācijas ir dimanamiskas, pielāgojas ārēju faktoru iedarbībai, tātad ir problemātiski definēt kāda indikatora „bāzes vērtību” kā kritēriju, kas jā saglabā, lai ģenētiskā daudzveidība būtu „pietiekama” (Ghazoul, Hellier, 2000, Namkoong, 2001). Tāpat viennozīmīgi nav atrisināms jautājums, cik lielas atšķirības uzskatāmas par būtiskām (nevis statistiski, bet pēc būtības): piemēram, vai kopējās allēļu daudzveidības samazināšanās par 5% ir nozīmīgs ģenētiskās daudzveidības zaudējums (FAO, 2002).

Ģenētisko daudzveidību ietekmējošie procesi un indikatori

1. **Gēnu dreifs** – nejaušs atsevišķu allēļu vai genotipu zudums kādā populācijā. Tas notiek, ja aiziet bojā un neatstāj pēcnācējus pēdējais īpatnis ar noteiktu allēli/genotipu. Process var nozīmīgi ietekmēt tikai populācijās ar nelielu efektīvo īpatņu skaitu, novedot pie ģenētiskās variācijas samazināšanās, atsevišķu allēļu fiksēšanās (tās sastopamas tikai homozigotā stāvoklī), inbrīdinga koeficienta paaugstināšanās. Efektīvais populācijas īpatņu skaits (N_e) – īpatņu skaits ideālā populācijā (kura atrodas Hardija-Weinberga līdzsvara stāvoklī) kam ir

tāds pat inbrīdīga koeficients (vai dispersija) kā dotajai populācijai (Falconer, Mackay, 1996). Vienkāršoti N_e var definēt kā reproducējošu īpatņu skaitu populācijā (McDonald, 2004), taču tā vērtību samazina atšķirīgais katra īpatņa atstātais pēcnācēju skaits un selektīva (ne-nejauša) krustojumu (pāru) izvēle. Precīzas N_e aprēķina formulas sēklu plantācijām pieņemot vienādu un atšķirīgu ziedēšanas intensitāti aprakstītas (Kang et al., 2001, Lindgren, Mullin, 1998, Prescher et al., 2004, 2006, Xie et al., 1994). Efektīvais īpatņu skaits vienmēr būs mazāks par kopējo īpatņu skaitu. Eriksson (1998) norāda, ka gēnu dreifa ietekme nav nozīmīga populācijās, kur $N_e > 25$, kas ir 2 reizes mazāks koku skaits nekā plānots selekcijas grupā. Tik mazs īpatņu skaits nav paredzēts arī sēklu plantācijās, bez tam to nozīmīgi paaugstina fona putekšņu ietekme (Nikkanen, Ruotsalainen, 2000). Nākamajā paaudzē sēklu plantācijas kloni ir nomainīti, tādēļ nav pamata uzskatīt, ka gēnu dreifa ietekme uz sēklu plantāciju pēcnācējiem (tātad mākslīgi atjaunotām mežaudzēm) būs nozīmīga. Kā papildus indikators sēklu plantācijās var tikt izmantota arī kopējā koku skaita un efektīvā koku skaita attiecību attiecība ($N \cdot N_e^{-1}$), salīdzinot to ar dabiskās populācijās konstatēto (Booy et al., 2000).

Gēnu dreifs visnozīmīgāk var ietekmēt tieši reti sastopamās allēles. Rosvall et al. (1998) aprēķinājuši, ka selekcijas grupā ar 50 kokiem 10 paaudžu laikā izmantojot dubultpāru krustošanu un atlasīti ģimenes ietveros, tiks zaudētas allēles, kuru sākotnējais sastopamības biežums populācijā mazāks par 0,01; tanī par laikā tiek saglabāti 94% ģenētiskās daudzveidības. Jāņem vērā, ka arī dabiskā populācijā allēlēm ar zemu pārstāvētības biežumu ir samērā maza varbūtība nonākt homozigotā stāvoklī un nostiprināties uz ilgāku laiku. To lielākā vērtība bieži vien izpaužas nodrošinot (vai paaugstinot) rezistenci pret kādu noteiktu ārējās vides faktoru. Piemēram, konstatētas atsevišķas gobas, kam ir ģenētiski noteikta rezistence pret „Holandes gobu slimību”. Šī īpatnība sniedz iespēju glābt gobas kā sugu no pilnīgas izzušanas. Tanī pat laikā šāda dažu koku rezistence pret noteiktu nelabvēlīgās vides faktoru nav nozīmīga no audzes noturības nodrošināšanas viedokļa: ja, piemēram, attiecīgā allēle ir tikai 1 no 1000 kokiem, tad pieaugušā mežaudzē, iedarbojoties attiecīgajam nelabvēlīgajam faktoram, katros 2-2,5 ha paliek dzīvs tikai 1 koks. Papildus grūtības sagādā reti sastopamo allēļu konstatēšana – nepieciešams analizēt ārkārtīgi lielu paraugkopu, lai novērtējums nebūtu saistīts ar nozīmīgu kļūdu. Selekcijas procesā koki ar reti sastopamām allēlēm saglabājami klonu arhīvos. Ja rodas nepieciešamība, šādas allēles pārstāvēniecību selekcijas populācijā (atšķirībā no dabiskās) var efektīvi un strauji palielināt izmantojot kontrolēto krustošanu.

2. **Gēnu plūsma** – ģenētiskā materiāla apmaiņa starp populācijām. Govindarju (1988) norāda uz Wright konstatēto sakarību, ka ģenētiskā distance starp populācijām (F_{st}) ir apgriezti proporcionāla N_e un vidējā imigrējošo īpatņu skaita (m) reizinājumam. Gēnu plūsma kokiem notiek ar sēklām un daudz nozīmīgākā apjomā ar putekšņiem. Gēnu plūsma līdzsvaro gēnu dreifa radīto efektu pat tad, ja vienas paaudzes laikā tikai daži īpatņi ir ar gēniem no citām populācijām (McDonald, 2004, Eriksson, 1998).

Kā liecina Govindarju (1988) dati, vējapputes sugām gēnu plūsma ar putekšņiem ir ļoti efektīva. Saskaņā ar Koski (1970) pētījumiem un apkopotajiem literatūras datiem, parastās priedes mežaudzēs aptuveni 50% konkrētā koka apputeksnēšanā veic koki, kas aug 30-60 m attālumā no tā. Pārējie putekšņi var nākt no dažu 100 m līdz pat vairāku desmitu km attālam audzēm. Tāpat analizējot priežu plantācijā ievāktās sēklas, nav konstatēts, ka paši tuvākie kloni (4 vai 12) konkrētā mātes koka sēklas būtu apaugļojuši biežāk; rametu izvietojums šajā plantācijā ir 5 x 5 m (Rudin, Ekberg 1982). Līdzīgi Robledo-Arnuncio et al. (2004) parastās priedes mežaudzēs secina, ka attāluma ietekme uz tuvākā tēva koka lielāku līdzdalības procentu apputeksnēšanā ir nozīmīga tikai tad, ja audzes biežība ir ekstremāli zema (šajā gadījumā – atsevišķi *Pinus pinaster* mežaudzēs izvietoti vidēji 2,4 *Pinus sylvestris* koki uz ha). Palielinoties koku skaitam uz ha (pat tikai līdz 20), šāda tendence vairs nav novērojama. Sēklu plantācijās, kā jau minēts iepriekš, ārējo putekšņu plūsma nozīmīgi palielina ģenētisko daudzveidību. Pieaugušās, intensīvi ziedošās sēklu plantācijās ārpus plantācijas augoši tēva koki, veicot izoenzīmu analīzes, konstatēti sākot no 25 – 35% sēklu, (El-Kassaby et al., 1989,

Wang et al., 1991, Harju un Muona, 1989), veicot analīzes ar mikrosatelītu marķieriem, pat līdz 40-60% sēklu (Nilsson, Lindgren, 2005, Almqvist, Pulkkinen, 2005).

Selekcijas grupa uzskatāma par slēgtu sistēmu, tātad ārējas gēnu plūsmas nav un dažas allēles ar zemu frekvenci paaudžu laikā tiek zaudētas. Notiek radniecīgu indivīdu krustošanās, paaugstinās inbrīdīga koeficients. Taču grupas ar efektīvo īpatņu skaitu 50 inbrīdīga koeficients 50 paaudžu laikā pieaug tikai līdz aptuveni 0,35 (McDonald, 2004). Vairākas grupas selekcijas populācijā laika gaitā var tikt apvienotas, palielinot N_e līdz 100, līdz ar to samazinot inbrīdīga koeficientu 50 paaudžu laikā līdz aptuveni 0,2. Meža koku selekcijā 50 paaudzes nozīmē vairāk kā 1000 gadus un nav pamata uzskatīt, ka līdz tam nebūs izstrādātas jaunas, daudz precīzākas un tiešākas metodes ģenētiskām manipulācijām ar organismiem, uzlabojot to cilvēkam vēlamās īpašības.

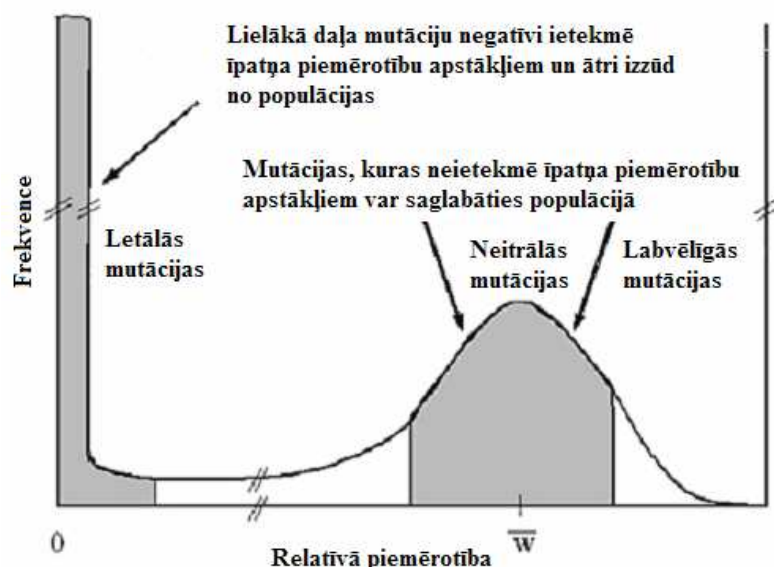
Inbrīdīga pēcnācējiem ir samazināt vitalitāte: gan izdzīvošanas, gan augšanas rādītāji – Wang et al. (1999) analizējot bērza ģimenes pēc 3 paaudžu pašapputes 13 gadu vecumā konstatējuši par aptuveni 50% zemāku saglabāšanos un 40% zemāku vidējo augstumu kā neradniecīgu krustojumu kokiem. Līdzīgi Wu et al. (2004a) analizējot *Pinus radiata* klonu pašapputes pēcnācējus 2. paaudzē (inbrīdīga koeficients $F=0,75$) konstatējuši pēcnācējiem par 11% zemāku saglabāšanos un 19% zemāku vidējo caurmēru kā to pašu klonu neradniecīgiem krustojumiem, vienlaikus norādot, ka visu klonu reakcija uz tuvradniecisko krustošanu nav vienāda. Zemākas inbrīdīga koeficienta vērtības ($F=0,125$ krustojot pussibus un $F=0,25$ krustojot sibus) ievērojami mazāk ietekmējušas vitalitāti – saglabāšanās pazeminājusies tikai par attiecīgi 1% un 3%, diametrs – par 5% un 6%. Nav konstatēta nozīmīga inbrīdīga ietekme uz koksnes īpašībām – pieaugot inbrīdīga koeficientam no 0 līdz 0,75 vidējais koksnes blīvums samazināji par 1-2 %, tanī pat laikā, līdzīgi kā caurmēram, koksnes blīvuma variācijas koeficients pieaug no 4% līdz 29%. Novērotas statistiski būtiskas atšķirības atsevišķu klonu reakcijā uz inbrīdīga koeficienta paaugstināšanos (Wu et al., 2002).

Analizējot to pašu *Pinus radiata* materiālu Matheson et al. (2002) norāda, ka tuvradnieciskās krustošanas pēcnācējiem ir līdzīgas tās pašas pazīmes vērtību korelācijas dažādā uzmērīšanas vecumā kā neradniecīgu klonu krustojumiem. Tas nozīmē, ka, sadalot selekcijas grupu atsevišķās līnijās (kur F palielinās straujāk), selekcija juvenīlās vecumā sniegs tādu pat vai vēl augstāku efektu kā strādājot ar visu selekcijas grupu kopā. Tanī pat laikā selekcijas grupas sadalīšana un viena īpatņa izvēle no katras līnijas sēklu plantācijai nodrošina neradniecīgu īpatņu krustošanos plantācijā (ar varbūtēju heterozo efektu un augstu ģenētisko daudzveidību sēklu plantāciju pēcnācējiem). Bez tam līnijas pēc noteikta paaudžu skaita iespējams apvienot, tādējādi efektīvāk kontrolējot radniecības uzkrāšanos visā selekcijas grupā (Ruotsalainen, Lindgren, 2000).

No pieejamajiem datiem var secināt, ka inbrīdīga koeficienta vērtības līdz 0,12-0,25 (ko var prognozēt selekcijas grupai ar $N_e=50$ pēc aptuveni 30 paaudzēm) tikai nedaudz samazina īpatņu augšanas rādītājus, kā arī reproducēšanās spējas (ziedēšanas sākuma laiku un neziedošo īpatņu skaitu – Wu et al., 2004b). Līdzīgi inbrīdīga koeficients 0,125 govīm bija saistīts ar nelielu (mazāk par 1%) saimnieciski nozīmīgo īpašību (piena, tauku un proteīna daudzuma) samazinājumu, kā arī niecīgu (4‰) izdzīvošanas līdz 2. laktācijai samazinājumu (Parland et al., 2007a). Mājdzīvnieku selekcija notikusi jau ievērojamu paaudžu skatu, paaudzes nomainās salīdzinoši ar koku selekciju īsā laika periodā (6-7 gados), tomēr selekcijas darbs šķirnēm bez ievērojamiem sarežģījumiem iespējams ar $N_e=64-85$, līdz 127 (Cleveland, et al., 2005, Parland et al., 2007b). Tas atkārtoti apliecina, ka izvēlētās vairākas selekcijas grupas, kur $N_e=50$ katrai no koku sugām ir pietiekami inbrīdīga saglabāšanai līmenī, kas netraucē papildus selekcijas efekta sasniegšanu katrā ciklā un ģenētiskās bāzes nodrošināšanai atlasei.

3. **Mutācijas** – DNS izmaiņas noteiktā lokusā, jaunu alēļu veidošanās avots. Notiek samērā reti (ar kārtu 10^{-5} - 10^{-6} – Eriksson, 1998), turklāt vēl zemāka ir varbūtība, ka īpatnim

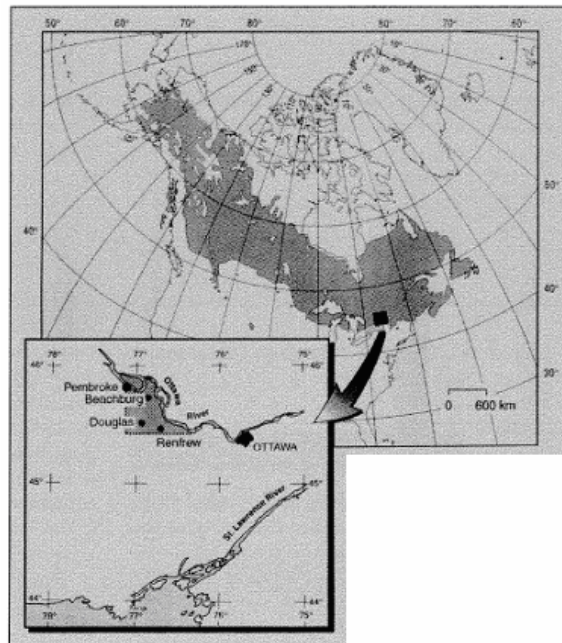
ar šo mutāciju būs kādas augšanas (vai citas) priekšrocības dotajā ekosistēmā, tas labi vairosies un ģenētiskās izmaiņas saglabāsies un nostiprināsies populācijā (4.1. attēls).



4.1. att. Hipotētisks jauno mutāciju sadalījums populācijā (attēls no McDonald, 2004)

Respektīvi, nepieciešams liels paaudžu skaits, līdz jaunā allēle populācijā sasniedz vērā nemamu sastopamības biežumu un sāk ietekmēt tās parametrus. Izmantojot kontrolēto krustošanu un veģetatīvo pavairošanu, labvēlīgas mutācijas selekcijas grupā un selekcionētajiem kokiem var tikt saglabātas un koki ar šo allēli pavairoti. Līdzīgi citām zema pārstāvētības biežuma allēlēm ir augstāka varbūtība saglabāties selekcijas grupā, kur tiek krustots neliels īpatņu skaits noteiktā kārtībā, nekā dabiskā populācijā, kur nejauši krustojas liels īpatņu skaits. Zema pārstāvētības biežuma allēļu nozīme selekcijas grupā var būt aktuāla arī pēc lielāka skaita selekcijas ciklu, nodrošinot ģenētisko variāciju, kad biežāk sastopamās allēles būs fiksējušās homozigotā stāvoklī. Ja populācijā ir mazāk īpatņu, notiek mazāks skaits mutāciju un liela daļa arī no neitrālajām izzūd gēnu dreifa rezultātā. Vecākās populācijās uzkrāties vairāk neitrālu mutāciju kā jaunās, tāda pat N_e populācijās. Augstāka ģenētiskā variācija (arī vērtēta kā uzkrājušos neitrālo mutāciju apjoms) paaugstina populācijas spējas saglabāties un pielāgoties strauju vides apstākļu izmaiņu gadījumā.

4. **Dabiskā izlase** – atlasa konkrētiem apstākļiem piemērotākos īpatņus, saglabājot populācijas vitalitāti un spēju vairoties. Selekcija vienlaikus samazina populācijas daudzveidību (darbojas pretēji gēnu plūsmai un mutācijām) un maina vidējo vērtību. Dabiskā selekcija iedarbojas uz fenotipu un tikai caur to uz genotipu. Fenotipiskais plastiskums ir noteikta genotipa fenotipisko variantu amplitūda atšķirīgos vides apstākļos. Koku sugām to ilgstošā dzīves cikla dēļ raksturīgs augsts fenotipiskais plastiskums, ļaujot līdz zināmai robežai pielāgoties apstākļu izmaiņām dzīves laikā (Eriksson, 1998, Mátyás, 2007). Atšķirīgiem genotipiem (gan koku, gan populāciju līmenī) raksturīgs atšķirīgs fenotipiskais plastiskums. Tādejādi var uzskatīt, ka šī pazīme arī pieskaitāma pie ģenētiskās daudzveidības indikatoriem. Fenotipisko plastiskumu tieši novērtēt nav iespējams, to var izdarīt izmantojot provenienci un iedzimtības pārbaužu stādījumus, kuri ierīkoti klimatiski (vai pēc citiem apstākļiem) atšķirīgās vietās. Latvijas mērogā redzams, ka augsts fenotipiskais plastiskums piemīt, piemēram, Smiltenes izcelsmes priedēm. Atsevišķām populācijām raksturīgs ļoti augsts fenotipiskais plastiskums un spēja pielāgoties apstākļiem ļoti plaša reģiona ietvaros: kā tas redzams 4.2. attēlā piemērā ar *Picea glauca* populāciju, kura ir starp labākajām ģeogrāfijas stādījumos gandrīz visā sugas izplatības areālā (Ladig et al., 1998).



4.2. att. *Picea glauca* populācija ar augstu fenotipsiko platiskumu un areāls, kurā tās saglabā pielāgotību (attēls no Ladig et al., 1998)

Līdzīgas likumsakarības konstatētas arī citām sugām, piemēram, parastajai priedei (Shutyaev, Giertych, 1997, 2000). Fenotipsiko plastiskumu iespējams raksturot ar indikatoriem, ko izmanto genotipa-vides mijiedarbības komponentes vērtēšanai; taču selekcijas darbam turpinoties tiek iegūta informācija par radniecību un radniecīgu koku augšanu dažādos apstākļos vairākās paaudzēs, kas veicina daudz precīzāku metožu izstrādi atsevišķu koku fenotipsikā plastiskuma novērtēšanai. Koki ar augstu fenotipsiko plastiskumu rekomendējami selekcijas darbam un sēkļu plantācijām, īpaši šī brīža – sarežģīti prognozējamo klimata izmaiņu – situācijā.

Piemērotība apstākļiem veido īpatņa vitalitāte (dzīves ilgumu) un reproducēšanas spējas un to prasti raksturo vitālo pēcnācēju skaits dzīves laikā. Jo piemērotāks īpatnis būs apstākļiem, jo tas dzīvos ilgāk un atstās vairāk pēcnācēju (sava ģenētiskā materiāla) nākamajām paaudzēm. Saskaņā ar Fišera teorēmu mainīgos vides apstākļos populācijas vidējais piemērotības līmenis dabiskās selekcijas procesā nepārtraukti palielinās. Piemērotības izmaiņas (palielinājums) ir proporcionālas populācijā esošo, piemērotību nosakošo gēnu aditīvajai ģenētiskajai dispersijai. Tātad populācija virzīsies uz tuvāko lokālo piemērotības maksimuma vērtību, kas obligāti nav globālā (vispārējā) piemērotības maksimuma vērtība. Rekombinējoties ģenētiskajam materiālam vai imigrācijas / mutāciju rezultātā palielinoties piemērotību nosakošo īpašību aditīvajai ģenētiskajai dispersijai, dabiskā selekcija var turpināt virzīt populāciju uz jauno adaptācijas maksimumu.

5. Krustošanās – nodrošinot ģenētiskā materiāla rekombināciju un nodošanu nākamajām paaudzēm. Tātad krustošanās nodrošina genotipsiko daudzveidību. Gēnu daudzveidība ir alēļu daudzveidība specifiskam lokusam dotajā populācijā. Genotipu daudzveidība, turpretī ir alēļu kombināciju daudzveidība populācijā (McDonald, 2004).

Dabiskās selekcijas procesā izdzīvo pielāgotākie īpatņi (genotipi). Pielāgotību dažādos vides apstākļos nosaka atšķirīgas īpašības, kas saistītas ar spēju saglabāties (tolerances norma), konkurēt ar savas un citu sugu īpatņiem par barības resursiem, kā arī, galvenokārt, vairoties (sēkļu daudzums, dīdztība, dīgstu saglabāšanās u.c.). Pielāgotība saistīta ar dažādām, bieži vien savstarpēji korelējošām, pazīmēm, kas izpaužas atšķirīgos vides apstākļos dažādās koka attīstības stadijās; tātad labāk pielāgotais īpatnis ir tas, kuram ir piemērotākais pazīmju (spējas reaģēt uz konkrētajiem vides apstākļiem) komplekss (Reich et al., 2003, Booy et al., 2000). Konstatēts, ka pielāgotība populācijas līmenī pozitīvi un būtiski korelē ar tādiem

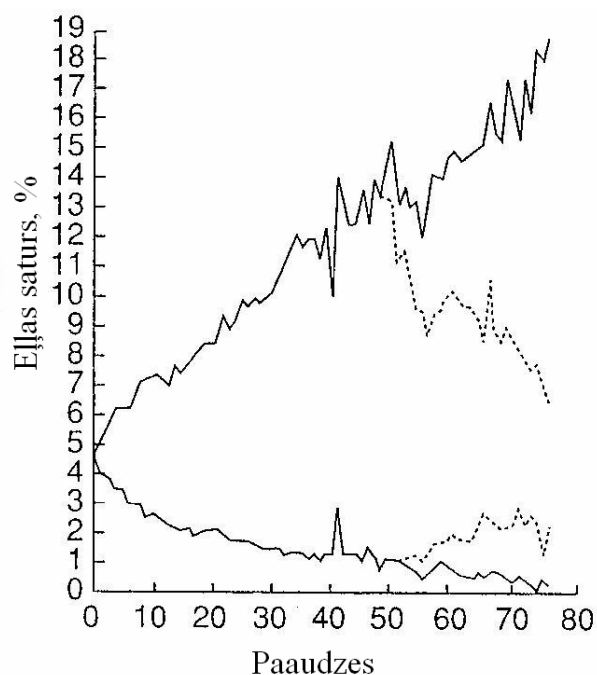
ģenētisko daudzveidību raksturojošiem rādītājiem kā kvantitatīvā ģenētiskā variācija (ko raksturo iedzimstamības koeficients), populācijas īpatņu skaits (N , N_e), un heterozigotāte, taču minētie parametri izskaidro tikai 15-20% no kopējās pielāgotības variācijas (Reed, Frankham, 2003). Līdzīgi Booy et al. (2000) literatūras apskatā norāda, ka konstatējama saikne starp heterozigotāti un pielāgotību, taču raksturīga tā ir galvenokārt situācijās, kad homozigotāte veidojusies neliela īpatņu skaita dēļ (vairākās paaudzēs uzkrājoties inbrīdīga depresijai, notiekot gēnu dreifam) piemēram, kolonizējot jaunu teritoriju vai pēc nozīmīgas populācijas skaitliskās samazināšanās kāda vides faktora ietekmē.

Eksistējošo ģenētisko daudzveidību (vai sagaidāmo heterozigositāti) galvenokārt nosaka allēles ar pārstāvētības biežumu virs 0,1 (Yanchuk, 2001).

Heterozigotāti var novērtēt izmantojot izoenzīmus un molekulāros marķierus. Parasti tiek aprēķināta sagaidāma heterozigotāte (expected heterozygosity, H_{ep}), kas reprezentē varbūtību, ka divas viena un tā paša lokusa kopijas, kas pēc nejaušības izvēlētas no populācijas gēnu kopas, pārstāvēs atšķirīgas allēles. Daļu no ģenētiskās daudzveidības, kas atšķirīga starp populācijām (G_{ST}) tāpat kā attiecību starp aditīvo ģenētisko dispersiju starp populācijām un kopējo aditīvo ģenētisko dispersiju (F_{ST}), arī parasti aprēķina pamatojoties uz ģenētisko marķieru informāciju. Interpretējot rezultātus no ģenētisko marķieru un lielākajā daļā gadījumu arī izoenzīmu analīzes svarīgi ņemt vērā, ka marķieri (tādi kā AFLP, RAPD, SSR jeb tā saucamie „mikrosatelīti”) raksturo genoma nekodējošo daļu – tātad nav saistīti ar pazīmju kvantitatīvām izpausmēm un nav pakļauti dabiskās selekcijas procesam. Tas arī izskaidro rezultātus, kādēļ meža koku sugām veicot analīzes ar šiem marķieriem lielākā daļa ģenētiskās variācijas konstatēta populācijas ietvaros un tikai neliela (atsevišķo gadījumos ~2-3%) – starp populācijām, pat ja populācijas atrodas samērā attālu viena no otras (Gullberg et al., 1985, Goncharenko et al., 1994, Morand et al., 2002) Kvantitatīvo pazīmju atšķirības starp populācijām parasti pārsniedz tās, kas konstatējamās ar neitrālajiem marķieriem (Marilaë, Crnokrak, 2001). Informācija par korelāciju starp ģenētiskās atšķirības pakāpi starp atsevišķām populācijām pēc selekcijas-neitrālajiem molekulārajiem marķieriem un kvantitatīvām pazīmēm ir pretrunīga (Bucci, Vendramin, 2000, Marilaë, Crnokrak, 2001, Storz, J.F., 2002). Kopumā tas liecina, ka no selekcijas viedokļa ir maznozīmīgi veikt dabisko un selekcijas populāciju salīdzinājumu ar neitrālajiem ģenētiskajiem marķieriem; taču tie labi izmantojami, piemēram, gēnu plūsmas aprakstīšanai (reizē ar to plantācijās ar mežaudžu putekšņiem „ienākošās” ģenētiskās daudzveidības kvantificēšanai).

Nozīmīgākus rezultātus ģenētiskās daudzveidības raksturošanai un vienlaikus selekcijas procesa pātrināšanai vai sniegt marķieri, kas saistīti ar kvantitatīvās pazīmes ietekmējošiem gēniem, vai vismaz to reģioniem: pielietojot asociāciju studijas vai QTLs kartēšanu (Costa et al., 2000). Jāņem vērā, ka QTLs kartēšana balstās uz lielām populācijām ar zināmu radniecību (tipiski – selekcijas populācijām) un ar tās palīdzību iespējams identificēt gēnus, kas saistīti ar rezistenci pret sēņu infekcijām, sausuma un augstuma izturību (Asiegbu et al., 2003, 2005, Neale, 2007). Taču tipiski šādi gēni vai lokusi izskaidro tikai nelielu daļu no kopējās pazīmes variācijas (Neale, 2007), tādēļ izmantojami tikai kontekstā ar kvantitatīvās ģenētikas datiem.

Jāņem vērā, ka ģenētiskā daudzveidība nenodrošina adaptāciju noteiktiem vides apstākļiem, tikai nosaka potenciālu (populācijas, sugas, selekcijas grupas) ietvaros pielāgoties vides apstākļu svārstībām noteiktā intervālā, tātad zināmām mērā definē tolerances intervālu. Selekcijas procesu, ja tas vadīts sabalansējot ģenētisko ieguvumu un daudzveidību, iespējams veikt ilgstoši. To uzskatāmi demonstrē lauksaimniecības augi, kuru atlase notiek jau vairākus tūkstošus gadu. Pieejams arī plašs eksperimentālais materiāls, piemēram, veicot selekciju eļļas satura (kas ir kvantitatīva pazīmes – līdzīgi kā koku augstums vai zaru resnums) palielināšanai kukurūzas graudos (4.3. att.).



**4.3. att. Kukurūzas selekcija eļļas īpatsvara palielināšanai graudos
(attēls no Falconer, Mackay, 1996)**

Redzams, ka pazīmes vērtības nepārtraukta paaugstināšana iespējama ilgstoši (pat 80 selekcijas ciklus). Zināmu laiku (30-35 paaudzes) pēc selekcijas uzsākšanas selekcijas efekts atsevišķā ciklā var ar būt arī negatīvs, kas saistīts ar kādu galveno regulatoro gēnu fiksēšanos. Taču pēc dažu paaudžu krustošanas tas turpina paaugstināties. Tāpat eksperiments pierāda, ka pat pēc 50 selekcijas paaudzēm ģenētiskā daudzveidība vēl ir pietiekam, lai veiktu sekmīgi realizētu gan “apgriezto selekciju” – atlasot klonus ar mazāku eļļas procentu, gan turpinātu iegūt ar vien augstāku eļļas % tiešās selekcijas līnijā.

Klonu skaits sēklu plantācijās

Nozīmīgākā ģenētiskā daudzveidība ir nevis selekcijas populācijā vai grupā, bet tieši sēklu plantācijās, kas ir pamats nākamo mežaudžu ierīkošanai. Tādēļ svarīgi novērtēt klonu skaitu sēklu plantācijās kontekstā ar ģenētiskā ieguvumu un daudzveidības vērtībām.

Izvēloties klonu skaitu sēklu plantācijai, nepieciešams rast pamatotu kompromisu starp ģenētisko ieguvumu un daudzveidību. Latvijas priedes sēklu plantācijās (ietverot datus arī par nesen ierīkotajām, vēl neražojošām, kopumā 50) izmantots vidēji 91 klons, līdzīgi kā Somijā (111 kloni, dati no 176 plantācijām), taču ievērojami vairāk nekā Zviedrijā (63 kloni, dati no 22 plantācijām) (Kang et al., 2001). Tajā pašā laikā *Pinus taeda* sēklu plantācijās ASV izmanto vidēji 24 klonus (McKend et al., 2003). Ierīkojot plantācijas no jau pārbaudīta materiāla, iegūto klonu skaitu rekomendēts samazināt: Zviedrijā - līdz 16-20 kloniem (Lindgren, Prescher, 2005), Somijā - līdz 20 kloniem (Nikkanen, Antola, 1998, citēts no Lindgren, Prescher, 2005), ASV *Pinus taeda* plantācijās - līdz 10 kloniem (McKend et al., 2003). Jau tagad ASV 59% no mākslīgi ar *Pinus taeda* atjaunotām mežaudžu platībām ir ierīkotas kā ģimeņu stādījumi, respektīvi, no tāda sēklu materiāla, kas iegūts no dažiem, pašiem augstvērtīgākajiem plantācijas kloniem (McKend et al., 2003).

Eriksson (1998) demonstrē, ka nelielās populācijās (efektīvais īpatņu skaits $N_e < 25$), krustojoties tikai savā starpā, pēc 2-3 paaudzēm var sākties gēnu dreifs un līdz ar to ģenētiskās daudzveidības ievērojama samazināšanās. Taču, vērtējot sēklu plantācijas, kur krustošanās notiek tikai 1 paaudzē, šis aspekts ir maznozīmīgs. Plantāciju pēcnācēji, ja mežaudze nākamajā paaudzē tiks atstāta dabiskai atjaunošanai, krustosies ar citu audžu pēcnācējiem, tādējādi paaugstinot ģenētisko daudzveidību un novēršot iespējamo gēnu dreifu.

Balstoties uz minēto likumsakarību, veikti aprēķini, kas liecina, ka strauja ģenētiskās daudzveidības samazināšanās sākas, samazinoties plantācijas efektīvajam klonu skaitam (N_e) zem 10 (Kang et al., 2001). Kritērijs $N_e \geq 10$ izmantots kā ģenētiskās daudzveidības rādītājs sēkļu plantācijas sertifikācijai (atļaujai izmantot stādus valsts mežos) arī Britu Kolumbijā, Kanādā. Norādīts, ka $N_e = 10$ nodrošina 95% populācijas ģenētiskās daudzveidības (Stoehr et al., 2004).

Precīzs priekšstats par sēkļu plantāciju (ar atšķirīgu klonu skaitu) pēcnācēju un mežaudžu pēcnācēju ģenētiskās daudzveidības vērtībām iegūstams, veicot tiešu salīdzināšanu. Par daudzveidības indikatoriem parasti izmanto vidējo allēļu skaitu polimorfā lokusā un heterozigotāti. Heterozigotāti var uzskatīt par daudzveidības „koka ietvaros” rādītāju (Lindgren, Prescher (2005).

Chaisurisri un El-Kassaby (1994) salīdzina ģenētisko daudzveidību Sitkas egles (*Picea sitchensis*) sēkļu plantācijā ar 134 kloniem un mežaudzēs. Sēkļu plantācijā nav konstatētas 3 allēles, kuras ir trijās no 10 mežaudzēs (ar sastopamības biežumu 1-5%). Savukārt 6 sēkļu plantācijā konstatētās allēles netika atrastas dabisko mežaudžu paraugos. Heterozigotāte mežaudžu un sēkļu plantācijas pēcnācēju paraugos bijusi vienāda. Analizējot *Pinus palustris* materiālu, Schmidting un Hipkins (1998) konstatējuši, ka polimorfo lokusu skaits un vidējais allēļu skaits lokusā, kā arī heterozigotāte mežaudzēs un sēkļu plantācijām ar 28-30 kloniem neatšķiras, bet šie rādītāji nedaudz zemāki ir plantācijai ar 14 kloniem. Līdzīgi Stoehr un El-Kassaby (1997), salīdzinot *Picea glauca* sēkļu plantācijas un mežaudzes, konstatē, ka vidējais polimorfo lokusu skaits tajās neatšķiras, taču sēkļu plantācijās heterozigotāte un allēļu skaits lokusā ir mazliet zemāks nekā mežaudzēs; 7 allēles ar zemu pārstāvības biežumu, kas konstatētas mežaudzēs, nav atrastas sēkļu plantācijas paraugos, bet 1 fiksēta tikai plantācijā. Godt et al. (2001) konstatējuši līdzīgu heterozigotāti *Picea glauca* un *Pinus banksiana* mežaudzēs un plantācijās (attiecīgi ar 31 un 40 kloniem). Allēļu skaits (vidēji) polimorfā lokusā mazliet zemāks ir sēkļu plantācijās. Secināts, ka ģenētiskā līdzība starp sēkļu plantācijām un mežaudzēm ir lielāka par 99%. Uz iegūto empīrisko datu pamata analizēta situācija, kāda būtu, ja sēkļu plantācijā klonu skaits tiktu samazināts, tos atlasot nejauši vai sistemātiski. Secināts, ka klonu skaita samazināšanās līdz 10 izraisa vidēji 3 reti pārstāvētu allēļu zudumu, bet heterozigotāte paliek nemainīga.

Muona un Harju (1989), analizējot parasto priedi, norāda 2 galvenos sēkļu plantāciju un audžu pēcnācēju atšķirību cēloņus:

- 1) sēkļu plantācijas ierīkošanai tiek ievākts neliels klonu skaits, kas var vai nu palielināt ģenētisko daudzveidību, jo paraugi ievākti no plaša ģeogrāfiskā apgabala, vai arī to samazināt, jo nelielā skaita dēļ ievāktie kloni var nesaturēt atsevišķas reti sastopamas allēles.
- 2) ziedēšanas laikā sēkļu plantācijās pašapputē un gēnu dreifs var izsaukt izmaiņas pēcnācēju allēļu frekvencēs.

Abu minēto faktoru ietekmi nosaka efektīvais klonu skaits, kas analizētajās plantācijās bija attiecīgi 18 un 23. Vecāku kokiem (plantāciju kloniem), tāpat kā abu plantāciju sēkļu pēcnācējiem, konstatēta vidēji tāda pati heterozigotāte kā mežaudzēs. Kopējais allēļu skaits plantācijās ir par 2–7 mazāks nekā mežaudzēs, taču sēkļu plantāciju pēcnācēju paaudzē - par 3–7 lielāks. Plantāciju pēcnācējiem (sēklām), salīdzinājumā ar vecāku kokiem, nav konstatēts ģenētiskās daudzveidības zudums (gēnu dreifa vai inbrīdinga rezultātā), kas saskan ar Wang et al. (1991) secinājumiem, kuri iegūti salīdzinot heterozigotāti vecāku un pēcnācēju paaudzēs plantācijā ar 34 kloniem. Tiek pieļauts, ka putekšņu fona ietekme ir vairāk nekā pietiekama, lai kompensētu iespējamās ģenētiskās daudzveidības zudumus gēnu dreifa rezultātā.

Kopumā var secināt, ka heterozigotāte sēkļu plantāciju kloniem un to pēcnācējiem, pat ja efektīvais klonu skaits ir tikai 18 – 23 vai atsevišķos gadījumos vēl mazāks, neatšķiras no mežaudzēs konstatētās. Procentuāli nelielam paraugu skaitam konstatētas zināmas atšķirības allēļu klātbūtnē. Turklāt atsevišķas plantācijās konstatētās allēles nav atrastas mežaudžu paraugos un otrādi. Tiek norādīts, ka iespējas konstatēt reti (1-5% gadījumu) sastopamās allēles (kas var būt arī jaunas mutācijas) ir tieši atkarīgas no ievākto paraugu skaita (Godt et

al., 2001; Muona, Harju, 1989). Nevienā gadījumā nav atzīmēts kādas bieži pārstāvētas un mežaudzes ģenētiskās stabilitātes nodrošināšanā nozīmīgas allēles (Libby et al., 1997) iztrūkums.

Atlasītos klonus sēklu plantācijā var pārstāvēt ar vienādu vai atšķirīgu rametu skaitu. Kang et al. (2001) norāda, ka līdzsvarotai klonu pārstāvniecībai plantācijā nav bioloģiski pamatota iemesla, jo arī mežaudzēs dažādu genotipu pārstāvniecība nav vienāda. Somijā, analizējot vidēji 80-100 gadus vecu parastās priedes dabisko atjaunošanos mežaudzē ar atsevišķiem vēl saglabātiem, vidēji 300 gadus veciem mātes kokiem, secināts, ka jauno audzi veido radniecīgu koku grupas, bet ne visi vecie koki ir pārstāvēti ar līdzīgu pēcnācēju skaitu. Ir pamats uzskatīt, ka 2-3 dabiskās atjaunošanās paaudzes vienā un tajā pašā nogabalā var nozīmīgi atšķirties ģenētiski (Tigerstedt et al., 1982).

Lindgren, Matheson (1986) izstrādājuši un aprakstījuši uz lineārās optimizācijas balstītu matemātisko modeli, kas rāda, ka izvēloties rametu skaitu proporcionāli klonu selekcijas vērtībām, palielinās sēklu plantācijas ģenētiskā ieguvuma vērtība. Šajā gadījumā atlasīto skaitā netiek iekļauti kloni ar izteikti atšķirīgu ziedēšanas laiku, bet tiek ievērotas ziedēšanas intensitātes atšķirības. Izmantojot šo metodi klonu atlasei priedes sēklu plantācijas ierīkošanai Zviedrijā, secināts, ka, izvēloties 28 klonus ar to selekcijas vērtībām proporcionālu rametu skaitu, kopējā plantācijas ģenētiskā ieguvuma vērtība ir par 8,8% augstāka nekā izmantojot tikai 20 labākos klonus ar vienādu pārstāvniecību. Citā izmēģinājumā šī vērtība ir par 7% augstāka nekā izmantojot labākos klonus ar vienādu pārstāvniecību.

Klonu pārstāvniecība proporcionāli to selekcijas vērtībām izmantojama arī veicot sēklu plantācijas ģenētisko kopšanu (Bondesson, Lindgren, 1993). Šajā gadījumā vienīgais ierobežojums ir maksimāli pieejamais rametu skaits ģenētiski augstvērtīgākajiem kloniem. Veicot ģenētisko kopšanu egles pirmās kārtas plantācijā ar 36 kloniem un saglabājot efektīvo klonu skaitu (N_e) 27, Prescher et al. (2004) secinājuši, ka proporcionālās pārstāvniecības izmantošana paaugstinājusi sēklu plantācijas ģenētiskā ieguvuma vērtību par aptuveni 30% salīdzinājumā ar tam pašam N_e atbilstoša klonu skaita saglabāšanu, katru pārstāvot ar vienādu rametu daudzumu.

Jau pieminētās ziedēšanas intensitātes atšķirības starp kloniem nosaka, ka to ģenētiskās informācijas pārstāvniecība nākamajā paaudzē (līdzdalība kopējā sēklu masas veidošanā kā mātes un tēva kokiem) nav tieši proporcionāla rametu skaitam (% no kopējā) attiecīgajā plantācijā. Analizējot citu autoru publicētos datus, Kang et al. (2003) secina, ka skuju koku audzēs ziedēšanas intensitātes variācijas koeficients (vērtējot atšķirības starp kokiem audzes ietvaros) vidēji ir 146% (mediāna 109%, analizētas 11 audzes), bet sēklu plantācijās - vidēji 110% (mediāna 89%, analizētas 30 plantācijas). Vērtējot tikai sievišķo ziedēšanu, tās intensitātes variācijas koeficients audzēs ir vidēji par 70% un sēklu plantācijās – par 25% zemāks nekā vīrišķai ziedēšanai. Zems variācijas koeficients (2-50%) ir tikai 15% no analizētajām audzēm un plantācijām. Variācijas koeficients augstāks ir gados ar zemām ziedēšanas sekmēm un jaunajās plantācijās. Klonu ziedēšanas intensitātes atšķirības samērā stabilas saglabājas vairākus gadus (periodā); konstatēta ziedēšanas intensitātes rangu korelācija $r=0,71-0,86$ ♀ un $r=0,83-0,91$ ♂, $\alpha=0,001$ (Jonsson et al., 1976). Tāpat var izdalīt klonus ar izteikti sievišķo vai vīrišķo ziedēšanu (tā paša klona līdzdalība sēklu plantācijas sēklu masā kā tēva un mātes kokam var atšķirties pat 6 reizes) (Müller-Starck, 1982). Secināts, ka dažādu klonu genotipu faktiskā pārstāvniecība sēklu plantācijas sēklu materiālā var nozīmīgi atšķirties pat gadījumā, ja attiecīgo klonu rametu skaits plantācijā ir vienāds. Kā atzīmēts iepriekš, nozīmīga loma ir arī ziedēšanas sinhronismam, kas ne tikai samazina vai palielina fona putekšņu līdzdalību kopējā apputeksnēšanā, bet arī nosaka apputeksnēšanās iespējas plantācijas ietvaros. Tādēļ rekomendēts izmantot klonus ar iespējami vienādu ziedēšanas fenoloģisko fāžu iestāšanās laiku (Koski, 1980).

Izvēloties rametu skaitu kloniem, lai to pārstāvniecība sēklu plantācijas sēklu materiālā būtu proporcionāla selekcijas vērtībām, nozīmīga ir gan ziedēšanas intensitāte, gan sinhronisms (Stoehr et al., 2004). Šī darba rezultātu daļā aprakstītie secinājumi balstīti uz

pieņēmumu, ka ziedēšanas periodu pārklāšanās ir pietiekama un ziedēšanas intensitāte starp kloniem ir līdzīga, tomēr tie ir koriģējami iegūstot papildus datus par klonu ziedēšanu.

Konstatēts, ka efektīvā klonu skaita aprēķinā ietverot ziedēšanas intensitātes un sinhronisma novērtējumu, tā precizitātes uzlabojums ir neliels, ja plantācijā ir vairāk nekā 50 klonu un to ziedēšanas periodi pārklājas vairāk nekā par 1,5 dienu. Taču, ja klonu skaits plantācijā ir mazāks, balstoties tikai uz rametu skaitu aprēķinātā efektīvā klonu skaita vērtība ir lielāka par faktisko (Xie et al., 1994).

Sēklu plantācijās izmantojot nelielu klonu skaitu, papildus risku var radīt pašappute un pašapaugļošanās, kā rezultātā iespējama sēklu ražas samazināšanās vai arī iegūtie pēcnācēji ir ar zemu vitalitāti. Viens no faktoriem, kas nosaka apputeksnēšanās sekmīgumu, varētu būt koku (vai atsevišķu klonu / rametu) savstarpējie attālumi. Saskaņā ar Koski (1970) pētījumiem un viņa apkopotiem literatūras datiem, parastās priedes mežaudzēs aptuveni 50% konkrētā koka apputeksnēšanā veic koki, kas aug 30-60 m attālumā no tā. Tomēr, analizējot priežu plantācijā ievāktās sēklas, nav konstatēts, ka paši tuvākie kloni (4 vai 12) konkrētā mātes koka sēklas būtu apaugļojuši biežāk; rametu izvietojums šajā plantācijā ir 5 x 5 m attālumos (Rudin, Ekberg 1982). Šie pētījumi liecina, ka pašapputei starp viena klona rametiem, ja vien tie nav izvietoti tiešā tuvumā, nevajadzētu būt nozīmīgai problēmai sēklu plantācijās arī ar nelielu klonu skaitu. Bez tam parastajai priedei, tāpat kā citām vēja apputes sugām (Barett, 2003), ir nozīmīgas atšķirības starp pašapputi un pašapaugļošanos (Prescher et al., 2006).

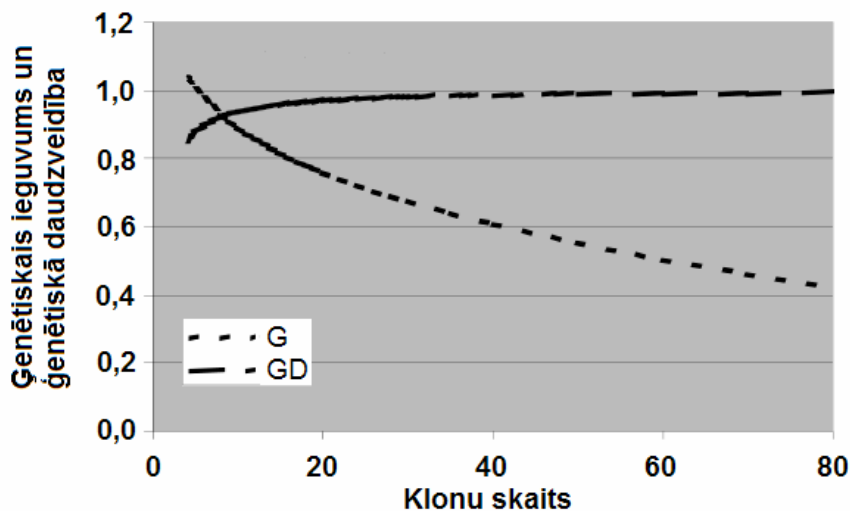
Pašapaugļošanās mežaudzes veido ap 6% sēklu, kas ir ievērojami mazāk, kā paša koka putekšņu proporcionālā masa gaisā koka tuvumā un no tā aprēķinātā pašappute (Koski, 1973). Viens no aizsardzības mehānismiem pret pašapaugļošanos ir jau minētā sievišķā strobila atvēršanās un putekšņu izlidošanas laika atšķirība tam pašam kokam (Koski, 1973). Otrs mehānisms ir pašapputes embriju bojāeja. Sēklas veidošanās sākumā sievišķajā strobilā ir vairākas, parasti 2 identiskas sievišķās olšūnas un putekšņu kambarī – 1 – 5 putekšņi. Tiem saplūstot veidojas vairākas zigotas (kuras var būt ģenētiski atšķirīgas, ja putekšņi ir atšķirīgi). Zigotām attīstoties veidojas vairāki embriji, no kuriem sēklu cikla beigās veido tikai viens (Koski, 1971, Lindgren, 1975). Priedes genomā ir recesīvas allēles, kuras homozigotā stāvoklī (tātad pašapputes gadījumā) izraisa embrija bojāeju. Parastajai priedei pēc pašapputes konstatēti 70 – 99% tukšu sēklu (Koski, 1971). Ja neviena no šīm recesīvajām letālajām allēlēm (atsevišķos gadījumos) nav konkrētajam embrijam, tomēr konstatēts, ka pašapputes embriji ir ar zemāku vitalitāti, tātad konkurencē ar svešapputes embriju biežāk aiziet bojā (Lindgren, 1975).

Poliembrionija no sugas izdzīvošanas perspektīvas viedokļa ir būtiska – tā nodrošina iespējas samazināt pašapaugļošanos (saglabāt ģenētisko daudzveidību) un vienlaikus nesamazināt sēklu apjomu (Lindgren, 1975). Mehānisma efektivitāti, nodrošinot sēklu plantācijas klonus pret pašapaugļošanos, demonstrē pētījumu rezultāti: El-Kassaby et al. (1989) konstatējuši pašapaugļošanos 4%, turklāt rezultāts neatšķīrās plantācijās ar 58 un 39 kloniem; Burczyk (1998) konstatējis 1,3% pašapaugļošanos plantācijā ar 32 kloniem; Muona un Harju (1989) konstatējuši 2% pašapaugļošanos plantācijās ar efektīvo klonu skaitu 18 un 23.

Tātad nav pamata uzskatīt, ka efektīvā klonu skaita (N_e) samazināšana līdz ~20 varētu nozīmīgi ietekmēt sēklu materiāla pašapaugļošanās procentu. Salīdzinot iespējas proporcionāli vairāk pārstāvēt klonus ar augstākām selekcijas vērtībām ($N_e=20$, kopējais klonu skaits=34) un labākos klonus pārstāvēt ar vienādu rametu skaitu, Prescher et al. (2006) secina, ka pirmā alternatīva neizraisīs augstāku pašapaugļoto sēklu īpatsvaru. Konstatēts, ka pašapaugļošanās līmenis atšķiras starp kokiem, tātad iespējams veikt iepriekšējas pārbaudes un klonus ar augstu pašapaugļošanās procentu izslēgt (Koski, 1971, Burczyk, 1998). Taču šādas pārbaudes jāveic ļoti precīzi un rūpīgi, jo pat neliela citu koku putekšņu klātbūtne var izraisīt nozīmīgas rezultātu kļūdas.

Lindgren, Prescher (2005) pieņemot Zviedrijas apstākļiem raksturīgās iepriekš aprakstīto parametru (krustošanās un ziedēšanas nevienmērības, pašapputes līmeņa, fona putekšņu

līdzdalības), vērtības, kā arī kompleksi vērtējot potenciālo ģenētisko ieguvumu un daudzveidības saglabāšanu (4.4. att.) secina, ka otrās kārtas sēkļu plantācijās optimāls klonu skaits ir 16 (atšķirīgām alternatīvām klonu skaits svārstās no 12 līdz 21). Tiek norādīts, ka klonu skaits šajā gadījumā ir tas pats, kas efektīvais klonu skaits un ir optimāli klonus pārstāvēt ar atšķirīgu rametu skaitu proporcionāli selekcijas vērtībām (ņemot vērā ziedēšanas intensitāti).



G – ģenētiskais ieguvums (reizināts ar 5);

GD – ģenētiskā daudzveidība

4.4. att. Ģenētiskais ieguvums un daudzveidība 2. kārtas plantācijās ar atšķirīgu klonu skaitu (no Lindgren, Prescher, 2005)

Kopsavilkums

- ģenētiskās daudzveidības saglabāšana selekcijas procesā ir nozīmīga galvenokārt, lai nodrošinātu materiāla adaptācijas spējas klimata izmaiņu gadījumā vai selekcijas mērķa maiņai nākotnē;
- selekcijas grupa ar 50 kokiem nodrošina ģenētiskās daudzveidības saglabāšanos ilgstošā (vairāku selekcijas ciklu) periodā;
- eksistējošo ģenētisko (gan gēnu, gan genotipu) daudzveidību (sagaidāmo heterozigositāti), tāpat kā mežaudžu noturību galvenokārt nosaka allēles ar pārstāvētības biežumu virs 0,1, kuras netiek zaudētas arī ilgstošā (vairāku paaudžu) selekcijas procesā;
- koku ar reti sastopamo allēlēm saglabāšanai lietderīgi iemantot klonu arhīvus, šādas allēles nepieciešamības gadījumā selekcijas grupā var ieviest arī no blakus esošu reģionu ar līdzīgiem klimatiskajiem apstākļiem selekcijas grupām;
- ieteicamais efektīvais klonu skaits plantācijās ar pārbaudītu materiālu (≥ 2 . kārtas) ir 20-25. Jāņem vērā, ka katra papildus klona iekļaušana plantācijā samazina no viena un tā paša selekcijas darba (tātad vienāda investīciju apjoma) sasniedzamo (realizēto) selekcijas efektu mežaudzēs (peļņu);
- lai sasniegtu maksimālo ģenētiskā ieguvuma vērtību un vienlaikus nemazinātos ģenētiskās daudzveidības vērtība, katra klona pārstāvēniecībai (rametu skaitam) plantācijā jābūt proporcionālam tā selekcijas vērtībai.

5. Krustošanas shēma un atlasē veids

Krustošanas shēmas izvēle ir atkarīga no krustošanas mērķa. Shēmas ar lielāku krustojumu skaitu sniedz iespējas precīzi novērtēt dažādu ģenētisko parametru vērtības, taču saistītas ar ievērojamām izmaksām un laika patēriņu (5.1. tabula).

5.1. tabula

Iespējamo kontrolētās krustošanas shēmu novērtējuma kopsavilkums

Shēma	VKS novērtēšanas iespēja	SKS novērtēšanas iespēja	Vecāku koku atlasē iespēja saskaņā ar pēcnācēju pārbaudēm	Izmaksas
Brīvappute	vidēja	slikta	mazefektīva	zemas
Polikross	ļoti laba	slikta	nenozīmīga	ļoti zemas
Testeru (faktoriālā)	laba	laba	nenozīmīga	augstas
Viena pāra	slikta	slikta	laba	ļoti zemas
Dubultpāru	slikta	slikta	laba	ļoti zemas
"Ligzdu"	vidēja	laba	laba	ievērojamas
Pusdiallēlā	izcila	ļoti laba	izcila	ļoti augstas
Modificēta diallēlā	laba	laba	ļoti laba	augstas
Diallēlā	izcila	izcila	izcila	ļoti augstas

VKS – vispārējā kombinatīvā spēja;

SKS – specifiskā kombinatīvā spēja.

Atsevišķas no pielietojamajām krustošanas shēmām (piemēram, diallēlā krustošana visas selekcijas grupas ietvaros) praktiski ļoti grūti realizējamās klonu ziedēšanas laika un intensitātes atšķirību dēļ. Ja nepieciešama precīzāka informācija par kādu pazīmi nosakošajiem ģenētiskajiem efektiem, izmēģinājuma bāze molekulārās ģenētikas pētījumiem, vai arī svarīgi koki ar augstu selekcijas vērtību pārbaudīt kontrolētos krustojumus, jo tos plānots pielietot sēklu materiāla rūpnieciskai pavairošanai, ieteicams izmantot nevis pilnu diallēlo shēmu, bet nesaistītās 6 koku pus-diallēlo shēmu (5.1. att.). Šī krustošanas shēma ir derīga, lai ar statistiskām metodēm ar augstu varbūtību identificētu kokus ar kvantitatīvās pazīmes nozīmīgi ietekmējošajiem ģenētiem (Wu et al., 2001) un tos izmantotu selekcijas procesa efektivitātes paaugstināšanai.

Katrs 6 koku (15 krustojumu) komplekts var tikt analizēts (kā arī krustots un stādījumi ierīkoti) atsevišķi tādejādi ievērojami atvieglojot darbu praktisko izpildi, turklāt izmaksas ir ievērojami zemākas nekā krustošanu veicot pēc pilnas diallēlās shēmas.

Eksperimentos, kuri ierīkoti ar materiālu no krustošanas pēc šīs shēmas, iespējams aprēķināt ne tikai aditīvā, bet arī dominances un epistatiskā ģenētiskā efekta ietekmi uz pazīmes vērtībā. Dominances ģenētisko efektu noteiktais variācijas koeficients parastās priedes augstuma 5 – 39 gadu vecumā svārstās no 0% līdz 11% un ir vidēji 1/3 no aditīvā ģenētiskā efekta variācijas koeficienta vērtības, turklāt tā vērtībai nav noteiktas izmaiņu tendences palielinoties stādījuma vecumam (Jansson et al., 2003). Līdzīgi Xiang et al. (2003a) analizējot *Pinus taeda* stādījumus konstatē, ka dominances efekta vērtība ir aptuveni 30% no kopējās ģenētiskā efekta noteiktās dispersijas daļas. Turklāt gan aditīvā, gan dominances (Isik et al., 2003, Xiang et al., 2003a) ģenētiskā efekta daļa kopējā koku augstuma, caurmēra un stumbra tilpuma dispersijā palielinās, pieaugot uzmērījuma vecumam. Tādejādi kontrolēto krustojumu

izmantošana rūpnieciskai pavairošanai šai koku sugai nodrošina papildus 10-40% pēcnācēju stumbra tilpumam (Xiang et al., 2003b).

Koka Nr.*	Pus-diallēle 1						Pus-diallēle 2					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		x	x	x	x	x						
2				x	x	x						
3					x	x						
4						x	x					
5												
6												
7								x	x	x	x	x
8									x	x	x	x
9										x	x	x
10											x	x
11												x
12												

*Kolonnā uz leju - mātes koku numuri, rindā pa labi - tēva koku numuri

5.1. att. Nesaistītā 6 koku pus-diallēlā krustošanas shēma

Relatīvi augstās liela krustojumu skaita iegūšanas un apsaimniekošanas izmaksas ir galvenais iemesls, kādēļ mežsaimnieciski nozīmīgām koku sugām nākamā selekcijas cikla bāzes materiāla izveidei parasti tiek izmantotas shēmas ar nelielu krustojumu skaitu. Piemēram, Zviedrijā un Lietuvā plānots izmantot dubultpāru krustošanas shēmu, iegūstot kontrolēto krustojumu skaitu, kas vienlīdzīgs ar vecāku koku skaitu selekcijas grupā (Danell, 1993a, Baliuckas et al., 2004). Paredzēts veikt atlasīti tikai starp pēcnācējiem katras sibu ģimenes ietvaros, tātad ģenētiskais ieguvums šajā gadījumā ir tikai no variācijas ģimeņu iekšienē, kas ideālā populācijā ir puse no kopējās ģenētiskās variācijas (Danusevicius, Lindgren, 2005). Somijā plānots izmantot viena pāra krustošanas shēmu (Haapanen, 2005) un, lai nesamazinātu kopējo koku skaitu selekcijas populācijā, no katra krustojuma turpmākam selekcijas darbam atlasīt 2 pēcnācējus. Līdzīgi arī Latvijā, lai samazinātu selekcijas darbu izmaksas un krustošanai patērēto laiku, līdz ar to paaugstinot ieguldīto līdzekļu atdevi, rekomendējams izmantot shēmas ar minimālo nepieciešamo krustojumu skaitu. Lietderīgi krustot labāko (pēc selekcijas vērtības) koku ar otru labāko, trešo ar ceturto utt., palielinot varbūtību atrast vēl labākas (pēc izvēlētajām pazīmēm) kombinācijas izmantošanai sēklu plantācijās.

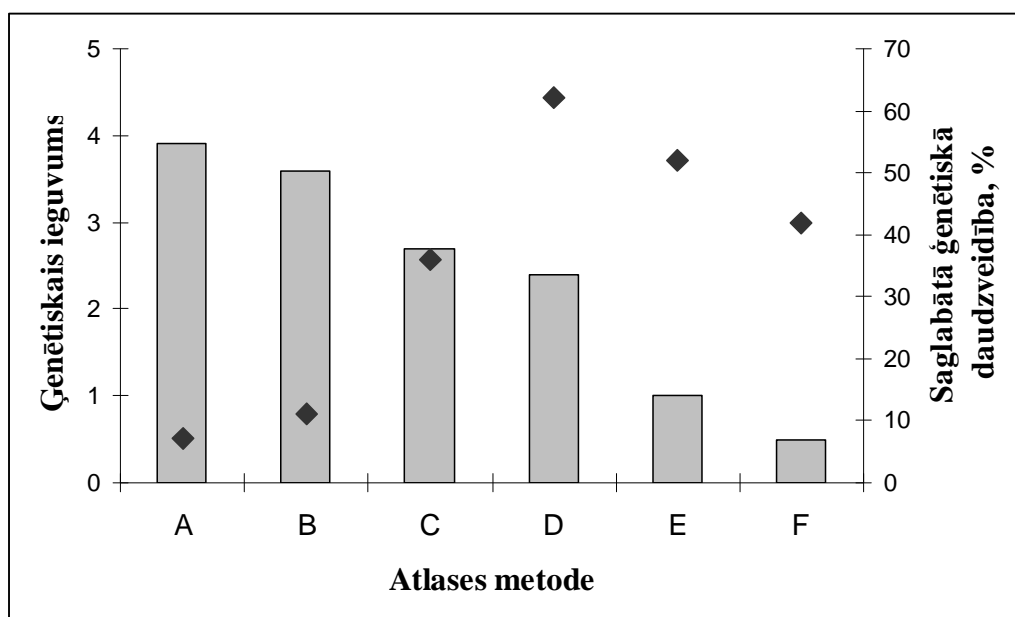
Izmantojot shēmas ar nelielu krustojumu skaitu, ģimeņu ranžēšanas precizitāte nav augsta, jo to ietekmē (šajā gadījumā nezināma lieluma) dominances un ģenētiskā efekta vērtības. Taču šis aspekts nerada nekādas praktiskas problēmas, ja atlase tiek veikta tikai ģimeņu ietvaros – tātad nodrošinot vienādu katra vecāku koka pārstāvniecību nākamajā selekcijas ciklā un reizē ar to – zemāko radniecības pakāpes palielinājumu. Selekcijas grupā no augstvērtīgākajām ģimenēm atlasot lielāku nākamās paaudzes koku skaits nekā no citām (tātad atsevišķus vecāku kokus pārstāvot ar vairāk pēcnācējiem, citus vispār izslēdzot), tiek nodrošināts augstākais tūlītējais selekcijas efekts. Vienlaikus arī radniecības pakāpes palielināšanās ātrums ir ievērojami straujāks. Tātad, izmantojot nevienmērīgu koku pārstāvniecību, iespējams sasniegt augstāko tūlītējo selekcijas efektu, taču tikai uz ilgtermiņa potenciālā ģenētiskā ieguvuma samazinājuma rēķina (Wei, 1995). Sakarību labi ilustrē A, B gadījums 5.2. attēlā. Var secināt, ka nevienmērīga koku pārstāvniecība ir attaisnojama sēklu plantācijās, kur galvenais uzdevums ir realizēt augstāko ģenētiskā ieguvuma vērtību no veiktā selekcijas darba un nākamajā kārtā jau tiek izmatots cits materiāls, bet ne selekcijas grupā, kur viens un tās pats materiāls savstarpēji krustojot tiek izmantots no paaudzes uz paaudzi.

Vērtējot datus no 3 atsevišķiem parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumiem, kur ietvertas neradniecīgas ģimenes, Kowalczyk (2005) salīdzinājis vairākus variantus koku atlasei selekcijas grupas izveidei (5.2. att.):

- A. labāko koku atlase pēc selekcijas indeksa vērtībām, neņemot vērā piederību pie kādas ģimenes (izmantota tikai individuālu koku selekcijas indeksa vērtība);
- B. 10-12 labāko koku atlase no katras ģimenes, sākot atlasi ar labākajām ģimenē (izmantota gan ģimeņu, gan individuālu koku selekcijas indeksa vērtības). Ņemot vērā, ka atlasīto koku skaits visos gadījumos ir konstants, šis variants ilustrē lielāka koku skaita atlasīto no labākajām ģimenēm un mazāka – no sliktākajām;
- C. 30% (no kopskaita) labāko ģimeņu atlase, no katras ģimenes izvēloties vienādu koku skaitu (izmantota gan ģimeņu, gan individuālu koku selekcijas indeksa vērtības);
- D. tāda pat skaita ģimeņu atlase kā E gadījumā, no katras ģimenes izvēloties vienādu koku skaitu (izmantota gan ģimeņu, gan individuālu koku selekcijas indeksa vērtības);
- E. atlase pēc koku fenotipiskajām vērtībām (neveicot mērījumus);
- F. atlase pēc koku fenotipisko mērījumu datiem, neņemot vērā ģimeņu struktūru.

Jāņem vērā, ka eksperimentos ietvertais ģimeņu skaits lielāks nekā nepieciešams selekcijas grupai (tātad iespējama arī atlase starp neradniecīgām ģimenēm). Sasniedzamais rezultāts vērtēts kā ģenētiskais ieguvums un ģenētiskās daudzveidības saglabāšanās (to izsakot % no efektīvā populācijas koku skaita: $100\% - N_e$). Vidējie rezultāti (vienā no eksperimentiem) atspoguļoti 5.2. attēlā. Konstatēts, ka atlase neievērojot ģimeņu struktūru (A), kā arī liela koku skaita atlase no katras ģimenes, sākot ar labākajām (B), kas faktiski nozīmē nevienlīdzīgu pārstāvēto īpatņi skaitu no dažādām ģimenēm, rada augstāko ģenētisko ieguvumu, taču arī zemāko saglabāto ģenētisko daudzveidību. Atlasot 30% labāko ģimeņu ar vienādu koku skaitu (pārstāvniecību) (C) ģenētiskās daudzveidības saglabāšana ir tuva pēc fenotipiskās atlases iegūtajai, taču ģenētiskais ieguvums ievērojami (3-5 reizes) lielāks.

Ņemot vērā, ka selekcijas procesā nepieciešams ne tikai sasniegt maksimālo ģenētisko ieguvumu, bet arī saglabāt ģenētisko daudzveidību (reizē ar to arī ilgtermiņa atlases potenciālu), rekomendējams veikt atlasīto starp kokiem ģimenes ietvaros, katru selekcijas grupas koku nākamajā ciklā pārstāvēt ar maksimāli diviem, no atšķirīgiem krustojumiem atlasītiem pēcnācējiem.



□ Ģenētiskais ieguvums, aprakstīts izmantojot kā mērvienību pazīmes standartnovirzes vērtību;

◆ Saglabātā ģenētiskā daudzveidība, %;

atlases metožu simbolu izskaidrojumu skatīt tekstā.

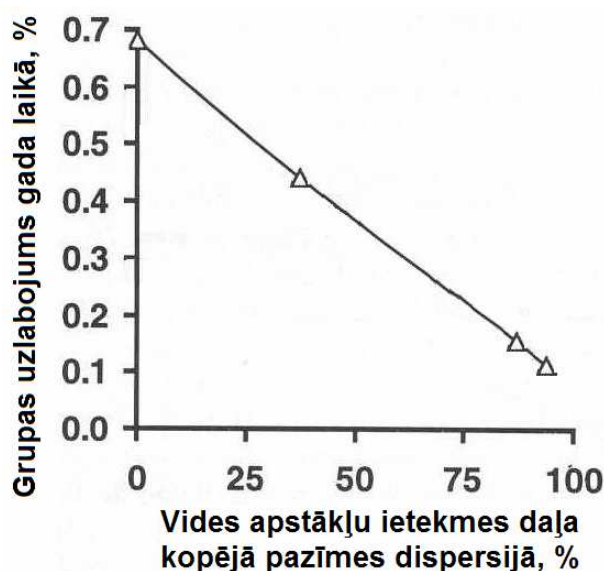
5.2. att. Ģenētiskais ieguvums un daudzveidība selekcionētajā grupā izvēloties atšķirīgas atlases metodes (dati no Kowalczyk, 2005)

Atlasi starp kokiem ģimeņu ietvaros, kā jau aprakstīts iepriekš, var veikt:

- 1) vienā etapā – pēc fenotipa (FEN);
- 2) divos etapos – vispirms pēc fenotipa izvēloties noteiktu skaitu koku no ģimenes (t.s. kandidātus), ierīkojot to iedzimtības pārbaudes un atlasī veicot pēc ģeneratīvo (ĢEN) vai veģetatīvo (VEĢ) pārbaudžu rezultātiem (t.i. pēc būtības atlasot labāko starp kandidātu ģimenēm).

Atlase pēc fenotipa ir precīza tikai tad, ja izvēlētajai pazīmei ir ļoti augsts iedzimstamības koeficients, t.i., proporcionāli lielu daļu no pazīmes variācijas dotajos apstākļos nosaka ģenētiskie faktori un mazu daļu vides faktori (5.3. att.). Tāds parasti ir ar augšanas ritmu saistītām pazīmēm (piemēram, lapu plaukšanas laikam, salcietības iestāšanās laikam), taču nav produktivitāti un kvalitāti raksturojošajām (augstumam, zaru resnumam). Tas nozīmē, ka atlase pēc fenotipa kvalitāti un produktivitāti raksturojošajām pazīmēm ir ar zemu precizitāti – ir augsta varbūtība, ka pazīmes vērtību konkrētajam kokam vairāk ietekmējuši kādi vides apstākļi, nevis ģenētiskais pārkums. Šos secinājumus apstiprina dati no iedzimtības pārbaudžu stādījumiem: piemēram, ranžējot 35 Latvijas pluskoku brīvapputes pēcnācējus 2 stādījuma vietās 32 gadu vecumā Jansons (2005b) konstatējis, ka maksimālās ģimeņu vidējo augstumu atšķirības var sasniegt pat 4 m (~25%), kā arī starp ģimenēm vērojamas nozīmīgas kvalitātes (zarojums un stumbra taisnuma, koku ar padēliem īpatsvara) atšķirības.

Atlases precizitāte nozīmīgi ietekmē praktiski realizēto selekcijas efektu, kas redzams salīdzinot rezultātus 1. kārtas (kloni izvēlēti pēc fenotipa) un 2. kārtas (kloni izvēlēti saskaņā ar to pēcnācēju pārbaudžu rezultātiem) sēklu plantācijās. Konstatēts, ka selekcijas efekts 1. kārtas plantāciju pēcnācējiem (koksnes krāji) salīdzinot ar mežaudžu pēcnācējiem vidēji 15%, 2. kārtas – ap 25% (Jansons u.c., 2008, Rosvall et al., 2002). Līdzīga likumsakarība saglabājas arī veicot salīdzinājumu starp 3. kārtas (fenotipiski atlasīti 2. paaudzes koki) un 4. kārtas (pēc pēcnācēju pārbaudžu rezultātiem atlasīti 2. paaudzes koki) plantācijām (White et al., 2003). Jāņem vērā, ka salīdzinājumu starp 1. un 2. kārtas plantācijām ietekmē ne tikai atlases precizitātes, bet arī intensitātes izmaiņas, taču ne salīdzinājumu starp 3. un 4. kārtas plantācijām – tikai atlases precizitātes izmaiņas.



5.3. att. Izmantojot fenotipisko atlasī sasniedzamais grupas uzlabojums atkarībā no vides apstākļu heterogenitātes eksperimenta ietvaros (attēls no Danusevičius, Lindgren, 2002b)

Fenotipisko atlasī vēlams izmantot vienīgi gadījumos, kad citas atlases metodes (ņemot vērā ģimeņu struktūru un ģenētisko efektus) nav pielietojamas. Pēcnācēju pārbaudžu izmantošanas nepieciešamība (Gailis, 1962, Birģelis, Baumanis, 1989, Lindgren, 1991)

attiecas arī uz situāciju, kad jāizvēlas 2. selekcijas cikla materiāls – vai nu atlasot vecāku kokus pēc to pārbažu rezultātiem, vai arī fenotipiski labākos kokus to brīvapputes ģimeņu ietvaros. Ja mātes koka vērtība ievērojami pārsniedz attiecīgās grupas vidējo, tad atlasot starp pēcnācējiem ir augsta varbūtība, ka tā tēva koks ir ar zemāku ģenētisko vērtību, tātad pazeminās kopējo ieguvumu no selekcijas procesa (Routsalainen, Lindgren, 1998). Tādēļ, kad vien to praktiski iespējams realizēt, rekomendējams izmantot vecāku-koku atlasu pēc to pēcnācēju pārbažu rezultātiem.

Veicot atlasu pēc pēcnācēju pārbažu rezultātiem kandidāts tiek novērtēts pēc daudzu tā pēcnācēju, kuri katrs eksperimenta ietvaros var būt mazliet citādos apstākļos, vidējās vērtības, sniedzot precīzāku priekšstatu par kandidāta ģenētiski noteiktajām īpašībām. Īpaši precīzi ir rezultāti no veģetatīvajām pārbaudēm, kur viens un tas pats (kandidāta) genotips tiek novērtēts atšķirīgos vides apstākļos.

Priežu pēcnācēju pārbažu stādījumos konstatēts, ka ģimeņu vidējo vērtību iedzimstamības koeficients (ko izmanto aprēķinot selekcijas efektu no atlasas pēc pēcnācēju pārbažu rezultātiem) ir vidēji 1.6 reizes augstāks nekā iedzimstamības koeficients (kuru izmanto aprēķinot selekcijas efektu no atlasas pēc fenotipa). Šī sakarība atspoguļo papildus ieguvumu no pēcnācēju pārbažu pielietošanas (5.2. tabula, 5.4. att.). Rezultāti no lielāk skaita eksperimentu, kas atspoguļo 5.2. tabulā redzamo sakarību, iekļauti tabulās 7. nodaļā. Redzams, ka īpaši izteikta starpība starp h^2 un h^2_f vērtībām ir koku kvalitāti raksturojošām pazīmēm. Tādēļ pussību ģimeņu vidējo vērtību iedzimstamības koeficienta atšķirības starp kvalitāti un produktivitāti raksturojošām pazīmēm nav tik izteiktas kā iedzimstamības koeficienta atšķirības starp šīm pazīmju grupām. Tāpat pussību ģimeņu vėjo vērtību iedzimstamības koeficienti, kas aprēķināti izmantojot tikai valdaudzes koku vai visu koku datus atšķiras mazāk nekā iedzimstamības koeficienti, kuri aprēķināti no šīm datu kopām.

5.2. tabula

Pazīmju iedzimstamības koeficienta (h^2) un ģimeņu vidējo vērtību iedzimstamības koeficienta (h^2_f) vērtības

Nr.	Pazīme		h^2	se	h^2_f	se_f
	apzī.	paskaidrojums				
28, 30, 31, 32, 41	h	augstums, m	0,45	0,05	0,49	0,04
	d	pirmā zaļā zara augstums, m	0,14	0,04	0,27	0,08
	tilp	stumbra tilpums, m ³	0,20	0,04	0,35	0,08
	hzz	caurmērs krūšu augstumā (1,3 m), cm	0,20	0,07	0,27	0,05
	zd1	attiecīgi 1., 2., un 3. resnākā zara	0,17	0,02	0,31	0,04
	zd2	diametrs 1,3 m augstumam tuvākajā	0,17	0,02	0,29	0,05
	zd3	mieturī, mm;	0,12	0,03	0,23	0,06
	zdvid	vidējais zara diametrs 1,3 m augstumā, mm	0,15	0,03	0,28	0,05
	zdtop	vidējais 3 resnāko zaru diametrs, mm	0,17	0,02	0,30	0,05
	zdsun	zaru diametru summa mieturī	0,12	0,01	0,23	0,04
	zdprocx	relatīvais resnāka zara diametrs, %	0,14	0,04	0,25	0,05
	zdprocm	relatīvais vidējā zara diametrs, %	0,09	0,05	0,18	0,07
	zn	zaru skaits 1,3 m augstumam tuvākajā mieturī	0,07	0,04	0,20	0,06
	zv	zaļā vainaga proporcionālais garums, %	0,07	0,01	0,14	0,02
hd	stabilitātes koeficients	0,08	0,01	0,18	0,05	

Nr. – eksperimenta Nr. „Ilglaicīgo pētniecisko objektu reģistrā”;

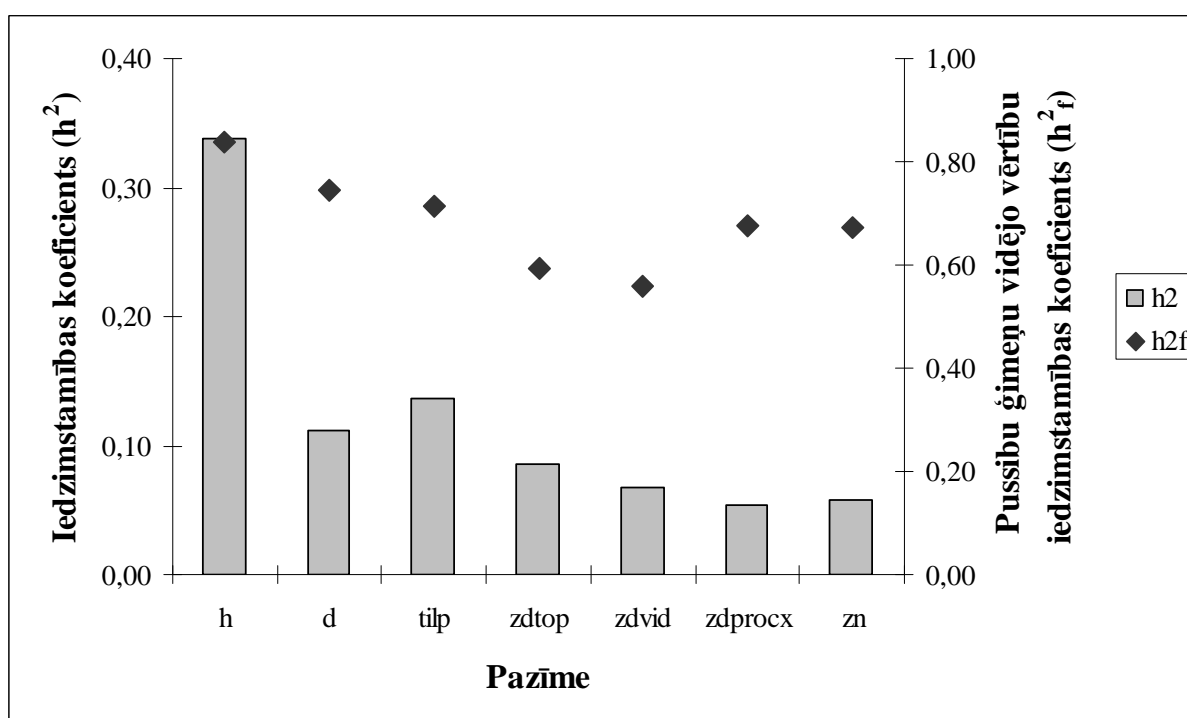
apz. – apzīmējums;

se – standartkļūda;

precīzākus pazīmju aprakstus skatīt 1. tabulā pielikumā

Ņemot vērā augsto atlasēs starp ģimenēm precizitāti, to var izmantot selekcijas efekta paaugstināšanai, ja selekcijas populācijā pieejamais materiāla apjoms ir lielāks nekā nepieciešams ilgtermiņā ģenētiskās daudzveidības nodrošināšanai. Piemēram, kā diskutēts nodaļā par selekcijas populāciju – sākotnēji priecīti izvēlēti lielāks koku skaits, lai no tālāka selekcijas darba neizslēgtu potenciāli augstvērtīgus genotipus, kuri pārbaudīti tikai vienā eksperimentā ar zemu statistisko precizitāti. Papildus atlasīti starp ģimenēm var nodrošināt arī jebkurš cits materiāls, kuru nepieciešams iekļaut selekcijas grupā selekcijas cikla beigās – izvēloties materiālu darba turpināšanai.

Minimāli palielinot kopējās selekcijas programmas izmaksas atlasīti starp ģimenēm iespējams veikt, izmantojot lielāku skaitu krustojumu kokiem ar augstāku selekcijas vērtību (kur atdeve no papildus ieguldītajiem līdzekļiem būs lielākā) un selekcijas cikla beigās saglabājot šiem kokiem tādu pat pārstāvniecību selekcijas grupā, kā kokiem ar zemu vai vidēju selekcijas vērtību, kam veikts minimālais krustojumu skaits. Izmantojot šo pieeju, ģenētiskā daudzveidība selekcijas grupā netiek papildus noplicināta, bet iegūstamais selekcijas efekts ir augstāks.



Pazīmju apzīmējumi kā 5.2. tabulā.

5.3. att. Pazīmju iedzimstamības koeficientu vērtības parastās priedes iedzimtības pārbaūžu stādījumos

Kopsavilkums

- ģenētiskā materiāla rekombinācijai selekcijas grupā rekomendējams izmantot minimālo krustojumu skaitu, pielietojot viena pāra vai dubultpāru krustojšanas shēmu. Lielāku krustojumu skaitu ieteicams izmantot tikai kokiem ar augstāko selekcijas vērtību, ja prognozējama materiāla rūpnieciska pavairošana izmantojot kontrolēto krustojšanu vai veģetatīvi;
- krustojšanu ieteicams veikt saskaņā ar koku selekcijas vērtībām – labāko ar otru labāko, trešo ar ceturto utt., tādējādi palielinot varbūtību atlasīt īpaši augstvērtīgus īpatņus sēklu plantācijām;

- atlasi ieteicams veikt ģimeņu ietvaros, tādejādi iespējami maz palielinot radniecību starp selekcijas grupas kokiem katrā selekcijas ciklā. Atlasi starp ģimenēm iespējams veikt, ja selekcijas grupā esošais koku skaits lielāks par to, kāds nepieciešams ilgtermiņā ģenētiskās daudzveidības nodrošināšanai.
- atlase pēc fenotipa produktivitāti un jo īpaši kvalitāti raksturojošajām pazīmēm ir ar zemu precizitāti, tādēļ ieteicams izmanto atlasi pēc izvēlēto kandidātu (augstvērtīgu koku katras kontrolētās krustošanas ģimenes ietvaros) pēcnācēju pārbaūžu rezultātiem.

6. Pēcnācēju pārbaudes

Pēcnācēju pārbaudes ir nozīmīga selekcijas darba daļa, tādēļ svarīgi izvēlēties optimālu to ierīkošanas vietu, eksperimenta dizainu, izmantojamā materiāla apjomu un veidu.

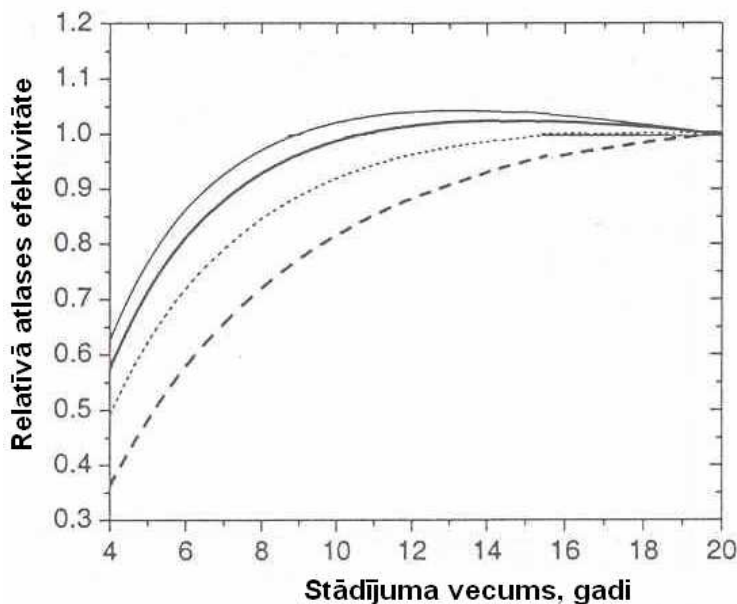
Eksperimenta vieta un stādījuma biezums nozīmīgi ietekmē rezultātu ieguves laiku un atsevišķos gadījumos arī precizitāti. Selekcijas materiāla pārbaudēm nepieciešams ierīkot vairākus eksperimentus, lai novērstu risku zaudēt rezultātus dažādu faktoru (piemēram, ugunsgrēka) ietekmē (Zhelev et al., 2003), kā arī būtu iespējams atlasīt piemērotākos genotipus noteiktiem augšanas apstākļiem (piemēram – salnu apdraudētām vietām – Rone, 1984) un klimatam, un pašai apstākļu variācijai piemērotus genotipus. Analizējot parastās priedes un egles provenienču stādījumus un eksperimentus kontrolētos apstākļos, secināts, ka klimata izmaiņas (temperatūras paaugstināšanās) ietekmēs koku augšanas ātrumu, izmantotā veģetācijas perioda garumu un atsevišķos gadījumos arī noteiks citu konkrētai vietai piemērotāko (produktīvāko) sēkļu materiālu. Bez tam iespējams augstāks sala bojājumu risks palielinoties temperatūru svārstību amplitūdai ziemā (Hänninen, 1991, Beuker, 1994, Schmidting, 1994, Persson, Beuker, 1997, Oleksyn et al., 1998, Persson, 1998). Dažāda sēkļu materiāla augšanas ritma piemērotību konkrētas vietas klimatiskajiem apstākļiem iespējams novērtēt ar sasaldēšanas pārbaudēm, salīdzinot rezultātus ar zināmu, piemērotu materiālu (Nilsson, Eriksson, 1986, Aho, 1994). Tomēr atšķirīgu klimatisko faktoru ietekmi uz koku augšanas parametriem precīzi iespējams novērtēt tikai eksperimentālajos stādījumos. Lai iespējamo klimata izmaiņu gadījumā būtu pieejama informācija par konkrētajiem apstākļiem piemērotākajiem genotipiem, rekomendējams 1 – 2 papildus stādījumus ierīkot ārpus noteiktās selekcijas zonas, kā tas jau tiek realizēts Zviedrijā un Somijā (Danell, 1993b, Haapanen, 2005). Plašāk analīze par šiem jautājumiem, rekomendējot nepieciešamo eksperimentu vietu skaitu, ietverta apakšnodaļā: „Genotipa x vides mijiedarbība”.

Analizējot pēcnācēju pārbaūžu eksperimentus Somijā (Haapanen, 1996, 2001, Annala, 1999) konstatēts, ka precīzākus un ātrākus rezultātus iespējams iegūt, izmantojot stādījumus ar lielu sākotnējo biezumu (8800-10000 koki*ha⁻¹), ierīkotus lauksaimniecības zemēs (6.1. att.). Šāda faktoru kombinācija nodrošina ātru koku augšanu un vainagu saslēgšanos, pirmajos gados pēc ģenētisko efektu novērtējums ir precīzākais (Xie, Ying, 1996, Mikola, 1985). Tāpat eksperimentos uz lauksaimniecības zemēm augsnes apstākļi visa eksperimenta ietvaros ir relatīvi homogēni, reizē ar to var precīzāk konstatēt ģenētiski noteiktās atšķirības.

Redzams, ka sākotnējā stādīšanas attāluma (tātad arī, iespējams, juvenilās saglabāšanās) ietekme var būt nozīmīgāka kā augsnei. Izmantojot augstu sākotnējo biezumu iespējams to pašu koku skaitu izvietot mazākā platībā, tādejādi variācija starp augsnes apstākļiem eksperimenta ietveros ir zemāka un ģenētisko faktoru novērtējums precīzāks.

Latvijā konstatēta augšanas apstākļu ietekme uz ģimeņu ranžējumu gan eglei (Rone, 1973), gan priedei (Jansons, 2005b), tādēļ rekomendēts stādījumus ierīkot vairākos augšanas apstākļu tipos, galvenokārt tajos, kur sagaidāms lielākais selekcijas darba rezultāts un stādāmā materiāla izmantošana. Literatūrā trūkst informācija par stādījuma biezuma ietekmi uz ģimeņu ranžējumu – respektīvi, vai produktīvākās ģimenes augsta biezuma stādījumos ir produktīvākās arī tradicionāli mežsaimniecībā meža atjaunošanai izmantotajā biezumā.

Kamēr šis jautājums nav eksperimentāli novērtēts, rekomendējams stādījumus ierīkot ar praktiski (meža atjaunošanā) izmantoto vai nākotnē plānojamo sākotnējo koku skaitu uz ha. Tas nodrošina arī relatīvi ilgāku eksperimenta saglabāšanas iespēju pētnieciskām vajadzībām, jo ilgāku laiku nav nepieciešama kopšanas cirte, kā arī konkurences faktoru ietekmē nesākās dabiskā atmiršana – tārad iespējams saglabāt lielāku koku skaitu katrā ģimenē.



Tieva nepārtraukta līnija – 8800-10000 koki*ha⁻¹, meža augsnē
 Plata nepārtraukta līnija – 8800-10000 koki*ha⁻¹, lauksaimniecības augsnē
 Tieva punktēta līnija – 2500 koki*ha⁻¹, meža augsnē
 Plata raustīta līnija – 2500 koki*ha⁻¹, lauksaimniecības augsnē

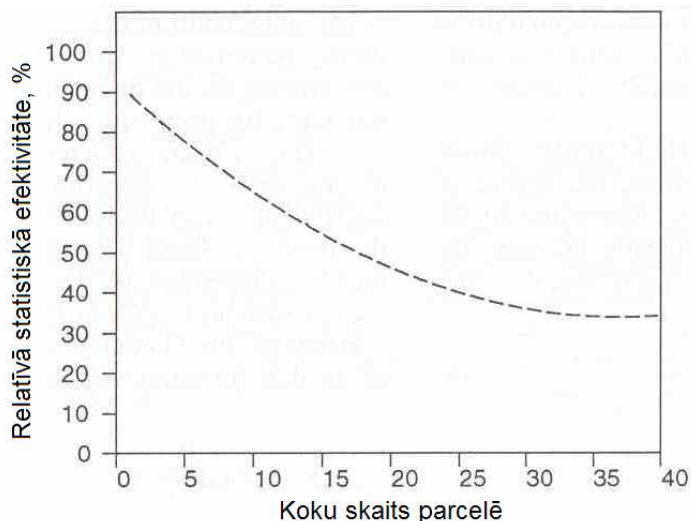
15. att. Relatīvā atlasē efektivitāte dažādos selekcijas stādījumos starp kokiem ģimenes ietvaros atšķirīgā vecumā ar mērķi uzlabot koka augstumu 20 gadu vecumā (attēls no Haapanen, 2001)

Nepieciešamo koku skaitu ģimenei, stādīšanas attālumu, kā arī eksperimenta dizainu lielā mērā nosaka eksperimenta mērķis. Kontrolēto krustojumu stādījumus kandidātu atlasī ģimeņu ietveros vai fenotipiskajai atlasēi (visām analizētajām sugā, t.sk. hibrīdajai apsei) rekomendējams ierīkot, izmantojot liela izmēra bloku parces ar 2-4 atkārtojumiem, 1-2 stādījumu vietās. Šajā gadījumā nav būtiska ģimeņu ranžēšana, bet atšķirību starp kokiem ģimeņu ietvaros novērtēšana, tādēļ svarīgi, lai vienas ģimenes koki atrastos iesējami vienādos apstākļos. Tāpat rekomendējas izmantot samērā lielus stādīšanas attālumus, paredzot eksperimentu ilgāku saglabāšanu. Veicot atlasī starp kandidātu ģimenēm nozīmīgi izvēlēties eksperimentu dizainu ar augstāko statistisko efektivitāti – izmanto vienkoka parces iespējami lielā skaitā atkārtojumu (6.2. att.). Tas nodrošina precīzāko ģenētisko efektu aprēķinu, jo katras ģimenes koki atrodas maksimālajā skaitā eksperimentā ietvertu konkurences un vides nevienmērības apstākļu (Haapanen, 1992, 1995).

Izmantojot vienkoka parces eksperimentu ierīkošana ir vienkāršāka, taču kopšana (saglabājot vienmērīgu koku reprezentāciju ģimenēs un dažādās eksperimenta vietās) ir sarežģīta, koku atlasē ģimeņu ietvaros neprecīza.

Ja nepieciešama pietiekami efektīva atlasē gan starp ģimenēm, gan ģimeņu ietvaros, rekomendējams izmantot nelielas (6-10 koku) rindu parces, 6 vai vairāk atkārtojumos, kā tas tiek praktizēts *Pinus taeda* un *Pinus elliotti* stādījumos. Tādējādi iespējams katrai ģimenei katrā atkārtojumā izvēlēties citus „kaimiņus”, samazinot nevienmērīgas konkurences ietekmi, atkārtojumu skaits ir pietiekami liels, lai aptvertu eksperimentā esošo iespējamo augsnes variāciju un rezultātus būtiski neietekmētu zema saglabāšanās vai trupe kādā stādījuma daļā

(Xiang et al., 2003a, White et al., 2003). Līdzīgu dizainu rekomendē izmantot arī Wellendorf (2006, pers. kom.) parastās egles selekcijā (4 koki un 8 atkārtojumos). Izmantojot mazāku atkārtojumu skaitu tiek nozīmīgi palielināta rezultātu kļūda (Haapanen, 1995). Rindu parcelu izmantošana tikai nedaudz paaugstina rezultātu precizitāti, salīdzinot ar tāda paša koku skaita bloku parcelēm, taču, uzmērot pēcnācēju pārbaužu stādījumus Latvijā, konstatēts, ka darba efektivitāte ir daudz augstāka, strādājot eksperimentos ar rindu, nevis bloku parcelēm. Rindu parcelu izmantošana nodrošina iespēju efektīvāk veikt sistemātisku kopšanu, saglabājot stādījumu ģenētisko efektu novērtēšanai ilgstoši.



Efektivitāte noteikta kā iespēja konstatēt mazākās būtiskās atšķirības, salīdzinot ar tāda paša koku skaita vienkoka parcelu izmantošanu.

6.2. att. Statistiskā efektivitāte dažāda koku skaita parcelēm (attēls no Haapanen, 1992)

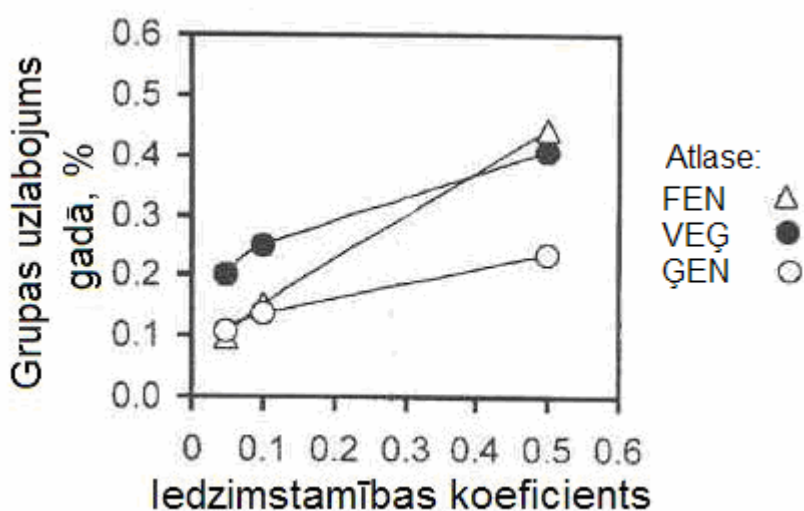
Vērtējot nepieciešamo koku skaitu ģimenei katrā eksperimenta vietā to ranžēšanai, Somijā analizēti 33 parastās priedes pēcnācēju pārbaužu stādījumi vecumā līdz 20 gadiem. Konstatēts, ka lielu bloku parcelu (25 koki) izmantošana nesniedza papildus informāciju un tādu pat rezultātu precizitāti iespējams iegūt uzmērot tikai 10 kokus katrā parcelē (Haapanen, 1995). Līdzīgi rezultāti iegūti arī Zviedrijā, kur eksperimentos ar vienkoka parcelēm (40 katrai ģimenei) uzmērīšanā būtiski nezaudējot precizitāti izmantoti tikai 30 – 50 % (t.i. 12-20) koki (Jansson et al., 2003).

Nepieciešamo kokus koku skaits ģimenei precīzu rezultātu iegūšanai iespējams aprēķināt ņemot vērā atlases pazīmju ģenētisko parametru vērtības. Šādu kalkulāciju metodiku izstrādājuši Danusevicius un Lindgren (2002a) visiem 3 jau minētajiem atlases viediem: pēc fenotipa (FEN), kā arī pēc kandidātu veģetatīvo (VEĢ) vai ģeneratīvo (ĢEN) pēcnācēju pārbaužu rezultātiem. Aprēķinā netiek ņemta vērā genotipa-vides mijiedarbības potenciālā ietekme, tādēļ iegūtais rezultāts interpretējams kā optimālais koku skaits vienā eksperimentā, ja rezultātus paredzēts vērtēt atsevišķi (t.i., nepieciešama informācija par ģimeņu ranžējumu noteiktos apstākļos) vai arī visos eksperimentos kopā, ja nepieciešams pēc kompleksas analīzes atlasīt universāli adaptējušās (visiem apstākļiem vienlīdz piemērotas, augstvērtīgas) ģimenes. Kā selekcijas mērķis aprēķinos definēts grupas uzlabojums viena selekcijas cikla gada laikā. Grupas uzlabojums ir selekcijas procesā panāktā ģenētiskā ieguvuma un paaugstinātās radniecības pakāpes, kura pārvērsta tādās pat mērvienībās kā ieguvums, starpība.

Ja iedzimstamības koeficienta vērtība ir 0,1, optimālais ģimenes lielums VEĢ, FEN un ĢEN atlases veidam ir attiecīgi 20 orteti, 15 rameti katram, 182 koki un 11 koki, 47 pēcnācēji katram. Augstākas iedzimstamības koeficienta vērtības nosaka mazāku optimālo ģimenes lielumu fenotipiskās atlases gadījumā, kā arī lielāku pārbaudāmo koku (ortetu vai sibu) skaitu

un mazāku katram no tiem nepieciešamo pēcnācēju (rametu vai ģeneratīvo pēcnācēju) skaitu (6.3. att.). Kā jau minēts 5. nodaļā, ātraudzību un kvalitāti raksturojošajām pazīmēm biežāk pārstāvētajām meža koku sugām Latvijā un kaimiņvalstīs iedzīstamības koeficienta vērtības parasti ir robežās no 0,05 līdz 0,25 (Velling, 1982, Haapanen, et al., 1997, Hannrup et al., 1998, Rosvall, 1999, Olsson, 2001, Jansons, 2006a,b), tātad optimālā koku skaita rekomendācija veikta faktiskajai situācijai.

Veicot salīdzinājumu starp atlases veidiem konstatēts, ka augstāko grupas uzlabojumu gada laikā iespējams sasniegt izmantojot veģetatīvo atlasī (VEĢ), atšķirības starp fenotipisko (FEN) un ģeneratīvo (ĢEN) atlasī ir nelielas un par labu fenotipiskajai. Sakarība ir robusta gan pret atšķirīgiem dominances ģenētiskā efekta līmeņiem, gan aditīvā ģenētiskā efekta noteiktām standartnovirzēm rotācijas vecumā, gan dažādu pieņemto relatīvo ģenētiskā ieguvuma un ģenētiskās daudzveidības saglabāšanas nozīmīguma attiecību, kā arī rotācijas periodu (no 60 līdz 120 gadiem). Ja tiek pieņemts īsāks rotācijas periods (30-40 gadi), atlase pēc fenotipa ir ievērojami pārāka par ģeneratīvajām pēcnācēju pārbaudēm, bet atpaliek no veģetatīvajām (Danusevičius, Lindgren, 2002a).



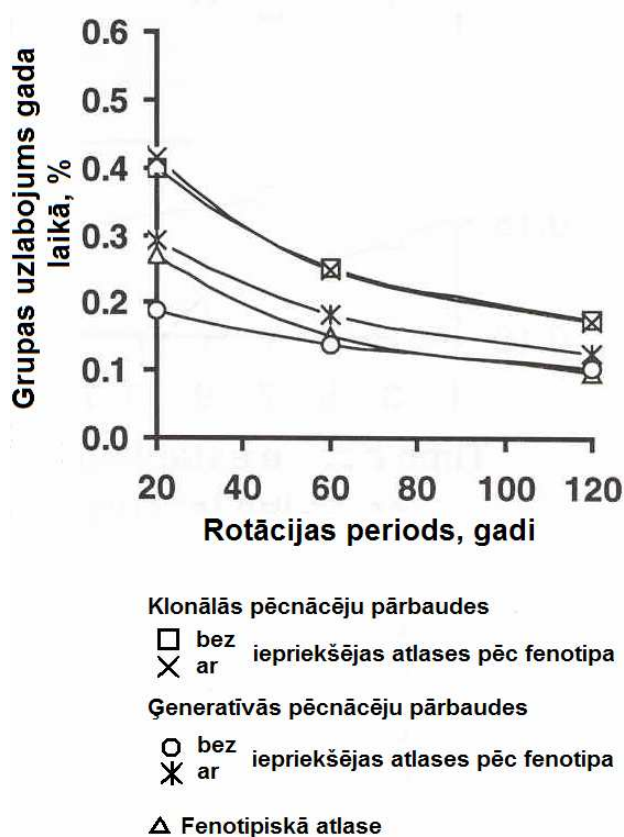
6.3. att. Atšķirīgu pēcnācēju pārbaūžu efektivitāte pazīmēm ar dažādām iedzīstamības koeficienta vērtībām (attēls no Danusevičius, Lindgren, 2002a)

Izvēloties kādu no atlase veidiem pēc pēcnācēju pārbaūžu rezultātiem (VEĢ, ĢEN), iespējams kandidātus ģimeņu ietvaros izvēlēties ierīkojot speciālus eksperimentus, gaidot noteiktu laika periodu un tad izvēloties fenotipsiki labākos (ar priekš-atlasī), vai arī tikai saskaņā ar noteiktām stādu īpašībām (bez papildus eksperimentālā perioda). Aprēķini liecina: ja izvēlēts ĢEN atlase veids – tātad kandidāta atlase pēc brīvapputes pēcnācēju pārbaūžu stādījumu rezultātiem, izdevīgi ieguldīt papildus līdzekļus precīzākas fenotipiskās priekš-atlases eksperimentu izveidošanai. Reizē ar to tiek lietderīgi izmantots tāpat nepieciešamais gaidīšanas laiks līdz koku ziedēšanai. Sakarība nav spēkā, ja ziedēšanu iespējams panākt ļoti agrā (2-4 gadu) vecumā Danusevičius un Lindgren (2004). Ja paredzēts izmantot veģetatīvās pārbaudes (kas ir precīzākās), tad kandidātu priekšatlase pēc fenotipa nesniedz papildus grupas uzlabojumu gada laikā, tikai palielina kopējo cikla garumu. Tas saistīts ar relatīvi īso laiku (≤ 4 gadi) no sēklu materiāla ieguves līdz iespējai ierīkot veģetatīvos stādījumus, tātad nelielo vecumu, kādā varētu tikt veikta priekš-atlase un līdz ar to arī zemu tās precizitāti. Tādēļ šajā gadījumā rekomendējama iespējami ātra kandidātu atlase un pavairošana (Danusevičius, Lindgren, 2002b).

Apkopojot iepriekšējo pētījumu rezultātus, var secināt, ka rekomendējams izmantot veģetatīvās pēcnācēju pārbaudes visos gadījumos, kad tas praktiski ir iespējams, tādejādi nodrošinot augstāko grupas uzlabojumu gada laikā (6.4.att.). Ģeneratīvā un fenotipiskā atlases

uzrāda līdzīgu rezultātu, taču jāņem vērā, ka fenotipiskā atlase balstās uz pieņēmumiem par genotipa un fenotipa korelāciju, kamēr pēcnācēju pārbaūžu izmantošana nodrošina faktiski ģenētiski augstvērtīgāku koku izvēles iespējas.

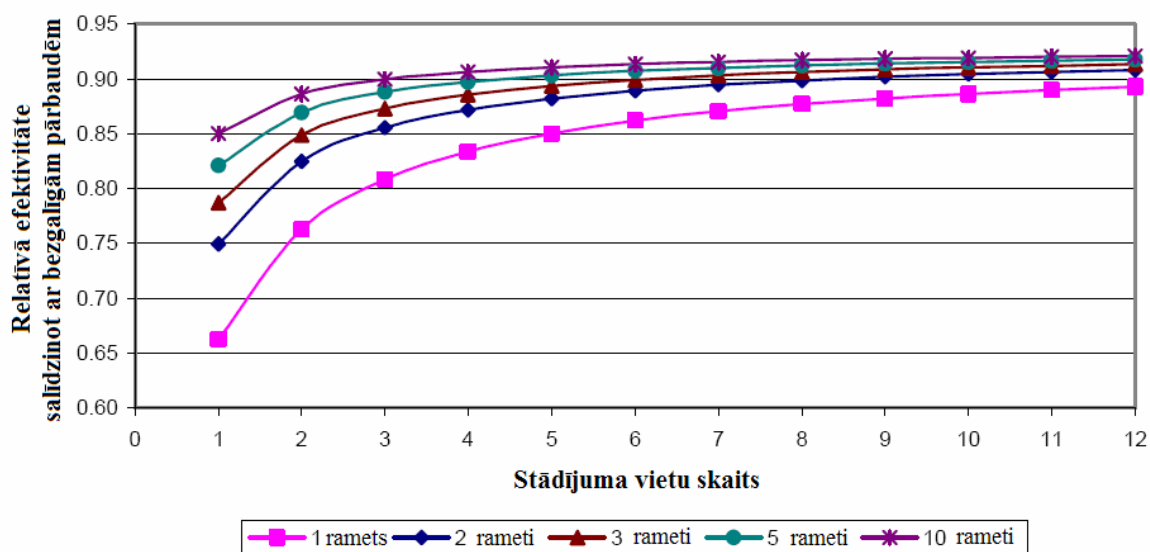
Konstatēts, ka veģetatīvās pēcnācēju pārbaūdes nozīmīgi paaugstina selekcijas procesa efektivitāti, samazinot augsnes un klimata mikro-variācijas (variācija viena stādījuma robežās) ietekmi uz ģenētisko parametru novērtējumu (Isik et al., 2003). To apstiprina arī dati no Latvijas parastās priedes eksperimentālajiem stādījumiem – salīdzinot tās pašas mātes koka klonālās kopijas (iegūtas potējot) un brīvapputes pēcnācējus pēc augstuma 10 gadu vecumā, konstatēts, ka rametu augstumiem raksturīga ievērojami (vidēji 2 reizes) mazāka rezultātu izkliede, kas liecina par mazāku nepieciešamo kokus skaitu vienlīdz precīzu rezultātu iegūšanai (Bambe, nepublicēti materiāli). Lai iegūtu precīzu informāciju par atšķirībām starp kandidātiem ar klonālo pēcnācēju pārbaūžu palīdzību jāievēro, ka stādu vecums apsākņošanai paredzētā spraudeņa ieguves brīdī būtiski ietekmē spraudeņstāda attīstību un vēlāko augstuma pieaugumu (Rone, 1985), tātad tieši salīdzināšanai izmantojami tikai no viena vecuma ortetiem iegūti remeti.



6.4. att. Izmantojot atšķirīgas pēcnācēju pārbaūžu metodes sasniedzamais grupas uzlabojums selekcijas cikla gada laikā (attēls no Danusevičius, Lindgren, 2002b)

Salīdzinot no sēklām un mikroklonāli pavairotus stādījumus kārpainajam bērzam (vērtēta saglabāšanās, koku augstums, peļu un pārnadžu bojājumi), netika konstatētas būtiskas rezultātu (ranžējuma) atšķirības, kas liecina, ka vienlīdz labi analīzei var tikt izmantoti abu tipu materiāli (Viherä-Aarnio, Velling, 2001). Līdzīgi rezultāti konstatēti arī parastajai priedei (Niskanen, 2008), kā arī *Pinus taeda* (McRea et al., 1993). Vērtējot parastās egles selekcijas programmu Zviedrijā, Rosvall et al. (1998) secina, ka klonālās pēcnācēju pārbaūdes ir efektīvākas par citiem pārbaūžu veidiem arī gadījumos, kad iedzimstamības koeficienta vērtības ir zemas un tiek izmantots neliels rametu skaits no katra kandidāta.

Augstāku ģenētisko ieguvumu no atlasē ģimenes robežās iespējams sasniegt izmantojot lielāku skaitu kandidātu, katru pārbaudītu ar nedaudz (8-10) klonālām kopijām katrā stādījuma vietā, nevis izmantojot dažus kandidātus un lielu skaitu rametu katram (Isik et al., 2004). Līdzīgu tendenci konstatējuši arī Russell un Loo-Dinkins (1993) norādot, ka optimāli būtu izmantot tikai 1-2 rēmetus no katra kandidāta, stādījumus ierīkojot 2-6 vietās. Tik maza rēmetu skaita izmantošanai no katra klona nepiekrīt Stener un Jansson (2005), norādot, ka pat 3-4 klonālās kopijas var būt par maz precīzu rezultātu iegūšanai, īpaši ņemot vērā, ka dažas no tām var tikt bojātas (biotisku vai abiotisku faktoru ietekmē). Vērtējot iespējamo statistisko analīžu precizitāti un rangu korelācijas Isik et al. (2005) norāda, ka 4-6 rēmetu izmantošana katram kandidātam 1 stādījuma vietā uzskatāma par optimālu. Sadalot kopējo pēcnācēju pārbaudēm pieejamo rēmetu skaitu pa stādījuma vietām (aptverot iespējami pašu klimatisko apgabalu) un atkārtojumiem vienas stādījuma vietas ietvaros iegūto sakarību ilustrē 6.5. attēls.



6.5. att. Veģetatīvo pēcnācēju pārbaudžu efektivitāte atkarībā no eksperimenta vietu skaita un rēmetu skaita eksperimentā. Attēls no Dieters et al., 2004.

Optimums atkarīgs no vides apstākļu variācijas starp stādījuma vietām un to ietvaros (dažādām ģenotipa-vides mijiedarbības formām), izvirzītā atlasē mērķa, kā arī papildus stādījuma vietu ierīkošanas izmaksām, taču vispārējā gadījumā rekomendēts izmantot 5-6 stādījuma vietas ar 3 vai vairāk rēmetiem katrā (Dieters et al., 2004). Tomēr jāņem vērā, ka šāda stratēģija neļauj analizēt katru eksperimentu atsevišķi, novērtēt ģenotipa-vides mijiedarbību specifiskā vietā, bet tikai visā reģionā (kurā izvietoti eksperimenti) kopumā. Secinājumus par ģimenes augšanu noteiktos apstākļos iespējams izdarīt, ja uzmērīšanas brīdī attiecīgajā stādījuma vietā ir vismaz 20 tās koki.

Ierīkojot iedzimtības pārbaudžu stādījumus, svarīgi ņemt vērā, ka nepieciešams rūpēties par to kopšanu un aizsardzību pret bojājumiem. Nepietiekama augsnes sagatavošana un stādījumu kopšana ir cēlonis nevienmērīgiem saglabāšanās un augšanas rādītājiem, kā rezultātā iedzimtības koeficienta vērtība ir zema. Tas nozīmē, ka ģenētiski labāko koku (ģimeņu) atlasē precizitāte ir zema (Haapanen, 1996), respektīvi – ir augstāka iespēja kļūdu dēļ atlasīt zemas kvalitātes ģimenes un reizē ar to neiegūstot maksimālo atdevi no selekcijā ieguldītajiem līdzekļiem (Talbot (1997). Jāņem vērā, ka iespējas ar statistiskām metodēm uzlabot atlasē precizitāti, ja dati iegūti no zemas kvalitātes (nozīmīgi bojātiem) eksperimentiem, ir visai ierobežotas (Portmann, Ketata, 1997). White et al., (2003) konstatējuši, ka nekoptiem eksperimentiem stumbru tilpuma iedzimtības koeficienta vērtība vidēji 0,09, bet ierīkotiem sagatavotā augsnē un koptiem – 0,31. Jansson et al., (2003) norāda, ka aļņu bojājumi ir viens no cēloņiem zemām konstatēto iedzimtības koeficientu vērtībām Ziemeļzviedrijas pēcnācēju pārbaudžu stādījumos. Tie palielina variāciju starp

kokiem ģimenē (vides ietekmes daļu kopējā dispersijā) un apgrūtina precīzu ģimeņu atšķirību noteikšanu, ranžēšanu saskaņā ar selekcijas vērtībām. Īpaši svarīga aizsardzība un kopšana ir veģetatīvajām pārbaudēm, kur katra stāda izmaksas ir augstas, tātad ievērojami arī eksperimenta zaudēšanas izdevumi. Dzīvnieku bojājumu risks eksperimentos ar veģetatīvi pavairotu materiālu (īpaši priedei) ir augstāks.

Veģetatīvo pēcnācēju pārbaudžu praktiskās izmantošanas iespējas

Parastā priede

Parastās priedes veģetatīvā pavairošana līdz šim sagādājusi ievērojamas problēmas. Somātiskās embriogēneses ceļā pavairošana izdevusies tikai atsevišķos gadījumos, jo ļoti sarežģīti ir panākt stāda sakņu sistēmas izveidošanos (Aronen, 2008). Labākus rezultātus izdevies sasniegt ar spraudņu metodi – iespējams nodrošināt vidēji 54% spraudņu apsākšanos un stādu izveidošanos no tiem (Högberg, 2005). Konstatēts, ka ar spraudņiem iespējams pavairot visas eksperimentā ietvertās ģimenes (kopumā 46). Vairākos pēcnācēju pārbaudžu stādījumos Somijā konstatēts, ka ar šo metodi no viena klona iegūtie stādi 12 gadu vecumā raksturīgi ar nelielām savstarpējām atšķirībām, respektīvi, pazīmes dispersiju veģetatīvi pavairotas ģimenes ietvaros ir neliela (Niskanen, 2008). Nozīmīgākā praktiskā problēma ar spraudņiem pavairotā materiāla izmantošanai parastās priedes selekcijā ir nelielais no viena mātes stāda (orteta) iegūstamo remetu skaits. Bez tam nepieciešams paaugstināt apsākšanās procentu, padarot katru iegūto stādu lētāku. Metodikas pilnveidošana un efektivitātes paaugstināšana tiek veikta sadarbojoties ar Zviedrijas un Somijas speciālistiem. Latvijas daļa šajā sadarbībā tiek realizēta „Meža attīstības fonda” projekta „Latvijas mežsaimniecības reaģētspējas uz iespējamām klimata izmaiņām Eiropā un kvalitatīvas koksnes kā rūpniecības izejvielas vērtības pieaugumu pilnveidošana” ietvaros.

Parastās priedes veģetatīvo un ģeneratīvo pēcnācēju attīstības salīdzināšanas eksperimenti Latvijā L. Bambes un I. Baumaņa vadībā ierīkoti arī 1971. – 1986. gadā. Tajos konstatēts: ja potzari iegūti no pluskoku galotnes daļas, potētajiem stādiem visā to attīstības procesā saglabājas gluda miza, ko bieži vien apgrauž staltbrieži un aļņi, turpretī ja potzari iegūti no 3 gadus veciem stādiem, šāda īpatnība nav konstatēta. Atšķirības starp potēto un ar sējeņiem pavairotu materiālu ir būtiskas tikai gadījumos, kad potētais materiāls ievērojami cietis no dzīvnieku bojājumu ietekmes.

Parastā egle

Atšķirībā no priedes, parastās egles pavairošana ar spraudņiem nav sarežģīta. Tā jau ilgstoši ir vienīgais pēcnācēju pārbaudžu veids gan Zviedrijā, gan Somijā un sāka pielietot selekcijas darbam arī Lietuvā (Danusevičius, 2004).

Egles dzinumam spraudņu apsākšanas metodika Latvijā aprobēta jau 1975. gadā (Rone, 1993) un bija plānots to izmantot arī kā alternatīvu egles stādāmā materiāla iegūšanai īscirtmeta (papīrmalkas) plantācijām (Роне, 1990). Ierīkoti vairāki klonālie pēcnācēju pārbaudžu stādījumi. To agrīnā novērtēšanā konstatēts, ka iegūstamās iedzīstamības koeficienta (plašā nozīmē, H^2) vērtības ievērojami pārsniedz aditīvā ģenētiskā efekta noteiktās iedzīstamības koeficienta (šaurā nozīmē, h^2) vērtības, tātad iespējama precīzāka atlase pēc tradicionāli izmantotajām ātraudzību raksturojošajām pazīmēm – augstuma un caurmēra (Rone, 1985). Atkārtota stādījumu uzmērīšana plānota 2009.-2010. gadā, ietverot arī kvalitāti un koksnes īpašības raksturojošās pazīmes.

Šobrīd klonālām pēcnācēju pārbaudēm vairākās valstīs (piemēram, Zviedrijā) tiek izmantotas nevis ar apsāknotu spraudņu, bet ar somātiskās embriogēneses metodi pavairotas egles. Konstatēts, ka ar šo metodi iespējams pavairot visas egļu ģimenes, taču atsevišķiem genotipiem var būt nepieciešams nedaudz modificēt standarta protokolu. Lai realizētu somātisko embriogēnesi, var būt nepieciešams lielāks iegūto sēkļu skaits no katra kontrolētā krustojuma. Metodes būtiskākās priekšrocības – iespējams iegūt jebkuru nepieciešamo rametu

skatu no katra kontrolētā krustojuma koka, bez tam īsākā laikā nekā izmantojot spraudenstādus (Högberg et al., 1998).

Kārpainais bērzs

Bērza veģetatīvā (mikroklonālā) pavairošana izmantojot standarta barotni un gaismas, temperatūras režīmus būtiskas problēmas nesagādā. Taču novērotas nozīmīgas veģetatīvo dzinumu veidošanās atšķirības starp kloniem (Welander et al., 2002, Ewald et al., 2002), kā arī atsevišķu klonus ir nozīmīgas grūtības ievadīt *in vitro* kultūrās. Tādēļ nepieciešams nozīmīgs papildus darbs metodes aprobācijā un pilnveidošanā, tai skaitā izstrādājot atsevišķu atlasīto bērzu klonu optimālo pavairošanas režīmu: barotnes sastāvu, gaismu, temperatūru u.c. (Dubova, 1994).

Hibrīdās apses veģetatīvā pavairošana nozīmīgas problēmas nesagādā, to eksperimentiem nepieciešamos apjomos iespējams realizēt visiem kloniem.

Genotipa-vides mijiedarbība

Genotipa-vides mijiedarbības faktora ietekme analizēta izmantojot parastās priedes eksperimentu datus, kas ir lielākais pieejamais selekcijas daru materiāls. Citām koku sugām novērtējums var tikt izveidots saskaņā ar šeit aprakstīto metodiku tikko pieejami atbilstoši pēcnācēju pārbaužu eksperimentu dati.

Priede tiek uzskatīta par mērķa sugu 15 meža tipos, tajā skaitā 10 no tiem tiek veikta priedes stādīšana (Bušs, 1976). Tanī pat laikā lielākā daļa (73%) no iedzimtības pārbaužu stādījumiem, kas vecāki par 5 gadiem, izvietoti tikai 3 meža tipos sausās minerālaugsnes (Sl, Mr, Ln). Tam par iemeslu ir vairāki praktiski apsvērumi: vieglāk atrast pietiekami lielu kailcirtes platību, mazākas stādījuma kopšanas izmaksas un zemāks risks kopšanas laikā nejauši bojāt kociņus. Pamatojoties uz šo pēcnācēju pārbaužu rezultātiem mātes koki tiek izvēlēti sēkļu plantāciju ierīkošanai, no tām iegūto materiālu izmanto stādu audzēšanai visām priedei piemērotajām platībām.

Koku kvalitāti un produktivitāti raksturo kvantitatīvās (liela skaita gēnu kompleksas ietekmes noteiktas) pazīmes. Iespējams, ka vienu un to pašu produktivitātes līmeni (ko raksturo, piemēram, koku augstums konstantā vecumā) atšķirīgos augsnes apstākļos nodrošina dažādu gēnu iedarbība. Tādēļ nepieciešams noskaidrot, vai atsevišķos meža tipos atlasītās labākās ģimenes būs piemērotākās meža atjaunošanai arī citos apstākļos.

Dažādu genotipu kokiem raksturīgs atšķirīgs fenotipiskais plastiskums, t.i., to fenotipu izmaiņas reaģējot uz pārmaiņām vides apstākļos ir atšķirīgas (Via, Lande, 1995). Ir problemātiski un reizēm pat neiespējami meža apstākļos noteikt tieši kura parametra izmaiņas izraisījušas atšķirības ģimeņu ranžējumā starp 2 eksperimentiem. Piemēram, viena genotipa vidējais augstums silā salīdzinot ar damaksni var būt mazāks tādēļ, ka tas ir neizturīgāks pret mitruma deficītu (Cregg, Zhang, 2001), cita – barības vielu trūkuma dēļ, trešā – tādēļ, ka tam ir ģenētiski noteikta atšķirīga reakcija un kopējās koksnes biomasas novirzīšanu virszemes vai sakņu augšanai dažādos koku savstarpējās konkurences apstākļos (Oleksyn et al., 1999, Vanninen, 2004). Novērtēšanu vēl vairāk sarežģī dažādu apstākļu kompleksa ietekme (Simms, 2000). Tāpat nav pamata uzskatīt, ka genotipa reakcija uz noteikta faktora lineārām izmaiņām (piemēram, slāpekļa satura augsnē samazināšanos) būs lineāra (Simms, 2000). Tādēļ šķietami vienkāršākais risinājums būtu katram meža tipam vai atsevišķai to grupai veikt selekcijas darbu atsevišķi, ierīkot pēcnācēju pārbaudes atbilstošos apstākļos un veidot atsevišķas sēkļu plantācijas. Šī ideja Latvijā tikusi iedzīvināta 20. gs. 70-tajos gados, ierīkojot atsevišķu sēkļu plantāciju silam un nosusinātām kūdras augsnēm. Taču izrādījās, ka veikt sēkļu materiāla dalītu ievākšanu, stādu audzēšanu un garantēt, ka stādi nonāk tiem paredzētajos augšanas apstākļos ir dārgi; tāpat ekonomiski neefektīvi būtu veidot lielu skaitu nelielu selekcijas grupu un katrai no tām ierīkot atsevišķus iedzimtības pārbaužu stādījumus.

Ideālā gadījumā iedzimtības pārbaužu stādījumus būtu nepieciešams ierīkot visos apstākļos, kādos plānota materiāla izmantošana. Taču arī tas ekonomiski nav iespējams, jo

atšķirīgi ir gan klimatiskie, gan augsnes apstākļi. Turklāt augsnes apstākļu atšķirības konstatējamās pat nelielas teritorijas (un viena meža tipa) ietvaros, par ko liecina, piemēram, statistiski būtiska atkārtojuma (stādījuma vietas ietvaros) ietekme uz koku augstumu (Jansons et al., 2006, Matheson, Coterrill, 1990), kā arī pētījumu rezultāti par priedes zaru diametru ietekmējošajiem faktoriem (Turkia, Kellomäki, 1987). Var teikt, ka ne 2 stādīšanas vietas, ne 2 stādīšanas gadi nav perfekti vienādi (Matheson, Coterrill, 1990, Pederick, 1990, Turkia, Kellomäki, 1987). Tādēļ, atšķirībā no lauksaimniecības augu selekcijas, nav iespējams izmantot genotipa-vides mijiedarbības selekcijas efekta paaugstināšanai, bet ir jāatlasa genotipi ar augstu adaptācijas spēju dažādiem apstākļiem un vienlaikus augstiem produktivitātes un kvalitātes rādītājiem (Matheson, Coterrill, 1990). Svarīgi noskaidrot, cik vietās nepieciešams ierīkot iedzimtības pārbaužu stādījumus, lai šādu materiālu atlasītu. Ņemot vērā, ka lielākā daļa Latvijas priedžu ģimeņu izmantotas tikai vienā (24%) vai divos (47%) iedzimtības pārbaužu stādījumos (atšķirīgos ekoloģiskajos fonos), svarīgi novērtēt, kā genotipa-vides mijiedarbība ietekmē iegūto ģenētisko parametru vērtības un to precizitāti.

Genotipu adaptācijas spējas dažādiem vides apstākļiem vērtētas galvenokārt provenienču eksperimentos: gan starptautiskos (Giertych, 1991), gan vienas valsts ietvaros (Sabor, 1994, Baumanis et al., 2001). Analīzē iekļauta gan klimatisko (Ståhl, 1988), gan augsnes (Pedersen, 1994, Pliūra, Gabrilavičius, 1994) apstākļu ietekme. Tāpat ģimeņu līmenī genotipa-vides mijiedarbība ir plaši pētīta gan parastajai priedei (Lindgren, 1984, Haapanen, 1996, Zhelev et al., 2003), gan citām *Pinus* sugām (McKeand et al., 1997, Zas et al., 2004, Wu, Matheson, 2005), taču šādi pētījumi Latvijā iepriekš nav izdarīti. Zarojumu raksturojošo parametru vērtības minētajos pētījumos novērtētas ballēs, taču iepriekš nav publicēti dati par genotipa-vides mijiedarbības ietekmi uz kvantitatīvi vērtētiem (uzmērītiem) zarojumu raksturojošiem parametriem, kas ir nozīmīgi veicot kvalitatīvāko ģimeņu atlasī.

Analizējot 35 priedes pluskoku brīvapputes pēcnācēju ģimenes iedzimtības pārbaužu stādījumos Nr. 34 un 234, konstatēts, ka stādījuma vieta, gan ģimene (genotips) statistiski būtiski ($\alpha < 0.001$) ietekmē koku augstumu, caurmēru un resnākā zara līdz 2 m augstumam diametru. Ietekme konstatēta gan 6 gadu vecumā (zara diametrs nav vērtēts), gan 34 gadu (32 gadus pēc stādīšanas) vecumā. Līdzīgi Pliūra un Gabrilavičius (1994), vērtējot Lietuvas priedžu populāciju salīdzinošos stādījumos 10 gadu vecumā konstatē, ka gan ģenētiskā (populācijas), gan stādījuma vietas ietekme uz koku augstumu un caurmēru ir būtiska ($\alpha < 0.001$); būtiska ir arī abu faktoru mijiedarbība. Genotipa-vides mijiedarbības būtisko ietekmi uz rezultātiem parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumos Zviedrijā atzīmē arī Gullber un Vegerfors (1987). Juodvalkis (1994) secina, ka 60-70% no kopējās augstuma pieauguma dispersijas izskaidro ģenētiskās īpašības, pārējo – ekoloģiskie un cenotiskie faktori. Stādījuma vietas būtiskā ietekme uz zaru resnumu saskan ar rezultātiem Zviedrijā (Tegelmark, 1999) un Somijā (Mäkinen, 1996). Eksperimentos Nr. 34 un 234 konstatēto relatīvi zemo ģimeņu (ģenētiskā efekta) ietekmes īpatsvaru (aprēķināts saskaņā ar Liepa, 1974) koku caurmēram un zaru diametram var izskaidrot ar nevienmērīgas saglabāšanās (tātad, dažādas augšanas telpas) ietekmi (Mäkinen, 1996, Nummi, 1999).

Atlasot 20% (6 no 35) produktīvākās ģimenes tikai 2 no tā bija starp labākajām gan eksperimentā Nr. 34, gan eksperimentā Nr. 234. Taču abus eksperimentus kopā vērtējot pēc Tukey testa rezultātiem iespējams atlasīt ģimenes, kuru vidējais augstums un caurmērs ir būtiski ($\alpha = 0.05$) lielāks nekā citām. Genotipa-vides mijiedarbības nozīmīgu ietekmi uz ranžējumu (zemu rangu korelāciju starp stādījuma vietām) konstatējuši arī Pliūra un Gabrilavičius (1994) populāciju pārbaužu stādījumos atšķirīgos Lietuvas reģionos. Tāpat Pedersen (1994) apkopojot starptautisko eksperimentu rezultātus Dānijā secina, ka ļoti reti sastopamas proveniences, kuras ir starp labākajām visās stādīšanas vietās.

Eksperimentu Nr. 34 un 234 analīze liecina par potenciāli nozīmīgu genotipa-vides mijiedarbības ietekmi uz rezultātiem iedzimtības pārbaužu stādījumos. Šīs ietekmes detālai analīzei izmantoti kopumā 10 eksperimentu pāri, kā arī viens 80 koku brīvapputes pēcnācēju

ģimeņu stādījums 3 vietās (Nr. 30, 31 un 32). Analīzes rezultāti ģenētisko korelāciju raksturojošajiem parametriem apkopoti 6. 1. tabulā.

Korelācijas starp ģimeņu selekcijas vērtībām ir augstāka nekā starp ģimeņu vidējām vērtībām, īpaši, ja analizē izmantoti visu koku dati. Tas liecina par nevienmērīgiem augšanas apstākļiem eksperimenta ietvaros un atšķirīgu atsevišķi ģimeņu pārstāvēniecību dažādajos apstākļos. Aprēķinot selekcijas vērtības ar BLUP metodikas palīdzību iespējams samazināt eksperimenta vides apstākļu nevienmērības ietekmi uz ģimeņu novērtējumu (ranžējumu). Redzams, ka valdaudzes kokiem, kurus eksperimenta apstākļu atšķirības ietekmējušas mazāk, starpība starp ģimeņu vidējo vērtību un selekcijas vērtību korelācijām ir neliela (vidēji 27%, vērtējot pēc visu koku datiem vidēji 65%).

Analizējot 40 parastās priedes brīvapputes pēcnācēju iedzimtības pārbaužu eksperimentu pārus Somijā Haapanen (1996) konstatēji, ka selekcijas vērtību korelācija koku augstumam ir vidēji 0.30 un atsevišķos gadījumos svārstās no 0.02 līdz 0.73. Līdzīgi Karlsson un Högborg (1998), analizējot iedzimtības pārbaužu stādījumus eglei Zviedrijas dienvidu daļā, konstatējuši selekcijas vērtību korelāciju augstumam 0.37-0.61, caurmēram 0.36-0.58. Augstākas korelācijas nekā Latvijas eksperimentos konstatētas zaru resnumam (0.58-0.62) un zaru skaitam mieturī (0.51-0.54), taču jāņem vērā, ka Karlsson un Högborg (1998) šos parametrus novērtējuši ballēs nevis uzmērot. Balsoties uz koku augstumu selekcijas vērtību korelāciju starp eksperimentu vietām gan Somijā, gan Zviedrijā rekomendēts vērtēto teritoriju izmantot kā vienu selekcijas zonu. Atsevišķas selekcijas zonas parasti rekomendējams izdalīt balsoties uz klimatisko apstākļu atšķirībā, kas saistītas ar (ģenētiski noteiktu) adaptāciju noteiktam sezonālajam ritmam un sala izturībai (Hurme, 1997, Leinonen, 1996). Klimatisko faktoru noteiktos reģionus var sadalīt mazākos saskaņā ar augsnes apstākļiem, taču to lietderīgi darīt tikai tad, ja augsne katras šādas reģiona daļas ietvaros atšķiras mazāk nekā starp daļām (Pederick, 1990).

Atsevišķas selekcijas zonas var izdalīt arī pamatojot to ar datiem par ģenētiskās korelācijas vērtībām starp dažādām stādījuma vietām. B-tipa ģenētiskā korelācija atspoguļo sagaidāmā ģenētiskā ieguvumu samazinājumu, ja atlase tiek veikta vienā eksperimentā, bet rezultāti izmantoti meža atjaunošanā otram eksperimentam atbilstošos apstākļos. Tās precizitāte ne vienmēr ir augsta un atsevišķos gadījumos vērtības pārsniedz 1 (Burdon, 1977, Haapanen, 1996, Stener, Jansson, 2005).

6.1. tabula

Genotipa-vides mijiedarbības indikatori 14-36 gadus vecos parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumos

Eksperi- menti Nr.	Dati	Pazīme	Korelācijas koeficienti			Selekcijas efekta samazinājums, % *
			fenotipiskā	selekcijas vērtību	ģenētiskā (r_b)	
28, 29, 34, 36, 38, 39, 41, 234, 235	visi koki	h	0.32	0.40	0.85	49
		d	0.07	0.24	0.26	80
		tilp	0.10	0.27	0.57	76
		zd	0.13	0.14	0.47	78
		zdprocx	0.20	0.33	0.57	88
	valdaudze	h	0.40	0.42	0.76	30
		d	0.15	0.22	0.43	61
		tilp	0.22	0.32	0.38	61
		zd	0.17	0.17	0.55	75
		zdprocx	0.25	0.27	0.82	65

6.1. tabulas turpinājums

Eksperimenti Nr.	Dati	Pazīme	Korelācijas koeficienti			Selekcijas efekta samazinājums, % *
			fenotipiskā	selekcijas vērtību	ģenētiskā (r_b)	
30, 31, 32	valdaudze	h	0.40	0.43	0.89	19
		d	0.12	0.26	0.86	43
		tilp	0.14	0.29	0.67	N
		hzz	0.25	0.26	N	27
		z1	0.18	0.20	0.56	50
		z2	0.14	0.18	0.60	N
		z3	0.12	0.15	0.61	N
		zdvid	0.11	0.15	0.46	59
		zdtop	0.15	0.16	0.46	55
		zdsun	0.11	0.12	0.45	62
		zdprocx	0.20	0.24	N	56
		zdprocm	0.16	0.21	N	57
		zn	0.13	0.19	0.84	57
zv	0.10	0.14	0.81	65		
1111, 1217, 1218, 204A, 204B	visi koki	h	-	-	-	26
		d	-	-	-	36
		zd	-	-	-	N
		zn	-	-	-	N
	valdaudze	h	-	-	0.80	21
		d	-	-	0.63	34
		zd	-	-	N	24
		zn	-	-	N	59

pazīmju apzīmējumi 1. tabulā pielikumā;

fenotipiskā korelācija – ģimeņu vidējo vērtību korelācija;

* selekcijas efekta samazinājums, %, izmantojot tikai 3 (eksperimentiem Nr. 30, 31, 32) vai 2 (pārējiem eksperimentiem) stādījuma vietas salīdzinājumā ar bezgalīgi daudzu eksperimenta vietu izmantošanu, aprēķināts saskaņā ar Xie (2003);

N – parametrs nav aprēķināms;

„-” – parametrs nav aprēķināts;

tabulas sastādīšanai izmantotie eksperimentu pāri ar vismaz 25 kopīgām ģimenēm (kopīgo, analizē ietvertu, ģimeņu skaits norādīts iekavās): Nr. 34-234 (30), Nr. 36-39 (27), Nr. 38-39 (27), Nr. 41-235 (34), Nr. 1217-1218 (36), Nr. 1111-204A (37), Nr. 1111-204B (37), Nr. 204A-204B (37), Nr. 39-235 (48), Nr. 28-29 (234).

Ģenētiskās korelācijas vērtības valdaudzes koku augstumam (0.80-0.89) ir augstas un norāda uz nelielu ģenētiskā ieguvuma samazinājumu atlasī veicot vienā eksperimentā, bet rezultātus izmantojot citam eksperimentam atbilstošos apstākļos. Līdzīgi rezultāti konstatēti Somijā 10 gadus vecos iedzimtības pārbaužu stādījumos, kur $r_b=0.61$, standartnovirze 0.39 (Haapanen, 1996) un Dienvidzvidrijā 12 un 16 gadus vecos stādījumos, kur koku augstumam un caurmēram ģenētiskā korelācija starp eksperimentiem ir no 0.38 līdz 0.97 (Zhelev et al., 2003). Aptuveni tāda pat r_b vērtības konstatētas arī duglāzijai: no 0.42 līdz 0.84, vidēji 0.70 (Johnson, 1997).

B-tipa ģenētiskā korelācijas vērtības caurmēram (0.26-0.86) ir ievērojami zemākas nekā augstumam. Tas varētu būt saistīts ar zemu ģenētiskās ietekmes daļu kopējā caurmēra variācijā – arī Johnson (1997) un Haapanen (1996) konstatējuši augstākas r_b vērtības starp stādījumiem, kur analizētajai pazīmei ir augsts iedzīmstamības koeficients. Jo zemāks ir iedzīmstamības koeficients, jo vairāk ģimeņu vidējās vērtības dotajai pazīmei ietekmē nejauši, ne-ģenētiski faktori, tādejādi samazinās varbūtības iegūt augstu korelāciju starp stādījumu vietām.

Zema ieaugšanās atsevišķos eksperimentos koku caurmēru var ietekmēt līdzīgi kā atšķirīgs stādīšanas biežums vai dažāda agro kopšanas ciršu intensitāte. Konstatēts, ka šie mežsaimnieciskie pasākumi dažādu genotipu kokus ietekmē atšķirīgi: eksistē genotipa-stādījuma biežuma mijiedarbība (Persson, 1994, Roth et al., 2007). Stādījumos ar lielāku atkārtojumu skaitu (eksperimenti Nr. 30, 31, 32, kā arī 14-17 gadus veco stādījumu grupa) lielākā daļa ģimeņu atrodas eksperimenta daļās ar dažādu saglabāšanos, tādēļ šī faktora ietekme nav tik izteikta un r_b vērtības koku caurmēram augstākas. Konstatētie fakti liecina, ka tikai ar kvalitatīvu eksperimentu rezultātiem pamatotas r_b vērtības ir izmantojamas lēmuma pieņemšanai par nepieciešamo eksperimentu skaitu vai atsevišķu selekcijas reģionu izdalīšanu.

Zaru resnumam konstatētās B-tipa ģenētiskās korelācijas vērtības ir 0.47-0.61, turklāt tās ir zemākas gadījumos, kad analizē izmantoti visu koku dati. Lielākā starpība starp visu koku un tikai valdaudzes koku izmantošanu konstatētā resnāka zara diametra/stumbra caurmēra attiecībai: r_b attiecīgi 0.57 un 0.82. Tas, iespējams, saistīts ar jau analizēto saglabāšanās nevienmērīguma ietekmi uz koku caurmēru. Citām zaru resnumu raksturojošajām pazīmēm r_b ir 0.45-0.46. Tas saskan ar ballēs novērtētu zaru resnumu r_b vērtībām bērzam un eglei Dienvidzvidrijā (Stener, Jansson, 2005, Karlsson, Högberg, 1998), kā arī *Pinus radiata* stādījumos $r_b=0.30-0.50$ (Johnson, Burdon, 1990). Kopumā austāko rangu korelāciju no kvalitātes pazīmēm dažādos augšanas apstākļos uzrāda stumbra taisnums ($r_b=0.83$), no kā var spriest, ka šo pazīmi vides apstākļi ietekmē mazāk nekā zaru resnumu raksturojošās.

B-tipa ģenētiskās korelācijas datus selekcijas zonu izdalīšanai izmantojuši, piemēram, Xie (2003) un Wu, Matheson (2005). Tanī pat laikā Zas et al. (2004) atzīmē, ka, neskatoties uz zemajām korelācijām starp eksperimentu vietām (koku augstumam $r_b=0.13-0.44$) nav pamata izdalīt atsevišķas selekcijas zonas, jo to neapstiprina ne klimatisko, ne augsnes apstākļu atšķirības.

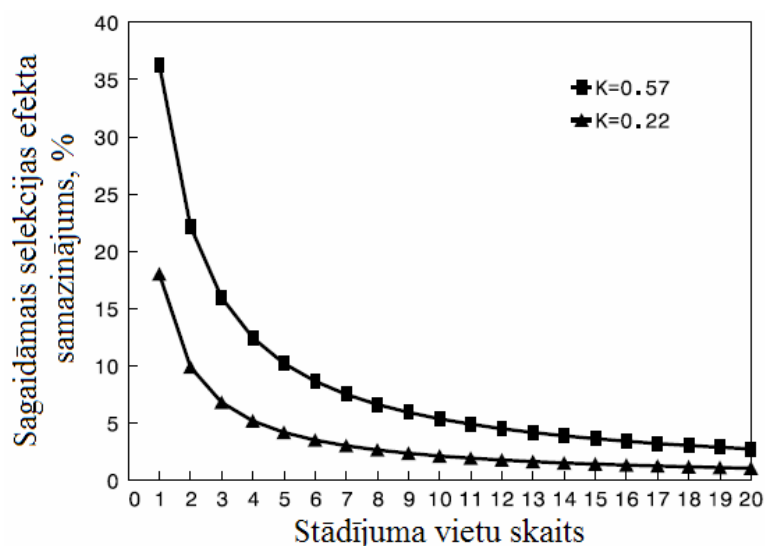
Var secināt, ka B-tipa ģenētiskās korelācijas vērtības analizētajos eksperimentos neliecina par nepieciešamību priedei izdalīt vairākas atsevišķas selekcijas zonas. Taču kopējais analizēto ģimeņu skaits, eksperimentu skaits un to ģeogrāfiskais izvietojums nav uzskatāms par pietiekamu esošā, uz klimatisko apstākļu atšķirībām balstītā, meža reproduktīvā materiāla ieguves apgabalu sadalījuma maiņai. Rezultāti liecina par nepieciešamību ar plašāku eksperimentālo materiālu pārbaudīt izvirzīto hipotēzi. Ņemot vērā relatīvi nelielās klimatisko un augsnes apstākļu atšķirības starp stādījuma vietām Latvijā un Dienvidzvidrijā lietderīgi ierīkot kopējus eksperimentālos stādījumus ģenētiskās korelācijas novērtēšanai. Tādējādi varētu izvērtēt iespējas, piemēram, nepieciešamības gadījumā apmainīties ar neradniecīgu, vienādas selekcijas pakāpes materiālu selekcijas populāciju papildināšanai. Esošie eksperimenti sniedz tikai aptuvenu priekšstatu, jo starp atsevišķiem iedzimtības pārbažu stādījumiem Zvidrijā un Latvijā kopējs ir tikai neliels ģimeņu skaits (<25).

Visprecīzāk ģimenes ar iespējami stabilu (starp atsevišķiem stādījumiem maz mainīgu) un augstu produktivitāti un kvalitāti visā selekcijas zonā iespējams atlasīt ierīkojot iedzimtības pārbažu eksperimentus katrā no reģionā pārstāvētajiem apstākļiem (Clair, Kleinschmit, 1986). Tas praktiski nozīmē ļoti lielu skaitu eksperimentu un augstas izmaksas. Ir skaidrs, ka katrs nākamais eksperiments samazina novērtējuma (labāko ģimeņu izvēles) kļūdu mazāk nekā iepriekšējais. Sakarības atspoguļošanai (6.6. att.) tiek izmantota K-koeficienta (Lindgren, 1984) vērtība, ko aprēķina:

$$K = \sigma_{ft}^2 \sigma_f^{-2} \quad (1)$$

σ_{ft}^2 – ģimeņu (aditīvā ģenētiskā efekta) un stādījuma vietas mijiedarbības dispersijas komponente;
 σ_f^2 – ģimeņu (aditīvā ģenētiskā efekta) dispersijas komponente.

Izmantojot tikai 2 stādījuma vietas selekcijas efekta samazinājums valdaudzes koku augstumam ir 30% salīdzinot ar selekcijas efektu no tāda eksperimentu skaita, kas ietver visu reģionā pārstāvēto augsnes un klimatisko apstākļu dažādību. Aprēķinus veicot pēc visu koku datiem samazinājums ir ievērojami lielāks – 49%.



K = K-koeficients

3.1. att. Procentuālais selekcijas efekta samazinājums ierobežota eksperimenta vietu skaita dēļ (attēls no Xie, 2003)

Mazāka ietekme tikai 2 eksperimenta vietu izmantošanai uz koku augstuma selekcijas efektu ir 14-17 gadus veco stādījumu grupā. 3 stādījuma vietu izmantošana reducē ģenētiskā ieguvuma samazinājumu līdz 19%. Līdzīgas likumsakarības, tikai augstākas procentuālās selekcijas efekta samazinājuma vērtības konstatētas arī citām pazīmēm. Ne 2, ne 3 eksperimenta vietu izmantošana 21-36 gadus veco eksperimentu grupā nenodrošina zaru resnumu raksturojošajiem parametru mazāku sagaidāmā selekcijas efekta samazinājumu par 50%, tanī pat laikā 14-17 gadus vecajiem eksperimentiem resnākā zara diametra ģenētiskā ieguvuma samazinājums izmantojot analīzei tikai 2 eksperimentus ir līdzīgs kā koku augstumam (24%). Tas apliecina jau iepriekš analizēto sakarību, ka zarojumu raksturojošie parametri jūtīgi reaģē uz atšķirīgu konkurences apstākļu ietekmei, apgrūtinot ģenētiski noteikto atšķirību konstatēšanu vecākos stādījumos. Var secināt, ka precīzāku rezultātu iegūšanai iedzimtības pārbažu stādījumus būtu nepieciešams ierīkot vismaz 4 vietās.

Nepieciešamo iedzimtības pārbažu vietu skaitu Lindgren (1984) rekomendē noteikt izmantojot K-koeficienta vērtību. Latvijas parasto priežu stādījumos K vērtība koku augstumam ir vidēji 0.34 (svārstās no 0.2 līdz 0.6), kas liecina par tikai 1 stādījuma vietas nepieciešamību. Koku caurmēram 14-17 gadus vecajos eksperimentos un stādījumos Nr. 30, 31, 32 koeficienta K vērtība ir līdzīga, bet vecākajos stādījumos $K=4.5$, kas liecina par nepieciešamību izmantot 3 eksperimentu vietas. Zemas K vērtības koku augstumam (0.5-0.6) un augstākas caurmēram (1.2-1.3) konstatētas arī *Pinus taeda* un *Pinus radiata* stādījumos (Owino, 1977, Pederick, 1990, McKend et al., 1997).

Zema K vērtība ir pirmā zaļā zara augstumam (vidēji 0.1) un zaru skaitam mieturī (vidēji 0.2), augstāka – stumbra tilpumam (vidēji 1.4) un zaru resnumu raksturojošajiem parametriem (vidēji 1.7), kas liecina par nepieciešamību pārbaudes veikt vismaz 2 eksperimenta vietās. Gan kvalitāti, gan produktivitāti raksturojošo parametru grupās (izņemot koku augstumu) K vērtība vismaz 1 eksperimentu pārim pārsniedz 2, kas liecina par nepieciešamību izmantot vismaz 2 stādījumu vietas. Tanī pat laikā Lindgren (1984) un Johnson (1997) norāda, ka rezultātu precizitāte nozīmīgi nepalielinās, ja tiek izmantotas vairāk par 3 stādījuma vietām. Vērtējot rezultātus no Latvijas priežu iedzimtības pārbažu stādījumiem jāņem vērā, ka nevienā gadījumā eksperimentu ierīkošanai nav izmantotas platības uz slapjām vai kūdras augsniem, kas, iespējas, palielinātu atšķirības. Rezultātu interpretācijā sarežģī arī tas, ka atlase tiek veikta pēc vairākām pazīmēm (kā konstatēts 3.1. nodaļā – pēc augstuma un resnākā zara caurmēra, kā papildus kritērijus izmantojot stumbra taisnumu un rezistenci), bet K vērtība aprēķināta katrai atsevišķi. McKend et al. (1997) konstatējuši, ka atlasīti veicot pēc pozitīvi korelējošām pazīmēm K vērtība ir tuva vidējai starp atsevišķu pazīmju K vērtībām, bet atlasot

pēc negatīvi korelējošām pazīmēm K vērtība indeksam ir augstāka nekā katrai pazīmei atsevišķi, kas liecina par nepieciešamību izmantot lielāku stādījuma vietu skaitu.

Lielāks stādījuma vietu skaits rekomendējams arī ņemot vērā risku, ka kāds no eksperimentiem dažādu apstākļu dēļ (piemēram, dzīvnieku bojājumi, meža ugunsgrēks u.c.) var aiziet bojā vai kļūt neizmantojam. Lielāks stādījumu vietu skaits nepieciešams arī gaidāmo Globālo klimata izmaiņu dēļ – ņemot vērā, ka prognozes par šo procesu nav precīzas, svarīgi pārbaudīt materiālu iespējami atšķirīgo klimatiskajos apstākļos, lai izvēlētos kokus ar augstāku vispārējo adaptāciju. Balsoties uz faktu materiālu un minētajiem argumentiem var secināt, ka pēcnācēju pārbaužu stādījumus nepieciešams ierīkot vismaz 4 vietās. Ja izvēlēta kāda no 2 pakāpju selekcijas shēmām, tad pirmajam etapam – fenotipiski labāko kandidātu atlasei ģimeņu ietvaros – var izmantot 1-2 stādījuma, bet lielāks stādījuma vietu skaits (4-6) nepieciešams tieši otrajā etapā – kandidātu iedzimtības pārbaudēm.

Vienas vai vairāku stādījuma vietu izmantošanas ietekmi uz aprēķināto ģenētisko parametru vērtībām dažādām pazīmēm atspoguļo rezultāti 6.2-6.4. tabulās. Dati par eksperimentiem Nr. 28 un 29 izdalīti atsevišķi, jo to aprēķinam izmantots liels brīvapputes pēcnācēju ģimeņu skaits (234).

6.4. tabula

Ģenētisko parametru vērtības aprēķinam izmantojot datus no vienas vai divām eksperimenta vietām parastas priedes iedzimtības pārbaužu stādījumos 21-34 gadu vecumā

Eksperi- menti Nr.	Dati	Viena stādījuma vieta						
		Pazīme	h^2	se	h^2_f	se_f	cv_a	cv_{pf}
34, 36, 38, 39, 41, 234, 235	Visi koki	h	0.25	0.05	0.44	0.06	8.0	6.1
		d	0.09	0.02	0.27	0.04	9.8	9.4
		tilp	0.13	0.02	0.33	0.05	22.8	19.9
		zd	0.10	0.03	0.26	0.03	8.1	8.5
		zdprocx	0.07	0.02	0.21	0.05	8.0	9.2
		Kompleksa analīze						
		h	0.21	0.02	0.70	0.03	7.3	4.3
		d	0.06	0.02	0.46	0.13	7.2	5.4
		tilp	0.07	0.02	0.50	0.10	16.3	11.6
		zd	0.05	0.02	0.43	0.11	6.5	5.0
	zdprocx	0.04	0.01	0.41	0.09	7.4	5.8	
	Valdaudze	Viena stādījuma vieta						
		h	0.50	0.09	0.52	0.04	9.4	6.5
		d	0.24	0.03	0.41	0.04	13.1	10.2
		tilp	0.29	0.04	0.45	0.04	29.2	21.7
		zd	0.13	0.03	0.28	0.03	10.0	9.5
		zdprocx	0.13	0.05	0.27	0.07	9.8	10.0
		Kompleksa analīze						
		h	0.41	0.06	0.72	0.04	8.5	5.0
d		0.16	0.03	0.59	0.08	10.3	6.9	
tilp		0.17	0.04	0.56	0.09	21.5	14.4	
zd	0.07	0.02	0.38	0.08	7.1	5.9		
zdprocx	0.08	0.02	0.47	0.06	10.0	7.2		

Pazīmju apzīmējumi 1. tabulā pielikumā;

Viena stādījuma vieta – aprēķini veikti katra eksperimenta ietvaros un atspoguļots vidējais rezultāts;

Kompleksa analīze – aprēķini veikti 5 eksperimentu pāriem (Nr. 34-234, Nr. 36-39, Nr. 38-39, Nr. 41-235, Nr. 39-235) un no šiem rezultātiem iegūta vidējā vērtība.

Iedzīstamības koeficientu reti var aprēķināt ar augstu precizitāti (Olsson, Ericsson, 2002), tam parasti raksturīgas samērā augstas standartklūdas vērtības (Haapanen et al., 1997). Vienas un tās pašas pazīmes h^2 vienai un tai pašai sugai var nozīmīgi atšķirties, norādot uz reālām atšķirībām starp populācijām, kuras ir pamatā aprēķinām, vai arī eksperimenta apstākļu atšķirībām (Jansson et al., 2003, Haapanen, 2001). Tā, piemēram, Zviedrijā vienā parastās priedes iedzīstības pārbaužu stādījumā 29 gadu vecumā konstatētās iedzīstamības koeficienta vērtības koku augstumam ir 0.07, caurmēram 0.02, stumbra tilpumam 0.02, bet citā stādījumā 28 gadu vecumā attiecīgi 0.32, 0.28, 0.28; Somijā vienā eksperimentā koku augstumam $h^2=0.06$, caurmēram $h^2=0.08$, citā attiecīgi 0.77 un 0.60 (Haapanen et al., 1997). Līdzīgi Aguiar et al. (2003), analizējot *Pinus pinaster* stādījumus, vienā eksperimentā 12 gadu vecumā konstatē koku augstuma iedzīstamības koeficientu 0.33, caurmēra – 0.18, stumbra tilpuma – 0.21, turpretī citā eksperimentā šīs vērtības nepārsniedz 0.06. Viena stādījuma ietvaros konstatētās iedzīstamības koeficienta vērtības var būt pat ļoti augstas: piemēram, Wu et al. (2007) konstatējuši, ka koku caurmēra iedzīstamības koeficients var sasniegt pat 0.88, Haapanen un Pöykkö (1993) koku augstumam – 0.60.

6.5. tabula

Ģenētisko parametru vērtības aprēķinam izmantojot datus no vienas vai divām eksperimenta vietām parastās priedes iedzīstības pārbaužu stādījumos 32-33 gadu vecumā

Eksperimenti Nr.	Viena stādījuma vieta						
	Pazīme	h^2	se	h^2_f	se_f	cv_a	cv_{pf}
28, 29	h	0.48	0.04	0.40	0.03	7.4	6.6
	d	0.17	0.12	0.25	0.11	9.8	10.2
	tilp	0.23	0.10	0.30	0.08	23.6	22.0
	zd	0.20	0.03	0.25	0.01	14.6	15.9
	zdprocx	0.24	0.01	0.30	0.05	13.6	13.8
	Kompleksa analīze						
	h	0.37	0.08	0.63	0.14	6.3	4.0
	d	0.08	0.04	0.35	0.17	6.7	5.6
	tilp	0.12	0.04	0.47	0.16	18.2	13.2
	zd	0.14	0.05	0.47	0.16	13.0	9.5
	zdprocx	0.19	0.05	0.59	0.15	13.3	8.7

Pazīmju apzīmējumi 1. tabulā pielikumā;

Viena stādījuma vieta – aprēķini veikti katra eksperimenta ietvaros un atspoguļots vidējais rezultāts;

Kompleksa analīze – aprēķini veikti eksperimentu pārim.

Latvijas priežu iedzīstības pārbaužu stādījumos konstatētais sakrīt ar literatūrā (Haapanen, 2001, Hodge, White, 1992) aprakstīto tendenci – viena eksperimenta ietvaros aprēķinātās iedzīstamības koeficienta vērtības vairākumā gadījumu pārsniedz tās, kas aprēķinātas veicot vairāku stādījumu kompleksu analīzi: valdaudzes koku augstumam par vidēji 25%, caurmēram un stumbra tilpumam vidēji attiecīgi 67% un 72%. Aprēķinos izmantojot visu koku datus iegūtās starpības ir līdzīgas (augstumam 21%, caurmēram 68%, stumbra tilpumam 92%). Viena eksperimenta ietvaros aprēķinātās resnākā zara diametra un zara diametra/stumbra caurmēra attiecības iedzīstamības koeficienta vērtības izmantojot visu koku datus ir vidēji attiecīgi par 86% un 77% augstākas nekā uz vairāku eksperimentu kompleksu analīzi balstītās, izmantojot tikai valdaudzes koku datus starpība ir attiecīgi 78 un 39%. Citām zaru resnumu raksturojošajām pazīmēm analizētā iedzīstamības koeficienta atšķirība pārsniedz 2 reizes, taču nelielas tās ir zaru skaitam mieturī un pirmā zaļā zara augstumam. Aprakstītās vidējās atsevišķu eksperimentu un vairāku stādījumu kompleksas

analīzes atšķirības vairumā gadījumu produktivitāti raksturojošajām pazīmēm un atsevišķos gadījumos arī kvalitāti raksturojošajām (hzz, zn, zdprocx, zdprocm) nepārsniedz iedzīmstamības koeficienta standartklūdas vērtību.

Augstas iedzīmstamības koeficienta vērtības viena stādījuma ietvaros var būt saistītas ar nozīmīgām ģimeņu atšķirībām noturībā pret noteiktu ārējās vide faktoru, piemēram, aļņu bojājumiem. Ja tādas atšķirības ir, tad ierīkojot eksperimentu vietā ar augstu aļņu populācijas blīvumu, selekcijas starpības starp ģimenēm būs izteiktas un iedzīmstamības koeficients augsts, turpretī citā reģionā, kur šo dzīvnieku skaits neliels – nē. Analizējot piemērā minētajos apstākļos ierīkotos eksperimentus kopā (kompleksi), aļņu bojājumu nozīmīgā ietekme uz atšķirībām starp ģimenēm tikai vienā stādījumā atspoguļosies kā genotipa-vides mijiedarbība. Reizē ar to kompleksā analīzē iegūtā iedzīmstamības koeficienta vērtības būs mazāka nekā katrā eksperimenta vietā atsevišķi, taču precīzāk raksturo reālo situāciju, jo selekcijas darba rezultāti praksē tiks izmantoti atjaunojot mežu dažādos apstākļos.

6.6. tabula

Ģenētisko parametru vērtības aprēķinam izmantojot datus no vienas vai divām eksperimenta vietām parastas priedes iedzīmstamības pārbaužu stādījumos 27 gadu vecumā

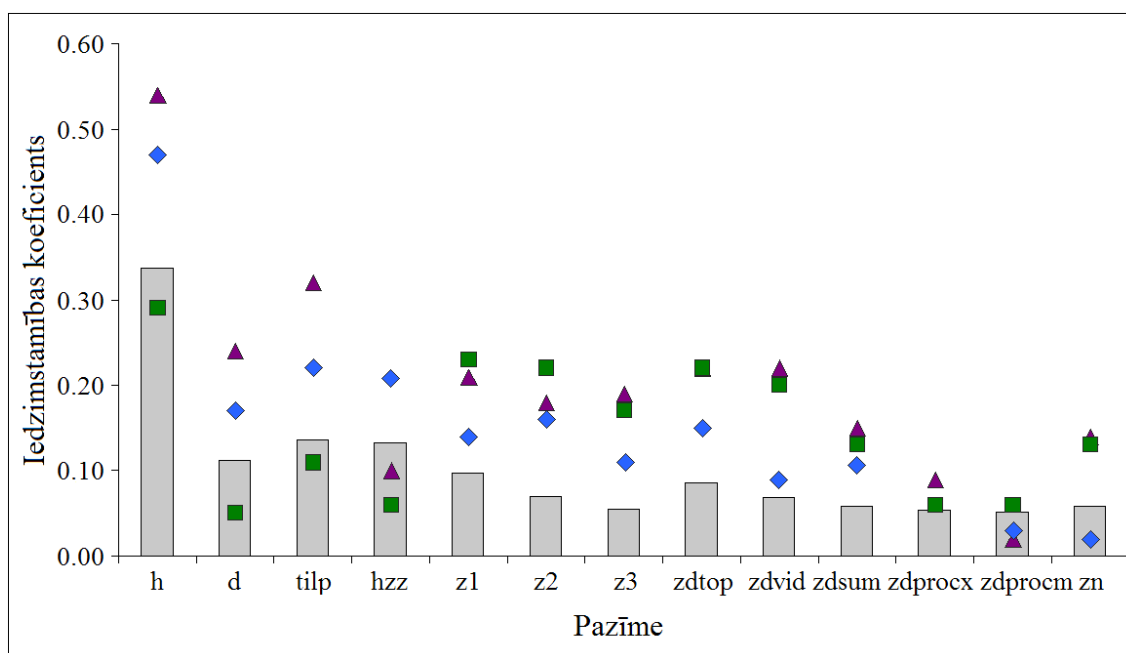
Eksperimenti Nr.	Viena stādījuma vieta						
	Pazīme	h^2	se	h_f^2	se_f	cv_a	cv_{pf}
30, 31, 32	h	0.42	0.08	0.50	0.08	6.8	4.8
	d	0.14	0.05	0.30	0.10	8.2	7.8
	tilp	0.21	0.06	0.38	0.10	20.9	17.5
	hzz	0.12	0.05	0.20	0.08	5.2	6.1
	z1	0.19	0.03	0.37	0.01	11.2	9.2
	z2	0.18	0.02	0.36	0.02	11.6	9.7
	z3	0.15	0.03	0.31	0.02	11.5	10.3
	zdvid	0.16	0.04	0.33	0.04	10.6	9.3
	zdtop	0.19	0.02	0.37	0.01	11.3	9.3
	zdsun	0.13	0.01	0.27	0.02	11.3	10.9
	zdprocx	0.08	0.02	0.16	0.03	6.4	8.1
	zdprocm	0.04	0.01	0.10	0.02	5.0	8.1
	zn	0.07	0.04	0.20	0.06	6.7	7.5
	zv	0.06	0.00	0.13	0.02	3.9	5.7
	Kompleksa analīze						
	h	0.34	0.08	0.84	0.20	6.2	3.4
	d	0.11	0.04	0.74	0.24	7.5	4.3
	tilp	0.14	0.04	0.71	0.22	16.7	9.9
	hzz	0.13	0.05	0.72	0.27	5.5	3.2
	z1	0.10	0.04	0.66	0.25	8.0	4.9
	z2	0.07	0.03	0.53	0.26	7.0	4.8
	z3	0.05	0.03	0.49	0.28	6.7	4.8
	zdvid	0.07	0.03	0.56	0.27	6.8	4.6
	zdtop	0.09	0.04	0.59	0.25	7.4	4.8
	zdsun	0.06	0.03	0.54	0.29	7.5	5.1
	zdprocx	0.05	0.02	0.67	0.28	5.6	3.4
zdprocm	0.05	0.02	0.66	0.28	5.8	3.6	
zn	0.06	0.02	0.67	0.28	5.7	3.5	
zv	0.04	0.03	0.47	0.36	3.2	2.3	

Pazīmju apzīmējumi 1. tabulā pielikumā.

Viena stādījuma vieta – aprēķini veikti katra eksperimenta ietvaros un atspoguļots vidējais rezultāts;

Kompleksa analīze – aprēķini veikti visiem 3 eksperimentiem kopā.

Būtiskas vidējās atšķirības rezultātiem no viena eksperimenta un vairāku stādījumu datu kompleksas analīzes konstatētas zaru diametru raksturojošajām pazīmēm (z1, z2, z3, zdtop, zdvid, zdsum). Tanī pat laikā svarīgi atcerēties, ka maksimālās novirzes izmantojot tikai viena eksperimenta datus ir ievērojami lielākas nekā aprakstītās vidējās (6.7. att.).



◆ eksperiments Nr. 30;
 ▲ eksperiments Nr. 31;
 ■ eksperiments Nr. 32;
 ■ kompleksi (visi 3 eksperimenti);
 pazīmju apzīmējumi 1. tabulā pielikumā.

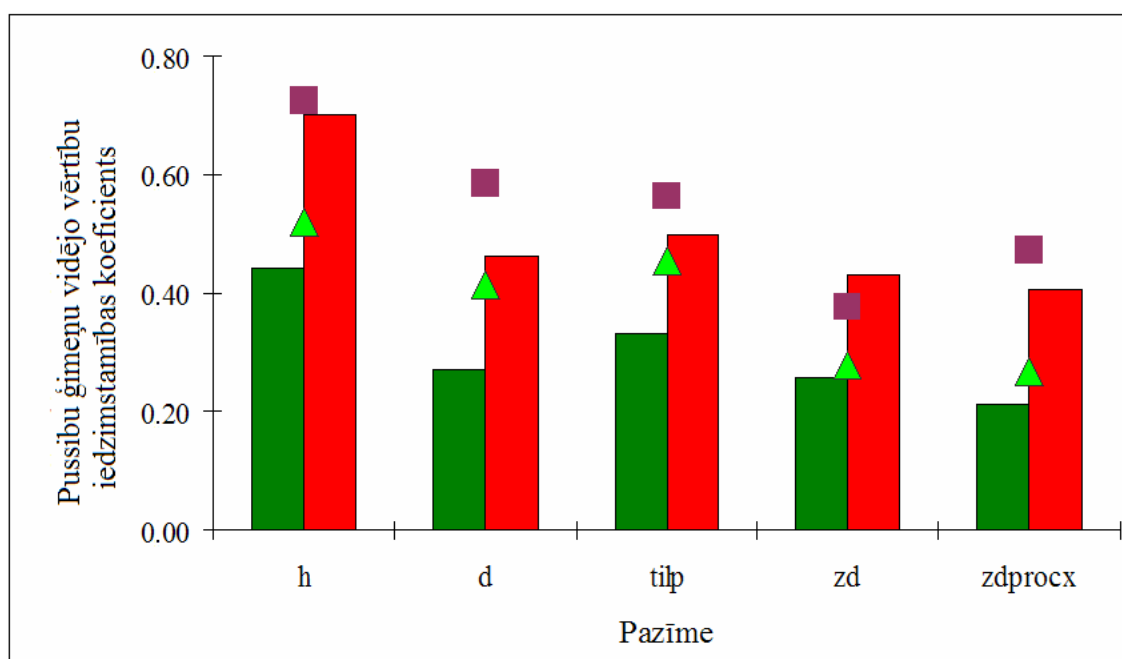
6.7. att. Iedzimstamības koeficienta vērtības 27 gadus vecos parastās priedes pēcnācēju pārbaužu stādījumos

Izteikto apgalvojumu, ka viena stādījuma ietvaros atšķirības starp ģimenēm ir augstākas nekā kompleksi vērtējot vairākus eksperimentus, apstiprina fakts, ka ģimeņu vidējo vērtību fenotipiskās variācijas koeficients viena eksperimenta ietvaros produktivitāti raksturojošajām pazīmēm par 60%, kvalitāti raksturojošajām pazīmēm aptuveni 2 reizes pārsniedz no vairāku eksperimentu kompleksas analīzes iegūto. Līdzīga tendence vērojama arī vērtējot aditīvās ģenētiskās mainības variācijas koeficientu, kas ir selekcijas darba potenciālā efekta indikators – vienas stādījuma vietas ietvaros aprēķinātās cv_a vērtības koku augstuma par vidēji 12%, caurmēram un stumbra tilpumam par 30%, zaru resnumu raksturojošajām pazīmēm par 50%, zara diametra/stumbra caurmēra attiecībai par 10% pārsniedz uz vairāku eksperimentu kompleksas analīzes pamata iegūtās. Jāņem vērā, ka arī šīs ir tikai vidējās atšķirības – kas nozīmē, starpības atsevišķos gadījumos var būt ievērojami lielākas.

Pussibu ģimeņu vidējo vērtību iedzimstamības koeficients, ko izmanto aprēķinot ģenētisko ieguvumu no atlasē pēc pēcnācēju pārbaužu rezultātiem, ir ievērojami augstāks, ja aprēķins veikts kompleksi analizējot vairākus, ne tikai vienu eksperimentu (6.8. att.). Vidējās atšķirības produktivitāti raksturojošajām pazīmēm ir 35-39%, zaru diametru raksturojošajām ap 40%, zara diametra/stumbra caurmēra attiecībai 54%. Tas liecina par augstāku labāko ģimeņu atlasē precizitāti, ja pēcnācēju pārbaudes ierīkotas vairākās eksperimenta vietās. Redzams, ka likumsakarība ir spēkā gan gadījumos, kad aprēķini tiek veikti izmantojot visu koku datus, gan analīzei izvēloties tikai valdaudzes kokus.

Salīdzinot iedzimstamības koeficienta un pussibu ģimeņu vidējo vērtību iedzimstamības koeficientus redzams, ka zarojuma kvalitātes uzlabošanai veicot atlasē pēc pēcnācēju pārbaužu

rezultātiem ir līdzīgas iespējas kā produktivitātes parametru vērtību paaugstināšanai: izmantojot kompleksās eksperimentu analīzes datus h^2_f valdaudzes koku h , d , tilp vidēji 0.63, zaru resnumu raksturojošajām pazīmēm (z_d , z_1 , z_2 , z_3 , z_{top} , z_{dvid} , z_{dsum}) 0.53, relatīvajam zara diametram (z_{dprox}) 0.58. Tanī pat laikā ar atlasītiem starp pēcnācējiem ģimeņu ietvaros (pēc fenotipa) produktivitāti raksturojošo pazīmju vērtības (īpaši koku augstumu) iespējams ietekmēt ievērojami vairāk nekā zarojumu raksturojošo pazīmju vērtības: h^2 valdaudzes kokiem attiecīgi 0.21 un 0.09. Šie rezultāti saskan ar iepriekš aprakstīto, ka produktivitāti raksturojošās pazīme, īpaši koku augstumu, mazāk nekā zarojumu raksturojošās ietekmē nevienmērīga saglabāšanās vai augsnes auglības atšķirības (Hynynen, 1995, Ulvcrona et al., 2007). Tendence ir līdzīga, taču daudz vājāk izteikta, ja salīdzinājumu veic pēc vidējiem no katra eksperimenta pastāvīgas analīzes. Secinājums saskan ar Stener un Jansson (2005) rezultātiem.



■ visu koku dati, parametrs aprēķināts katram eksperimentam atsevišķi;
 ■ visu koku dati, parametrs aprēķināts izmantojot divu eksperimentu datus;
 ▲ valdaudzes koku dati, parametrs aprēķināts katram eksperimentam atsevišķi;
 ■ valdaudzes koku dati, parametrs aprēķināts izmantojot divu eksperimentu datus;
 pazīmju apzīmējumi 1. tabulā pielikumā.

6.8. att. Pussību ģimeņu vidējo vērtību iedzimstamības koeficients 21-36 gadus vecos parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumos

Izmantojot vairākas stādīšanas vietas un, ja iespējams, arī stādījumu ierīkošanas gadus, ir zemāka varbūtība zaudēt visus darba rezultātus kādu ekstrēmu klimatisku faktoru vai cilvēka darbības rezultātā. Bez tam iespējams novērtēt kādu konkrētu faktoru ietekmi uz ģimeņu ranžējumu. Ņemot vērā prognozes par sagaidāmajiem apstākļiem nākotnē iespējams piešķirt rezultātiem no stādījuma ar attiecīgo apstākļu kombināciju augstāku vērtību (koeficientu) kopējā ģimeņu ranžējuma veidošanā, tādējādi atlasot nākotnes apstākļiem piemērotāku materiālu.

Kopsavilkums

- salīdzinot iedzimstamības koeficienta un pussību ģimeņu vidējo vērtību iedzimstamības koeficientus konstatēts, ka zarojuma kvalitātes uzlabošanai, veicot atlasītiem pēc fenotipa, ir ievērojami zemākas iespējas nekā produktivitāti raksturojošo parametru uzlabošanai (valdaudzes kokiem vidēji attiecīgi $h^2=0.21$ un $h^2=0.08 - 0.11$),

taču veicot atlasi pēc pēcnācēju pārbažu rezultātiem uzlabošanas iespējas ir līdzīgas (attiecīgi $h^2_f = 0.63$ un $h^2_f = 0.53 - 0.58$). Tādēļ, ja selekcijas darba mērķis ir arī kvalitātes parametru uzlabošana, atlasī nepieciešams veikt pēc pēcnācēju pārbažu datu analīzes.

- rekomendējams izmantot veģetatīvās pēcnācēju pārbaudes, kas nodrošina augstāko selekcijas efektu (grupas uzlabojumu selekcijas cikla gada laikā), kā arī īsāko selekcijas cikla izpildes laiku. Tādēļ svarīgi turpināt pētniecisko darbu veģetatīvās pavairošanas metožu aprobācijai un efektivitātes paaugstināšanai;
- kandidātu priekš-atlasī ieteicams izmantot tikai pēc pazīmēm, kuras var novērtēt agrā (līdz 4 gadu) vecumā, lai iespējami neaizkavētu selekcijas cikla izpildi. Tādēļ svarīgi turpināt pētniecisko darbu vērtējot agra vecumā nosakāmās pazīmes (rezistence, sausuma izturība u.c.), kā arī korelācijas starp pazīmju (piemēram, augšanas ritma) vērtībām agrā vecumā un kokam pieaugot;
- pēcnācēju pārbaudēm ieteicams izmantot iespējami auglīgus, sugai piemērotus meža augšanas apstākļu tipus, vienkoka parces, stādīšanas attālumus izvēloties atbilstoši mežkopībā praktiski lietotajiem vai nākotnē sagaidāmajiem. Nepieciešami praktiski eksperimenti vērtējot genotipa-stādīšanas attāluma mijiedarbību;
- svarīgi nodrošināt ne tikai eksperimentu ierīkošanu, bet arī to aizsardzību pret biotisko un abiotisko nelabvēlīgo faktoru ietekmi un kopšanu, lai garantētu iespējami augstāko precizitāti augstvērtīgu ģimeņu atlasē. Ģimeņu ranžējuma novērtēšanai noteiktos eksperimenta apstākļos uzmērīšanas brīdī nepieciešami vismaz 20 koki;
- pussību ģimeņu vidējo vērtību iedzīstamības koeficients veicot vairāku eksperimentu kompleksu analīzi ir augstāks nekā viena eksperimenta ietveros noteiktais: produktivitāti raksturojošajām pazīmēm par 35-39%, zaru diametru raksturojošajām par 40% – 54%, kas liecina par augstāku labāko ģimeņu atlasē precizitāti, ja pēcnācēju pārbaudes ierīkotas vairākās eksperimenta vietās.
- Ņemot vērā datus par sagaidāmā selekcijas efekta samazinājumu, K koeficienta vērtības, pilnīga eksperimenta zaudēšanas risku, kā arī nepieciešamību atlasīt dažādām potenciālajām klimata izmaiņām piemērotu (vispārēji adaptētu) materiālu rekomendējams pēcnācēju pārbaudēm izmantot ne mazāk par 4 stādīšanas vietām. Vismaz viens no šiem stādījumiem (vai papildus eksperiments) jāierīko tādos klimatiskajos apstākļos, kādi prognozēti Latvijā klimata izmaiņu rezultātā, vēlams teritorijās, uz kurām varētu būt iespējams meža reprodutīvā materiāla eksports.

7. Atlases laiks

Selekcija darba rezultāts – grupas uzlabojums viena cikla gada laikā – ir tieši atkarīgs no izvēlēta atlasē laika. Veicot novērtēšanu jaunāko stādījumos iespējams gan saīsināt selekcijas ciklu, gan paaugstināt atlasē intensitāti vai samazināt pēcnācēju pārbažu stādījumu platību (līdz ar to arī izmaksas), jo koku izmēri uzmērīšanas vecumā ir mazāki. Jo jaunākā stādījumā paredzēts veikt atlasī, jo sākotnēji stādīšanas attālumi var būt mazāki, neizraisot koku savstarpējās konkurences ietekmi uz ģenētisko parametru novērtējumu (Wu, 1998).

Ģenētiskais ieguvums no selekcijas noteiktā koku vecumā atkarīgs no pazīmes iedzīstamības koeficienta vērtības atlasē un mērķa vecumā, kā arī vērtību korelācijas tam pašam kokam dažādā uzmērīšanas vecumā. Paaugstinoties iedzīstamības koeficienta vērtībām un ģenētiskai korelācijai starp pazīmes vērtībām dažādos uzmērīšanas laikos, samazinās optimālais atlasē veikšanas vecums (Xie, Ying, 1996, Wu, 1998, Annala, 1999, Jansson et al., 2003).

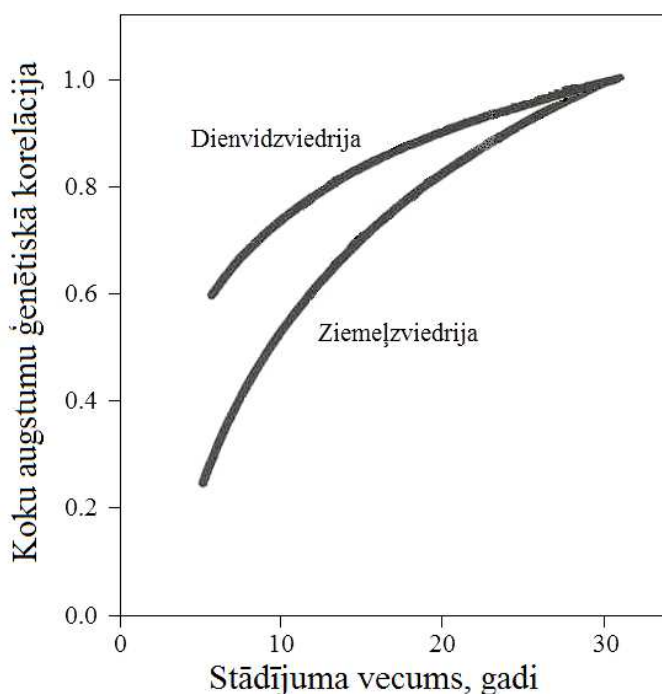
Jansson et al. (2003) vērtējot parastās priedes pēcnācēju pārbažu stādījumus Zviedrijā vecumā no 5 līdz 39 gadiem, konstatējuši, ka koku augstuma iedzīstamības koeficienta vērtība pakāpeniski palielinās, pieaugot stādījuma vecumam (vidēji no 0.12 līdz 0.26

Dienvidzvidrijā un no 0.06 līdz 0.2 Ziemeļzvidrijā). Līdzīga tendence konstatēta *Pinus contorta* (Xie, Ying, 1996) un *Pinus taeda* (Xiang et al., 2003a) stādījumos attiecīgi 7 – 24 un 4 – 8 gadu vecumā. *Pinus sylvestris* stādījumos Somijā (6-18 gadu vecumā) vērojamas nozīmīgas augstuma iedzīstamības koeficienta svārstības dažādos stādījumu uzmērīšanas laikos, taču bez konkrētas tendences.

Lindgren (1984) norāda, ka augsnes un/vai klimatisko apstākļu dēļ lēnāk augošiem kokiem pēcnācēju pārbaužu eksperimentos arī galējais novērtējums jāizdara vēlāk – atlasī pēc koku augstuma Skandināvijā eglei un priedei optimāli veikt stādījuma vidējai vērtībai esot starp 3 un 5 m. Līdzīgs novērtējums veikts arī bērzam – optimāli atlasī izdarīt pie koku vidējā augstuma 4 m (Stener, Jansson, 2005), kas var liecināt par likumsakarības universālo raksturu.

Ģenētiskā korelācija starp koku augstumu uzmērīšanas brīdī un 30 gadu vecumā pakāpeniski palielinās, pieaugot stādījumu vecumam (7.1. att.), turklāt zemākajām konstatētajām korelācijām arī aprēķinu standartklūda ir lielākā.

Konstatēts, ka optimālais atlasē vecums (sasniegto maksimālo ģenētisko ieguvumu viena selekcijas cikla gada laikā, izmantojot 5% diskonta likmi selekcijā ieguldītajiem līdzekļiem) ir 11 gadi Dienvidzvidrijā un 15 gadi Ziemeļzvidrijā (Jansson et al., 2003).

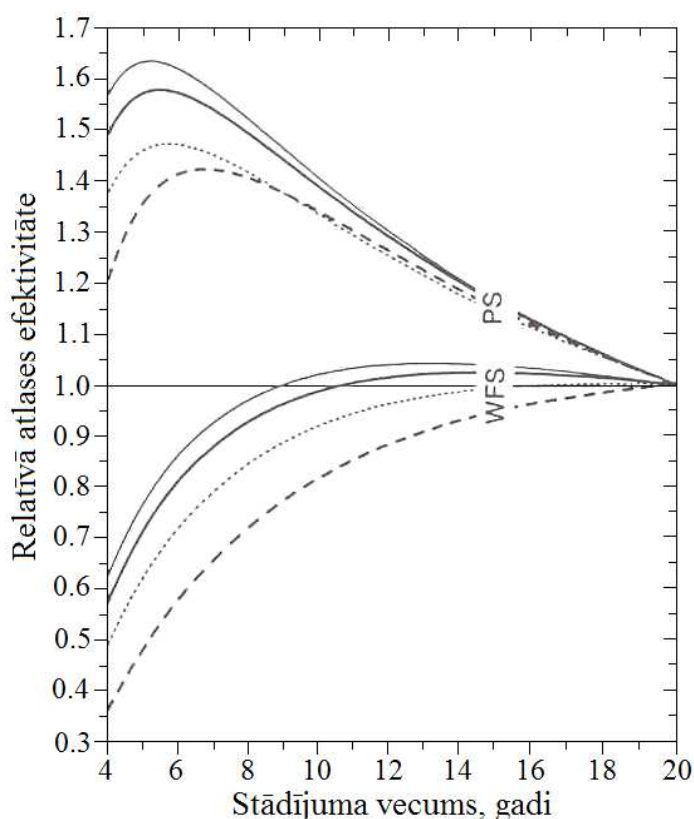


7.1. att. Koku augstuma dažādā vecumā ģenētiskā korelācija ar šīs pazīmes vērtībām 30 gadu vecumā parastās priedes pēcnācēju pārbaužu stādījumos (attēls no Jansson et al., 2003)

Paaugstinot ieguldīto investīciju atmaksāšanās procentu likmi no 2% uz 8%, optimālais atlasē laiks samazinājās no 18 līdz 11 gadiem. Savukārt, jo ilgāks laiks nepieciešams no selekcijas darbu uzsākšanas līdz pēcnācēju pārbaužu stādījumu ierīkošanai, jo lielākā vecumā optimāli veikt galējo koku atlasī: selekcijas darbu laika pagarināšana par diviem gadiem vidēji paaugstina optimālo atlasē laiku par 1 gadu (Jansson et al., 2003). Optimālā novērtējuma laika noteikšanā svarīga ir arī atlasē metode – parastās priedes pēcnācēju pārbaužu stādījumos, kur katru ģimeni pārstāv 150 pēcnācēji, labākā atlasē starp tiem ir ar 3 reizes mazāku selekcijas efektu nekā atlasē starp ģimenēm (vecāku kokiem pēc pēcnācēju pārbaužu rezultātiem). Bez tam galējā novērtējuma izdarīšanas laiks (par mērķi uzskatot koku augstumu 20 gadu vecumā) palielinās no 5-8 uz 11-16 gadiem, kā tas atspoguļots 7.2. attēlā (Haapanen, 2001). Līdzīgi Danusevicius un Lindgren (2002a) norāda, ka optimālais pēcnācēju pārbaužu novērtēšanas vecums ir 14-20 gadi veģetatīvo un ģeneratīvo pārbaužu gadījumā un 20-30 gadi

fenotipisko pēcnācēju pārbažu gadījumā. Turklāt, jo īsāks ir paredzamais koku rotācijas vecums un augstākas iedzīstamības koeficienta vērtības, jo īsāks optimālais pēcnācēju pārbažu laiks.

Mērījumiem, kuri veikti agrākā koku attīstības posmā – līdz 7-8 gadu vecumam – bieži vien raksturīga zema iedzīstamības koeficienta vērtība un ģenētiskā korelācija ar vēlāk iegūtajiem rezultātiem, tātad ģimeņu ranžējumā var būt nozīmīgas neprecizitātes (Jansson et al., 2003, Haapanen, 2001, Hodge, White, 1992, Nienstaed, Riemenschneider, 1984). Vadoties pēc atlases šādā vecumā, selekcijas ciklā iegūtais ģenētiskais uzlabojums būs zems, taču paaudzes nomainītas, līdz ar to paaugstinot koku savstarpējās radniecības pakāpi. Respektīvi, par relatīvi nelielu ieguvumu tiks „samaksāta” tāda pat ģenētiskās daudzveidības samazināšanas „cena”, kā ja atlase tiktu veikta vēlāk (būtu precīzāka) un ģenētiskā ieguvuma vērtības būtu ievērojami lielākas (Wei, Lindgren, 2001). Ietverot šo apsvērumu optimālais atlases vecums var tikt par dažiem gadiem paaugstināts: kā redzams 7.3. attēlā augstākā atlases efektivitāte parastās priedes stādījumos Dienvidzvidrijā būtu 6-8 gadu vecumā, taču rekomendēts to veikt 11 gadu vecumā (Jansson et al., 2003).



WFS – atlase starp kokiem ģimenes ietvaros

PS – atlase starp ģimenēm

Atlases efektivitāte kā proporcija no tiešās atlases (koku augstuma 20 gadu vecumā), kas pieņemta par 1
Pārējie apzīmējumi kā 1.13. attēlam

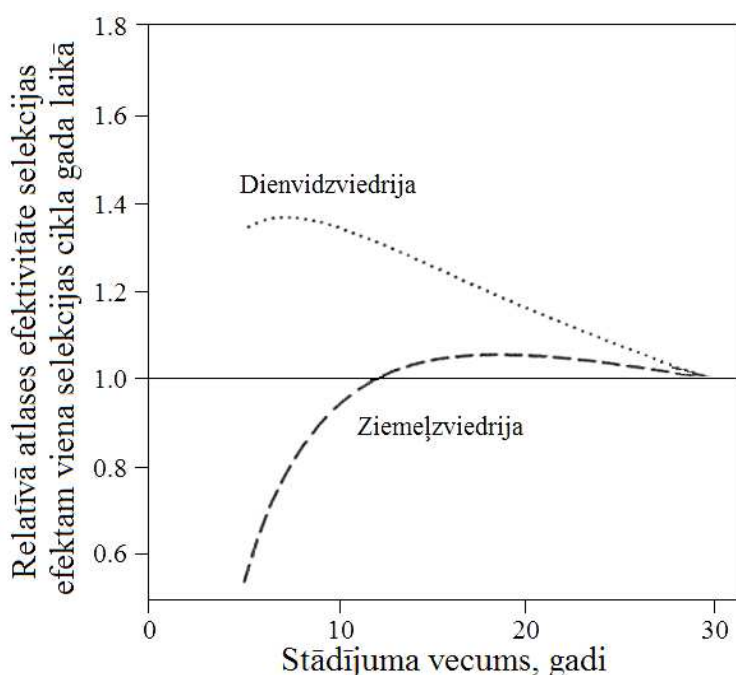
7.2. att. Atlases efektivitāte parastās priedes stādījumos juvenīlā vecumā kā mērķa pazīmi izvēloties koku augstumu 20 gadu vecumā (attēls no Haapanen, 2001)

Selekcijas mērķis ir paaugstināt iegūstamo krāju un koku kvalitāti rotācijas vecumā, tomēr arī pārāk vecu iedzīstamības pārbažu stādījumu novērtēšana nav optimāla, jo:

- 1) tiek samazināts no viena selekcijas cikla gada iegūstamais selekcijas efekts;
- 2) rezultātus nozīmīgi ietekmē koku (gan virszemes, gan sakņu daļas) savstarpējā konkurence un dabiskā atmiršana, paaugstinot apkārtējās vides apstākļu noteikto dispersiju un samazinot iedzīstamības koeficienta vērtības.

Analizējot koku augstumu *Pinus contorta* stādījumos (vecums līdz 24 gadiem) konstatēts, ka ģimenes ietekmes daļa kopējā pazīmes dispersijā pakāpeniski samazinās, palielinoties stādījuma vecumam (Xie, Ying, 1996), kas ir saskaņā ar *Pinus sylvestris* pēcnācēju pārbaudēs konstatēto aditīvā variācijas koeficienta samazināšanos (Jansson et al., 2003). Parastās priedes stādījumos Somijā savukārt konstatēts, ka palielinoties stādījuma vecumam (6-18 gadi), neģenētisko faktoru daļa kopējā koku augstuma dispersijā palielinās eksponenciāli (Haapanen, 2001). Tas nozīmē, ka ģimeņu ranžējuma precizitāte samazinās. Šo trūkumu daļēji var novērst, ierīkojot lielus stādījumus ar paaugstinātu sākotnējo attālumu starp kokiem, taču tad ievērojami paaugstinās izmaksas (Wu, 1998, Jansson et al., 2003).

Optimālo stādījumu novērtēšanas laiku ietekmē arī koku sugu bioloģiskās īpatnības. Tā vērtējot kārpainā bērza stādījumus Zviedrijā Stener un Jansson (2005) konstatējuši augstu ($r=0.94$) koku augstuma ģenētisko korelāciju 6 un 10 gadu vecumā (koku vidējais augstums 4 m). Atsaucoties uz iepriekšējiem pētījumiem par augstu korelāciju stādījumiem 7 un 18, kā arī 9 un 26 gadu vecumā, norādīts, ka bērza atlase varētu tikt veikta dažus gadus ātrāk kā skuju koku sugām.



Piezīme: atlases efektivitāte noteikta relatīvi attiecībā pret tiešu atlasīto mērķa (30 gadu) vecumā, kas pieņemta par 1

7.3. att. Atlases efektivitāte parastās priedes stādījumos agrīnā vecumā (attēls no Jansson et al., 2003)

Optimālais atlases laiks atkarīgs no pārbaudes mērķa (atšķirību noskaidrošana starp ģeogrāfiski attālām proveniencēm, populācijām (audzēm) vai individuāliem kokiem vienas audzes ietvaros), kā arī vērtējamo pazīmju kopuma.

Ģeogrāfiski attālu proveniencu adaptācijas spējas klimatiskajiem, augsnes un kaitēkļu-slimību fona apstākļiem izpaužas jau juvenīlā vecumā. Eksperimentālajos stādījumos Latvijā konstatēts, ka proveniencu ranžējums pēc saglabāšanās 6 gadu vecumā bija tāds pats kā 21 gada vecumā, skaidri norādot uz dažu izcelsmju priēžu nepiemērotību mūsu apstākļiem (Jansons, Baumanis, 2005). Līdzīgi Zviedre (1973) konstatē ļoti zemu saglabāšanos 6 gadu vecumā 7 parastās priedes Sibīrijas proveniencēm stādījumā Limbažu rajonā. Pētījumi Skandināvijas valstīs liecina, ka augšanas ritms (lielākoties vērtējot pumpuru plaukšanas un salcietības iestāšanās laikus) proveniencu līmenī ir ar augstu ģenētisko nosacītību (Ekberg et al., 1984, Hurme, 2000). Salcietības iestāšanās pārbaudes sējeņiem var izmantot augšanas ritma noteikšanai un to rezultāti saskan ar pēcnācēju pārbaudžu stādījumos konstatēto (Nilsson,

Eriksson, 1986, Andersson, 1992). Šie rezultāti var būt nozīmīgi modelējot iespējamo dažādu genotipu reakciju klimata izmaiņu gadījumā.

Taču no praktiskā selekcijas viedokļa, izmantojot jau rajonētu materiālu, nozīmīgāks ir laiks, kad iespējams konstatēt atšķirības starp atsevišķu pluskoku brīvapputes, kontrolēto vai veģetatīvo pēcnācēju ģimenēm.

Izturību pret slimību un kaitēkļu iedarbību lielākoties iespējams salīdzināt jau pirmajos koka augšanas gados. Tā, piemēram, Latvijā 3-5 gadus veciem parastās priedes sējeņiem dobēs veiktas skujbires izturības pārbaudes, kā materiālu izmantojot gan brīvapputes, gan sibu ģimenes, gan arī klonālos (potētos) pēcnācējs. Konstatēta būtiska ģenētiskā faktora ietekme uz skujbires bojājumu pakāpi (7.4. att.) un izdalītas izturīgākās ģimenes (Baumanis, 1975).

Augšanas un kvalitātes parametru novērtēšanai nepieciešams ilgāks laiks. Vērtējot dažādu provenienču ātraudzību (koku augstumu noteiktā vecumā) Baumanis u.c. (1988, npublicēti dati) konstatējuši, ka periodā no 5 līdz 10 gadu vecumam novērojamas būtiskas ragu maiņas starp ģimenēm, bet no 10 līdz 15 gadu vecumam rangi ir nemainīgāki. Turpinot šo pašu eksperimentu analīzi līdz 28 gadu vecumam konstatēts, ka 7 (no 64) labāko (ātraudzīgāko) un sliktāko (lēnāk augošo) provenienču koku augstumu rangi saglabājas nemainīgi, kamēr ģimenēm ar vidēju produktivitāti arī šajā laikā novērojamas nozīmīgas izmaiņas (Jansons, Baumanis, 2005). Latvijas parastās priedes pluskoku kontrolēto krustojumu stādījumā nav konstatētas nozīmīgas ģimeņu vidējo augstumu ragu izmaiņas starp mērījumiem 21 un 30 gadu vecumā (Baumanis, Jansons, 2004). Aprēķinot korelācijas starp viena un tā paša koka augstuma, caurmēra un stumbra tilpuma vērtībām, Dreimanis secina, ka augstākā ragu stabilitāte 12-16 un 32-38 gadu vecumā novērojama stumbra tilpumam ($r > 0.84$), mazliet zemāka koku augstuma un caurmēram ($r \sim 0.7$). Tātad jau 12-16 gadu vecumā ar augstu ticamību var izdalīt ātraudzīgākos (produktīvākos) kokus (Дрейманис, 1990).



7.4. att. Pret skujbiri izturīgas (labajā malā, ar zaļajām skujām) un nerezistentas parastās priedes ģimenes

Balstoties uz parastās priedes pluskoku kontrolēto krustojumu pēcnācēju pārbažu datu analīzi var secināt, ka 3-7 gadu vecumā augšanas ātruma ģenētiskā nosacītība vāji izteikta un vērojamas nozīmīgas ģimeņu ragu maiņas (Baumanis u.c., 1988, Birģelis, Baumanis, 1989), turpretī 11 – 15 gadu vecumā iespējams veikt produktīvāko ģimeņu atlasī (Baumanis, Birģelis, 1993b), kas saskan arī ar iepriekš aprakstīto pētījumu rezultātiem Skandināvijas valstīs.

Ievērojami mazāk pētījumu ir par koksnes īpašības raksturojošajām pazīmēm un optimālo (pieļaujamo) atlases laiku saskaņā ar tām. Tā, piemēram, Persson (1972) konstatējis ciešu mātes koku un pēcnācēju koksnes blīvuma sakarību, kas liecina par pazīmes ģenētisku nosacītību un uzlabojumu iespējām selekcijas procesā. Taču jautājuma izpēti sarežģītu padara atšķirīgās koksnes īpašības dažādās koka attīstības stadijās. Vērtējot koksni 33 gadus vecos

parastās priedes pēcnācēju pārbaužu stādījumos Hannrup et al. (1998) materiālu sadalījuši 4 daļās (norādot, ka to robežas nav strikti noteiktas un par dažiem gadiem var atšķirties):

- 1) 1.-4. gadskārta no serdes – serdes koksne, kur jau sākusies kodolkoksnes veidošanās;
- 2) 5.-8. gadskārta – juvenilā koksne, kodolkoksnes veidošanās vēl nav notikusi;
- 3) 9.-20. gadskārta „pārejas koksne” kam nav raksturīgas ne juvenilās, ne arī vēl pieaugušās koksnes īpašības;
- 4) 21. un tālākas gadskārtas – pieaugusī koksne.

Vērtējot Latvijas parastās priedes koksnes īpašības A. Kalniņš (1930) konstatējis, ka „serdes koksne” (precīzi neminot, cik gadskārtas ap serdi domātas) ir ar samazinātu blīvumu un izturību dažādās slodzēs. Analizējot koksnes paraugus no urbumiem 1.3 m augstumā (koka vecums šajā vietā konkrētajos augšanas apstākļos 8-11 gadi) konstatēta cieša un būtiska ģenētiskā korelācija starp koksnes blīvumu un traheīdu garumu 8-11 un 28-33 gadu vecumā (attiecīgi $r_a=0.88$ un $r_a=0.92$). Tas liecina par iespējamību veikt precīzu atlasīšanu pēc koksnes īpašībām parastās priedes stādījumos jau 11 gadu vecumā (Hannrup, Ekberg, 1998). Par labu šim viedoklim liecina arī fakts, ka paaugstinot augšanas intensitāti koka stumbrā tiek palielināts juvenilās koksnes daudzums, kas savukārt nozīmīgi ietekmē zāģmateriāla stiprību. Juvenilās koksnes īpašību pētīšanu vērtējot iespējamās atšķirības starp ģimenēm var uzsākt uzreiz pēc tās veidošanās beigām – tātad 10-11 gadu vecumā.

Optimālais atlasēšanas laiks kvalitātes parametru (zaru resnuma, zaru leņķa, atzarošanās intensitātes, pirmā zaļā zara augstuma u.c.) kontekstā parastajai priedei nav ticis analizēts.

Atlasēšanas laika saīsināšanai bijusi mērķis lielam skaitam eksperimentu meklējot dažādos kontrolētos apstākļos (augšanas kamerās) noteiktā gaismas, barošanas, mitruma un temperatūras režīmā audzētu sējeņu un to pašu ģimeņu iedzimtības pārbaužu stādījumos augošu koku rangu korelācijas paaugstināšanas iespējas. Ja tiktu atrasta augsta rangu korelācija, būtu iespējams radikāli saīsināt selekcijas ciklu, nozīmīgi samazinot nepieciešamo investīciju apjomu. Taču līdz šim tikai atsevišķos gadījumos un dažām pazīmēm konstatēta 1-3 gadīgu sējeņu augstas korelācijas ar šīs pašas pazīmes vērtībām attiecīgajām ģimenēm 10-30 gadu vecumā (Sonesson et al., 2001, Jonsson et al., 2000, Nienstaed, Riemenschneider, 1984). Tas nozīmē, ka dažu gadu vecumā iegūtos mērījumu rezultātus iespējams izmantot kā papildus informāciju precīzākai selekcijas stādījumu analīzei un ģimeņu ranžēšanai lielākā koku vecumā (Wu, 1998), taču ne kā pamatu augstvērtīgāko ģimeņu atlasēšanai.

Kopsavilkums

- optimālais iedzimtības pārbaužu izvērtēšanas vecums ir kokiem sasniedzot 11-15 gadu vecumu un vismaz 4 m augstumu. Lai paaugstinātu novērtējumu precizitāti atsevišķu pazīmju (saglabāšanās, rezistences u.c.) novērtējumu nepieciešams veikt jau pirmajos koku attīstības gados;
- hibrīdās apses fenotipiski labāko kandidātu atlasēšanu iespējams veikt jau 6-8 gadu vecumā, taču nepieciešams ievērojami ilgāks laiks (~15 gadi), lai novērtētu klonu rezistenci pret vēzi un trupi;
- fenotipisko atlasēšanu rekomendējams veikt lielākā vecumā, lai iegūtu precīzāku individuālu koku novērtējumu. Veicot atlasēšanu pēc pēcnācēju pārbaužu rezultātiem, tātad pēc būtības starp kandidātu ģimenēm, stādījuma vecums var būt mazāks;
- svarīgi turpināt pētījumu par rezistenci, adaptāciju, koksnes īpašības nosakošo pazīmju optimālo novērtēšanas vecumu, lai iespējami precīzi varētu veikt kandidātu (ģimeņu ietvaros) izvēli un eksperimentu novērtēšanu, atlasot ne tikai produktīvus, bet arī vitālus, rezistentus genotipus ar augstu adaptācijas spēju atšķirīgiem klimatiskajiem apstākļiem.

8. Atlases kritēriji

Selekcijas indeksā ietvertas pazīmes, pēc kurām tiek veikta labāko koku (vai ģimeņu) atlase (Cotterill, 1986). Vienkāršākie indeksi selekcijas darbā tiek izmantoti veicot individuālu koku atlasī ģimenes ietvaros turpmākām to pēcnācēju pārbaudēm ar mērķi apvienot individuālu koku un ģimeņu informāciju (Cotterill, Dean, 1990, formula 2, 3).

$$I = f + bF_x, \quad (2)$$

kur:

I – indeksa vērtība;

f – individuāla koka fenotipiskā mērījuma rezultāts;

F_x – ģimenes, pie kuras koks pieder, fenotipiskā parametra vidējā vērtība;

b – koeficients.

$$b = \frac{r(1-h^2)}{1-r} * \frac{n}{1+(n-1)rh^2}, \quad (3)$$

kur:

n – koku skaits ģimenē;

r – radniecības pakāpe starp kokiem ģimenē (pusībām 0,25, sībām 0,5);

h^2 – iedzimstamības koeficients.

Formula atspoguļo jau iepriekš aprakstīto sakarību, ka ģimenes informācija vienmēr ir nozīmīgāka par individuāla koka datiem ($b > 1$). Jo lielāks koku skaits ģimenē, jo precīzāka tās vidējā vērtība, reizē ar to koeficients augstāks. Tāpat koeficienta vērtība ir lielāka, ja tiek vērtētas sību ģimenes, kur lielāka daļa ģenētiskā materiāla īpatņiem ir kopēja. Ja pazīmes iedzimstamības koeficients ir zems, koeficienta b vērtība ir augsta – šādā gadījumā individuāla koka fenotipiskie parametri nesniedz pietiekami precīzu informāciju un ievērojami svarīgāka ir informācija no liela skaita radniecīgu īpatņu. Iespējams arī citas koeficienta b aprēķināšanas formulas (Falconer, Mackay, 1996), bet ietvertās likumsakarības saglabājas nemainīgas.

Atlase meža koku sugām tiek veikta pēc vairākām, ātraudzību un kvalitāti, reizēm arī koksnes īpašības raksturojošām pazīmēm. Šādu atlasī iespējams veikt ar vairākām atšķirīgām metodēm (Cotterill, Dean, 1990):

- 1) tandēma selekcija** – vairākas paaudzes atlasī tikai pēc vienas pazīmes, pēc tam vairākas pēc citas pazīmes. Šī metode grūti izmantojama meža koku sugām, jo to selekcijas cikli ir gari. Bez tam atlase pēc vienas pazīmes var novest pie ievērojamas citu, negatīvi korelējošu pazīmju vērtības pazemināšanās;
- 2) neatkarīgā atlase** – atlase notiek pēc vairākām pazīmēm vienlaikus, neizvēloties kokus, kuru vērtība ir zemāka par noteiktu minimuma līmeni pēc kaut vienas no tām. Piemēram, veicot atlasī pēc koku augstuma, bet neizvēloties kokus (vai ģimenes), kuru stumbriem ir vairāk par 1 līkumu. Šo metodi efektīvi iespējams izmantot, ja kādu no atlasī pazīmēm novērtēt ir laikietilpīgi un dārgi. Piemēram, hibrīdās apsēs selekcijā vispirms atlasot tikai pēc ātraudzības un izvēlētajiem labākajiem kloniem analizējot koksnes blīvumu un šķiedru garumu un veicot papildus atlasī pēc šiem rādītājiem. Iespējams veikt arī atlasī pēc pazīmēm dažādā vecumā – piemēram, izvēloties garākos kokus 12-15 gadu vecumā, rīkojot to pēcnācēju pārbaudes un vienlaikus ar šo pārbaudzi analīzi (kad sākotnēji izvēlētie vecāku-koki ir 24-30 gadus veci) veikt koksnes īpašību analīzi, ko izmantot kā papildus kritēriju. Ņemot vērā, ka koksnes īpašībām (piemēram, blīvumam), raksturīgs samērā augsts iedzimstamības koeficients (Nicholls et al., 1980, Hannrup et al., 1998), atlase pēc individuālu koku vērtībām var būt efektīva. Nozīmīgākais metodes trūkums – problemātiska un samērā subjektīva kritisko vērtību izvēle, zemākas par kurām nav pieļaujamas atlasītājiem kokiem. Problēmu daļēji var novērst izmantojot datus par pazīmju ekonomisko nozīmīgumu (piemēram, nav

pieļaujams resnākā zara līdz 2 m augstumam diametrs lielāks par to, kāds atļauts 2. šķiras zāģbaļķiem);

- 3) **atlase pēc selekcijas indeksa** – atlase pēc viena raksturojošā indeksa, kurā apvienotas vairākas pazīmes. Pazīmes vērtībām tiek piemēroti koeficienti atkarībā no to ekonomiskā nozīmīguma. Metodes priekšrocība – iespējams integrēt vairākus mērījumus un dažādus informācijas līmeņus (individuālu koku mērījumus, informāciju par radniecīgiem indivīdiem (ģimenēm), mērījumus dažādā koku vecumā – vienotā indeksā. Trūkums – relatīvi sarežģīta matemātiskā kalkulācija, nepieciešama droša informācija par pazīmju relatīvajām ekonomiskajām vērtībām.

Konstatēts, ka atlase pēc selekcijas indeksa vienmēr nodrošina tādu pat vai augstāku selekcijas darba efektivitāti kā neatkarīgā atlase, kura, savukārt, ir pārāka par tandēma selekciju. Neatkarīgā atlase ir relatīvi efektīvāka gadījumos, kad starp pazīmēm ir nozīmīgas atšķirības ekonomiskajā vērtībā: piemēram, egles selekcija papīrmalkas sortimenta ieguvei – ļoti nozīmīga ir ātraudzība kā koksnes masas galvenais komponents, bet faktiski nav ekonomiskas nozīmes zaru resnumam, skaitam.

Konstruējot selekcijas indeksu svarīgi zināt (novērtēt) pazīmju „ekonomisko īpatsvaru”. Ekonomiskais īpatsvars ir papildus ienākumi, kuri ir sagaidāmi paaugstinot par 1 vienību pazīmi A (piemēram, koku augstumu par 1 m) salīdzinot ar papildus ienākumiem, kuri iegūstami paaugstinot par 1 vienību pazīmi B (piemēram, koksnes blīvumu par 1 kg*m³).

Analizētajām meža koku sugām ir samērā garš rotācijas periods, nav iespējams precīzi novērtēt atsevišķu pazīmju ekonomisko vērtību. Tādēļ ieteicams izmantot neatkarīgo atlasī, nodrošinot gan produktivitātes, gan kvalitātes rādītāju, gan adaptācijas spēju paaugstināšanu. Selekcijas indeksu var konstruēt veicot materiāla atlasī selekcijas cikla beigās, piemēram, īsirtmeta plantāciju ierīkošanai (eglei vai hibrīdajai apsei) ar noteiktu, zināmu mērķi. Tādā gadījumā tiek atlasīts materiāls noteiktai vajadzībai, kuru izmanto pavairošanai, bet turpmākam selekcijas darbam tiek izvēlēts tāpat tiek izvēlēts plašāk piemērots materiāls.

Analīze izvēloties atlasī (eksperimentos nosakāmās) pazīmes šajā nodaļā veikt parasto priedi, kam uzmērīti lielākā daļa pēcnācēju pārbaužu stādījumi un jau nākamā gadā sākas 2. selekcijas cikls. Citām koku sugām šāda analīze tiks veikta šajā pašā selekcijas fāzē (kārpainajam bērzam 2013. gadā, hibrīdajai apsei 2017. gadā, eglei 2018. gadā), izmantojot šeit aprakstīto metodisko pieeju. Sākotnēji liels skaits pazīmju tiks uzmērīts nelielā daļā eksperimentu, veikti aprēķini un determinētas pārējos iedzimtības pārbaužu stādījumos uzmērāmās pazīmes.

Atlasī kritēriju definēšana ir galvenais priekšnosacījums koku izvēlei nākamā selekcijas cikla uzsākšanai. Koku produktivitāti iespējams raksturot ar tieši uzmērāmām pazīmēm – augstumu, caurmēru, vai aprēķināmām – stumbra tilpumu, krāju. Caurmēra izmantošana samazina stādījumu uzmērīšanas darbietilpību un paātrina rezultātu ieguvei, taču atklāts paliek jautājums, vai 20-30 gadus vecos stādījumos ar augstu sākotnējo biežumu šīs pazīmes novērtējums sniedz pietiekamu pamatu ģimeņu ranžējumam pēc produktivitātes. Svarīgi izvēlēties tādu produktivitātes indikatoru, kam ir no selekcijas viedokļa pozitīva vai vismaz iespējami zema korelācija ar koku kvalitātes parametriem, lai būtu iespējami viegli atlasīt produktīvas un vienlaikus kvalitatīvas ģimenes.

Latvijas priedei raksturīga augsta kvalitāte (taisns stumbrs, tievi zari), ko apliecinājuši rezultāti no starptautiskiem ģeogrāfisko provenienču stādījumiem Latvijā (Jansons, Baumanis, 2005) un citās valstīs (Pedersen, 1994, Kohlstock, Schneck, 1994, Shutyaev, Giertych, 2000). Tādēļ atsevišķos gadījumos Latvijas priede izdalīta pat kā atsevišķa varietāte *Pinus sylvestris* var. *rigensis* (Правдин, 1964, Molotkov, Patlaj, 1991). Kvalitātes saglabāšana un tālāka paaugstināšana selekcijas procesā jāņem vērā arī ilgtermiņā, vērtējot iespējamo Latvijas koksnes „tirgus nišu”, jo mūsu klimatiskajos apstākļos nav iespējams panākt tādas priedes augšanas tempus, lai globālajā tirgū varētu konkurēt tikai ar koksnes masu. Šim aspektam veltīta nozīmīga uzmanība jau pluskoku atlasī gaitā, kad no pluskoku selekcijas vērtības

indeksa 25% sastādīja stumbra bezzaru daļas proporcionālais garums un 25% vainaga kvalitāti raksturojošas pazīmes (Gailis, 1964, 1968). Līdz šim Latvijā priedes iedzimtības pārbaužu stādījumos precīza zarojuma kvalitāti aprakstošo parametru izvērtēšana nav veikta. Taču, stādījumu vecumam tuvojoties 1/3 no rotācijas perioda un uzsākot jaunu selekcijas ciklu, tāda ir gan iespējama, gan nepieciešama. Izvērtējumam jāsniedz priekšstatu par selekcijas darba potenciālu zaru resnumu un citu dabiskās atzarošanās intensitāti nosakošo pazīmju uzlabošanā. Bez tam svarīgi noteikt minimālo nepieciešamo uzņēmamo pazīmju skaitu zarojuma kvalitātes raksturošanai. Kvalitātes pazīmes individuālam kokam nozīmīgi ietekmē konkurences faktori (Persson, 1994), tātad saglabāšanās.

Augsta saglabāšanās ir nepieciešama meža atjaunošanas izmaksu samazināšanai un produktīvas audzes veidošanās nodrošināšanai. Īpaši aktuāli tas ir kontekstā ar tendenci samazināt sākotnējo stādījuma biezumu. Nozīmīgas koku skaita atšķirības konstatētas gan provenienču (Shutyayev, Giertych, 2000), gan populāciju un ģimeņu (Ruotsalainen, Lindgren, 1998) līmenī. Taču jāņem vērā, ka koku skaita atšķirības pa ģimenēm 20-30 gadus vecajos iedzimtības pārbaužu stādījumos ir daudzu procesu kompleksas iedarbības rezultāts: to ietekmē ieaugšanās (īpaši pirmajos 2 gados, kas atkarīga no klimatiskajiem apstākļiem, stādu un stādīšanas kvalitātes), slimības (t.sk. trupe, skujbire), pārnadžu bojājumi (īpaši aļņu savairošanās maksimuma periodā ierīkotajos eksperimentos: Avotiņš, 1980). Turpmākā audzes attīstības gaitā koku skaitu nozīmīgi ietekmē to savstarpējā konkurence. Tikai no dažiem eksperimentiem pieejami dati par saglabāšanos, trūkst informācijas par tās atšķirību cēloņiem. Ņemot vērā minētos apstākļus ir svarīgi izdarīt slēdzienu par koku skaita kā atlases kritērija izmantošanu un novērtēt tā ietekmi uz citiem iespējamajiem atlases kritērijiem.

Pazīmei, kura tiek izvēlēta par galveno atlases kritēriju jābūt ar iespējami augstu iedzimstamības koeficientu un aditīvās ģenētiskās mainības variācijas koeficientu. Šie priekšnosacījumi nodrošina iespējas veikt uzlabojumus (paaugstināt vai samazināt pazīmes vērtību nākamajā paaudzē) ar selekcijas metodēm. Dažādu pazīmju ģenētisko un fenotipisko parametru vērtības valdaudzes kokiem apkopotas 8.1. tabulā. Tabulā eksperimenti Nr. 28, 30, 31, 32, 41 izdalīti atsevišķā grupā, jo tajos ir lielāks uzņēmamo pazīmju skaits un eksperimenti Nr. 1217, 1218, 1111, 204A, 204B tādēļ, ka tie nozīmīgi atšķiras pēc vecuma uzņēmšanas laikā.

Salīdzinot produktivitāti raksturojošās pazīmes redzams, ka augstākās iedzimstamības koeficienta vērtības visās eksperimentu grupās ir koku augstumam. Caurmēra un stumbra tilpuma iedzimstamības koeficienta vērtības ir vidēji 2 reizes mazākas. Līdzīga tendence konstatēta arī parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumos Zviedrijā, Somijā, Lietuvā (Haapanen et al., 1997, Danusevicius, 2000, Hannrup et al., 1998, Jansson et al., 2003). Likumsakarība ir spēcīgā aprēķiniem izmantojot gan tikai valdaudzes koku datus, gan arī visu koku datus vai summārās vērtības parcelu ietvaros. Aprēķiniem izmantojot tikai valdaudzes kokus iegūtās iedzimstamības koeficienta vērtības ir aptuveni 2 reizes lielākas nekā izmantojot visu koku datus. Šī likumsakarība līdzīgi kā atšķirības starp atsevišķu produktivitāti raksturojošo pazīmju vērtībām visticamāk ir saistīta ar koku savstarpējās konkurences ietekmi. Konkurence analizētajos eksperimentos ir nozīmīgs faktors: iedzimtības pārbaužu stādījumi ierīkoti ar biezumu 4400 – 5000 koki ha⁻¹ un lielākajā daļā no tiem (17 no 22) nav veikta kopšanas cirte, saglabāšanās vidēji 41%. Valdaudzes koki ir konkurences mazāk ietekmēti, tātad to pazīmju dispersija ir zemāka, reizē ar to aditīvā ģenētiskā efekta noteiktā dispersija sastāda proporcionāli lielāku daļu no kopējās. Tādēļ izmantojot tikai valdaudzes koku datus aprēķinātais iedzimstamības koeficients ir augstāks.

Vērtējot iedzimstamības koeficienta atšķirības starp pazīmēm jāņem vērā kopšanas ciršu intensitātes izmēģinājumos konstatētais: prieku augstumu koku savstarpējā konkurence ietekmē ievērojami mazāk nekā caurmēru (Mäkinen et al., 2005, Ulvcrona et al., 2007) un stumbra tilpumu. Reizē ar to koku augstuma iedzimstamības koeficients vairākumā gadījumu ir lielāks nekā caurmēram vai stumbra tilpumam – apkopojot datus no liela skaita eksperimentu Cornelius (1994) konstatējis vidējās koeficientu vērtības: augstumam $h^2=0.25$,

caurmēram $h^2=0.19$, stumbra tilpumam $h^2=0.18$. Līdzīgi vērtējot parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumus Somijā 11-24 gadus vecumā Haapanen et al. (1997) konstatē koku augstuma iedzimstamības koeficientu vidēji 0.48 un caurmēra – 0.22.

8.1. tabula

Valdaudzes koku ģenētisko un fenotipisko parametru vērtības 14 – 36 gadu vecumos priežu iedzimtības pārbaužu stādījumos

Nr.	Pazīme	h^2	se	h^2_f	se_f	cv_a	cv_{pi}	cv_{pf}	\bar{x}	s
33, 34, 36, 37, 38, 39, 46, 234, 235, 351	h	0.38	0.09	0.43	0.07	9.2	15.6	9.2	12.7	2.8
	d	0.19	0.04	0.34	0.06	11.4	25.5	9.8	13.1	2.6
	tilp	0.21	0.04	0.35	0.06	24.2	51.5	20.2	0.11	0.05
	zd	0.12	0.02	0.26	0.05	9.3	26.4	9.3	15.2	2.1
	zdprocx	0.18	0.03	0.33	0.04	12.0	28.8	11.3	10.6	3.0
	zb	0.13	0.02	0.26	0.04	13.7	39.9	13.9	1.5	0.2
	sb	0.09	0.03	0.22	0.05	11.2	35.9	12.4	1.2	0.4
28, 30, 31, 32, 41	h	0.45	0.05	0.49	0.04	7.8	11.8	5.6	11.9	1.5
	d	0.14	0.04	0.27	0.08	8.9	25.0	8.9	12.3	3.0
	tilp	0.20	0.04	0.35	0.08	22.3	52.7	19.5	0.08	0.04
	hzz	0.20	0.07	0.27	0.05	7.8	16.2	7.5	6.6	1.1
	z1	0.17	0.02	0.31	0.04	12.1	30.7	11.2	12.3	3.9
	z2	0.17	0.02	0.29	0.05	12.5	31.8	12.0	10.8	3.5
	z3	0.12	0.03	0.23	0.06	11.0	34.3	12.6	9.4	3.3
	zdvid	0.15	0.03	0.28	0.05	11.5	30.8	11.4	8.6	2.8
	zdtop	0.17	0.02	0.30	0.05	12.1	30.7	11.7	10.9	3.4
	zdsun	0.12	0.01	0.23	0.04	12.5	37.5	13.8	54.8	19.3
	zdprocx	0.14	0.04	0.25	0.05	10.4	27.4	10.1	11.4	2.9
	zdprocm	0.09	0.05	0.18	0.07	8.9	28.1	10.1	7.3	2.0
	zn	0.07	0.04	0.20	0.06	6.7	23.5	7.5	6.1	1.5
zv	0.07	0.01	0.14	0.02	4.8	18.1	6.7	44.1	8.2	
hd	0.08	0.01	0.18	0.05	5.6	20.2	7.0	1.0	0.2	
1217, 1218, 1111, 204A, 204B	d	0.21	0.05	0.37	0.06	10.0	22.3	8.2	10.7	2.4
	zb	0.28	0.03	0.45	0.05	18.6	35.8	14.0	4.8	1.8
	zd**	0.15	0.05	0.31	0.07	10.4	28.0	9.6	16.2	5.1
	zn*	0.18	0.00	0.34	0.01	8.5	21.4	7.4	7.2	1.5
	sb	0.22	0.04	0.39	0.04	15.5	33.5	12.5	2.5	0.8

Pazīmju apzīmējumi 1. tabulā pielikumā;

Nr. – eksperimenta Nr;

**izmantoti tikai 3 eksperimentu dati;

*izmantoti tikai 2 eksperimentu dati;

Vidējā vērtība un standartnovirze aprēķināta kā mediāna no rezultātiem atsevišķos eksperimentos.

Atšķirību tendence augstuma, caurmēra un stumbra tilpuma iedzimstamības koeficienta vērtībās aprakstīta arī citām koku sugām. Piemēram, trijos *Picea glauca* iedzimtības pārbaužu stādījumos 22 gadu vecumā koku augstuma iedzimstamības koeficienti ir 0.17, 0.18, 0.32 un caurmēra attiecīgi 0.10, 0.07, 0.07 (Ying un Morgenstern, 1979). Analizējot *Pinus tadea* iedzimtības pārbaužu stādījumus 5 gadu vecumā, vienā eksperimentā konstatētās iedzimstamības koeficientu vērtības ir: augstumam 0.26, caurmēram 0.14, stumbra tilpumam

0.14, otrā eksperimentā attiecīgi – 0.16, 0.06 un 0.14 (Paul et al., 1997). Šīs pašas koku sugas iedzimtības pārbaužu stādījumos 8-11 gadu vecumā koku augstuma iedzimstamības koeficients ir 0.24-0.28, caurmēra 0.01, stumbra tilpumam 0.05-0.06 (Svensson et al., 1999). *Pinus pinaster* stādījumā 12 gadu vecumā koku augstuma iedzimstamības koeficients ir 0.33, caurmēra 0.18, stumbra tilpuma 0.21 (Aguilar et al., 2003).

Eksperimentos ar zemu konkurences faktora ietekmi (zems stādījuma biežums, mērījumi veikti agrā vecumā) atšķirības starp produktivitāti raksturojošo pazīmju iedzimstamības koeficientu vērtībām nav izteiktas. Piemēram, 12 gadu vecumā *Pinus caribaea* stādījumos, kur saglabāšanās 90-97%, koku augstuma, caurmēra un stumbra tilpuma iedzimstamības koeficienti ir attiecīgi 0.31, 0.29 un 0.34 (Moura, Dvorak, 2001). Līdzīgi 33 gadus vecā, lēni augušā (vidējais augstums 10.8 m) parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumā Zviedrijā, kur veikta viena kopšanas cirte, konstatētās augstuma un caurmēra iedzimstamības koeficienta vērtības ir attiecīgi 0.27 un 0.32 (Hannrup et al., 1998).

Ņemot vērā konstatētās likumsakarības koku savstarpējās konkurences ietekmētos eksperimentos kā galveno pazīmi produktivitātes raksturošanai rekomendējams izmantot augstumu.

Koku kvalitāte eksperimentos raksturota ar stumbra taisnumu un zarojuma parametriem. Stumbra taisnuma iedzimstamības koeficients 14-17 gadus vecos eksperimentos, kur pazīme novērtēta 5 ballu skalā, līdzīgi kā zaru un stumbra diametram. Tas saskan ar rezultātiem no parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumiem Polijā (aprēķinātas pēc datiem publikācijā), kur h^2 zaru resnumam 0.09-0.15, stumbra taisnumam 0.11-0.18 (Kowalczyk, 2005) un parastās egles iedzimtības pārbaužu stādījumiem Zviedrijā, kur iedzimstamības koeficients attiecīgi 0.13-0.19 un 0.19-0.21 (Karlsson, Högberg, 1998). Līdzīgi kvalitātes pazīmju iedzimstamības koeficienti konstatēti arī citām *Pinus* ģints sugām: *Pinus radiata* – zaru resnumam ballēs 0.27, stumbra taisnumam 0.23 (Wu et al., 2007); *Pinus nigra* – stumbra taisnumam 0.19 (Matzirs, 2005). Zems stumbra taisnuma iedzimstamības koeficients konstatēts 21-36 gadus veco stādījumu grupā, kur šī pazīme novērtēta 3 ballu skalā. Tas ir līdzīgs kā konstatēts *Pinus caribaea* iedzimtības pārbaužu eksperimentos: zaru resnumam 0.26, stumbra taisnuma – 0.06 (Moura, Dvorak, 2001) un liecina, ka 3 ballu skala nav pietiekama precīzai pazīmes novērtēšanai. Ņemot vērā, ka Latvijas priedēm raksturīgi taisni stumbri, šīs pazīmes uzlabošana nav uzskatāma par selekcijas mērķi. Tādēļ pazīmes novērtēšanai iespējams izmantot nelielu ballu skaitu vai tikai atzīmēt kokus ar līkumainiem stumbriem, izmantojot šo kritēriju, lai no tālāka selekcijas darba izslēgtu ģimenes ar neapmierinošu kvalitāti.

Līdzīgi kā stumbra taisnums, arī zaru resnums novērtēts 2 atšķirīgās skalās – vecākajos eksperimentos 3 ballu un 14-17 gadīgajos – 9 ballu skalā. Iedzimstamības koeficienti ir attiecīgi 0.13 un 0.28, kas liecina par plašas novērtējuma skalas izmantošanas nepieciešamību raksturojot zaru resnumu. Rezultāti no 14-17 gadus vecajiem eksperimentiem ir līdzīgi kā priedes iedzimtības pārbaužu stādījumos Somijā konstatētie: zaru resnumam ballēs $h^2=0.26$, uzmērītam zaru diametram $h^2=0.24$ (Haapanen et al., 1997). Zaru resnuma novērtējuma ballēs, salīdzinot ar uzmērītu zara diametru, konstatēts augstāks iedzimstamības koeficients ($h^2=0.27$) arī *Pinus radiata* eksperimentā (Wu et al., 2007). Iespējamais izskaidrojums: zaru resnums ballēs tiek novērtēts balstoties kopējo iespaidu par koka zaru resnumu dažādās stumbra daļās, turpretī diametrs tiek uzmērīts tikai atsevišķiem zariem stumbra lejas daļā (līdz 2 m augstumam), tātad atspoguļo noteiktu koka attīstības periodu. Tanī pat laikā Moberg (1999) konstatējis, ka stumbra lejas daļās (tātad vērtīgākā sortimenta ieguves zonā) zaru caurmēra maksimums parastajai priedei ir ap 2 m augstumā. Ņemot vērā, ka novērtēšanas vecumā kokiem līdz 2 m augstumam zari visos eksperimentos jau nokaltuši, tādēļ konstatētais resnākā zara caurmērs ir faktiski maksimālais, kas var ietekmēt koka resgaļa kvalitāti, šī pazīme var tikt izmantota kā kvalitātes indikators augstvērtīgāko ģimeņu un koku atlasei.

Resnākā zara līdz 2 m augstumam iedzimstamības koeficienta vērtības analizētajos eksperimentos līdzīgas kā koku caurmēram. Analizējot zaru diametrus vienā mieturī (tuvākajā

1.3 m augstumam) konstatēts, ka līdzīgas iedzimstamības koeficienta vērtības ir 2 resnāko zaru diametriem, 3 resnāko zaru vidējam diametram un visu zaru vidējam diametram. Zemāka iedzimstamības koeficienta vērtība ir 3. resnākā zara diametram, kas liecina, ka šis rādītājs nav tik piemērots koku kvalitātes ģenētiski noteikto atšķirību raksturošanai. Resnākā zara diametra iedzimstamības koeficienta vērtības eksperimentos Latvijā līdzīgas kā stādījumos Polijā konstatētās: 0.09 – 0.15 (Kowalczyk, 2005), taču nedaudz zemākas nekā fiksēts eksperimentos Somijā: 0.21 – 0.24 (Haapanen et al., 1997, Haapanen, Pöykkö, 1993). Liela skaitu eksperimenta vidējā zara diametra iedzimstamības koeficienta vērtība ir 0.24 (Cornelius, 1994). Turcija un Kellomäki (1987) analizējot 17-26 gadus vecas priežu audzes norāda, ka lielāko daļu (54%) resnākā zara diametra atšķirību izskaidro atšķirīga augsnes auglība, mazāk (20%) atšķirības audzes biežībā. Bez tam konstatēts, ka viena nogabala robežās sastopama ievērojama augsnes auglības variācija. Ja eksperimentā izmantots neliels atkārtojumu skaits, varbūtība, ka visa ģimenes tiks pārstāvētas visos atšķirīgajos augsnes apstākļos ir zema, tādēļ arī atsevišķos eksperimentos konstatētas zemas resnākā zara diametra iedzimstamības koeficienta vērtības.

Zaru diametra/stumbra diametra attiecībai vienā no eksperimentu grupām iedzimstamības koeficients zemāks un otrā nedaudz augstāks nekā resnākajam zaram. Šī attiecība ir svarīgs koku kvalitātes rādītājs – tievāki zari resnākam stumbam nozīmē, ka dabiskā atzarošanās notiks īsākā laika periodā, un, ņemot vērā augstāku radiālo pieaugumu, arī zara rēta apaugšs īsākā laika posmā. Tātad veidosies biežāks bezzaru koksnes slānis un garāka bezzaru daļa.

Viens no potenciālās bezzaru daļas garuma cērtamā vecumā indikatoriem 14-34 gadus vecās audzēs ir pirmā zaļā zara augstums. Jo jaunākam kokam zars nokalst, jo vairāk laika dabiskās atzarošanās procesam – tātad augstāka varbūtība, ka cērtamā vecumā šī zara rēta jau būs apaugusi. Reizē ar to var pieņemt, ka garāka sauso zaru zona jaunaudzes vecumā paaugstina varbūtību iegūt koku ar garu bezzaru zonu cērtamā vecumā. Gan absolūto, gan relatīvo koku zaļā vainaga garumu ietekmē audzes biežība (Petersson, 1997, Valinger et al., 2000, Ulvcróna et al., 2007). Taču konstatēts, ka pirmā zaļā zara augstuma iedzimstamības koeficients valdaudzēs kokiem 27-33 gadu vecās audzēs nedaudz pārsniedz caurmēra iedzimstamības koeficientu, kas norāda uz ievērojamu selekcijas darba potenciālo efektu šīs pazīmes uzlabošanā. Zems iedzimstamības koeficients konstatēts zaļā vainaga relatīvajam garumam, ko var izskaidrot ar nepieciešamību pēc noteiktas fotosintezējošās virsmas augšanas procesa nodrošināšanai.

Priedes zarojumu raksturo arī zaru skaits mieturī. Šīs pazīmes iedzimstamības koeficienta vērtība jaunākajos (14-17 gadīgajos) eksperimentos ir līdzīga, ka literatūrā aprakstītā: parastajai priedei $h^2=0.18$ (Velling, Tigerstedt, 1984), $h^2=0.21$ (Haapanen et al., 1997), $h^2=0.24$ (Pöykkö, 1982), duglāzijai $h^2=0.19$ (King et al., 1992), *Pinus palustris* $h^2=0.21$ (Snyder, Namkoog, 1978). Taču vecākajos eksperimentos zaru skaita mieturī iedzimstamības koeficienta vērtības ir vidēji 2 reizes zemākas. To var izskaidrot, uztverot zaru skaitu mieturī kā kompleksu pazīmi, kuru ietekmē vairākas citas:

- 1) zaru diametrs – resnākiem zariem ir garāks dzīves laiks un tie ilgāk saglabājas pie stumbra (Kellomäki, 1983);
- 2) stumbra radiālais pieaugums – ja radiālais pieaugums ir lielāks, straujāk aizaug nokritušo zaru rētas (Mäkinen, 1999b);
- 3) zaru diametra/stumbra diametra attiecība – resnākiem kokiem ar tievākiem zariem zari nokalst un atdalīsies no stumbra īsākā laika posmā, kā arī to rētas ātrāk apaugs.

Vērtējot empīriskos rezultātus: vidējais zaru skaits 1.3 m augstumam tuvākajā mieturī 14-17 gadus vecos stādījumos ir 7.2 un 27-33 gadus vecos 6.1, kontekstā ar citu autoru pētījumu datiem (Mäkinen, 1996, Mäkinen, Colin, 1999, Ulvcróna et al., 2007) var secināt, ka šī pazīme 27-33 gadus vecās priežu audzēs uzskatāms par zaru atmiršanas procesa indikatoru. Ja nepieciešama koku ar mazāku zaru skaitu mieturī atlase, to nepieciešams veikt jaunākos stādījumos.

Jaunākos stādījumos, kur konkurence starp priedēm nav izteikta un nav nepieciešamības analīzei izmantot tikai valdaudzēs kokus, iespējas daudz precīzāk noteikt arī iedzīstamības koeficienta vērtību stabilitātes koeficientam (h/d attiecībai). Aprēķinos izmantojot tikai valdaudzēs kokus, šis rādītājs ir ievērojami zemāks nekā iegūts pētījumos Somijā, kur $h^2 = 0.26$ (Velling, Tigerstedt, 1984, Haapanen, Pöykkö, 1993).

Aditīvās ģenētiskās mainības variācijas koeficients (cv_a), kas determinē selekcijas darba potenciālu veikt pazīmes vērtības izmaiņas, koku caurmēram ir nedaudz augstāks nekā koku augstumam (vidēji attiecīgi 10.1% un 8%), taču lielākais tas ir stumbra tilpumam (vidēji 23.2%). Šī koeficienta vērtības augstumam parastās priedes stādījumos Zviedrijā svārstās no 5.5% (Jansson et al., 2003) līdz 7% (Jansson et al., 1998) un Somijā ir 7.7% (Haapanen, Pöykkö, 1993), kas ir līdzīgas kā Latvijas eksperimentos konstatētās. Arī koku caurmēra cv_a vērtības priedei (12.1%) un eglei (9.3-11.1%) Zviedrijā (Jansson et al., 1998, Karlsson et al., 2002) līdzīgas kā Latvijā. Līdzīgi augstākās cv_a vērtības (25.7%) konstatētas priežu stumbra tilpumam 23 gadu vecumā (Jansson et al., 1998).

Aditīvās ģenētiskās mainības variācijas koeficients pirmā zaļā zara augstumam ir tāds pat kā koku augstumam, kas liecina par ievērojamu selekcijas darba potenciālu garākas bezzaru daļas zonas iegūšanā. Par to liecina arī augstās cv_a vērtības zaru resnumu raksturojošajiem parametriem – divu resnāko zaru diametriem, vidējam 3 resnāko zaru diametram, kā arī resnāka zara diametra/stumbra caurmēra attiecībai un zaru diametru summai, kas ir vienādas vai lielākas par koku augstuma un caurmēra cv_a vērtībām. Tendence saskan ar literatūrā atrodamajiem datiem: aditīvās ģenētiskās mainības variācijas koeficients (vērtējot 7.-11. mieturi) zaru resnumam 6,3-7,6% (Velling, 1982); jaunākā (8 g) eksperimentā rezultāti ir augstāki: zaru resnumam $cv_a=18.2\%$, zaru diametra/stumbra caurmēra attiecībai $cv_a=14.9\%$ (Haapanen, Pöykkö, 1993). Vecākos eksperimentos cv_a novērtēšana zarojumam stumbra lejas daļā ir mazāk precīza – tas saistīts ar dažādu faktoru ietekmi uz zaru nokalšanas, atdalīšanās no stumbra un zaru rētu aizaugšanas procesiem. Šo procesu atšķirības dažādu konkurences un augsnes faktoru dēļ visnozīmīgāk ietekmē zaru skaitu mieturī, kura cv_a ir zemāks nekā zaru resnumu raksturojošām pazīmēm gan Latvijas priežu eksperimentos, gan stādījumos Somijā: $cv_a=6.6-10.4\%$, (Velling, 1982).

Pazīmēm ar zemu iedzīstamības koeficienta vērtību, kā, piemēram, zaļā vainaga relatīvajam garumam un stabilitātes koeficientam, konstatētas arī zems cv_a .

Produktivitāti raksturojošajām pazīmēm fenotipiskās variācijas koeficients pārsniedz cv_a vidēji 2 reizes, kvalitāti raksturojošajām – 2.8 reizes. Mazākās atšķirības starp cv_{pi} un cv_a vērtībām no kvalitāti raksturojošajām pazīmēm konstatētas resnākā zara diametra/stumbra caurmēra attiecībai un pirmā zaļā zara augstumam. Tas liecina, ka šīs pazīmes mazāk ietekmē variējošie vides apstākļi un ir augstāka iespēja ar selekcijas metodēm izmainīt šo pazīmju vērtību.

Produktivitāti un it īpaši kvalitāti raksturojošo pazīmju vērtības ir saistītas ar savstarpējo konkurenci, ko var raksturot ar saglabāšanos. Koku skaitu ģimenēm 21 – 36 gadu vecumā var raksturot ar 2 atsevišķu procesu ietekmes summu:

- 1) ieaugšanās – saglabāšanās līdz 4-6 gadu vecumam, kad sāk saslēgties vainagi un sākas arī sakņu konkurence (Bērziņš, 1974). Šis periods parasti raksturīgs ar straujāko koku skaita samazinājumu. Konstatēts, ka dažādu priežu provenienču ranžējums pēc saglabāšanās 6 gadu vecumā cieši korelē ar ranžējumu 28 gadu vecumā (Jansons, Baumanis, 2005);
- 2) saglabāšanās – pēc 4-6 gadu vecuma, kad koku atmiršanu nekoptās audzēs sāk ietekmēt arī to savstarpējā konkurence.

Ieaugšanos nozīmīgi ietekmē tādi ar selekcijas darbu nesaistīti faktori kā stādu un augsnes sagatavošana kvalitāte, stādīšanas laiks un kvalitāte, agrotehniskās kopšanas kvalitāte, klimatiskie apstākļi, īpaši pirmajā veģetācijas periodā. Šo procesu, neapšaubāmi, ietekmē arī ģenētiski noteiktas īpašības:

- 1) sausuma izturība – veicot eksperimentus kontrolētos apstākļos ar parastās priedes sējeņiem konstatētā būtiska izcelsmes vietas (proveniences) ietekme uz kopējo biomasu un sakņu masas daļu tajā, kā arī ūdens izmantošanas efektivitāti. Ūdens izmantošanas efektivitāte cieši korelē ar vidējo nokrišņu daudzumu priežu izcelsmes vietā (Cregg, Zhang, 2001);
- 2) rezistence pret slimībām – Latvijas parastās priedes ģimenes uzrāda atšķirīgu skujbires (*Lophodermium seditiosum*) infekcijas pakāpi (Baumanis, 1975), skujbire minēta kā viens no cēloņiem ievesto priežu provenienču zemajiem ieaugšanās rādītājiem Latvijā (Бауманис, и др., 1982). Atšķirīga priežu provenienču noturība pret šo slimību konstatēta arī ģeogrāfiskajās kultūrās citās valstīs (Stephan, 1991);
- 3) rezistence pret kukaiņiem – novērota atšķirīga dažādu provenienču noturība pret atsevišķām kaitēkļu sugām, taču bieži vien provenience, kas izturīga pret vienu sugu, ir uzņēmīga pret citu (Stephan, 1991, Manninen et al., 1998). Pētījumos ar *Pinus pinaster* un *Pinus radiata* konstatēts, ka atsevišķas ģimenes biežāk nekā citas bojā Priežu lielais smecernieks (*Hylobius abietis* L.) Par selekcijas iespējām rezistences paaugstināšanā liecina iedzīstamības koeficienta vērtības $h^2=0.2$, $h^2_f=0.8$ (Zas et al., 2005, Zas et al., 2008);
- 4) rezistence pret pārnadžu bojājumiem – Latvijā konstatētas atšķirības aļņu bojājumu intensitātē dažādām priedes brīvapputes pēcnācēju ģimenēm (Бауманис, Озолс, 1976), kas saskan ar rezultātiem citās valstīs (Stephan, 1991). Tāpat ģeogrāfiskajās kultūrās Somijā konstatētas būtiskas atšķirības aļņu bojājumu pakāpē dažādām bērzu proveniencēm (Viherä-Aarnio, Heikkilä, 2006).

Iespējams atlasīt priedes ar augstāku noturību pret uzskaitītajiem nelabvēlīgajiem faktoriem. Taču tās ne vienmēr ir arī ātraudzīgākās (kvalitatīvākās): piemēram, sausuma izturīgo provenienču priežu sējeņi ir ar mazāko virszemes daļas pieaugumu (Cregg, Zhang, 2001). Lai nodrošinātu vienlaicīgu rezistences un produktivitātes uzlabojumu, nepieciešams paaugstināt atlasē intensitāti (reizē ar to arī izmaksas). Jāņem vērā nelabvēlīgo faktoru mijiedarbība: piemēram, sausuma ietekmē var samazināties rezistence pret kaitēkļiem vai slimībām (Rebetez, Dobbertin, 2004).

Ieaugšanās rādītāja paaugstināšana ar selekcijas metodēm ir dārgs un ilgstošs process, tādēļ svarīgi vispirms izvērtēt tā lietderību. Alternatīva lielākajā daļā gadījumu (izņemot sausuma izturību) ir kādu preparātu lietošana slimību apkarošanai vai kaitēkļu atbaidīšanai. Turklāt aizvien plašāk tiek izmantoti nevis mākslīgi savienojumi, bet bioloģiski aktīvas vielas: piemēram liepu mizas komponenti preparātā pret *Hylobius abietis* (Månsson et al., 2005). Nav iespējams uzlabot rezistenci vienlaikus pret visiem nelabvēlīgajiem faktoriem, tādēļ svarīgi izvēlēties pašus nozīmīgākos. Tāpat nozīmīgi atklāt, kas tieši ir rezistences pamatā un atlasīt tieši pēc šīs pazīmes: piemēram, konstatēts, ka mirstība no *Hylobius abietis* bojājumiem zemākā ir kokiem ar lielāko sveķa koncentrāciju mizā, kas efektīvi samazina kukaiņa kodumu dziļumu un tādejādi vairākumā gadījumu pasargā no bojājumiem kambiju (Wainhouse et al., 2005). Tāpat rezistence var būt saistīta ar kādu bioloģiski aktīvo lielu koncentrāciju sveķos vai skujās. Veicot selekcijas darbu, lai paaugstinātu rezistenci pret kukaiņu un pārnadžu bojājumiem, svarīgi atcerēties, ka zema bojājumu pakāpe kādai no ģimenēm ir tikai salīdzinoši ar pārējām. Tātad, ja platībā būs izstādīta tikai šī rezistentā ģimene un nebūs pieejami citi barošanās objekti, arī tās koki tiks bojāti. Šo problēmu gan lielā mērā atrisina papildus dabiskā atjaunošanās (vai saglabāta paauga) apstādāmajā platībā: piemēram, *Hylobius abietis* ar priedi apstādītā izcirtumā var baroties pat ar dabiski atjaunojušos bērzu (Toivonen, Viiri, 2006).

Var secināt, ka ieaugšanos nosaka daudzu faktoru komplekss, no kuriem tikai daļu iespējams ietekmēt ar selekcijas metodēm. Analizējot iedzīstības pārbaužu stādījumu ne vienmēr iespējams noteikt zemas saglabāšanās cēloni, turklāt tas var būt atšķirīgs dažādām pēcnācēju ģimenēm. Bez tam zemu ieaugšanos var izraisīt arī ekstrēmi klimatiskie apstākļi

(piemēram, ļoti lietaina vasara), kuru atkārtosšanās ir reta. Tas nozīmē, ka vērtējot iedzimtības pārbažu stādījumus vietējām (dotā reģiona) priedēm, kuras ir evolūcijas procesā pielāgojušās konkrētajiem klimatiskajiem apstākļiem (Eriksson, 1998, Giertych, 1991) un kaitēkļu, slimību fonam (Stephan, 1991) nav pamata ieaugšanos izmantot kā kritēriju ģimeņu atlasē. Taču, ja selekcija tiek atzīta par efektīvāko un/vai lētāko metodi kāda ieaugšanos nosakoša faktora (piemēram, sausuma) ietekmes mazināšanai, rezistenci pret konkrētā faktora ietekmi var vērtēt gan pēcnācēju pārbažu stādījumos (ja to ieaugšanos galvenokārt noteicis dotais faktors), gan eksperimentos kontrolētos apstākļos. Tādā gadījumā iegūtie dati ir izmantojami ģimeņu atlasē. Kā vienā, tā otrā gadījumā svarīgi ir veikt saglabājušos koku uzskaiti pēc 1., 2. un 3. veģetācijas sezonas – datus var izmantot ne tikai noteiktu klimatisko vai citu faktoru ietekmes vērtēšanai, bet arī skaidrojot citu koku parametru attīstību atšķirīgos konkurences apstākļos un uzlabojot atšķirību starp ģimenēm novērtējuma precizitāti.

Secinājumus par nepieciešamību izmantot koku saglabāšanos 21-36 gadu vecumā kā kritēriju ģimeņu atlasē var izdarīt tikai iepriekš novērtējot, cik lielā mērā ieaugšanās ir saistīta ar koku parametriem un audzes biežumu turpmākā tās attīstības gaitā.

Analizējot eksperimentus Nr. 34 (damaksnī) un 234 (silā) konstatēts, ka saglabājušos koku skaits 34 gadu vecumā (32 gadus pēc iestādīšanas eksperimentā ar sākotnējo biežumu 5000 koki ha⁻¹) ir lielāks grupās ar augstāku audzes biežumu 6 gadu vecumā. Korelācija starp tās pašas ģimenes koku skaitu 6 un 34 gadu vecumā ir cieša silā ($r=0.78$, $\alpha =0.01$), taču ne damaksnī ($r=0.21$). Zemo korelāciju damaksnī var izskaidrot ar asāku koku savstarpējo konkurenci: atsevišķu ģimeņu biežums 6 gadu vecumā silā ir robežās no 2000 līdz 4400 kokiem ha⁻¹, 34 gadu vecumā no 900 līdz 3400 kokiem ha⁻¹, damaksnī attiecīgi 2900 – 4600 koki ha⁻¹ un 400 – 2400 koki ha⁻¹.

Augstākais valdaudzes koku vidējais caurmērs un augstums 34 gadu vecumā ir grupā ar augstāko audzes biežumu 6 gadu vecumā. Starpības starp grupām ar atšķirīgu biežumu 6 gadu vecumā silā koku caurmēram 15% (2.1 cm), augstumam 14% (2.1 m); damaksnī attiecīgi 12% (2.2 cm) un 4% (1.1 m). Valdaudzes koku resnākā zara līdz 2 m augstumam diametrs, kas šajā gadījumā raksturo kvalitāti, svārstās robežās no -12% līdz +8% silā un no -3% līdz +3% damaksnī. Absolūtos skaitļos atšķirības starp jaunilā biežuma grupu vidējām vērtībām ir tikai attiecīgi 2 un 1 mm. Stumbra taisnuma un zaru resnuma novērtējums ballēs 34 gadu vecumā nav saistīts ar audzes biežumu 6 gadu vecumā. Veicot dispersijas analīzi konstatēts, ka priedes stādījuma biežuma variēšana 6 gadu vecumā no 2300 līdz 4400 kokiem ha⁻¹ neatstāj statistiski būtisku ietekmi uz valdaudzes koku caurmēru, augstumu (izņemot silu ar ticamības līmeni $\alpha=0.05$), un resnākā zara diametru. Tātad cēloņi valdaudzes koku atšķirīgajiem parametriem viena meža augšanas apstākļu tipa ietvaros meklējami citu faktoru (piemēram, atšķirīgā genotipa) ietekmē. Jāņem vērā, ka saskaņā ar metodiku katrā no atlasītajām grupām ar līdzīgu jaunilo audzes biežumu ietilpst atšķirīgas brīvapputes pēcnācēju ģimenes. Tātad genotips varēja ietekmēt konkrētās koku kopas ieskaitīšanu vienā vai citā jaunilā audzes biežuma grupā. Šis apstāklis vismaz daļēji var izskaidrot atšķirības ar rezultātiem citos pētījumos: piemēram, Jokinen un Kellomäki (1982) analizējot 12-16 gadus vecus parastās priedes stādījumus Somijā konstatējuši krasu resnākā zara diametra samazināšanos sākotnējo audzes biežumu palielinot no 300 līdz 2000 kokiem ha⁻¹. Tāpat Turkia un Kellomäki (1987) 17-26 gadus vecos priežu stādījumos konstatē resnāka zara diametra krasu pazemināšanos audzes biežumu palielinot no 1000 līdz 2000 kokiem ha⁻¹ un Agestam et al. (1998) 33-42 gadus vecās audzēs – resnākā zara līdz 2 m augstumam diametra palielināšanos mainot stādīšanas attālumu robežās no 1.25 x 1.25 m līdz 1.75 x 1.75 m. Persson (1994) balsoties uz eksperimentu rezultātiem un literatūras datiem konstatējis, ka izmaiņas sākotnējā audzes biežumā ietekmē tās parametru (vidējā augstuma, caurmēra, zara caurmēra) vērtības, taču stādām materiāla genotipiskās atšķirības modificē ietekmes apmēru.

Līdzīgi kā stādīšanas attālums, resnākā zara diametru un stumbra caurmēru ietekmē arī agro kopšanas ciršu veikšanas laiks un intensitāte; šo mežsaimniecisko pasākumu ietekme uz koku augstumu ir ievērojami mazāka (Fahlvik, 2005). Mäkinen (1999a,b) secina, ka palielinot

audzes biežumu, samazinot agrās kopšanas cirtes intensitāti vai atliekot tās izpildi iespējams izmainīt gan stumbra lejas daļas zaru statusu (dzīvs vai nokaltis) noteiktā koka vecumā, gan zaru diametru, taču vienlaikus tiek samazināts audzes vidējais caurmērs. Būtisku ($\alpha=0.01$) stādīšanas attāluma ietekmi uz koku caurmēru, bet ne uz augstumu, konstatējuši arī Burkes et al. (2003) *Pinus taeda* un *Pinus elliottii* audzēs. Mangalis (2004) salīdzinot priežu kultūrās ar sākotnējo biežumu 3000–10000 koki ha⁻¹ norāda, ka koku vidējais augstums 36 gadu vecumā ir lielāks biežās kultūrās, taču tikai par 1.2 m, savukārt retās kultūrās ir par 3.5 cm lielāks caurmērs. Samazinoties koku caurmēram krītas arī ieņēmumi no pirmajām krājas kopšanas cirtēm (Fahlvik, 2005), kā arī tiek pagarināts laiks līdz audzes mērķa caurmēra sasniegšanai (Mäkinen et al., 2005).

Var secināt, ka ieaugšanās sekmes, vismaz tipos uz nabadzīgām augsnēm, ir cieši saistītas ar saglabājušo koku skaitu pa ģimenēm 21 – 36 gadu vecumā. Tās var ietekmēt arī ģimeņu vidējās vērtības produktivitāti un kvalitāti raksturojošajiem parametriem (stumbra caurmēram, augstumam, resnākā zara diametram). Saistību starp ieaugšanos un vēlāko koku skaitu ģimenēm var ietekmēt abiotiskie faktori (piemēram, notiekot vējlauzei), kā arī biotiskie faktori: nozīmīgākie no tiem meža maijvaboļu (*Melolontha hippocastani* F.) un priežu rūsganās zāglapsenes (*Neodiprion sertifera* Goeffr.) kāpuru un sakņu trupes (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) bojājumi. Analizējot priedes gēnu ekspresiju saskarē ar sakņu trupi konstatēti vairāki gēni, kuri potenciāli nosaka augstāku priedes rezistenci pret infekciju (Asiegbu et al. 2003, 2005). Tātad trupes inficētajos eksperimentos varētu būt iespējams konstatēt rezistentās ģimenes un to izmantot kā vienu no atlases kritērijiem. Taču koku inficēšanās risks ar sakņu trupi ir atšķirīgs dažādās eksperimenta vietās, jo slimība izplatās saskaroties saknēm. Izmantojot ģeogrāfisko izplatību aprakstošas metodes (Zas et al., 2007) var novērtēt, vai kāds koks nav inficēts tādēļ, ka ir pārāk tālu no infekcijas avota (visbiežāk iepriekšējās paaudzes trupējušas priedes celma) vai tādēļ, ka ir pret infekciju izturīgs. Diemžēl metodes nav pielietojamas ģimeņu rezistences salīdzināšanai šajā darbā analizētajos eksperimentos, kuros izmantotas lielas bloku parces nelielā atkārtojumu skaitā. Saistību starp ieaugšanos un vēlāko koku skaitu ģimenē, īpaši eksperimentos uz auglīgām augsnēm, noteikti mazinās arī koku savstarpējā konkurences ietekme. No minētajiem faktoriem šī darba ietvaros analizētajos iedzimtības pārbaužu stādījumos konstatēta tikai sakņu trupes ietekme (9 no 22 eksperimentiem, no tiem tikai 2 stādījumos lielā apjomā), kā arī koku savstarpējās konkurences ietekme: 3. un 4. Krafta klases koki 14 – 17 gadus vecajos eksperimentos ir vidēji 7%, vecākajos eksperimentos, kuros nav veikta kopšana – vidēji 21%.

Var secināt, ka analizētajos eksperimentos saistība starp koku ieaugšanos (ko nosaka nezināmu faktoru kopums un kas lielākajā daļā gadījumu nav dokumentēta) un vēlāko koku skaitu (saglabāšanos) vairākumā gadījumu ir cieša. Pēc Dempster, Lerner (1950) un Roff (2001) izstrādātās metodikas aprēķinātās koku saglabāšanās iedzimtāmības koeficienta vērtība ir augsta: vidēji no eksperimentiem Nr. 30, 32, 37, 39, 41, 235, 1111 un 1218 $h^2=0.24$ (standartklūda 0.04). Tomēr koku skaita samazināšanās cēloņi nav zināmi, tādēļ saglabāšanos nevar izmanto kā kritēriju atsevišķi ģimeņu diskreditēšanai un kā atlases kritēriju nepieciešams izvēlēties ar koku skaitu iespējami maz saistītus parametrus.

Produktivitāti un kvalitāti raksturojošo parametru saistību ar saglabāšanos raksturo ģimeņu vidējo vērtību korelācijas, kas apkopotas 8.2. tabulā. Konstatēts, ka krāja cieši saistīta ar koku skaitu (determinācijas koeficients $r^2=0.73$) un samērā cieši ar koku vidējo augstumu ($r^2=0.27$), bet vāji – ar caurmēru un tilpumu ($r^2=0.1$). Tātad analizētajos eksperimentos ar nelielu koku skaitu daži papildus koki ģimenei nodrošina nozīmīgu krājas pārkumu. Tas nozīmē, ka kopējā krāja nav izmantojama kā atlases kritērijs. Valdaudzes koku krāja ar koku skaitu (saglabāšanos) saistīta ļoti vāji ($r^2=0.16$) un tās saistība ar koku vidējo augstumu, caurmēru un tilpumu arī ir zema (r^2 attiecīgi 0.22, 0.14 un 0.19), taču saistība ar valdaudzes koku vidējiem parametriem cieša (r^2 attiecīgi 0.52, 0.96 un 0.98). Tāpat ģimenes vidējais valdaudzes koku augstums maz saistīts ar koku skaitu ($r^2=0.14-0.24$), taču cieši ar vidējo visu koku augstumu ($r^2=0.87$).

Analizējot parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumus Ziemeļzviedrijā Olsson un Ericsson (2002) konstatējuši korelācijas starp saglabājušos koku skaitu un augstumu robežās no 0.03 līdz 0.65, kas vidēji ir augstākas 3.3. tabulā atspoguļotā. Taču jāņem vērā, ka Ziemeļzviedrijā viens no galvenajiem koku iznīkšanas cēloņiem ir klimata apstākļi. Augšanas ritma piemērotība vietējiem apstākļiem, respektīvi, neapsalšana ne pavasara, ne rudens salnās, nosaka gan attiecīgās ģimenes koku augstumu, gan saglabāšanos. Turpretī Latvijā nav tādu apstākļu, kas veicinātu tik ciešu saikni starp koku augšanu un saglabāšanos.

Ģimenes vidējo vērtību līmenī valdaudzes koku augstumam ir ievērojami zemāka korelācija ar zaru diametru nekā caurmēram vai kopējai krājai, taču līdzīga kā valdaudzes krājai. Veicot detālu analīzi (8.2. tabula) redzams, ka valdaudzes koku augstuma saistība (pozitīvā korelācija) ar zaru resnumu raksturojošajām pazīmēm ir ievērojami (vidēji 2.8 reizes) vājāka nekā valdaudzes koku krājai, caurmēram vai vidējam stumbra tilpumam. Bez tam valdaudzes koku augstumam ir arī nedaudz ciešāka negatīvā korelācija ar zaru diametra/stumbra caurmēra attiecību un nozīmīgi (8 reizes) ciešāka pozitīvā korelācija ar pirmā zaļā zara augstumu nekā citām produktivitāti raksturojošajām pazīmēm. Savukārt pozitīvā korelācija ar zaļā vainaga procentuālo garumu no kopējā stumbra garuma un negatīvā korelācija ar augstuma/caurmēra attiecību valdaudzes koku stumbra tilpumam, caurmēram un krājai ir vidēji attiecīgi 3.6 un 8 reizes augstāka nekā augstumam. Korelācija ar zaru skaitu mieturī ir zema visām produktivitāti raksturojošajām pazīmēm.

Konstatētās relatīvi zemās korelācija starp ātraudzību (ja to raksturo ar koku augstumu) un kvalitāti saskan ar pētījumu rezultātiem Zviedrijā (Persson, 1994, Persson et al., 1995). Līdzīgi Velling (1982) norāda uz pozitīvu, statistiski būtisku korelāciju starp atsevišķi ģimeņu koku vidējo caurmēru un zaru diametru, kā arī statistiski nebūtisku korelāciju starp caurmēru un zaru skaitu mieturī. Apstiprinājusies Kohlstock, Schneck (1994) priedes provenienču pārbaužu stādījumos konstatētā sakarība, ka ātrāk augošajiem kokiem parasti raksturīgi resnāki zari, taču relatīvais zara diametrs (zara diametra/stumbra caurmēra attiecība) var būt pat mazāks nekā lēnāk augošajiem.

8.2. tabula

Ģimeņu vidējo vērtību korelācijas koeficienti 27-33 gadus vecos parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumos

Eksperimenti Nr.	Pazīme	h	tilp_sum	d	tilp
28, 30, 31, 32	tilp_sum	0.72			
	d	0.62	0.98		
	tilp	0.72	0.99	0.98	
	hzz	0.68	0.16	0.04	0.16
	z1	0.25	0.59	0.64	0.59
	z2	0.23	0.57	0.60	0.57
	z3	0.15	0.48	0.52	0.48
	zdvid	0.18	0.49	0.54	0.49
	zdtop	0.21	0.56	0.60	0.56
	zdsun	0.19	0.51	0.54	0.51
	zdprocx	-0.25	-0.15	-0.12	-0.15
	zdprocm	-0.35	-0.30	-0.27	-0.30
	zn	0.09	0.12	0.10	0.12
	zv	0.13	0.43	0.49	0.43
	hd	-0.09	-0.68	-0.78	-0.68

Pazīmju apzīmējumi 1. tabulā pielikumā.

Slīprakstā iezīmētās korelācijas būtiskas $\alpha=0.05$ līmenī; trekprakstā – būtiskas $\alpha=0.01$ līmenī

Ja selekcijas mērķis ir gan produktivitātes, gan kvalitātes uzlabošana, tad kā atlasē kritēriju ieteicams izvēlēties valdaudzes koku augstumu, kam ir raksturīga no selekcijas viedokļa pozitīva korelācija ar zaru resnumu un dabiskās atzarošanās intensitāti raksturojošajām pazīmēm. Koksnes daudzuma atšķirību raksturošanai starp ģimenēm rekomendējams izmantot nevis kopējo, bet valdaudzes koku krāju, kas mazāk saistīta ar saglabājušos koku skaitu. Tas ir saskaņā arī ar literatūrā pausto viedokli, ka ģenētisko vienību (populāciju, ģimeņu) atšķirību raksturošanai, īpaši vecākos stādījumos, izmantojami tikai valdaudzes koki, jo starpaudzes kokus nozīmīgi ietekmējusi konkurence, „maskējot” ģenētisko faktoru ietekmi (Abraitis, Eriksson, 1998).

Ģimeņu vidējo vērtību korelācija starp koku skaitu un augstumu, kā arī koku skaitu un pirmā zaļā zara augstuma (attiecīgi $r^2=0.14$ un $r^2=0.21$) varētu būt skaidrojama ar aso konkurenci starp ģimenēm, kā rezultātā sākotnēji augšanā atpalikušo ģimeņu koki relatīvi biežāk nonākuši starpaudzē. Citu produktivitāti vai kvalitāti (tai skaitā zaru diametru) raksturojošo kritēriju korelācija ar koku skaitu ģimeņu vidējo vērtību līmenī nav konstatēta ($r^2<0.03$).

Konstatēts, ka ģimeņu ranžējums pēc augstuma izmantojot visu koku vai tikai valdaudze koku datus sakrīt daļēji ($r=0.85$). Ranžējums pēc valdaudzes koku vērtībām nozīmīgi atšķiras no summāro rādītāju noteiktā (tātad atlasītās labākās ģimenes var nebūt vienas un tās pašas). Ģimeņu virknējumi pēc parcelu summārajiem rādītājiem savstarpēji cieši korelē (≥ 0.90), tātad nepieciešamības gadījumā summārie rādītāji ir aizstājami. Tāpat augsta korelācija (0.95-0.97) ir starp ranžējumiem pēc koku diametra un stumbra tilpuma. Zemākās korelācijas konstatētas starp ranžējumu pēc summārajiem un visu koku datiem, kas netieši norāda uz jau pieminēto saglabāšanās faktoru ietekmi. Kopumā var secināt, ka atlasē kritērija izvēle nozīmīgi ietekmēs ģimeņu ranžējumu, tātad arī turpmākam selekcijas darbam un sēklu plantācijām atlasīto materiālu.

Precīzāku priekšstatu par atsevišķu pazīmju ģenētisko saistību, tātad atlasē pēc vienas pazīmes ietekmi uz citu pazīmju vērtībām nākamajā paaudzē, sniedz ģenētiskās korelācijas koeficienti (8.3. – 8.5. tabulas). Ņemot vērā ciešo korelāciju ģimeņu ranžējumam pēc caurmēra un stumbra tilpuma, ir pietiekami ģenētisko korelāciju vērtēt tikai vienai no šīm pazīmēm. Izvēlēts koku caurmērs kā tieši uzmērīta (nevis aprēķināta) pazīme.

8.3. tabula

Ģenētiskās korelācijas koeficienti produktivitāti un kvalitāti raksturojošo pazīmju vērtībām parastās priedes iedzīvē pārbaužu stādījumos 27-33 gadu vecumā

Eksperimenti Nr.	Pazīme	h	d	hzz
28, 30, 31, 32, 41	d	0.90 (0.03)		
	hzz	0.94 (0.02)	0.76 (0.07)	
	z1	0.53 (0.27)	0.49 (0.38)	0.37 (0.32)
	z2	0.41 (0.31)	0.85 (0.22)	0.04 (0.23)
	z3	0.33 (0.42)	0.79 (0.05)	-0.26 (0.17)
	zdvid	0.53 (0.28)	0.94 (0.15)	-0.12 (0.26)
	zdtop	0.48 (0.29)	0.90 (0.17)	0.13 (0.34)
	zdsun	0.47 (0.32)	0.30 (0.35)	-0.37 (0.16)
	zdprocx	-0.63 (0.05)	0.17 (0.43)	-0.72 (0.20)
	zdprocm	-0.67 (0.10)	-0.37 (0.33)	0.42 (0.60)
	zn	0.14 (0.45)	-0.16 (0.02)	0.01 (0.35)
	zv	-0.39 (0.44)	0.20 (0.16)	-0.74 (0.34)
	hd	0.11 (0.32)	-0.25 (0.65)	0.36 (0.46)

Iekavās standartkļūda; pazīmju apzīmējumi 1. tabulā pielikumā.

Koku augstuma relatīvi (salīdzinot ar caurmēru) zemā ģenētiskā korelācija ar zaru diametru raksturojošajām pazīmēm ir saskaņā ar pētījumu rezultātiem Somijā (Velling, Tigerstedt, 1984, Haapanen, Pöykkö, 1993, Haapanen et al, 1997), kuros vērtēts resnākā zara līdz 2 m augstumam diametrs 8-24 gadus vecos iedzimtības pārbaužu stādījumos. Citos klimatiskajos apstākļos – Ziemeļzvidrijā – analizējot 34 gadus vecu priedes iedzimtības pārbaužu stādījumu Eriksson et al. (1987) konstatējuši, ka resnākā zara diametrs stumbra sekcijā no 1 līdz 2 m augstumā ir ciešāk saistīts ar koku augstumu nekā caurmēru. Tanī pat laikā vērtējot 61 parastās priedes audzi vecumā no 35 līdz 90 gadiem Somijā konstatēts, ka fenotipiskā korelācija starp koku augstumu un resnākā zara līdz 2 m augstumam diametru ir 0.07, taču starp caurmēru un zara diametru 0.44 (Uusvaara, 1985). Daļēji šo sakarību izskaidro atšķirības zaru mūža ilgumā: koku radiālais pieaugums ir cieši saistīts ar zaru ilgmūžību un koka statusu audzē (Krafta klasi). Tas nozīmē, ka kokiem ar lielāku radiālo pieaugumu (reizē ar to arī caurmēru) zari saglabājas dzīvi un pieaug diametrā ilgāku laiku (Mäkinen, 1999b).

8.4. tabula

Ģenētiskās korelācijas koeficienti produktivitāti un kvalitāti raksturojošo pazīmju vērtībām parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumos 14-17 gadu vecumā

Eksperimenti Nr.	Pazīme	h	d	zb	zd
1217, 1218, 1111, 204A, 204B	d	0.77 (0.06)			
	zb	-0.46 (0.10)	-0.35 (0.17)		
	zd	0.20 (0.03)	0.45 (0.14)	0.77 (0.01)	
	zn*	-0.48 (0.28)	-0.38 (0.44)	-0.06 (0.40)	-0.27 (0.46)

iekavās standartklūda; pazīmju apzīmējumi 1. tabulā pielikumā;

* dati tikai no 1 eksperimenta

Sakarība, ka koku augstumam negatīvā ģenētiskā korelācija ar relatīvo zara diametru (zdprocx un zdprocm) ir ciešāka nekā caurmēram var būt saistīta ar faktu, ka pieaugot koku augstumam intensīvāka paliek arī vanaga apakšējās daļas zaru noēnošana, reizē ar to samazinot zaru diametra pieaugumu un veicinot to ātrāku nokalšanu. Šo pieņēmumu apstiprina dati no kopšanas ciršu eksperimentiem, kur vidējais audzes augstums kopšanas laikā cieši negatīvi korelē ar zaru diametru summas/stumbra diametra attiecību stumbra apakšējā daļā (Ulvcrona et al., 2007). Sakarība, ka ātraudzība negatīvi saistīta ar zara diametra/stumbra caurmēra attiecību apstiprinājusies arī citās valstīs vērtējot gan provenienču (Kohlstock, Schneck, 1994), gan ģimeņu (Haapanen, Pöykkö, 1993) līmenī.

Koku augstuma pozitīvā ģenētiskā korelācija ar vairākumu zaru diametru raksturojošajām pazīmēm (zd, zd2, zd3, zdvid, zdtop) ir gandrīz 2 reizes vājāka nekā caurmēra korelācija ar šīm pazīmēm. Negatīvā ģenētiskā korelācija koku augstumam ar zaru resnuma novērtējumu ballēs un zaru skaitu mieturī 14-17 gadus vecajos stādījumos ir nedaudz ciešāka nekā caurmēram. Tāpat koku augstuma negatīvā ģenētiskā korelācija ar relatīvo zara diametru (zdprocx un zdprocm) ir ciešāka nekā caurmēra korelācija ar šīm pazīmēm.

Stabilitātes koeficients (h/d attiecība) ir ciešāk saistīts ar koku augstumu nekā caurmēru, kas saskan ar rezultātiem citu valstu pētījumos (Velling, Tigerstedt, 1984, Eriksson et al., 1987). Andersson et al. (2006) salīdzina selekcionētus kokus (pluskoku kontrolētās krustošanas pēcnācējus), kur kā atlases kritērijs produktivitātes raksturošanai tiek izmantots koku augstums (Jansson, 2007) un neselekcionētu materiālu (mežaudžu pēcnācējus) Ziemeļzvidrijā. Konstatēts, ka selekcionētie koki ir slaidāki – to stabilitātes koeficients par 5.5% augstāka nekā neselekcionētajiem. Ņemot vērā h/d attiecības zemo iedzimstamības koeficientu un augsto ģenētiskās korelācijas standartklūdu (kas pārsniedz korelācijas vērtību)

analizētajos Latvijas priežu iedzimtības pārbaužu stādījumos, precīzi secinājumi par šīs pazīmes saistību ar produktivitāti raksturojošajām nevar tikt izdarīti.

8.4. tabula

Ģenētiskās korelācijas starp kvalitāti raksturojošo pazīmju vērtībām parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumos 27-33 gada vecumā

Eksperimenti Nr.	Pazīme	z1	z2	z3
28, 30, 31, 32, 41	z2	0.98 (0.01)		
	z3	0.88 (0.01)	0.98 (0.01)	
	zdvid	0.97 (0.02)	0.96 (0.00)	0.91 (0.02)
	zdsun	0.71 (0.13)	0.97 (0.05)	0.95 (0.01)
	zdprocx	0.94 (0.10)	0.89 (0.19)	0.80 (0.20)
	zdprocm	0.64 (0.31)	0.89 (0.17)	0.62 (0.51)
	zn	-0.35 (0.24)	-0.24 (0.34)	0.16 (0.00)

Iekavās standartklūda; pazīmju apzīmējumi 1. tabulā pielikumā.

Ģenētiskā korelācija starp koku augstumu un zaru skaitu 1.3 m augstumam tuvākajā mieturī ir zema un tās standartklūda pārsniedz korelācijas vērtību, tādēļ par saistību starp šīm pazīmēm balsoties uz analizēto datu materiālu secinājumus nevar izdarīt. Līdzīga situācija konstatēta 34 gadus vecā priedes iedzimtības pārbaužu stādījumā Zviedrijā (Eriksson et al., 1987). Jaunākajā (14-17 gadi) eksperimentu grupā konstatēta vidēja, negatīva ģenētiskā korelācija starp zaru skaitu mieturī un koku augstumu, caurmēru. Tas varētu būt saistīts ar jau minēto tendenci, ka straujāk augošiem kokiem vainaga apakšējā daļā zari ātrāk nonāk apēnojumā, atmirst, kā arī zaru vietas aizaug ātrāk. Tanī pat laikā Somijā konstatētā pozitīva ģenētiskā korelācija starp zaru skaitu mieturī un koku augstumu: $r_a=0.26-0.35$, kā arī starp zaru skaitu un koku caurmēru: $r_a=0.31-0.61$ (Haapanen, et al., 1997, Velling, Tigerstedt, 1984). Iespējams, ka lielāks zaru skaits mieturī, nodrošina iespējas augstākas koksnes krājas producēšanai, un, ņemot vērā Somijas eksperimentos izmantotos lielos stādīšanas attālumus, apakšējo koku zaru noēnošana un atmirstāna sākusies vēlāk. Reizē ar to uzmērīšanas laikā produktīvākajām ģimenēm zaru skaits mieturī vēl bija lielāks. Ja atlase pēc koku augstuma un caurmēra ir ar vienādu ietekmi uz zaru skaitu mieturī, priekšroka dodama atlasei pēc augstuma, jo lieli augstuma pieaugumi nodrošina mazāku zaru skaitu uz stumbra metru, kas var būt svarīgi, piemēram, veidojot līmētos materiālus (Jäghagen, 1997).

Pirmā zaļā zara augstums ar koka kopējo augstumu korelē ciešāk nekā ar caurmēru. Tas norāda, ka straujāk (augstumā) augošās ģimenes ir ar garāku sauso zaru zonu jaunaudzēs vecumā. Ņemot vērā, ka:

- 1) stumbra bezzaru daļas garums ir viens no galvenajiem priedes kvalitāti (un vērtību) nosakošajiem parametriem (Sarmulis, 2007);
- 2) nepieciešams ļoti ilgs laiks no zara nokalšanas līdz tā nokrišanai un zara vietas aizaugšanai, turklāt perioda garums ir relatīvi neatkarīgs no audzes biežības (Mäkinen, 1999b, Pietilä, 1989);

ir nozīmīgi jaunaudzēs vecumā iegūt iespējami garu bezzaru vai nokaltušo zaru zonu, tādējādi palielinot varbūtību iegūt garāku bezzaru zonu pieaugušiem kokiem (cērtamā vecumā). Garš zaļais vainags nodrošina lielāku radiālo pieaugumu, reizē ar to ātrāku zaru vietu aizaugšanu (Mäkinen, Colin, 1999), tādēļ priekšroka atlases procesā dodama ģimenēm ar lielāku kopējo augstumu un pirmā zaļā zara augstumu, pat ja to zaļā vainaga garums aizņem relatīvi lielāku daļu no koku kopējā garuma.

Konstatēts, ka ģenētiskā korelācija starp zaļā vainaga garumu un augstumu līdz pirmajam zaļajam zaram ir ļoti vāja, tas nozīmē, ka iespējams atlasīt ģimenes ar garu vainagu un garu

stumbra daļu līdz pirmajam zaļajam zaram. Šo abu pazīmju vienlaicīga uzlabošana nav iespējama ar mežkopības metodēm.

Samērā ciešā negatīvā ģenētiskā korelācija starp zaļā vainaga relatīvo garumu un zaru skaitu mieturī stumbra lejas daļā ($r_a = -0.62$) saskan ar iepriekš aprakstīto atziņu, ka garš zaļais vainags veicina atmirušo zaru vietu aizaugšanas procesu.

Ģenētiskā korelācija starp zaru resnumu raksturojošo pazīmju (zd1, zd2, zd3, zdvid, zdtop, zdsun, zdprocx, zdprocn) ir cieša ($r_a = 0.71-0.99$). Līdzīga tendence konstatēta stādījumos Zviedrijā, kur ģenētiskās korelācijas starp vidējo zara diametru, resnākā zara diametru un zaru diametru summu ir no 0.68 līdz 0.98 (Eriksson et al, 1987).

Resnākā zara diametra ģenētiskā korelācija ar citām zaru resnumu raksturojošajām pazīmēm, izņemot vidējā zara diametra/stumbra caurmēra attiecību, ir augsta. Resnākā zara diametrs vidēji cieši, negatīvi korelē ar zaru skaitu mieturī; šo pazīmju ģenētiskā korelācija ir tuva nullei: $r_a = -0.04$ Eriksson et al. (1987) pētījumā un vidēji cieša, pozitīva: $r_a = 0.32$ Velling un Tigerstedt (1984) pētījumā. Atšķirības, visticamāk, saistītas ar jau minēto faktu, ka pieaugot analizēto koku vecumam zaru skaits mieturī stumbra lejasdaļā pēc būtības raksturo nevis izveidojušos zaru daudzumu, bet zaru nokalšanas un zaru rētu aizaugšanas procesa ātrumu.

Vērtējot iekšējo zarojuma struktūru cērtama vecuma priedēm Zviedrijā konstatēts, ka mietura resnākā zara diametrs un zaru diametru summa mieturī pieaug koka resgaļa pirmajos 2-3 m. Tālākajā stumbra sekcijā uz augšu no šī līmeņa līdz augstumam, kas vienāds ar pusi no virsaugstuma bonitātes mīnus 1 vai līdz zaļā vainaga sākumam, ja tas ir zemāk, resnākā zara mieturī diametra izmaiņas ir nelielas (Björklund, 1997). Tāpat Somijā veiktu pētījumu rezultāti liecina, ka proporcionāli lielāka daļa no kopējās biomasas tiek novirzīta tieši zaru augšanai audzes vainagu saslēgšanās fāzē (Vanninen, 2004), reizē ar to atbilstošajā augstumā veidojas resnāki zari. Tas liecina, ka resnākā zara līdz 2 m augstumam diametrs var tikt izmantots kā indikators zaru resnuma raksturošanai koka resgaļa daļā. Priežu audzēs Somijā konstatēta cieša korelācija resgaļa daļas (pirmo 2 m) un visa koka resnākā zara diametriem: $r = 0.73$ (Uusvaara, 1985). Vērtējot šo secinājumu kontekstā ar 14-17 gadus vecajos Latvijas priežu stādījumos konstatēto ciešo ģenētisko korelāciju ($r_a = 0.77$) visa koka zaru resnuma novērtējumam 9 ballu skalā un resnākā zara līdz 2 m augstumam diametram, var secināt, ka resnākā zara līdz 2 m augstumam diametru iespējams izmantot kā indikatoru kopējā koka zaru resnuma raksturošanai. Tanī pat laikā Agestam et al. (1998) norāda uz zemu korelāciju starp resnākā zara diametriem dažādos mieturos sauso zaru zonā un Ulvcrone et al. (2007) konstatē, ka zara diametrs ir atkarīgs no kopējās zaļā vainaga attīstības, piemēram, noteiktos apstākļos zemākie zaļie zari var ilgstoši saglabāties dzīvi pat neveidojot gadskārtas (Mäkinen, 1999a). Tas liecina, zaru resnuma raksturošanai atsevišķos gadījumos lietderīgi papildināt resnākā zara līdz 2 m augstumam mērījumu ar kopējo zaru resnuma novērtējumu ballēs.

Ģenētiskās korelācijas koeficientus izmanto aprēķinot atlases pēc noteiktas pazīmes ietekmi uz citu (saistīto) pazīmju vērtībām. Dati par selekcijas efektu atlasī veicot pēc valdaudzes koku augstuma un caurmēra apkopoti 8.5. tabulā

Selekcijas efekts (ģenētiskais ieguvums) ir prognozētais selekcijas darba gala rezultāts – pazīmes izmaiņu apjomu nākamajā paaudzē. Šī rādītāja vērtība, kas aprēķināta tieši norāda uz maksimālo iespējamo pazīmes vērtības izmaiņu selekcijas populācijā pie dotās atlases intensitātes, veicot atlasī tikai pēc dotās pazīmes. Gadījumos, kad izvēlētās pazīmes iedzīstamības koeficients ir zems, bet tās ģenētiskā korelācija ar citu pazīmi (ar augstu iedzīstamības koeficientu) ir cieša, atlase pēc citas pazīmes var sniegt augstāku selekcijas efektu nekā tieša atlase.

Selekcijas efekta vērtības koku augstumam ir nedaudz mazāka nekā caurmēram 14-17 gadus veco eksperimentu grupā (attiecīgi 10.8 un 9.4%), kur zema koku savstarpējās konkurence un reizē ar to relatīvi augstāks caurmēra iedzīstamības koeficients. Vecākos eksperimentos situācija ir pretēja. Kopējo selekcijas darba ietekmi uz audzes produktivitāti raksturo stumbra tilpuma selekcijas efekts: 22.0-25.1%. Tas saskan ar vidējo valdaudzes koku

krājas selekcijas starpību atlasītajām ģimenēm un kontrolei (mežaudžu pēcnācējiem) eksperimentos Nr. 33, 36, 37, 38, 39, 46, 235, 351. Līdzīgas starpības starp atlasīto pluskoku un mežaudžu pēcnācējiem konstatētas 27 gadus vecos eksperimentos Ziemeļzvidrijā: augstumam 9.2 %, caurmēram 5.4 % un stumbra tilpumam 18.9 % (Andersson et al., 2006). Savukārt 30 gadus vecos iedzimtības pābaužu stādījumos Dienvidzvidrijā, labākos klonus atlasot ar intensitāti 25%, konstatētā selekcijas starpība krājai ir 25% (Jansson, 2007).

8.5. tabula

Selekcijas efekts no atlasē ar 10% intensitāti Latvijas parastās priedes iedzimtības pābaužu stādījumos

Eksperimenti Nr.	Pazīme	Selekcijas efekts (%) atlasot		
		tieši**	pēc h	pēc d
33, 34, 39, 46, 234, 235	h	13.8	13.8	11.9
	d	11.5	12.5	11.5
	tilp	25.1	26.4	24.3
	zd	8.4	6.6	7.2
	zdprocx	12.4	-13.0	-1.9
	zb*	12.5	-11.8	-2.2
	sb*	9.4	-8.7	-10.4
28, 30, 31, 32, 41	h	9.6	9.6	6.4
	d	8.5	10.3	8.5
	tilp	24.0	24.1	5.0
	hzz	7.0	8.9	5.3
	z1	12.4	8.2	5.6
	z2	12.4	6.6	10.1
	z3	10.2	4.9	8.7
	zdvid	11.2	7.8	10.3
	zdtop	12.4	7.6	10.6
	zdsun	11.1	7.6	3.6
	zdprocx	9.0	-7.9	1.6
	zdprocm	6.5	-7.1	-2.9
	zn	5.2	1.1	-1.0
	zv	3.2	-2.4	0.9
hd	4.3	0.8	-1.3	
1217, 1218, 1111, 204A, 204B	h	9.4	9.4	5.8
	d	10.8	10.4	10.8
	zb*	22.0	-11.5	-7.0
	zd	10.4	2.9	5.1
	zn	8.7	-5.5	-3.5
	sb*	17.0	3.3	4.7

*selekcijas efekta vērtības ballēs vērtētām pazīmēm uzskatāmas par aptuvenām;

**tieši – atlasīti tikai pēc attiecīgās pazīmes; pazīmju apzīmējumi 1. tabulā pielikumā.

Saskaņā ar pieejamo informāciju, selekcijas efekta vērtības zarojumu raksturojošajiem parametriem priedei Baltijas jūras reģionā iepriekš nav publicētas, lai gan ir publicēti dati par iedzimstamības koeficientu un aditīvās ģenētiskās mainības variācijas koeficientu (skat. nodaļas sākumu), taču ne par ģimeņu vidējo vērtību fenotipiskās variācijas koeficientu. Selekcijas efekts zaru resnumu raksturojošajām pazīmēm (zd, zd1, zd2, zd3, zdvid zdtop,

zdsūm) svārstās no 8.4 līdz 12.4% (vidēji 11.1%), kas ir līdzīgi kā koku augstumam un caurmēram. Procentuālās zara diametra/stumbra caurmēra attiecības un augstuma līdz pirmajam zaļajam zaram selekcijas efekts ir zemāks nekā zaru diametru raksturojošajām pazīmēm, taču augstāks nekā zaru skaitam mieturī, augstuma/caurmēra attiecībai un zaļā vainaga procentuālajam garumam no kopējā koka garuma.

Atlase pēc koku augstuma nodrošina līdzīgu vai pat augstāku selekcijas efektu koku caurmēram un stumbra tilpumam kā atlase pēc caurmēra. Atšķirības ir īpaši nozīmīgas 27-33 gadus veco eksperimentu grupā, kur atlase pēc caurmēra nodrošina tikai 5% selekcijas efektu stumbra tilpumam, bet atlase pēc augstuma 24.1%. Tanī pat laikā atlase pēc caurmēra samazina koku augstuma selekcijas efektu salīdzinot ar tiešo atlasī pēc augstuma.

Atlase pēc koku augstuma saistīta ar mazāku zara diametra palielinājumu nekā atlase pēc koku caurmēra (attiecīgi vidēji 6.5 un 7.7%), izņemot resnākā zara diametru 1.3 m augstumam tuvākajā mieturī. Tāpat atlase pēc koku augstuma nodrošina nozīmīgu (10.5%) resnākā zara diametra/stumbra caurmēra attiecības samazinājumu, par 8.9% augstāku pirmo zaļo zaru un par 11.7% zemāku vispārējo zaru resnumu (ballēs), kas ir nozīmīgi priekšnoteikumi sekmīgam dabiskās atzarošanās procesam. Minētos atzarošanās indikatorus atlase pēc caurmēra ietekmē maz. Stumbra taisnumu atlase pēc caurmēra vai augstuma ietekmē līdzīgi: 14-17 gadus vecajos stādījumos no selekcijas viedokļa negatīvi, 21-36 gadus vecajos – pozitīvi (samazinot vidējo novērtējumu atlasītajām ģimenēm salīdzinājumā ar visu selekcijas populāciju). Var secināt, ka atlase pēc koku augstuma nodrošina maksimālo selekcijas efektu produktivitātes parametriem (h, d, tilp), kā arī atsevišķu zarojuma kvalitātes parametru (dzprocx, zdproc, hzz, zb) uzlabojumu, vienlaikus palielinās arī zaru resnums stumbra lejas daļā, taču ne tik lielā mērā kā veicot atlasī pēc caurmēra. Tādēļ kā galveno atlases kritēriju rekomendējams izmantot koku augstumu. Lai nodrošinātu zaru diametra stumbra lejas daļā vērtības samazinājumu kā papildus kritēriju rekomendējams izmantot resnākā zara līdz 2 m augstumam diametru.

Kopsavilkums

- selekcijas indeksa precīza izstrāde praktiski nav iespējama koku sugām garā rotācijas perioda dēļ, atlases kritērijus nepieciešams izvēlēties tā, lai būtu iespējams vienlaikus uzlabot visas nozīmīgākās pazīmes (produktivitāti, kvalitāti, adaptācijas spēju);
- pazīmes, kuru vērtības nepieciešams uzmērīt (atlases kritēriji), izvēlamas katrai sugai atsevišķi, pirms visa materiāla uzmērīšanas otrajam selekcijas ciklam.
- veicot iedzīstamības koeficienta, ģenētisko un rangu korelāciju analīzi datiem no parastās priedes iedzīstības pārbaužu stādījumiem secināts, ka atlase pēc koku augstuma nodrošina maksimālo selekcijas efektu produktivitātes parametriem, kā arī atsevišķu zarojuma kvalitātes parametru (zara diametra/stumbra caurmēra attiecības, augstuma līdz pirmajam zaļajam zaram) uzlabojumu. Šo pazīmi rekomendējams izmantot kā galveno labāko ģimeņu atlasī. Lai nodrošinātu zaru diametra stumbra lejas daļā vērtības samazinājumu, ir nepieciešami un pietiekami kā papildus atlases kritēriju izmantot resnākā zara līdz 2 m augstumam diametru. Tāpat nepieciešams izslēgt no turpmākā selekcijas darba kokus ar likumainiem stumbriem.
- Turpmākā pētījumu gaitā svarīgi novērtēt koksnes īpašību un adaptācijas pazīmju indikatorus, to ģenētisko korelāciju starp dažādā koku vecumā izdarītiem mērījumiem, kā arī zaru diametra stumbra lejasdaļā saikni ar zaru resnumiem lielākā koka augstuma, precizējot atlases kritēriju gan izvēloties koku selekcijai, gan sēklu plantāciju ierīkošanai.

9. Selekcijas darba ekonomiskais aspekts

Nodaļā ietverta teorētiska bāze un rezultāti no citu valstu pētījumiem. Aprēķinu metodika Latvijas situācijai atspoguļota sadaļā „Darba programma”.

Selekcijas ekonomiskās analīzes sākuma posms ir ražošanas shēmas identificēšana, ienākumu un izdevumu avotu noteikšana, bioloģisko pazīmju, kuras nozīmīgi ietekmē ienākumus un izdevumus, noteikšana, ekonomisko vērtību definēšana katrai no identificētajām pazīmēm (Ponzoni, 1986 citēts pēc Whittock et al., 2004).

Veicot ekonomisko analīzi svarīgi definēt, ka selekcijas darba gala produkts ir mežaudze un no tās iegūstamās produkcijas paaugstināta vērtība, nevis ģenētiski uzlabots sēklu materiāls. Literatūrā atrodami tikai atsevišķi piemēri situācijai, kad selekcijas darbu izmaksas tiek segtas paaugstinot uzlabota stādāmā materiāla cenu. Šādu situāciju konstatēt Dutrow (1974) veicot ciu valstu pētījumu apkopojumu. Tāpat Jaunzēlandē *Pinus radiata* sēklu materiāla cena tieši atkarīga no tā ģenētiskās vērtības (Jayawickram un Carson, 2000). Taču jebkurā gadījumā pircējs ir gatavs maksāt augstāku cenu, tikai balstoties uz aprēķiniem par iegūstamo nākamās mežaudzes vērtību.

Potenciālo ienākumu aprēķināšanas un ekonomisko vērtību kalkulēšanas pamats katrai no pazīmēm ir ģenētiskais ieguvums (selekcijas efekts): selekcijas darba rezultātā iegūtais pazīmes (piemēram, koku augstuma) uzlabojums – ģenētisko faktoru noteiktā selekcijas starpības daļa.

Aprēķionātā selekcijas efekta vērtība nav absolūta un ir atkarīga no attiecīgā eksperimenta parametriem (ģimeņu sastāva un skaita). Nākamais svarīgais faktors ir atlases intensitāte – cik daudz labāko koku no populācijas jāizvēlas. Jo vairāk būs atlasīto koku, jo selekcijas starpība attiecībā pret populācijas sākotnējo vērtību būs mazāka. Reizē ar to arī ģenētiskais ieguvums zemāks. Papildus ietekmējošais faktors ir iedzimstamības koeficients. Individuālu koku iedzimstamības koeficients raksturo additīvā ģenētiskā efekta daļu kopējā pazīmes dispersijā. Tā aprēķins balstās uz kovariāciju starp vienas ģimenes pēcnācējiem eksperimentālā stādījuma ietvaros. Kā jau minēts iepriekš, precīzāko rādītāja vērtību iespējams iegūt jaunos pēcnācēju pārbaužu stādījumos, kur koku savstarpējās konkurences efekts ir minimāls (tās rezultātā vēl nav sākusies koku atmiršana). Individuālu koku iedzimstamības koeficientus izmanto ģenētiskā ieguvuma aprēķināšanai, ja veikta koku atlase ģimeņu ietveros. Turpretī ja izvēlas labākos mātes kokus saskaņā ar to pēcnācēju augšanas un kvalitātes rādītājiem, tiek lietots ģimeņu iedzimstamības koeficients. Tā vērtības lielā mērā atkarīgas no eksperimentu kvalitātes (ierīkošanas vietu un atkārtojumu skaita, augšanas apstākļu vienmērības katras stādījuma vietas ietvaros). Jo augstāka šī koeficienta vērtība, jo augstāka veiktās mātes koku atlases precizitāte. Iedzimstamības koeficienta vērtība Latvijas parastās priedes eksperimentos atspoguļotas nodaļā „Atlases kritēriji”, kur ietvertas arī ģenētiskā ieguvuma vērtības pie 10% atlases intensitātes.

Precīza mērķa definēšana un aprēķini, balstoties uz iegūtās gala produkcijas, piemēram, celulozes ieguvei paredzētas šķeldas, paaugstinātu vērtību, selekcijas procesā lielākoties veikti ar ātraudzīgām kokus sugām ar īsu rotācijas ciklu. Tā Talbert et al. (1985) aprēķinājuši, ka *Pinus taeda* (plantāciju rotācijas cikls 25 gadi) pirmās paaudzes sēklu plantāciju pēcnācēju izmantošana, salīdzinot ar audžu pēcnācējiem, sniedz papildus finansiālo ieguvumu, un selekcijā investētie līdzekļi nesuši peļņu vidēji 17%. Līdzīgi Leding un Porterfield (1982) secina, ka *Pinus ponderosa* un *Pseudotsuga menziesii* selekcijā ieguldītie līdzekļi, ja materiāls tiek izmantots īscirtmeta plantācijās, nes peļņu 8%. Peļņas procents tieši atkarīgs no atlasītā materiāla izmantošanas apjoma jeb apstādītajām platībām. Lowe et al. (1999) analizējuši optimālo selekcijas indeksu *Pinus taeda*, kuras izmantošanas mērķis ir plantācijas celulozes izejmateriāla ieguvei. Aprēķinā ietverts viss cikls no meža atjaunošanas līdz celulozes pārdošanai, selekcijas mērķis – palielināt no viena plantācijas hektāra iegūstamās celulozes daudzumu. Pazīmes ekonomiskā vērtība (izmantojamais koeficients selekcijas indeksā) ir vienāda ar vienas pazīmes vienības izmaiņas ietekmes vērtību naudas izteiksmē

(piemēram, krājai – $Ls \cdot m^3 \cdot ha^{-1}$). Konstatēts, ka koksnes blīvuma paaugstināšana samazina ražošanas izmaksas (un nodrošina papildus peļņu celulozes rūpnīcai) daudz lielākā mērā kā papildus ātraudzība (lielāks vidējais stumbra tilpums), tādēļ optimālās koeficientu vērtības 1:8,6. Abu nozīmīgāko rādītāju korelācija nav cieša, tātad, šajā gadījumā ir lietderīgi veikt koksnes blīvuma analīzes pēcnācēju pārbaužu stādījumos. Vienlaikus autori norāda, ka, atlasot materiālu citiem gala izmantošanas mērķiem, selekcijas indekss var nozīmīgi atšķirties. To pašu secina arī Dinus un Welt (1995) norādot, ka pat atšķirīgiem papīra ražotājiem optimāls būtu atšķirīgs koksnes ķīmiskais sastāvs un šķiedru garums. Tas nozīmē, ka: 1) nav iespējams atlasīt klonus, kuri būtu piemērotākie pilnīgi visiem izmantošanas veidiem; 2) atlasē jāizvēlas pazīmes, kuras nozīmīgākas pēc iespējas plašākam gala izmantošanas veidu spektram, kā arī tās, kuru modificēšana citā veidā (pielāgojot tehnoloģijas) ir sarežģītākā (dārgākā); 3) atlasīti pēc specifiskām pazīmēm (ar speciālu selekcijas indeksu) var veikt, ja ir zināms potenciālais pieprasījums pēc koksnes un plānots ierīkot nozīmīgas plantāciju platības. Līdzīgus priekšnosacījumus ekonomiski attaisnojamiem izdevumiem meža selekcijai norāda Kjær un Foster (1994)- izvēlētajai sugai galvenokārt tiek izmantota mākslīga atjaunošana lielās platībās un tās koksne ir tirgū pieprasīta (vērtīga).

McRae et al. (2004a) apraksta 3 komerciāli nozīmīgu sugu (*Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* un *Eucalyptus nitens*) selekcijas shēmu Austrālijā. Selekcijas populācijā koki tiek atlasīti ar zemu intensitāti pēc liela skaita, atšķirīgiem koksnes izmantošanas veidiem nozīmīgām pazīmēm. Sēklu plantācijas meža zemju īpašnieki (uzņēmumi / privātpersonu apvienības) veido pēc saviem ieskatiem no selekcijas populācijas izvēloties tikai klonus ar augstām atsevišķu, specifiskai ražošanai nepieciešamu, pazīmju vērtībām. Stratēģija attaisnojas, ja materiāls no katras sēklu plantācijas tiek izmantots plantāciju ierīkošanai lielās platībās, kā tas ir Austrālijā, kur tikai *Eucalyptus globulus* stādījumi ar rotācijas periodu 10 – 20 gadi aizņem 350 000 ha (Graves et al., 2004). Līdzīgi ASV *Pinus taeda* selekcijā 50 gadu laikā posmā investēti ~95 milj. dolāri, taču atlasītais materiāls izmantots aptuveni 4 milj. ha plantāciju un kopējais ieguvums sastāda ~ 2 miljardus dolāru (McKend, Li, 2005).

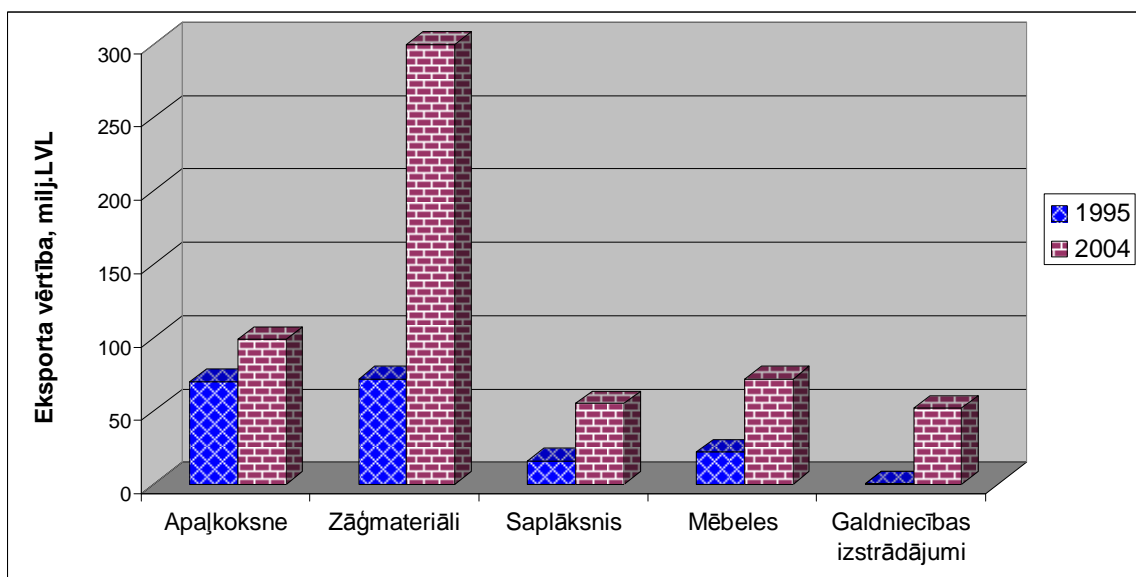
Līdzīgi kā minētajos piemēros izstrādāts arī optimālais selekcijas indekss atlasei, kuras rezultātā plānots ierīkot plantācijas zāgmateriālu ieguvei (Todoroki, Carson, 2003). Konstatēts, ka arī izmantojot *Eucalyptus globulus* selekcijas darbs no viena hektāra iegūstamās celulozes masas paaugstināšanai, izmantojot 5% diskontēšanas likmi un 15 gadu rotācijas ciklu, rezultējas ar 10% tīro peļņu (Greaves et al., 1997). Līdzīgi peļņa no investīcijām selekcijā, izmantojot 4līdz 5% diskontēšanas likmi, tiek prognozēta arī hibrīdajai lapeglei ASV ziemeļu daļā (Fins, Moore, 1984).

Pretēji iepriekš minētajam, Apiolaza un Garrick (2001), analizējot *Pinus radiata* Čīlē, rekomendē uz pazīmju ekonomisko analīzi balstītu selekcijas indeksu, kurš nodrošina vērtības pieaugumu gan papīrmalkas, gan zāgmateriālu ieguvei paredzētajās plantācijās. Šāda pieeja nenodrošina augstāko ieguvumu katrā no izmantošanas veidiem, tomēr samazina risku zaudēt līdzekļus, mainoties pieprasījumam pēc noteikta koksnes sortimenta. Ne tikai iespējamās tirgus izmaiņas, bet arī citi riska faktori, piemēram, potenciālās globālās klimata izmaiņas, risks, atlasot pēc vienas noteiktas pazīmes, samazināt koku adaptācijas spējas stresa (sausuma, sala) apstākļos, u.c., ir ļoti maz pētīti saistībā ar meža selekciju (Namkoog, 1998). Šie faktori var būt nozīmīgi strādājot ar kokaugiem ar gariem rotācijas periodiem.

Ģenētiskais ieguvums un selekcijas starpība tiek aprēķināti noteiktā pēcnācēju pārbaužu stādījumu vecumā. Viens no pieņēmumiem, kā prognozēt papildus pieaugumu turpmākā audzes attīstības gaitā, ir novērtēt, par cik procentiem paaugstināta vidējā (vai virsaugstumu) bonitāte un pieņemt, ka šāda procentuālā starpība saglabāsies līdz rotācijas perioda beigām (Ahtikoski, 2000, Kjær un Foster, 1994). Izmantojot šo metodi, redzams, ka izmainās arī optimālo kopšanas ciršu veikšanas laiki un optimālais audzes vecums, kad veicama galvenās izmantošanas cirte. Tas nozīmē, ka ieņēmumi no mežaudzes ir pēc īsāka laika nekā izmantojot neselekcionētu materiālu, līdz ar to iegūtās naudas tīrā tagadnes vērtība ir augstāka.

Tieši (kā papildus koksnes vērtība) aprēķinātais ieguvums ir tikai daļa no selekcijas darba vērtības. Šajā novērtējumā nozīmīga loma ir pielietotajai meža reproduktīvā materiāla pavairošanas metodei, kura atkarīga ne tikai no potenciālā ģenētiskā ieguvuma, bet arī no tehnoloģiju attīstības un ar to saistītajām ražošanas izmaksām. Rūpniecisku kontrolēto krustošanu (kas atsevišķām sugām tiek izmantota - Jayawickrama, Carson, 2000, McKend, Li, 2005) vai klonālo pavairošanu (Leakey, 2004) nodrošina augstāku ģenētiskā ieguvuma realizāciju praksē un paaugstina selekcijas darba ekonomisko efektivitāti. Tīrās tagadnes vērtības kalkulācijas būs atkarīgas no izvēlētās mežsaimniecisko darbu shēmas, jo ieguvumu no selekcijas darba praksē iespējams realizēt tikai tad, ja audzei izstrādāts un realizēts optimāls kopšanas režīms (McRae et al., 2004b, Lowe et al., 1999, Dinus, Welt, 1995). Aprēķinu precizitāti ietekmēs izvēlētās sortimentu cenas (prognozētā koksnes vērtība). Ņemot vērā meža platību samazināšanos pasaulē (vidēji 0,7% gadā), cilvēku skaita palielināšanos un viena cilvēka patērētās koksnes apjoma palielināšanos reizē ar dzīves līmeņa celšanos, pieprasījuma pēc koksnes vajadzētu pieaugt (Libby, 2006, Kjær et al., 1998, Greaves et al., 2004). Taču Greaves et al. (1997), tāpat kā Sedjo (2001) norāda, ka ir nedroši ilgtermiņā prognozēt cenu celšanos – pastāvēt augstam pieprasījuma un cenai, tiek ieguldītas investīcijas ražošanā (plantāciju izveidē), paaugstinot piedāvājumu un samazinot cenu.

Selekcijas darbu var vērtēt no valsts ekonomikas perspektīvas, ilgtermiņā nodrošinot meža sektora uzņēmumus ar augstas kvalitātes vietējo izejmateriālu (līdz ar to saglabājot darba vietas, eksporta vērtību un valsts ieņēmumus nodokļu veidā). Meža sektoram attīstoties, tiek veikta aizvien dziļāka koksnes pārstrāde un eksportā pieaug produktu īpatsvars ar augstu pievienoto vērtību, tātad valsts budžetā gan tieši (nodokļu veidā), gan netieši (nodrošinot darba vietas) ieplūst aizvien nozīmīgāki līdzekļi (9.1. att.).



9.1. att. Koksnes un tās izstrādājumu eksports no Latvijas

Atspoguļotā sakarība vienlīdz attiecas kā uz Latviju, tā uz jebkuru citu valsti: attīstoties pieaug produktu ar augstu pievienot vērtību eksports un samazinās izejmateriāla eksports. Tas nozīmē, ka ilgtermiņā Latvijas koksnes pārstrāde nevar paļauties uz iespēju ievest lētu izejmateriālu no kaimiņvalstīm – jāvērtēt un jāpaaugstina vietējo mežu produktivitāte.

Atsevišķos pētījumos secināts, ka meža sektora attīstības nodrošināšanas aspekts var būt tik pat nozīmīgs kā tiešā no viena hektāra iegūstamās koksnes apjoma un vērtības palielināšana meža selekcijas rezultātā (Dutrow, 1974 apkopotie rezultāti, Graudal, Kjær, 1999, Kjær un Foster, 1994).

Pieaugot dabas aizsardzībai un rekreācijai atvēlētajām platībām, meža selekcija piedāvā risinājumu, kā nesamazināt (vai pat paaugstināt) no Latvijas saimnieciski izmantojamo koksnes apjomu.

Whittock et al. (2004) aprēķinājuši, ka no *Eucalyptus globulus* plantācijas audzētāja viedokļa potenciālais ienākums, pārdodot CO₂ kvotas, nav nozīmīgs, taču no valsts perspektīvas, palielināt akumulēto CO₂ daudzumu mežaudzēs var būt nozīmīgi gan tieši (tā kvotas var pārdot), gan arī pastarpināti rūpējoties par dabas aizsardzību.

Jāņem vērā, ka kaimiņvalstīs (Lietuvā, Somijā, Zviedrijā) tiek veikts aktīvs meža selekcijas darbs (kā atspoguļots 1. nodaļā). Tādēļ, lai ilgstošā laika periodā saglabātu Latvijas konkurētspēju gan meža reproduktīvā materiāla, gan koksnes resursu izstrādājumu tirgū, svarīgi veikt meža selekcijas pētījumus un realizēt to rezultātus praksē arī mūsu valstī.

Mežs ir nozīmīgākais Latvijas dabas resurss un galvenā eksporta prece, īpaši tautsaimniecības krīzes periodos.

Kopsavilkums

- tiešo ekonomiskā ieguvuma no selekcijas darba iespējams parēķināt vērtējot sagaidāmo selekcijas efektu: vēlamo pazīmju vērtību paaugstinājumu ar selekcionētu materiālu atjaunotām mežaudzēm salīdzinot ar mežaudzēm no dabiskās atjaunošanās;
- selekcijas darbs tikai atsevišķos gadījumos tiek tieši kompensēts paaugstinot uzlabota meža reproduktīvā materiāla cenu, tipiski selekcijas programmu uztur (izmaksas sedz) meža īpašnieks, kura valdījumā esošajās platībā plānota materiāla izmantošana;
- selekcionēta materiāla izmantošana nodrošina iespējas ilgtermiņā paaugstināt meža kapitāla vērtību, kā arī saglabāt un paplašināt meža reproduktīvā materiāla eksporta iespējas;
- papildus ekonomiskais ieguvums no selekcijas darba valstiskā līmenī ir iespēja, palielinoties dabas aizsardzībai un rekreācijai atvēlētajām platībām, nesamazināt kopējo no meža iegūstamo koksnes produkcijas apjomu un ilgtermiņā – meža sektora uzņēmumu nodrošināšanu ar izejvielām. Tāpat par valstisku ieguvumu uzskatāma produktīvu (ar selekcionētu materiālu atjaunotu) mežaudžu papildus piesaistītais CO₂;

II DARBA PROGRAMMA

Sadalā apkopota informācija par selekcijas procesam izmantojamo materiālu un veicamajiem darbiem saskaņā ar a/s „Latvijas valsts meži” valdes 23.09.2008. lēmumā izvēlēto selekcijas alternatīvu.

1. Selekcijas materiāls

Sākotnējais selekcijas darba izejas materiāls ir pluskoki, kas ir “attiecīgās sugas koka ideāls” no mežsaimnieciskā viedokļa (Gailis, 1964). Šādu koku atlase tiek veikta tikai produktīvās un kvalitatīvās mežaudzēs, pluskoki izceļas starp pārējiem viena vecuma un vienādos apstākļos blakus augošiem attiecīgās koku sugas kokiem. Šajā kategorijā izvēlas tikai veselīgus kokus (bez trupes vai citu slimību pazīmēm), kuriem nav acīm redzamu defektu.

Priedes pluskoki tiek iedalīti 2 tipos – kvalitātes un masas koki. Kvalitātes koki ir ar tieviem, īsiem zariem, kuri attiecībā pret stumbru ir maksimāli platā leņķī (tuvu 90°). Vainags šaurs, 1/3 – 1/2 koka garuma. Stumbrs labi atzarojies, slaidis, vesels, taisnšķiedrains. Masas koki caurmērā ievērojami pārsniedz visus kaimiņus, bet stumbra kvalitāte un vainaga veidojums īsti neatbilst ideālajam. Vainags samērā plats un garš, stumbra gludā daļa, kurai nav zaru pēdu, aizņem 1/3 koka garuma.

Saskaņā ar atlases metodiku (Gailis, 1968), pluskokus izvēlas pēc indeksa, kur aptuveni 20% nosaka masas (augstuma- h un caurmēra- d) pārkums, 30% – augstuma pārkums, 25% – atzarošanās pārkums (stumbra gludās daļas garums, pirmā sausā zara augstums, pirmā zaļā zara augstums), 25% – vainaga kvalitātes pārkums (vainaga platums, forma, zaru leņķis).

Liela daļa no atlasītajiem pluskokiem mežaudzēs vairs nav atrodamī (aizgājuši bojā vētrās, bioloģiskā vecuma dēļ, mežizstrādē), taču pieejamas to klonālās kopijas arhīvos un sēkļu plantācijās. Daļai no sākotnēji atlasītajiem pluskokiem ierīkoti brīvapputes vai kontrolēto krustojumu iedzimtības pārbaužu stādījumi.

Apkopota informācija par katrai sugai šobrīd pieejamo materiālu, to nosacīti sadalot 2 grupās:

- 1) pamatmateriāls – lielākais materiāla apjoms, kas atrodas vienā un tajā pašā selekcijas stadijā;
- 2) papildus materiāls – dažādās selekcijas stadijās esošās nelielās selekcijas materiāla grupas, kurām turpmākais darbs veicams pēc citāda scenārija nekā pamatmateriālam.

Aktivitāšu turpināšana ar papildus materiālu ir svarīga, lai līdz šīm tā atlasē un audzēšanā ieguldītie līdzekļi netiktu zaudēti, bez tam tiek nodrošinātas:

- 1) iespējas ātrāk (īsākā periodā) iegūt materiālu augstākas kārtas plantācijām (visām sugām);
- 2) iespējas veikt jauno plantāciju ģenētisko kopšanu, paaugstinot no tām iegūstamā materiāla selekcijas efekta vērtību un plantācijas kategoriju (P,E daļēji B)
- 3) iespējas paaugstināt atlases intensitāti (apvienojot ar pamatmateriālu selekcijas cikla beigās) – reizē ar to selekcijas efekta vērtību gan sēkļu plantācijām, gan selekcijas populācijai (P, E, B);
- 4) iespējas paplašināt klonu arhīvus, saglabājot pieejamu ģenētiski daudzveidīgāku materiālu – gan fundamentāliem pētījumiem (piemēram, vērtējot rezistenci), gan, nepieciešamības gadījumā, selekcijas populācijas paplašināšanai (visām sugām).

Priede

Selekcijas darbam pieejamais materiāls sadalīts 4 grupās:

- A. **Pamatmateriāls:** 860 pluskoki (lielākā daļa no tiem sēkļu plantāciju kloni) un kvalitatīvu mežaudžu koki ar brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumiem, kuri atrodas izvērtēšanas stadijā (uzmērīšana notiek saskaņā ar plānu, tiks pabeigta nākamā gada laikā);
- B. 412 kloni sēkļu plantācijās bez pēcnācēju pārbauzēm un to ierīkošanai ievākta materiāla;

- C. 530 no jauna atlasītie pluskoki, kas izmantoti galvenokārt populāciju tipa sēklu plantācijās. Šiem kloniem ievākts brīvapputes sēklu materiāls un uzsākta iedzimtības pārbaūžu stādījumu ierīkošana, kuru plānots turpināt vēl nākamajos 2 gados;
- D. dažādas pakāpes kontrolētās krustošanas materiāls, 21-36 gadus vecos eksperimentālajos stādījumos, no kura iespējams atlasīt kvalitatīvas neradniecīgu krustojumu kombinācijas: eksperimenta Nr. un potenciāli atlasāmo koku skaits iekavās – Nr. 20 (3), 21-22 (5), 27 (9), 357 (10), 356 (2-3), 24-25 (7), kā arī Smiltenes klonu kontrolēto krustojumu stādījums (3-5) un sēklu plantāciju vidējie paraugi vairākos eksperimentos (~20-28); kopumā 57-67 koki.

Egle

Selekcijas darbam pieejamais materiāls sadalīts 4 grupās:

- A. Pamatmateriāls: 1700 pluskoku un kvalitatīvu mežaudžu koku brīvapputes pēcnācēju ģimenes, no kurām tikai 77 koki iekļauti plantācijās, pārējām vecāku-koki nav pieejami. Sēklas no 1989. – 2006. g. ražām, pēcnācēju pārbaude ierīkotas 2003. – 2007. gadā.
- B. 200 plantāciju kloni ar brīvapputes pēcnācēju pārbaūžu stādījumiem, kuri atrodas izvērtēšanas stadijā;
- C. 200 kloni ražojošās sēklu plantācijās bez pēcnācēju pārbaudēm;
- D. 360 kloni jaunās, sākot no 2000. gada ierīkotās, populāciju tipa sēklu plantācijās bez pēcnācēju pārbaudēm un bez to ierīkošanai ievākta brīvapputes sēklu materiāla.

Kārpainais bērzs

Selekcijas darbam pieejamais materiāls sadalīts 2 grupās:

- A. Pamatmateriāls: 650 pluskoku un kvalitatīvu mežaudžu koku brīvapputes pēcnācēju ģimenes. Stādījumi ierīkoti 1998.-1999. gadā, to mātes koki nav pieejami;
- B. 360 kontrolēto krustojumu un 100 brīvapputes pēcnācēju ģimenes no fenotipiski atlasītiem pluskokiem, kurām uzsākta stādu audzēšana un eksperimentus plānots ierīkot 2011. gadā.

Hibrīdā apse

Selekcijas darbam pieejamais materiāls sadalīts 3 grupās:

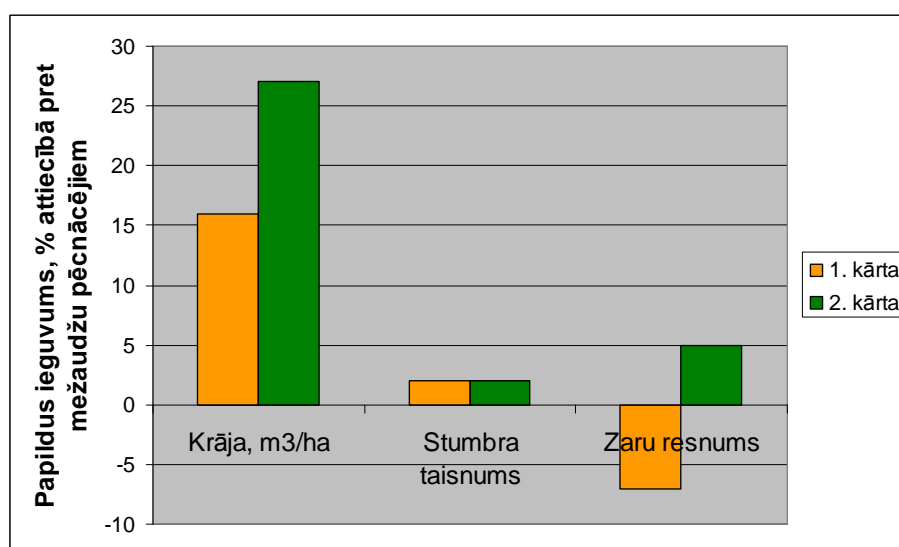
- A. Pamatmateriāls: jaunie kontrolētie krustojumi (120 ģimenes), kuru veidošana uzsākta 2008. gadā un plānota vēl vairākus gadus;
- B. nepārbaudītie kloni: nākamajos 3 gados katru gadu iespējams ierīkot 10 klonu iedzimtības pārbaudes, jaunajos pēcnācēju pārbaūžu stādījumos atrodas 4 kontrolēto krustojumu ģimenes, no katras tālākām pārbaudēm iespējams atlasīt 40 klonus;
- C. Amerikas apses klonu arhīvs nākamā selekcijas cikla krustošanas vajadzībām (maksimāli 30 kloni) uzsākta materiāla audzēšana.

Ņemot vērā, ka hibrīdas apses selekcija ir ātrāk realizējama nekā pārējām sugām, plānā iekļauti 2 selekcijas cikli, apvienojot otro ar C materiālu, kas nepieciešams kontrolētajiem krustojumiem tā uzsākšanai.

2. Darba plāns un sagaidāmie rezultāti

Sagaidāmie rezultāti no selekcijas darba saistīti ar papildus krāju un kvalitāti rotācijas periodā mežaudzēm, kas atjaunotas ar selekcionētu materiālu, salīdzinājumā ar mežaudzēm no dabiskās atjaunošanās. Rezultāti atspoguļoti kā ģenētiski augstvērtīgāku (nākamās kārtas) sēkļu plantāciju materiāla pieejamība: laiks, kad to var izmantot jaunu sēkļu plantāciju ierīkošanai.

Sagaidāmo ģenētisko ieguvumu no 2. kārtas sēkļu plantāciju materiāla izmantošanas raksturo rezultāti no 11 parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumiem, kur atlasīts klonu komplektu plantācijas ierīkošanai Rietumu zonā (Jansons u.c., 2008). Plantācijas ierīkošanai rekomendēts klonu komplekts ar rametu skaitu proporcionālu to selekcijas vērtībām, kopējo klonu skaitu 50 un efektīvo klonu skaitu 22. Atlasīto klonu pazīmju vērtības salīdzinātas ar kontroles materiāla (mežaudžu pēcnācēju) vērtībām katrā no iedzimtības pārbaužu stādījumiem (no kuriem veikta atlase) atspoguļotas 2.1. attēlā.



1. kārtas sēkļu plantāciju pēcnācēji 21 gada vecumā (Baumanis u.c., 2002)
2. kārtas sēkļu plantācijai atlasīto klonu pēcnācēji 32 gadu vecumā (Jansons u.c., 2008)

2.1. att. Papildus krājas un kvalitāte meža atjaunošanai ar priedi Rietumu meža reprodiktīvā materiāla ieguves apgabalā izmantojot 1. un 2. kārtas sēkļu plantāciju pēcnācējus

Līdzīgas starpības starp atlasīto pluskoku un mežaudžu pēcnācējiem konstatētas 27 gadus vecos eksperimentos Ziemeļzvidrijā: augstumam 9.2 %, caurmēram 5.4 % un stumbra tilpumam 18.9 % (Andersson et al., 2006). Savukārt 30 gadus vecos iedzimtības pārbaužu stādījumos Dienvidzvidrijā, labākos klonus atlasot ar intensitāti 25%, konstatētā selekcijas starpība krājai ir 25% (Jansson, 2007). Zvidrijā prognozēts, ka sagaidāmais ieguvums (krājai rotācijas periodā) no 2. kārtas materiāla izmantošanas būs 23-27%. (Rosvall, 2001). Analizējot Sitkas egles stādījumus un ierīkotās 2. kārtas plantācijas Skotijā, Samuel (2001) norāda, ka sagaidāmais ģenētiskais ieguvums caurmēram (kas cieši korelē ar krāju) rotācijas periodā ir 22%. *Pinus taeda* plantācijās ģenētiskais ieguvums no 2. kārtas plantāciju sēkļu materiāla izmantošanas ir papildus 25-30% krāja rotācijas vecumā, taču iespējams sasniegt arī papildus 35 – 50%, izmantojot tikai labākos mātes kokus (ierīkojot ģimeņu stādījumus) (McKend et al., 2003).

Vērtējot realizēto ģenētisko ieguvumu Haapanen (2007, nepublicēti dati) konstatējis, ka 1. kārtas sēkļu plantāciju pēcnācēju stumbra tilpums 15 gadu vecumā vidēji par 22% augstāks nekā mežaudžu materiālam, pašu labāko klonu krustojumiem pat par 47%. Šis salīdzinājums

vienlaikus atspoguļo selekcijas darba turpināšanas potenciālās iespējas, kā arī iespējas realizēt augstākas ģenētiskā ieguvuma vērtības sēklu plantācijās, paaugstinot atlases intensitāti.

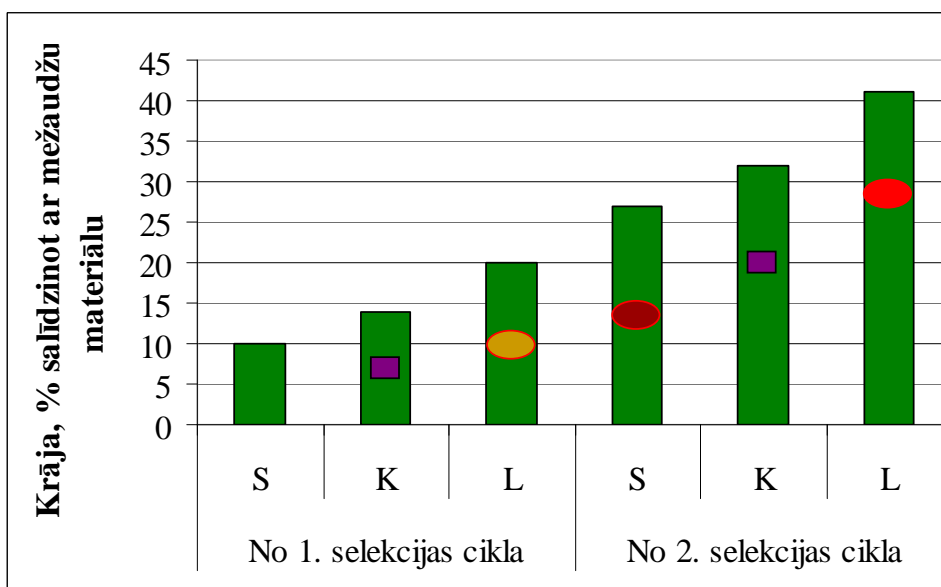
Ņemot vērā līdzīgos iegūtos rezultātus 1. un 2. kārtas sēklu plantāciju ģenētiskā ieguvuma novērtējumā, un šo autoru kalkulācijas par ģenētisko efektu nākamo kārtu sēklu plantāciju pēcnācējiem (Zviedrijā – Rosvall, 2001; Somijā – Dr. Matti Haapanen, pers. kom.), kā arī aprēķinus, izmantojot Danusevičius, Lindgren (2002) izstrādāto programmu, prognozējamais ieguvums no 3. kārtas sēklu plantācijām krājam rotācijas periodā prognozējams ap 35% no 4. kārtas plantācijām ap 45%. Prognozes apstiprina praktiski realizētie rezultāti no otrā selekcijas cikla ar ātraudzīgākām koku sugām (piemēram, White et al., 2003, 2.2. att.) kā arī nodaļā par selekcijas populāciju un ģenētisko daudzveidību atspoguļotā informācija: izmantojot šeit rekomendēto krustošanas shēmu un materiāla apjomu ilgstoši nav sagaidāma ģenētiskās daudzveidības, kas determinē selekcijas darba potenciālo efektu, noplicināšanās. Tādēļ ir iespējams nepārtraukti, katrā selekcijas ciklā, kāpināt selekcijas efekta vērtību.

Precīzāk sagaidāmo selekcijas efektu nav iespējams noteikt, jo:

- 1) rezultātus nozīmīgi modificē reproduktīvā materiāla ieguves fāze: klonu skaits sēklu plantācijās, to izvietojums, proporcionālā pārstāvniecība, fona putekšņu ietekme. Iespējams materiālu izmantot veģetatīvai pavairošanai vai ievākt sēklas no kontrolētajiem krustojumiem, realizējot ievērojami augstākas selekcijas efekta vērtības no šīs pašas selekcijas programmas;
- 2) bioloģiskās īpatnības un klimata īpatnības: nav precīzi iespējams prognozēt koku kā dzīvnieku organismu reakciju, visas atlase ietveramās pazīmes un kompromisus starp tām izvēloties materiālu sēklu plantācijām. Tāpat nav iespējams precīzi prognozēt klimatiskās īpatnības un kaitēkļu, slimību riskus, kas var nozīmīgi modificēt gan selekcijas efektu, gan klonu sastāvu, kas jāizvēlas rūpnieciskai pavairošanai;
- 3) meža apsaimniekošanas intensitāte (īpaši pirmajos attīstības gados, sniedzot iespēju ģenētiski augstvērtīgajam materiālam strauji iesākt augšanu), izmantotās meža apsaimniekošanas metodes (kopšanas ciršu modeļi), rotācijas periods;
- 4) meža selekcijas programmas finansētāja definētas prioritātes klonu izvēlē: piemēram, atlasīt noteiktam reģionam specifiski piemērotu materiālu vai materiālu ar augstvērtīgām īpašībām plašā teritorijā, kas tipiski ir ar nedaudz mazāku selekcijas efekta vērtību katrā konkrētā reģionā.

Sagaidāmais papildus selekcijas efekts (eglei un bērzam) no 5. un 6. kārtas sēklu plantāciju materiāla pielietošanas šajā gadījumā prognozējams samērā neliels: 5-15% attiecībā pret 4. kārtas plantācijās realizēto, jo nav veikts selekcijas darbs 1. paaudzē (ar izvēlētajiem pluskokiem), bet uzreiz otrajā – ar to brīvapputes pēcnācējiem. Kā liecina iepriekš aprakstīti rezultāti – atlase starp brīvapputes pēcnācējiem augstvērtīgākajiem mātes kokiem nodrošina mazāku selekcijas efektu nekā pašu mātes koku atlase pēc to pēcnācēju pārbaužu rezultātiem.

Hibrīdajai apseī, kur ģenētisks ieguvums pamatojas uz heterozes efektu (izpaužas tikai pirmajā hibrīdu paaudzē), nav pamata uzskatīt, ka 2. selekcijas ciklā tiks sasniegts augstāks selekcijas efekts nekā 1. ciklā. Tanī pat laikā selekcijas darbs nodrošina jauna, ģenētiski atšķirīga materiāla pieejamību, kas ir 0,5-2 reizes ātraudzīgāks par parasto apsi. Ņemot vērā īso rotācijas periodu, hibrīdās apses selekcijas efekts ievērojami vairāk atkarīgs no kvalitatīva kopšanas režīma pirmajos plantācijas gados (lai straujā augšana sāktos nekavējoties), aizsardzības pret dzīvnieku bojājumiem, kā arī izvēlēta mērķa – un ar to saistītā stādīšanas biežuma un apsaimniekošanas režīma.



S – fenotipiski atlasītu koku plantācija (1. kārtas plantācijas no pirmā selekcijas cikla un 3. kārtas plantācijas no otrā);
 K – fenotipiski atlasītu koku plantācija, kurā veikta ģenētiskā kopšana saskaņā ar pēcnācēju pārbaužu rezultātiem;
 L – saskaņā ar pēcnācēju pārbaužu rezultātiem atlasītu koku plantācija (2. kārtas plantācijas no pirmā selekcijas cikla un 4. kārtas no otrā)

2.2. att. Ar dažādas pakāpes sēkļu plantāciju materiālu ierīkoto audžu papildus krāja (dati no White et al., 2003)

Selekcijas darba rezultāti izpaužas ne tikai kā koku papildus krāja un kvalitāte, ko iespējams tieši novērtēt monetārās vienībās, bet arī:

- 1) pieaugošas rekreācijas slodzes un dabas aizsardzībai atvēlēto platību apstākļos sniedz iespēju nesamazināt vai pat palielināt tautsaimniecībai pieejamās koksnes apjomu;
- 2) nodrošina lielāka daudzuma CO₂ piesaisti;
- 3) sniedz iespēju eksportēt meža reproduktīvo materiālu uz kaimiņvalstīm ar līdzīgiem klimatiskajiem un augsnes apstākļiem.

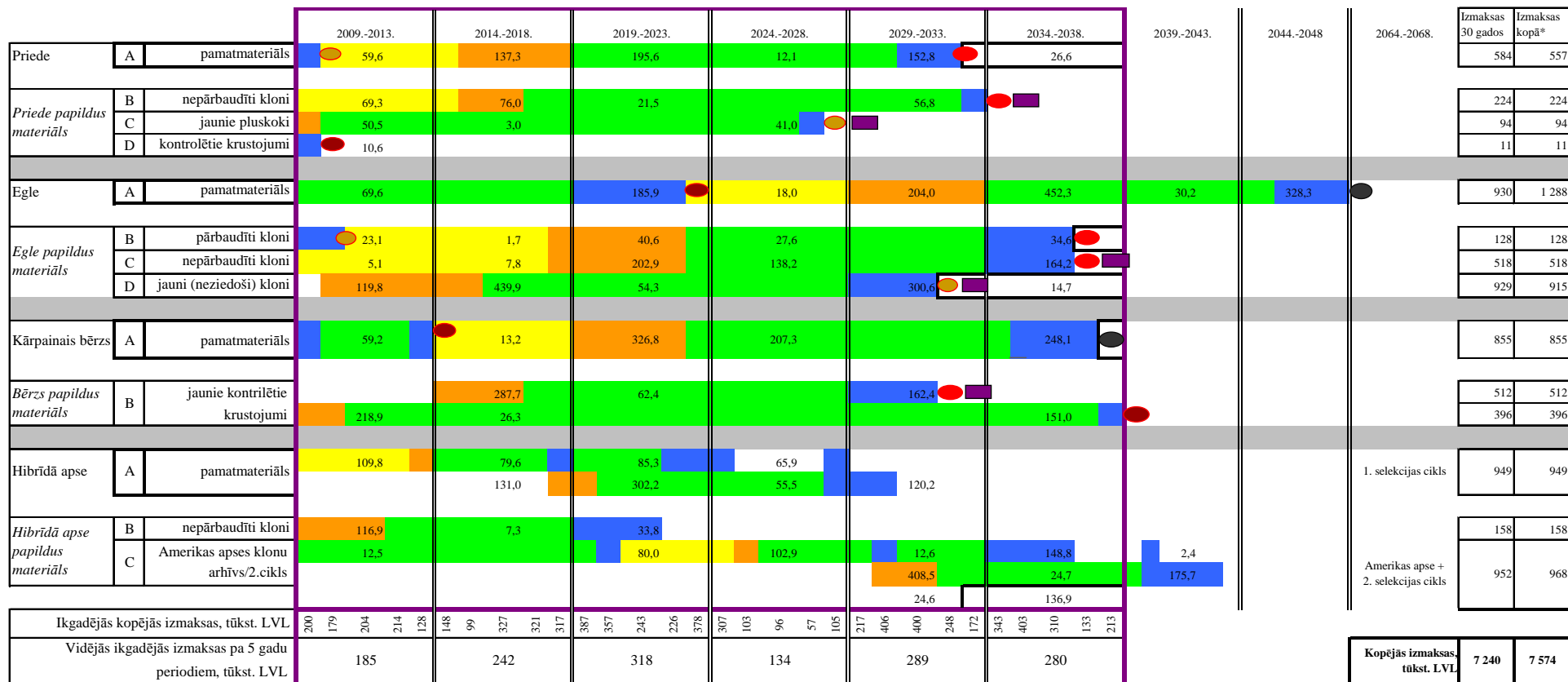
Selekcionēta materiāla izmantošana uzlabo arī saimniecisko mežu rekreācijas vērtību:

- 1) kailcirtes stadija, kas ir vizuāli nepievilcīgākā, ātrāk un vienmērīgāk aizaug, veidojot jaunu mežaudzi;
- 2) veicot 1000 Latvijas iedzīvotāju aptauju, kurā tika iekļauti 10 attēlu pāri (selekcionēti un nekvalitatīvi koki, kā piem., 2.3. att.) tā, ka katrs attēlu pāris demonstrēts 100 respondentiem, konstatēts, ka selekcionēts (taisnu stumbru, tieviem zariem, garu stumbra gludo daļu) koks vai mežaudze vairākumā gadījumu cilvēkiem šķiet vizuāli pievilcīgās nekā nekvalitatīvs.



2.3. attēls. Nekvalitatīvs un selekcionēts koks jaunaudzes vecumā

Plānotais selekcijas darbs sadalījumā pa darba viediem, izpildes laikiem un prognozētajām izmaksām atspoguļots 2.4. attēlā.



	Rekombinācija (krustošana)	
	Stādmateriāla ieguve	
	Pēcnācēju pārbaudu ierīkošana, attīstība	
	Uzmērīšana, izvērtēšana	
	6.	= 3. paaudze
	5.	
	4.	= 2. paaudze
	3.	
	2.	= 1. paaudze (mežaudzēs atlasīti pluskoki)
	Informācija plantāciju ģenētiskai kopšanai	
	Nākamā selekcijas cikla sākums, ja tas ietilpst 30 gadu periodā	

Izmaksas saskaņā ar 2008. gada janvāra cenām
 *Izmaksas kopā - visu darbu izpildei neatkarīgi no perioda garuma

2.4. att. Selekcijas programmas izpildes gaita, rezultāti un izmaksas (tūkst. LVL)

Selekcijas darbu izpildes laiki, gados, rezultāti un izmaksas pamatmateriālam un papildus materiālam

Suga	Posms	Pamatmateriāls		Papildus materiāls						
		ģimeņu-klonu		Nepārbaudīti kloni (B)		Jaunie pluskoki (C)		Krustojumu pēcnācēji (D)		
Parastā priede	Rekombinācija	6		6						
	Stādmateriāla ieguve	4		2		1				
	Pārbaudes	12		16		17				
	Izvērtēšana	2		1		1		1		
	Kopā	24		25		19		1		
	Rezultāts									
			gads	materiāls	gads	materiāls	gads	materiāls	gads	materiāls
			2032.	4.k.	2033.	4. k.	2027.	3.k.	2010.	3. k.
	Izmaksas, tūkst. LVL									
			30 g.	kopā	30 g.	kopā	30 g.	kopā	30 g.	kopā
		584	557	224	224	94	94	11		
Ikgadējās izmaksas		19,5		7,5		3,1		10,6		

- nepārbaudītajiem kloniem (412), lai iespējami samazinātu rezultātu ieguves laiku un izmaksas, kā arī sinhronizētu rezultātus ar pamatmateriālu, nav paredzēts vispirms ierīkot brīvapputes pēcnācēju pārbaudes, gaidīt to rezultātus, atlasīt labākos un tad krustot, bet gan uzreiz veikt viena pāra krustošanu. Tādejādi tiek iegūtas 206 ģimenes, kurām atlasīti veic saskaņā ar FEN alternatīvu;
- jaunažiem pluskokiem (530 brīvapputes pēcnācēju ģimenes) tāpat plānota intensīva atlase gan starp ģimenēm, gan ģimeņu ietvaros, izmantojot FEN shēmu. Papildus ieguvums – saskaņā ar šo pēcnācēju pārbaudu rezultātiem iespējama ģenētiskā kopšana sēklu plantācijās, uzlabojot to pēcnācēju ģenētiski noteiktās īpašības un paaugstinot plantācijas pakāpi;
- kontrolēto krustojumu pēcnācējiem plānots tikai pabeigt pēdējo stādījumu uzmērīšanu, veikt analīzi, atsevišķiem arī kopšana un apzīmju atjaunošana, atlasot 3. kārtas sēklu plantāciju materiālu. Ņemot vērā nelielo neradniecīgo koku skaitu tālāks selekcijas darbs ar šīs grupas materiālu nav paredzēts.

Selekcijas darbu izpildes laiki, gados, rezultāti un izmaksas pamatmateriālam un papildus materiālam

Suga	Posms	Pamatmateriāls		Papildus materiāls						
		ģimeņu-klonu		Pārbaudīti kloni (B)		Nepārbaudīti kloni (C)		Neziedoši, nepārbaudīti kloni (D)		
Parastā egle	1. selekcijas cikls	14		2						
	Rekombinācija	6		7		9				
	Stādmateriāla ieguve	5		5		5		6		
	Pārbaudes	12		12		12		13		
	Izvērtēšana	3		3		3		3		
	Kopā	40		29		29		22		
	Rezultāts		gads	materiāls	gads	materiāls	gads	materiāls	gads	materiāls
			2048.	6. k.	2036.	4. k.	2036.	4. k.	2048.	6. k.
Izmaksas, tūkst. LVL		30 g.	kopā	30 g.	kopā	30 g.	kopā	30 g.	kopā	
		930	1288	128	128	518	518	929	915	
Ikgadējās izmaksas		31,0		4,3		17,3		31,0		
			32,2		4,3		17,9		39,8	

- 1. selekcijas cikls – laiks līdz pamatmateriāla (1700 brīvapputes pēcnācēju ģimenes) pirmā selekcijas cikls pabeigšanai, kad, veicot kompleksu atlasī starp ģimenēm un ģimeņu ietvaros, būs pieejami kloni 3. kārtas sēklu plantāciju ierīkošanai;
- kloniem ar pēcnācēju pārbaudēm (kopumā 200) paredzēts veikt materiāla izvērtēšanu un labāko atlasī sēklu plantācijām, kā arī izvēlēties 40 klonus selekcijas darba turpināšanai, veicot kontrolēto krustojumu un materiālu apvienojot ar nepārbaudīto klonu kontrolētajiem krustojumiem pietiekamas atlasī intensitātes nodrošināšanai izvēlēties klonus 4. kārtas plantāciju izveidošanai;
- nepārbaudītajiem kloniem (200 ziedoši kloni sēklu plantācijās), tāpat kā 40 labākos no pārbaudītajiem, iespējami ātrai selekcijas efekta realizācijai paredzēts izmantot viena pāra krustojumu un selekcijas darbu veikt pēc VEG shēmas;
- jaunajiem pluskokiem, kam nav materiāls brīvapputes pēcnācēju pārbaudžu stādījumu ierīkošanai, lai iespējami ātri iegūtu informāciju par klonu ģenētisko vērtību, paredzēts visām ģimenēm ierīkot veģetatīvās pēcnācēju pārbaudes. Ņemot vērā, ka vēl nepieciešams laiks veģetatīvās pavairošanas metodikas aprobācijai un infrastruktūras izveidei, paredzēts samērā ilgs laiks stādāmā materiāla izaudzēšanai. Tāpat paredzēts ilgāks kopējais laiks pēcnācēju pārbaudēm, prognozējot, ka ne viss materiāls tiks iestādīts vienā gadā.

Selekcijas darbu izpildes laiki, gados, rezultāti un izmaksas pamatmateriālam un papildus materiālam

Suga	Posms	Pamatmateriāls		Papildus materiāls				
		ģimeņu-klonu		Jaunie kontrolētie krustojumi				
				B1		B2		
Kārpainais bērzs	I. selekcijas cikls	5		2		2		
	Rekombinācija	5						
	Stādmateriāla ieguve	4		3				
	Pārbaudes	12		12		27		
	Izvērtēšana	3		3		1		
	Kopā	29		20		30		
	Rezultāts		gads	materiāls	gads	materiāls	gads	materiāls
			2037.	6. k.	2031.	4. k.	2038.	3. k.
Izmaksas, tūkst. LVL		30 g.	kopā	30 g.	kopā	30 g.	kopā	
		855	853	512	512	396	396	
Ikgadējās izmaksas		28,5		17,1		13,2		

- jaunie kontrolētie krustojumi sadalīti 2 materiāla grupās – plānojot daļai no materiāla (neradniecīgām ģimenēm) izmantot VEG shēmu, bet visam pārējam – FEN, kas sniedz zemāku ģenētisko ieguvumu un ir ilgāka, taču arī lētāka.
- pamatmateriālam plānots, analizējot pirmās uzmērīšanas datus, izvēlēties 250 augstvērtīgākās ģimenes, lai samazinātu darba apjomu (un izmaksas) galējā uzmērīšanā materiāla atlasī nākamajam selekcijas ciklam un sēklu plantācijām, ko plānots veikt starp kokiem labāko ģimeņu ietvaros.

Selekcijas darbu izpildes laiki, gados, rezultāti un izmaksas pamatmateriālam un papildus materiālam

Suga	Posms	Pamatmateriāls		Papildus materiāls			
		ģimeņu-klonu		Nepārbaudīti kloni		Amerikas apses kloni	
Hibrīdā apse	Rekombinācija	4					
	Stādmateriāla ieguve	1					
	Pārbaudes ¹	5					
	Stādmateriāla ieguve	2		3			
	Pārbaudes	8		8		11	
	Izvērtēšana	3		3		1	
	Kopā	23		14		12	
	Rezultāts: pieejams jauns klonu materiāls	2024. 2036.	2030. 2042.	2010. 2020.	2015. 2021.		
	Izmaksas, tūkst. LVL	30 g. 1882	kopā 1899	30 g. 158	kopā 158	30 g. 19	kopā 19
	Ilgadējās izmaksas	62,7		12,2		1,6	

- 30 gadu periodā tiek realizēti 2 selekcijas cikli;
- Pārbaudes¹ – neradniecīgo ģimeņu (30) atlase un kandidātu izvēle klonālo stādījumu ierīkošanai. Ģimeņu stādījumus nepieciešams ierīkot un saglabāt, jo veģetatīvo pārbažu izvērtēšanas laikā tie sasnieguši 15-17 gadu vecumu un iespējams iegūt papildus informāciju, galvenokārt par koku rezistenci, bet, ja nepieciešams, arī par koksnes, zarojuma īpašībām;
- no nepārbaudītajiem kloniem plantāciju ierīkošanas izejmateriālu iespējams iegūt dažādos laikos, jo šajā grupā apvienoti vairākas, dažādās stadijās esošas selekcijas materiāla kopas.

Nozīmīgākie rezultāti pa 5 gadu periodiem

Piecu gadu periodi izvēlēti kā atskaites sistēma, jo šādā periodā iespējams panākt nozīmīgu selekcijas darbu progresu; novērtēt to un precīzāk determinēt nākamā perioda darba uzdevumus. Īpaši tas attiecas uz ar selekciju saistīto pētniecisko darbu prioritātēm, kuras mainās atkarībā no aktuālākajām problēmām (kādas sagaidāmas nākamajā periodā) un selekcijas darba attīstības gaitas. Tāpat šādā laika posmā norit nozīmīga pētnieciskā attīstība, kā rezultātā var būt pieejamas metodes selekcijas procesa efektivitātes paaugstināšanai, kuras nepieciešams lietderīgi programmā.

2009.-2013.gads.

Priede: pamatmateriālam un sēklu plantāciju kloniem bez pārbaudēm veikta identifikācija ar ģenētiskajiem marķieriem, iegūta lielākā daļa kontrolēto krustojumu. Ierīkotas visas jauno pluskoku (530 ģimenes) brīvapputes pēcnācēju iedzimtības pārbaudes, veikta to saglabāšanās kartēšana, papildināšana, ja nepieciešams, kopšana. 2011. gadā pieejams 3. kārtas sēklu plantāciju materiāls no iepriekš veikto kontrolēto krustojumu pēcnācēju stādījumiem nelielas eksperimentālās plantācijas daļas ierīkošanai, kā arī klonu komplekts 2. kārtas plantāciju ierīkošanai Austrumu zonai.

Egle: pamatmateriālam veikta stādījumu apsekošana, kopšana, ja nepieciešams, apzīmju atjaunošana. Kloniem ar pēcnācēju pārbaudēm – to izvērtēšana un 2011. gadā pieejams klonu saraksts 2. sēklu plantāciju ierīkošanai. Ierobežotā klonu skaita dēļ to rekomendējams izmantot plantāciju ierīkošanai kombinējot ar pirmās kārtas fenotipiski labākajiem kloniem. Kloniem bez pēcnācēju pārbaudēm uzsākta kontrolētā krustošana, jaunajiem pluskokiem – veģetatīvā pavairošana stādmateriāla ieguvei.

Kārpainajam bērzam: pamatmateriālam veikta eksperimentu uzmērīšana un rezultātu izvērtēšana, 2010. gadā nodrošinot informāciju par meža reproduktīvā materiāla rajonēšanu un 2014. gadā – klonu komplektu 3. kārtas plantāciju ierīkošanai. Papildus materiālam (B2) pabeigta stādāma materiāla audzēšana, ierīkoti eksperimenti, veikta saglabāšanās kartēšana, papildināšana, pirmā kopšana.

Hibrīdā apse: pamatmateriālam veikta kontrolētā krustošana un stādāmā materiāla ieguve. Papildus materiālam – veģetatīvā stādāmā materiāla ieguve, eksperimentu ierīkošana, dažiem kloniem – *in vitro* pavairošanas pārbaudes, lai 2010. gadā būtu iespējams rekomendēt papildus klonus rūpnieciskai ražošanai. Amerikas apses klonu arhīvam veikta ierīkošana, kopšana.

Tālāko etapu izpildei vitāli svarīga ir šī posma laikā aprobētā un uzlabotā veģetatīvās pavairošanas metodika un infrastruktūra. Ja atsevišķiem kokiem no selekcijas grupas fizioloģisku iemeslu dēļ nav iespējams veikt veģetatīvo pavairošanu, darbu ar tiem turpina pēc FEN shēmas, taču galējo uzmērīšanu veic vienlaikus ar pārējiem. Selekcijas efekta pazeminājumu šajā gadījumā kompensē papildus atlases intensitāte, izmantojot papildus materiālu.

2014.-2018. gads.

Priede: pamatmateriālam pabeigta kontrolētā krustošana, iegūts veģetatīvais stādāmais materiāls. Sēklu plantāciju kloniem bez pārbaudēm pabeigta kontrolētā krustošana, iegūts stādāmais materiāls, ierīkoti eksperimenti, veikta saglabāšanās kartēšana, papildināšana, kopšana. Jauno pluskoku ģimenēm veikta stādījumu kopšana.

Egle: pamatmateriālam veikta stādījumu apsekošana, kopšana, ja nepieciešams, apzīmju atjaunošana. Apvienotas pēc pēcnācēju pārbaudēm atlasīto un nepārbaudīto ziedošo klonu grupas, materiālam turpināta kontrolētā krustošana. Jaunajiem pluskokiem – pabeigta veģetatīvā stādmateriāla ieguve, ierīkoti eksperimenti, veikta saglabāšanās kartēšana, papildināšana, pirmā kopšana.

Kārpainajam bērzam: pamatmateriālam veikta kontrolētā krustošana īslaicīgi visu materiālu ievietojot siltumnīcā ātrākas uzziedēšanas veicināšanai, kā arī ziedēšanas pārbaudēm, un pēc tam selekcijas populācijas daļu pārvietojot uz klonu arhīvu. Papildus materiālam B1 (neradniecīgajām ģimenēm) veikta kandidātu atlase un veģetatīvā pavairošana, ierīkoti eksperimenti, veikta saglabāšanās kartēšana, papildināšana, kopšana; B2 – eksperimentu apsekošana, kopšana.

Hibrīdā apse: pamatmateriālam veikta ģimeņu stādījumu izvērtēšana, atlasot produktīvākās, izvēloties kandidātus ģimeņu ietvaros un uzsākot veģetatīvā stādāmā materiāla audzēšanu. Papildus materiālam – stādījumu kopšana, apzīmju apsekošana, atjaunošana, dažiem kloniem –

in vitro pavairošanas pārbaudes, lai 2015. gadā būtu iespējams rekomendēt papildus klonus rūpnieciskai ražošanai.

2019.-2023. gads.

Priede: pamatmateriālam ierīkoti eksperimenti, veikta saglabāšanās kartēšana, papildināšana, kopšana. Papildus materiālam – stādījumu apsekošana, kopšana, ja nepieciešams, apzīmju atjaunošana.

Egle: pamatmateriālam veikta eksperimentu uzmērīšana un rezultātu izvērtēšana, 2023. gadā nodrošinot klonu komplektu 3. kārtas plantāciju ierīkošanai, kā arī informāciju par meža reproduktīvā materiāla rajonēšanu; uzsākta kontrolētā krustošana materiāla ieguvei 2. selekcijas ciklam. Kontrolētās krustošanas ģimenēm (B un C papildus materiāls) pabeigta veģetatīvā stādāmā materiāla ieguve, veikta eksperimentu ierīkošana, jauno pluskoku veģetatīvo pārbažu stādījumos – apsekošana, kopšana, ja nepieciešams, apzīmju atjaunošana.

Kārpainajam bērzam: pamatmateriālam veikta veģetatīvā stādāmā materiāla ieguve, uzsākta iedzimtības pārbažu stādījumu ierīkošana. Papildus materiālam – stādījumu apsekošana, kopšana, ja nepieciešams, apzīmju atjaunošana.

Hibrīdā apse: pamatmateriālam – ģimeņu stādījumiem uzsākta uzmērīšana; veģetatīvajiem stādījumiem – pabeigta eksperimentu ierīkošana, veikta saglabāšanās kartēšana, papildināšana, pirmā kopšana, apzīmju izvietošana. Pabeigta papildus materiāla izvērtēšana nodrošinot rūpnieciskai ražošanai pārbaudītus klonus 2020.-2021. gadā. Izmantojot klonu arhīvā augošo Amerikas apses materiālu uzsākta kontrolētā krustošana 2. selekcijas cikla ģimeņu izveidei.

2024.-2028. gads.

Priede: pamatmateriālam un papildus materiālam no sēklu plantāciju kloniem bez pēcnācēju pārbaudēm – stādījumu apsekošana, kopšana, ja nepieciešams, apzīmju atjaunošana. Jaunajiem pluskokiem – veikta eksperimentu uzmērīšana un rezultātu izvērtēšana, 2028. gadā nodrošinot informāciju plantāciju ģenētiskai kopšanai un klonu komplektu jaunu otrās kārtas plantāciju ierīkošanai, ja nepieciešams.

Egle: pamatmateriālam pabeigta kontrolētā krustošana, pārējām materiāla grupām – veikta eksperimentu apsekošana, kopšana, ja nepieciešams, apzīmju atjaunošana.

Kārpainajam bērzam: visam materiālam tikai eksperimentu apsekošana, apzīmju atjaunošana, kopšana, ja nepieciešams.

Hibrīdā apse: pamatmateriālam – pabeigta ģimeņu stādījumu novērtēšana, lai 2024. gadā nepieciešamības gadījumā būtu pieejams fenotipiski atlasīts materiāls rūpnieciskai pavairošanai. Uzsākta veģetatīvo stādījumu uzmērīšana. Pabeigta 2. selekcijas cikla krustošana, ģimeņu materiāla audzēšana, ierīkoti eksperimentālie stādījumi, veikta saglabāšanās kartēšana, kopšana.

2029.-2033. gads.

Priede: pamatmateriālam – veikta eksperimentu uzmērīšana un rezultātu izvērtēšana, 2033. gadā nodrošinot klonu komplektu 4. kārtas plantāciju ierīkošanai. Papildus materiālam no sēklu plantāciju kloniem bez pēcnācēju pārbaudēm veikta eksperimentu uzmērīšana.

Egle: pamatmateriālam iegūts veģetatīvais stādāmais materiāls. Kontrolētās krustošanas ģimenēm (B un C papildus materiāls) – veikta eksperimentu apsekošana, kopšana, ja nepieciešams, apzīmju atjaunošana. Jauno pluskoku veģetatīvo pārbažu stādījumos veikta uzmērīšana un 2032. gadā pieejama informācija populāciju tipa plantāciju ģenētiskajai kopšanai, to pakāpes paaugstināšanai, tāpat, ja nepieciešams, iespējams izveidot 2. kārtas plantāciju klonu komplektus.

Kārpainajam bērzam: pamatmateriālam eksperimentu apsekošana, apzīmju atjaunošana, kopšana, ja nepieciešams. Papildus materiālam B1 eksperimentu uzmērīšana, izvērtēšana, 2032.

gadā nodrošinot klonu komplektu 4. kārtas plantāciju ierīkošanai, kā arī, ja nepieciešams, informāciju par vecāku kokiem.

Hibrīdā apse: pamatmateriālam pabeigta veģetatīvo stādījumu izvērtēšana, un atlasīto klonu *in vitro* pavairošanas novērtējums, nodrošinot pārbaudītu, augstvērtīgu materiālu rūpnieciskai pavairošanai 2030. gadā. Otrajam selekcijas ciklam veikta ģimeņu stādījumu kopšana, novērtēšana, atlasot labākajās ģimenēs kandidātus veģetatīvajām pārbaudēm, veģetatīvo stādījumu ierīkošana, saglabāšanās kartēšana, kopšana.

2034.-2038. gads.

Priede: papildus materiālam no sēklu plantāciju kloniem bez pēcnācēju pārbaudēm veikta eksperimentu izvērtēšana 2034. gadā nodrošinot papildus klonus 4. kārtas plantāciju ierīkošanai. Visām materiāla grupām veikta kompleksa analīze, atlasot klonu selekcijas darba turpināšanai, uzsākta izvēlēto klonu kontrolētā krustošana.

Egle: pamatmateriālam ierīkoti veģetatīvo pārbaužu stādījumi, veikta identifikācija, saglabāšanās kartēšana, papildināšana, kopšana, apzīmju ierīkošana. Papildus materiālam B un C – stādījumu uzmērīšana un izvērtēšana, 2037. gadā nodrošinot klonu komplektus 4. kārtas plantāciju ierīkošanai. Šīs papildus materiāla grupas atlases intensitātes palielināšanai iespējams apvienot ar labākajiem no D grupas kloniem, jau šajā periodā jau uzsākta kontrolētā krustošana.

Kārpainajam bērzam: pamatmateriālam veikta eksperimentu uzmērīšana, analīze, 2038. gadā nodrošinot klonu komplektu 6. kārtas plantāciju ierīkošanai. Papildus materiālam B2 – rezultātu izvērtēšana, analīze, lai apvienojot ar informāciju no B1 un pamatmateriāla uzlabotu selekcijas sistēmas efektivitāti nākamajā ciklā, kā arī atlasot materiālu no visām 3 grupām – uzsāktu kontrolēto krustošanu šī cikla materiāla ieguvei.

Hibrīdā apse: pamatmateriālam veikta ģimeņu stādījumu uzmērīšana, novērtēšana, lai 2036. gadā nepieciešamības gadījumā būtu pieejams fenotipiski atlasīts materiāls rūpnieciskai pavairošanai. Veģetatīvajos stādījumos veikta apsekošana, kopšana. Pabeigta kontrolētā krustošana materiāla ieguvei 3 selekcijas ciklam.

Pētnieciskās prioritātes

Pētnieciskās prioritātes paredzēts definēt katram piecu gadu periodam iepriekšējā perioda beigās diskusijā ar programmas finansētājiem. Šajā nodaļā ietvertas pētnieciskās prioritātes un sagaidāmie rezultāti pirmajam 5 gadu periodam. Jāņem vērā, ka šo darbu izpildes izmaksas nav atspoguļotas citos aprēķinos selekcijas programmai. Daļa no papildus izmaksu posteņiem var tikt izdalīti kā atsevišķi projekti un iesniegti, piemēram, Latvijas Zinātņu akadēmijā vai „Meža attīstības fondā”, a/s „Latvijas valsts meži” piedaloties tikai ar līdzfinansējumu vai arī meklēti citi finansējuma avoti, t.sk. staptautiski; daļa ir saistītas ar noteiktas selekcijas alternatīvu un, ja izvēlēta tās realizācija, iekļaujami kopējās selekcijas darbu izmaksās.

Pirmā perioda pētnieciskā prioritāte, ņemot vērā, ka selekcijas darbu plānots veikt saskaņā ar efektīvāko – ģimeņu-klonu – shēmu, ir **metodikas pilnveidošana un aprobācija koku veģetatīvai pavairošanai, kā arī infrastruktūras izveide šim mērķim**. Darbs pie skuju un lapu koku veģetatīvās pavairošanas metodikas efektivitātes paaugstināšanas jau uzsākts „Meža attīstības fonda” finansētu projektu ietveros, paredzamās turpmākās izmaksas ir viena pētnieka atalgojums un nepieciešamo materiālu (ķimikāliju) izmaksas. Tāpat uzsākta diskusija par iespējamo infrastruktūras izveidi paredzot atbilstoši pārbūvēt un aprīkot jau esošas LVMI „Silava” telpas; pirmais solis ir iespējami īsā laikā izstrādāt projektu; pati pārbūve (iekārtu iegāde), iespējams, varētu tikt veikta „Meža nozares kompetences centra” projekta ietvaros.

Ņemot vērā globālo klimata izmaiņu situāciju, kā arī diskusijās ar LVM „Sēklas un stādi” izskanējušu viedokli, otrā pētnieciskā prioritāte ir **materiāla ar plašām adaptācija spējām atlases** metodikas izstrāde un ieviešana. Tas ietver:

- 1) papildus eksperimentus ārvalstīs – reģionā ar klimatiskajiem apstākļiem, kādi saskaņā ar prognozēm varētu būt sagaidāmi Latvijā (Lietuva, Zviedrijas dienvidu daļa), teritoriju izvēloties atsevišķi katrai no koku sugām, kā arī ņemot vērā reģionus, uz kuriem varētu notikt meža reproduktīvā materiāla eksports; izmaksas 1,2 – 2 reizes augstākas kā eksperimentu ierīkošanai Latvijā (atkarībā no izvēlētās vietas). Plašas materiāla pārbaudes sniedz iespēju atlasīt klonus un izveidot plantāciju ar ievērojami plašāku materiāla izmantošanas apgabalu nekā nepārbaudītam (mežaudžu) materiālam noteiktie meža reproduktīvā materiāla ieguves reģioni;
- 2) sēkļu plantāciju vidējo paraugu pārbaudes, uzlabojot informāciju par sēkļu materiāla rajonēšanu; to ierīkošana paredzēta „Meža attīstības fonda” finansēta projekta ietvaros. Aspekts jāņem vērā koriģējot iegūstamo veģetatīvo stādu apjomu no jaunajām egles plantācijām, jo šajā gadījumā rezultāti – plaši adaptēta materiāla izvēle – var tikt sasniegti jau ievērojami ātrāk, veicot plantācijas ģenētisko kopšanu;
- 3) klimata izmaiņu seku prognozēšanas un atbilstošu klonu atlases, kā arī agrā diagnostikas metožu izstrāde. Rezistences īpatnības tiek vērtētas sadarbībā ar Latvijas kultūraugu ģenētisko resursu centru, „Meža attīstības fonda” finansētu projektu ietvaros, kā arī LLU doktora darbu projektu ietvaros (iepriekšējos gados saņemts ESF atbalsts). Trūkst pētījumi par klonu augšanas ritma īpatnībām saistībā ar meteoroloģiskajiem faktoriem, to ietekmi uz rezistenci (pret abiotisko faktoru iedarbību), un produktivitāti, korelāciju ar koku īpašībām (piemēram, juvenilās koksnes apjomu, kvalitāti), ģenētiskajām atšķirībām koku spējā pārvarēt stresa faktorus iespējami ātri atjaunojot sākotnējo produktivitāti; izmaksas – 0,5 pētnieka slodzes, 1 asistenta slodze, nepieciešamais inventārs klimata datu ieguvei, transports.

Ņemot vērā, ka sēkļu plantācijas nozīmīgi modificē no viena un tā paša selekcijas darba iegūstamo selekcijas efektu, nepieciešami plašāki pētījumi **sēkļu plantācijās** vērtējot klonu skaitu un proporcionālo pārstāvniecību, ziedēšanas atšķirības, ziedēšanas intensitātes un čiekuru, sēkļu pazīmju ģenētisko nosacītību, prognozēšanas iespējas izvēloties materiālu jaunām plantācijām. Darbi ģenētiskās daudzveidības kontekstā jau uzsākti sadarbībā ar Latvijas kultūraugu ģenētisko resursu centru „Meža attīstības fonda” finansēta projekta ietvaros, atsevišķu sēkļu plantāciju aspektu analīze tiek veikta selekcijas programmas ietvaros. Papildus finansējums nepieciešams tikai tādā gadījumā, ja paredzēts pētījumu loku paplašināt – piemēram, ietverot ziedēšanas stimulēšanas metožu aprobāciju eglei, palielinot no sēkļu plantācijām iegūstamo ražu (0,25 pētnieka slodzes, ķimikālijas, transports).

3. Ekonomiskais novērtējums

Ekonomiskais novērtējums sniegts, salīdzinot selekcijas cikla izpildes alternatīvas, galveno uzsvāru liekot uz izvēlēto, ģimeņu klonu (VEĢ). Selekcijas izmaksas aprēķinātas ņemot vērā katras alternatīvas izpildei paredzamos darbus, tajā skaitā:

- 1) kontrolēto krustošanu (materiāla atlase, identifikācija, ziedēšanas fenoloģijas novērojumi, putekšņu ievākšana, krustošana, sēklu ievākšana);
- 2) pēcnācēju pārbaužu ierīkošanu (platību izvēle, marķēšana, augsnes sagatavošana, stādāmā materiāla izaudzēšana, stādīšana, identifikācija, saglabāšanās kartēšana, papildināšana, platību stacionārā marķēšana);
- 3) pēcnācēju pārbaužu kopšanu (saskaņā ar mežsaimniecisko darbu praksi);
- 4) pēcnācēju pārbaužu uzmērīšanu (ieskaitot datu ievadi un apstrādi).

Matemātiskais modelis izstrādāts sadarbībā ar LVMI „Silava” Meža ekoloģijas un mežkopības grupas pētnieku Jāni Doni. Darbu apjoms saistīts ar prognozējamo selekcijas materiāla apjomu, kas noteikts izmantojot Danusevicius, Lindgren (2002) izstrādāto programmatūru un ģenētisko parametru vērtības no Latvijā esošiem iedzimtības pārbaužu stādījumiem (2.5. tabula). Priedei klonālo kopiju (rametu) skaits (20) noteikts zemāks nekā optimāli, jo lielāka spraudņu skaita iegūšana praktiski ir iespējama tikai retos gadījumos

2.5. tabula

Darba apjoms (koku skaits) katrā no selekcijas cikla izpildes etapiem

Suga	Materiāls	Selekcijas alternatīva		
		FEN	VEĢ	ĢEN
Parastā priede	Ģimeņu skaits	160	160	160
	Koku skaits ģimenē	250	100	120
	Kandidāti		40	25
	Pēcnācēji/rameti		20	30
Parastā egļe	Ģimeņu skaits	200	200	200
	Koku skaits ģimenē	300	100	120
	Kandidāti		40	25
	Pēcnācēji/rameti		40	35
Kārpainais bērzs	Ģimeņu skaits	150	150	150
	Koku skaits ģimenē	300	100	120
	Kandidāti		40	25
	Pēcnācēji/rameti		40	35
Hibrīdā apse	Klonus skaits (parastā / Amerikas apse)		120 / 30	
	Ģimeņu skaits		120	
	Koku skaits ģimenē		150	
	Kandidāti		40	
	Pēcnācēji/rameti		40	

Darbu apjoms un veidi cieši saistīti ar katras koku sugas īpatnībām. Darbietilpības (novērtēta pēc iepriekšējās pieredzes), pieņemtās algas likmes, materiālu un kontraktēto pakalpojumu cenas,

kā arī transporta izmaksu aprēķina metodika apkopota 2. tabulā pielikumā. Izmantotas izmaksas uz 2008. gada janvāri.

Papildus lauku darbiem nepieciešamais laiks palielināts par 30%, kas saistīts ar klimatisko apstākļu ietekmi, kā arī no kopējās summas paredzēti palīgdarbu izdevumi 30% apmērā, kas ietver neprognozējamus pasākumus – piemēram, žoga remontu, stādījumu shēmu rekonstrukciju, repelentu izsmidzināšanu, papildus kontrolēto krustojumu veikšanu, papildus darbus kokaudzētavā, eksperimentu apsekošanu, atsevišķu (kvalitatīvu) veco eksperimentu uzturēšanu, konferenču apmeklēšanu apgūstot jaunāko informāciju un vērtējot iespējas paātrināt selekcijas ciklu un/vai paaugstināt ģenētisko ieguvumu u.c.

Kopējās selekcijas izmaksas sadalījumā pa posteņiem VEG shēmai visiem darbiem līdz 2. selekcijas cikla beigām (neatkarīgi no perioda garuma) apkopotas 2.6. tabulā.

2.6. tabula

Izmaksu sadalījums ģimeņu-klonu selekcijas alternatīvai

Suga	Izmaksas	Atalgojums	Materiāli un pakalpojumi	Transports	Kopā
Priede	summa, tūkst. LVL	434	301	151	886
	%	49	34	17	100
Egle	summa, tūkst. LVL	1339	1026	484	2 849
	%	47	36	17	100
Kārpainais bērzs	summa, tūkst. LVL	829	652	282	1 763
	%	47	37	16	100
Hibrīdā apse	summa, tūkst. LVL	725	1177	173	2 076
	%	35	57	8	100

Redzams, ka lielāko daļu kopējo izmaksu sastāda atalgojums, izņemot hibrīdo apsi – tas saistīts ar vērtējuma īpatnībām šai sugai, kur materiāla ievade un *in vitro* vairošanās koeficienta pārbaudes ietvertas pakalpojumu, nevis algu izmaksās.

Sagaidāmā selekcijas darbu rezultāta ekonomiskā vērtība priedei, eglei un kārpainajam bērzam aprēķināta izmantojot t.s. diferenciālā ieguvuma metodi. Tas nozīmē, ka vērā tiek ņemtas tikai tās izmaksas un ieņēmumi, kas ir atšķirīgi salīdzinātajiem meža atjaunošanas variantiem: apstādot ar selekcionētu materiālu un atstājot dabiskajai atjaunošanai. Diferenciālās izmaksas veido:

- 1) selekcijas darbu izmaksas;
- 2) sēkļu plantāciju izmaksas;
- 3) papildus izmaksas meža atjaunošanā – stādu cena, augsnes sagatavošana, stādīšanas izmaksas, 2 agrotehniskās kopšanas

Diferenciālie ieņēmumi aprēķināti ņemot vērā sagaidāmo papildus krāju rotācijas periodā, audzes nociršanas laiku plānojot saskaņā ar mērķa caurmēru. Selekcijas darba rezultātā iegūstamā papildus kvalitāte nav ņemta vērā, jo par to šobrīd pieejama informācija tikai priedei.

2.6.-2.10. tabulā diferenciālais ieguvums no selekcijas darba aprēķināts vairākiem iespējamiem scenārijiem, sniedzot iespēju novērtēt sagaidāmā efekta amplitūdu.

2.6. tabula

Diferenciālais ieguvums, LVL*ha⁻¹, atsevišķām priedes selekcijas alternatīvām

Diskonta likme, r%	FEN						VEĢ						ĢEN					
	Ikgadējā apstādītā platība						Ikgadējā apstādītā platība						Ikgadējā apstādītā platība					
	2500 ha			7500 ha			2500 ha			7500 ha			2500 ha			7500 ha		
	Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %		
	30	35	40	30	35	40	40	45	50	40	45	50	40	45	50	40	45	50
1	1577	1904	2214	1610	1937	2245	2 440	2 790	3 111	2 478	2 828	3 149	1 980	2 263	2 524	2 011	2 294	2 555
3	151	258	362	170	277	379	484	546	616	509	571	641	258	291	329	273	306	344
5	-17	2	24	-6	14	34	38	51	66	56	69	83	11	16	21	19	24	29
7	-24	-21	-16	-16	-13	-9	-29	-26	-23	-16	-13	-10	-10	-9	-9	-5	-4	-3

Pieņemts, ka: sēklu plantācijas neražojošā fāze 12 gadi, raža tiek ievākta 24 gadus; atjaunošana tiek veikta Ia-III bonitātes platībās proporcionāli šo bonitāšu audžu platībām; 75% iestādīto mežaudžu tiek apsaimniekotas saskaņā ar „mērķtiecīgo” meža apsaimniekošanas modeli

2.7 tabula

Diferenciālais ieguvums un diskontētās izmaksas, milj. LVL, atsevišķām parastās priedes selekcijas alternatīvām

Izmantotais meža apsaimniekošanas modelis (% no platības)	FEN						VEĢ						ĢEN						
	Ikgadējā apstādītā platība						Ikgadējā apstādītā platība						Ikgadējā apstādītā platība						
	2500 ha			7500 ha			2500 ha			7500 ha			2500 ha			7500 ha			
	Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			
	30	35	40	30	35	40	40	45	50	40	45	50	40	45	50	40	45	50	
tradicionālais: mērķtiecīgais	75:25	5,1	9,7	13,9	18,8	32,6	44,8	18,5	21,3	25,7	60,1	68,4	81,6	9,8	11,3	13,7	32,2	36,6	43,8
	50:50	7,1	12,6	17,8	24,7	41,2	56,5	23,8	27,0	31,3	75,8	85,6	98,5	12,6	14,4	16,7	40,6	45,9	52,8
	25:75	9,0	15,5	21,7	30,5	49,9	68,2	29,0	32,8	37,0	91,6	102,9	115,5	15,5	17,5	19,7	49,1	55,2	61,9

Pieņemts, ka: diskonta likme 3%; pārējais kā 1. tabulā

2.8. tabula

Diferenciālais ieguvums, milj. LVL, atsevišķām parastās priedes selekcijas alternatīvām

Bonitāte	FEN						VEĢ						ĢEN					
	Ikgadējā apstādītā platība						Ikgadējā apstādītā platība						Ikgadējā apstādītā platība					
	2500 ha			5000 ha			2500 ha			5000 ha			2500 ha			5000 ha		
	Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %		
	30	35	40	30	35	40	40	45	50	40	45	50	40	45	50	40	45	50
I	10,2	17,0	23,8	22,1	35,8	49,4	32,0	36,4	41,4	66,4	75,0	85,1	17,1	19,4	22,1	35,5	40,2	45,6
II	8,4	14,4	21,9	18,5	30,5	45,6	29,5	32,9	36,5	61,2	68,0	75,2	15,7	17,5	19,5	32,8	36,4	40,3
III	6,7	12,7	14,9	15,0	27,1	31,4	20,0	22,8	25,6	42,2	47,9	53,5	10,6	12,1	13,6	22,6	25,6	28,6

Pieņemts, ka: diskonta likme 3%; sēklu plantācijas neražojošā fāze 12 gadi, raža tiek ievākta 24 gadus; 75% iestādīto mežaudžu tiek apsaimniekotas saskaņā ar „mērķtiecīgo” meža apsaimniekošanas modeli

2.9. tabula

Diferenciālais ieguvums un diskontētās izmaksas, milj. LVL, atsevišķām parastās egles selekcijas alternatīvām

Izmantotais meža apsaimniekošanas modelis (% no platības)		FEN						VEĢ						ĢEN					
		Ikgadējā apstādītā platība						Ikgadējā apstādītā platība						Ikgadējā apstādītā platība					
		2500 ha			7500 ha			2500 ha			7500 ha			2500 ha			7500 ha		
		Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %		
		20%; 30%	20%; 35%	25%; 35%	20%; 30%	20%; 35%	25%; 35%	20%; 45%	25%; 45%	25%; 50%	20%; 45%	25%; 45%	25%; 50%	20%; 45%	25%; 45%	25%; 50%	20%; 45%	25%; 45%	25%; 50%
tradicionālais: mērķtiecīgais	75:25	6,5	7,6	10,2	25,6	29,0	36,8	13,8	16,4	18,0	48,7	56,4	61,0	9,4	12,0	15,6	34,1	41,9	44,5
	50:50	10,7	11,9	15,0	38,2	41,9	51,2	18,1	21,2	23,0	61,5	70,7	76,1	13,1	16,1	23,9	45,1	54,3	57,4
	25:75	14,9	16,2	19,8	50,7	54,9	65,6	22,4	25,9	28,0	74,3	84,9	91,2	16,7	20,3	28,9	56,1	66,7	70,3

Pieņemts, ka: diskonta likme 3%; sēklu plantācijas neražojošā fāze 20 gadi, raža tiek ievākta reizi 5 gados, plantācijas saglabāta līdz 48 gadu vecumam; atjaunošana tiek veikta Ia-II bonitātes platībās

Selekcijas efekta pirmais skaitlis apzīmē efektu no 1. selekcijas cikla, otrs skaitlis – no 2. cikla izpildes

2.10. tabula

Diferenciālais ieguvums un diskontētās izmaksas, milj. LVL, atsevišķām kārpainā bērza selekcijas alternatīvām

Izmantotais meža apsaimniekošanas modelis (% no platības)		FEN						VEĢ						ĢEN					
		Ikgadējā apstādītā platība						Ikgadējā apstādītā platība						Ikgadējā apstādītā platība					
		500 ha			5000 ha			500 ha			5000 ha			500 ha			5000 ha		
		Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %			Selekcijas efekts, %		
		20%; 30%	20%; 35%	25%; 35%	20%; 30%	20%; 35%	25%; 35%	20%; 45%	25%; 45%	25%; 50%	20%; 45%	25%; 45%	25%; 50%	20%; 45%	25%; 45%	25%; 50%	20%; 45%	25%; 45%	25%; 50%
tradicionālais: mērķtiecīgais	75:25	0,1	0,4	1,3	8,3	10,7	19,4	2,1	3,0	3,3	33,1	41,9	45,2	1,2	2,1	2,3	20,4	29,2	31,1
	50:50	1,6	1,9	2,9	23,2	26,2	35,8	4,1	5,0	5,4	52,7	62,2	66,2	2,8	3,8	4,0	36,2	45,7	48,0
	25:75	3,1	3,5	4,5	38,2	41,7	52,1	6,0	7,1	7,5	72,2	82,6	87,1	4,4	5,4	5,7	51,9	62,3	64,9

Pieņemts, ka: diskonta likme 3%; sēklu plantācijas neražojošā fāze 4 gadi, sēklu materiāls no tās tiek izmantots stādu audzēšanai 24 gadu periodā; atjaunošana tiek veikta Ia-II bonitātes platībās

Selekcijas efekta pirmais skaitlis apzīmē efektu no 1. selekcijas cikla, otrs skaitlis – no 2. cikla izpildes

Analizējot diferenciālā ieguvuma vērtības atkarībā no izmantotās diskonta likmes, konstatēts, ka diferenciālais ieguvums no selekcionēta materiāla izmantošanas ir pozitīvs pat tad, ja selekcijā, sēklu plantāciju apsaimniekošanā un meža mākslīgajā atjaunošanā ieguldītajiem līdzekļiem tiek piemērota 5% reālā interešu likme. Negatīva diferenciālā ieguvuma vērtība pie 5% likmes konstatēta tikai izmantojot FEN alternatīvu, ja iegūtais selekcijas efekts ir 30%. Priedei sakarība atspoguļota 2.6. tabulā, tāda pati tā ir arī citām analizētajām sugām. Ņemot vērā, ka mežkopības pasākumu ekonomiskās efektivitātes novērtēšanai veiktajos aprēķinos gan Latvijā, gan kaimiņvalstīs visbiežāk tiek izmantota 3% likme, tā pielietota arī aprēķinot vērtības 2.7-2.10. tabulās.

Mežaudzes attīstības gaita un kopšanas ciršu veikšanas laiki noteikti saskaņā ar prof. P. Zālīša izstrādātajiem modeļiem: „tradicionāli” – augsts sākotnējais biežums, vēla pirmā kopšanas cirte un „mērķtiecīgi” – zems sākotnējais biežums vai relatīvi agra pirmā kopšanas cirte. Konstatēts, ka izvēlētais meža apsaimniekošanas modelis nozīmīgi ietekmē kopējo diferenciālo ieguvumu: mērķtiecīgi apsaimniekoto audžu platībai palielinoties no 25% uz 75% diferenciālā ieguvuma vērtība vairākumā gadījumu pieaug 1,4 – 2 reizes. Sakarība ir spēkā visām analizētajām sugām. Turpmākā analizē pieņemts, ka mērķtiecīgas apsaimniekošanas modelis tiks piemērots 75% apstādīto audžu; ja šis procents būs augstāks, ieguvums no selekcijas darbā un sēklu plantācijā ieguldītajiem līdzekļiem arī būs augstāks.

Konstatēts, ka optimālais sēklu ieguves periods plantācijās ir 20 gadi, pēc tam ir lietderīgi ražojošo plantāciju aizstāt ar jaunu, augstākas ģenētiskā uzlabojuma pakāpes. Pieņemtie sēklu ražošanas periodi (2.6.-2.10. tabulās) izvēlēti tuvu optimālajam, praktiski sinhronizējot ar selekcijas ciklu (laiku, kad augstākas ģenētiskā uzlabojuma pakāpes materiāls būs pieejams), kā arī ņemot vērā, ka:

- 1) zināmu laika periodu (līdz plantācijas pirmajai rūpnieciski ievācamajai ražai) paralēli nepieciešams uzturēt jauno, vēl neražojošo un veco, ražojošo plantāciju priedei un eglei, taču ne bērzam, kam sēklu ražas ir relatīvi lielas, un to ieguve sākas jau 5 gadu vecumā, tādēļ plantāciju nomaiņas periodam iespējams sēklu materiālu uzkrāt;
- 2) laba sēklu raža eglei ir vidēji ik pa 5 gadiem un pirmā nozīmīgā raža ir 22-24 gadu vecumu, tādēļ plānots ilgāks plantācijas saglabāšanas laiks, kas praktiski vienāds ar 2 selekcijas ciklu garumu.

Diferenciālā ieguvuma vērtība palielinās proporcionāli selekcijas darba rezultātu realizācijai praksē, t.i. ikgadējai mākslīgi atjaunotajai platībai. Tas nozīmē, ka ievērojamu līdzekļu ieguldīšana meža selekcijā attaisnojas tikai tad, ja plānots saglabāt vai palielināt (bērzam) ikgadējo apstādīto platību. Turklāt augstāks diferenciālais ieguvums sasniedzams produktīvākās (Ia-II bonitātes) platībās, kas arī rekomendējamas kā primārā selekcionēta meža atjaunošanas materiāla izmantošanas vieta (2.8. tabula).

Priedei selekcionētu materiālu ik gadus izmantojot 2500 ha apstādīšanā (t.i. samazinot šobrīd esošo ikgadējo mākslīgi atjaunoto platību apmēram uz pusi) diferenciālais ieguvums no FEN alternatīvas realizācijas ir 9,0-21,7 milj. LVL, no VEĢ alternatīvas 29,0-37,0 un no ĢEN alternatīvas 15,5-19,7 milj. LVL (2.7. tabula). Apstādot lielāko daļu (~90%) no pēdējo 5 gadu ikgadējās kailciršu platības priežu audzēs, t.i. ierīkojot 7500 ha jaunu kultūru, diferenciālā ieguvuma vērtība palielinās līdz 30,5-68,2 milj. LVL FEN alternatīvai, 91,6-115,5 milj. LVL VEĢ alternatīvai un 49,1-61,9 milj. LVL ĢEN alternatīvai.

Eglei un bērzam relatīvi liela daļa no nākamo 30 gadu perioda tiek patērēta pirmā selekcijas cikla pabeigšanai. Tādēļ šīm sugām kopējā diferenciālā ieguvuma aprēķinā summēts 1. un 2. selekcijas cikla darba rezultāts (diferenciālais ieguvums).

Eglei selekcionētu materiālu ik gadus izmantojot 2500 ha apstādīšanā (t.i. samazinot šobrīd esošo ikgadējo mākslīgi atjaunoto platību apmēram uz pusi) diferenciālais ieguvums no FEN alternatīvas realizācijas ir 14,9-19,8 milj. LVL, no VEĢ alternatīvas 22,4-28,0 un no ĢEN alternatīvas 16,7-28,9 milj. LVL (2.9. tabula). Apstādot lielāko daļu no pēdējo 5 gadu ikgadējās kailciršu platības egļu audzēs, t.i. ierīkojot 7500 ha jaunu kultūru, diferenciālā

ieguvuma vērtība palielinās līdz 50,7-65,6 milj. LVL FEN alternatīvai, 74,3-91,2 milj. LVL VEĢ alternatīvai un 56,1-70,3 milj. LVL ĢEN alternatīvai.

Bērzam selekcionētu materiālu ik gadus izmantojot 500 ha apstādīšanā (t.i. mazliet vairāk nekā ikgadējā apstādītā platība pēdējos 5 gados) diferenciālais ieguvums no FEN alternatīvas realizācijas ir 3,1-4,5 milj. LVL, no VEĢ alternatīvas 6,0-7,5 un no ĢEN alternatīvas 4,4-5,7 milj. LVL (2.10. tabula). Apstādot daļu (63%) no pēdējo 5 gadu ikgadējās kailciršu platības produktīvās (Ia-II bonitātes) bērzu audzēs, t.i. ierīkojot 5000 ha jaunu kultūru, diferenciālā ieguvuma vērtība palielinās līdz 38,2-52,1 milj. LVL FEN alternatīvai, 72,2-87,1 milj. LVL VEĢ alternatīvai un 51,9-64,9 milj. LVL ĢEN alternatīvai.

Diferenciālā ieguvuma vērtība hibrīdajai apsei aprēķināta salīdzinot potenciālo produktivitāti hibrīdajai un parastajai apsei plantācijās uz bijušajām lauksaimniecības zemēm. Ja ikgadējā apstādītā platība ir 100 ha, diferenciālais ieguvums (pie 3% reālās interešu likmes) ir 0,5-1,3 milj. LVL, apmežojot 500 ha gadā: 7,8-11,6 milj. LVL un 1000 ha gadā: 17-24,5 milj. LVL. Aprēķinos nav ņemtas vērā iespējas realizēt ļoti augstas kvalitātes apses materiālu kādiem specifiskiem apstrādes veidiem, tādēļ var uzskatīt, ka minētās diferenciālā ieguvuma vērtības ir minimālās sagaidāmās.

Izmantotā literatūra

1. **Agestam, E., Ekö, P-M., Johansson, U.** (1998) Timber quality and volume growth in naturally regenerated and planted Scots pine stands in S.W. Sweden. *Studia Forestalia Suecica*, Nr. 204, 17 p.
2. **Aguiar, A., Almeida, M.H., Borralho, N.** (2003) Genetic Control of Growth, Wood Density and Stem Characteristics of *Pinus pinaster* in Portugal. *Silva Lusitana*, Nr. 11, pp. 131 – 139.
3. **Aho, M.-L.** (1994) Autumn Frost Hardening of One-Year-Old *Pinus sylvestris* (L.) Seedlings: Effect of Origin and Parent Trees. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Nr. 9, pp. 17-24.
4. **Ahtikoski, A.** (2000) The profitability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and silver birch (*Betula pendula* Roth.) next-generation seed orchards in Finland:doctoral thesis. Department of Forest Economics, University of Helsinki, Finland, 148. p.
5. **Alizoti, P.G., Kilimis, K., Gallios P.** (2008) Synchronization and Fertility Variation Among *Pinus nigra* Arn. Clones in a Clonal Seed Orchard In: Lindgren D (editor): *Proceeding of Seed Orchard Conference*, Umeå, Sweden, 26-28 September 2007.
6. **Almqvist, C., Pulkkinen, P.** (2005) Improved utilization of the internal pollen production in a *Pinus sylvestris* seed orchard by the use of a mist blower. In: Fedorkov, A. (ed.) *Status, monitoring and targets for breeding programs: Proceedings of the Meeting of Nordic Tree Breeders and Forest Geneticists*, Syktyvkar, Komi Republic, Russia, September 13-15, 2005, pp.79-80.
7. **Andersson, B.** (1992) Forecasting *Pinus sylvestris* field mortality by freezing tests – methods and applications: doctoral thesis. Department of Forest Genetics and Plant Physiology, SLU, Umeå., 24 p.
8. **Andersson, B., Elfving, B., Ericsson, T., Persson, T., Gregorsson, B.** (2003) Performance of Improved *Pinus sylvestris* in Northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Nr. 18, pp. 199-206.
9. **Andersson, B., Elfving, B., Persson, T., Ericsson, T., Kroon, J.** (2006) Characteristics and development of improved *Pinus sylvestris* in northern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*, 37 (1), pp. 84-92.
10. **Andersson, E.W., Spanos, K.A., Mullin, T., Lindgren, D.** (1998) Phenotypic Selection can be Better than Selection for Breeding Value. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Nr. 13, pp. 7-11.

11. **Annala, M.-L.** (1999) Heritability in the Progeny Trials of Scots Pine and Factors affecting it: licentiate thesis. Häme polytechnic, Finland, 35 p.
12. **Apiolaza, L. A., Garrick D. J.** (2001) Breeding objectives for three silvicultural regimes of radiata pine. *Can. J. For. Res.*, 31, pp. 654–662.
13. **Aronen, T.** (2008) Advances in pine tissue culture – can mature trees be cloned?: presentation. In: conference: Vegetative propagation of conifers for enhancing landscaping and tree breeding, September 10-11, Punkaharju, Finland.
14. **Asiegbu, F.O., Choi, W., Li, G., Nahalkova, J., Dean, R.A.** (2003) Isolation of a novel antimicrobial peptide gene (Sp-AMP) homologue from *Pinus sylvestris* (Scots pine) following infection with the root rot fungus *Heterobasidion annosum*. *FEMS Microbiology Letters*, Nr. 228, pp. 27-31.
15. **Asiegbu, F.O., Nahalkova, J., Li, G.** (2005) Pathogen-inducible cDNAs from the interaction of the root rot fungus *Heterobasidion annosum* with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Plant Science*, Nr. 168, pp. 365–372.
16. **Avotiņš A.** (1980) Galveno meža dzīvnieku skaits un tā regulēšana Latvijas republikā: apskats. *LatZTIZPI*, Rīga, Latvija, 43 lpp.
17. **Baliuckas, V., Pliūra, A., Eriksson, G.** (2004) Forest Tree Breeding Strategies in Nordic and Baltic Countries and the Possible Implication on Lithuanian Tree Breeding Strategy. *Baltic Forestry* 1 (10), pp. 95. – 103.
18. **Barrett, S.C.H.** (2003) Mating strategies in flowering plants: the outcrossing-selfing paradigm and beyond. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.*, 358, pp. 991-1004.
19. **Baumanis I., Birģelis J.** (1993a) Vainagu veidošana priežu un egļu sēklu plantācijās. *Meža dzīve*, Nr. 6-7, 8. lpp.
20. **Baumanis I., Birģelis J., Gailis A.** (1999) Meža selekcija un ģenētika. *VMD*, Rīga, 15.lpp.
21. **Baumanis, I.** (1975) Priežu pēcnācēju rezistence pret skujbiri un tās korelācija ar citām pazīmēm. *Jaunākais Mežsaimniecībā*, Nr. 17, 28.-32. lpp.
22. **Baumanis, I., Birģelis, J.** (1993b) Scots pine. In: Rone, V., Birģelis, J., Gailis, A. (ed.) *Forest tree breeding in Latvia*. Silava, Salaspils, Latvija, 20. lpp.
23. **Baumanis, I., Birģelis, J., Rašals, Ī.** (1988) Priedes pēcnācēju produktivitātes pazīmju diallālā analīze. *Jaunākais Mežsaimniecībā*, Nr. 30, 3.-10. lpp.
24. **Baumanis, I., Gailis, A., Liepiņš, K.** (2001) Latvijas priežu provenienču salīdzinājums. *Mežzinātne*, Nr. 44, 52.-66. lpp.
25. **Baumanis, I., Gailis, A., Liepiņš, K.** (2002) Priežu sēklu plantāciju pēcnācēju novērtējums. *Mežzinātne*, Nr. 12, 46.-59. lpp.
26. **Baumanis, I., Jansons, Ā.** (2004) Priežu klonu hibrīdo pēcnācēju novērtējums. *Mežzinātne*, Nr. 14, 28.-37. lpp.
27. **Baumanis, I., Jansons, Ā., Gaile, A.** (2006) Ilglaicīgo zinātnisko pētījumu objektu inventarizācija un datu bāzes izveide. *Mežzinātne*, Nr. 16, 102-112. lpp.
28. **Becker, A., Dame, G., Leder, B.** (1997) *Naturnahe Walswirtschaft in Nordrhein-Westfalen*. Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, 50 b.
29. **Bērziņš, I.** (1974) Vainagu saslēgšanās gaita priežu kultūrās. *Mežsaimniecība un Mežrūpniecība*, Nr. 1, 9.-12. lpp.
30. **Beuker, E.** (1994) Adaptation to climatic changes of the timing of bud burst in populations of *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. *Tree Physiology*, 14, pp 961-970.
31. **Birģelis, J., Baumanis, I.** (1989) Priežu pēcnācēju vērtēšana iekš- un starppopulāciju krustojumos. *Jaunākais Mežsaimniecībā*, Nr. 31, 65.-70. lpp.
32. **Björklund, L.** (1997) The Interior Knot Structure of *Pinus sylvestris* Stems. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Nr. 12, pp. 403-412.
33. **Bondesson, L., Lindgren, D.** (1993) Optimal Utilization of Clones and Genetic Thinning of Seed Orchards. *Silvae Genetica*, 42 (4-5), pp. 157-163.

34. **Booy, G., Hendriks, R. J. J., Smulders, M. J. M., Van Groenendael, J. M., Vosman, B.** (2000) Genetic Diversity and the Survival of Populations. *Plant Biol.*, 2, pp. 379–395.
35. **Bucci, G., Vendramin, G.G.** (2000) Delineation of genetic zones in the European Norway spruce natural range: preliminary evidence. *Molecular Ecology*, 9, pp. 923–934.
36. **Burczyk, J.** (1998) Mating System Variation in Scots Pine Clonal Seed Orchard. *Silvae Genetica*, 47 (2-3), pp. 155-158.
37. **Burdon, R., Shelbourne, S.J.A.** (1974) The use of vegetative propagules for obtaining genetic information. *New Zealand Journal of Forest Science*, Nr. 4, pp. 418-425.
38. **Burdon, R.D.** (1977) Genetic Correlation as a Concept for Studying Genotype-Environment Interaction in Forest Tree Breeding. *Silvae Genetica*, Nr. 26 pp. 168-175.
39. **Burdon, R.D., Namkoong, G.** (1983) Short note: multiple populations and sublimes. *Silvae Genetica*, Nr. 32, pp. 221–222.
40. **Burkes, E.C., Will, R.E., Barron-Gafford, G.A., Teskey, R.O., Shiver, B.** (2003) Biomass Partitioning and Growth Efficiency of Intensively Managed *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* Stands of Different Planting Densities. *Forest Science*, Nr. 49, pp. 224-234.
41. **Bušs, K.** (1976) Latvijas PSR meža tipoloģijas pamati. LRZTIPI, Rīga, Latvija, 24 lpp.
42. **Carson, S.D., Hayes, J.D., Gea, L.D., Shula, B.** (2000) The relationship of breeding values and increase in basal area growth and the validity of genetic predictions. In: Dungey, H. S., Dieters, M. J. and Nikles, D. G. (compiled) *Hybrid Breeding and Genetics of Forest Trees: Proceedings of QFRI/CRC-SPF Symposium*, 9-14 April, Noosa, Queensland, Australia, pp. 212-217.
43. **Chaisurisri, K., El-Kassaby, Y.A.** (1994) Genetic diversity in a seed production population vs. natural populations of Sitka Spruce. *Biodiversity and Conservation*, 3, pp. 512-523.
44. **Clair, J.B.St., Kleinschmit, J.** (1986) Genotype-Environment interaction and Stability in Ten-Year Height Growth of Norway Spruce Clones (*Picea abies* Karst.). *Silvae Genetica*, Nr. 35, pp. 177-186.
45. **Cleveland, A.M., Blackburn, H.D., Enns, R.M., Garrick, D. J.** (2005) Changes in inbreeding of U.S. Herefords during the twentieth century. *J. Anim. Sci.*, 83, pp. 992-1001.
46. **Cornelius, J.** (1994) Heritabilities and additive genetic coefficients of variation in forest trees. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 24, pp. 372-379.
47. **Costa e Silva, J., Borralho, N.M.G., Wellendorf, H.** (2000) Genetic Parameter Estimates for Diameter Growth, Pilodyn Penetration and Spiral Grain in *Picea abies* (L.) Karst. *Silvae Genetica*, Nr. 49, pp. 29-36.
48. **Cotterill, P.P.** (1986) Genetic gains expected from alternative breeding strategies including simple low cost options. *Silvae Genetica*, 35, pp. 212-223.
49. **Cotterill, P.P., Dean, C.A.** (1990) Successful tree breeding with index selection. CSIRO, 81 p.
50. **Cramer, F-U., Leder, B., Lemke, P., Richter, J., Schmitt, H.P., Spelsberg, G., Goltz, H., Wagner, H.C., Wieschmann, H.** (2005) Empfehlungen für eine naturnahe Bewirtschaftung von Fichtenbeständen in Nordrhein-Westfalen. Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten NRW, 36 b.
51. **Cregg, B.M., Zhang, J.W.** (2001) Physiology and morphology of *Pinus sylvestris* seedlings from diverse sources under cyclic drought stress. *Forest Ecology and Management*, Nr. 154, pp. 131-139.
52. **Danell, Ö.** (1993a) Tree breeding strategy: are we too concerned conservationists nut inefficient breeders? In: Lee, S.J. *Progeny testing and breeding strategies: Proceeding of Nordic group of tree breeding*, October 1993, Edinburgh, UK, pp. 80-94.
53. **Danell, Ö.** (1993b) Breeding programmes in Sweden: general approach. In: Correct reprint from: Lee, S.J. *Progeny testing and breeding strategies: Proceeding of Nordic group of tree breeding*, October 1993, Edinburgh, UK, pp. 1-5.

54. **Danusevicius, D., Lindgren, D.** (2002a) Efficiency of selection based on phenotype, clone and progeny testing in long term breeding. *Silvae Genetica*, Nr. 51, pp. 19-26.
55. **Danusevicius, D., Lindgren, D.** (2002b) Two-stage selection strategies in tree breeding considering gain, diversity, time and costs. *Forest Genetics*, Nr. 9, pp. 145-157.
56. **Danusevicius, D., Lindgren, D.** (2004) Progeny Testing Proceeded by Phenotypic Pre-selection – Timing Considerations. *Silvae Genetica*, Nr. 53, pp. 20-26.
57. **Danusevicius, D., Lindgren, D.** (2005) Optimization of breeding population size for long-term breeding. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Nr. 20, pp. 18-25.
58. **Danusevičius, J.** (2000) Pušies selekcija: monografija, Lietuvos Miškų Institutas, Kaunas, Lithuania, 352 p.
59. **Dempster, E.R., Lerner, I.M.** (1950) Heritability of threshold characters. *Genetics*, Nr. 35, pp. 212-236.
60. **Dieters, M.J., Huber, D.A., Peters, R.** (2004) Genotype - Environment Interaction in Clonal Tests of Slash x Caribbean Hybrid Pine. In: B. Li, S. McKend (eds.) *Forest Genetics and Tree Breeding in the Age of Genomics - Progress and Future: proceeding of IUFRO Joint Conference of Division 2, November 1-5, 2004, Charleston, South Carolina, USA*, pp. 42-54.
61. **Dinus, R. J., Welt, T.** (1995) Tailoring Fiber Properties to Paper Manufacture: Recent Developments. *IPST Technical Paper Series*, Nr. 586., 12 p.
62. **Dubova, I.** (1994) Bērza *Betula pendula* atsevišķu klonu pēcnācēju pavairošana *in vitro*. *Mežzinātne*, 37, 28.-33. lpp.
63. **Ekberg, I., Eriksson, G., Yuexia, W.** (1984) Between- and within-population variation in growth rhythm and plant height in four *Picea abies* populations. *Studia Forestalia Suecica*, Nr. 167, 14 p.
64. **El-Kassaby, Y., Lstibůrek, M., Liewlaksaneeyanawin, C., Slavov, G.T., Howe, G.T.** (2006) Breeding Without Breeding: Approach, Example, and Proof of Concept. In: F. Isik (ed.) *Proceedings of the IUFRO Division 2 Joint Conference: Low Input Breeding and Conservation of Forest Genetic Resources: Antalya, Turkey, 9-13 October 2006*. pp. 43-54.
65. **El-Kassaby, Y.A., Rudin, D., Yazdani, R.** (1989) Levels of Outcrossing and Contamination in Two *Pinus sylvestris* L. Seed Orchards in Northern Sweden. *Scand. J. For. Res.*, 4, pp. 41-49.
66. **Eriksson, G.** (1998) Evolutionary forces influencing variation among populations of *Pinus sylvestris*. *Silva Fennica*, Nr. 32, pp. 173-184.
67. **Eriksson, G., Ekberg, I.** (2001) An Introduction to Forest Genetics. *SkogForsk*, Uppsala, Sweden, 166. p.
68. **Eriksson, G., Ilstedt, B., Nilsson, C., Rytman, H.** (1987) Within- and Between-population Variation of Growth and Stem Quality in a 30-year-old *Pinus sylvestris* Trial. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Nr. 2, pp. 301-314.
69. **Estonian Forestry Development Programme until 2010** (2005) Estonian Ministry of the Environment. http://www.metsad.ee/projekt/mak2010_eng.pdf - resurss aprakstīts 05.12.2005.
70. **Ewald, D., Naujoks, G., Welander, M., Zhu, L-H., Hagqvist, R., Salonen, M., Harrison, A.** (2002) Micropropagation and birch field trials. In: Welander, M., Zhu, L-H. (ed.) *Proceeding of the workshop on high quality birch clonal propagation and wood properties, Ronneby, Sweden, August 27-28, 2001*, pp. 37-46.
71. **Fahlvik, N.** (2005) Aspects of Precommercial Thinning in Heterogeneous Forests in Southern Sweden: doctoral thesis, Southern Swedish Forest Research Centre, SLU, Alnarp, 38 p.
72. **Falconer, D.S., Mackay, T.F.C.** (1996) *Introduction to Quantitative Genetics: Fourth Edition*. Longman Group Ltd, London, England, 465 p.
73. **FAO** (2002) Status and Trends in Indicators of Forest Genetic Diversity. Document prepared by Frank H. McKinnell. *Forest Genetic Resources Working Papers, Working*

- Paper FGR/38E, Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. FAO, Rome. Available at <http://www.fao.org/docrep/005/AC786E/ac786e00.HTM>, 20.08.2008.
74. **Fins, L., Moore, J. A.** (1984) Economic Analysis of A Tree Improvement Program for Western Larch. *Journal of Forestry*, Nr. 82, pp. 675-679.
 75. **Gailis J., Ronis E., Smilga J., Rone V.** (1973) Latvijas PSR meža koku sēklu plantācijas. LRZTIPI, Rīga, Latvija, 69 lpp.
 76. **Gailis, J.** (1962) Par izcilo priežu izvēles pieredzi. *Jaunākais Mežsaimniecībā*, Nr. 3, 51.-56. lpp.
 77. **Gailis, J.** (1964) Meža koku selekcija un sēklu plantācijas. *Latvijas Valsts izdevniecība*, Rīga, Latvija, 194. lpp.
 78. **Gailis, J.** (1968) Izcilo koku kvalitātes koeficienta aprēķināšana. *Jaunākais Mežsaimniecībā*, Nr. 10, 67.-71. lpp.
 79. **Gailis, J.** (1974) Izcilo priežu un to klonu sēklu ražas sēklu plantācijās. *Jaunākais Mežsaimniecībā*, Nr. 16, 43.-49. lpp.
 80. **Ghazoul, J. and A.Hellier** (2000). Setting limits to ecological indicators of sustainable tropical forestry. *Int. For. Rev.* 2(4): 243- 253.
 81. **Giertych, M.** (1991) Provenance variation in growth and phenology. In: Giertych, M., Mátyás, Cs. (ed.) *Genetics of Scots Pine*. Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, pp. 87-102.
 82. **Godt, M.J.W., Hamrick, J.L., Edwards-Burke, M.A., Williams, J.H.** (2001) Comparison of genetic diversity in white spruce (*Picea glauca*) and jack pine (*Pinus banksiana*) seed orchards with natural populations. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 31, pp. 943-949.
 83. **Goncharenko, G.G., Silin, A.E., Padutov, V.E.** (1994) Allozyme Variation in Natural Populations of Eurasian Pines. III Population Structure, Diversity, Differentiation and Gene Flow in Central and Isolated Populations of *Pinus sylvestris* L. in Eastern Europe and Siberia. *Sivae Genetica*, 43 (2-3), pp. 119-132.
 84. **Govindarju, D.R.** (1988) Relationship between dispersal ability and levels of gene flow in plants. *OIKOS*, 52, pp. 31-35.
 85. **Graudal, L., Kjær, E. D.** (1999) Priorities and strategies for tree improvement. SAFORGEN: Regional Training Workshop on the Conservation and Sustainable Use of Forest Genetic Resources in Eastern and Southern Africa, Nairobi, Kenya, 17 p.
 86. **Greaves, B. L., Borralho, N. M. G., Raymond, C. A.** (1997) Breeding Objective for Plantation Eucalypts Grown for Production of Kraft Pulp. *Forest Science*, 43 (4), pp. 465-472.
 87. **Greaves, B., Hamilton, M., Pilbeam, D., Dutkowski, G.** (2004) Genetic variation in commercial properties of six- and 15- year old eucalyptus globulus. In: Borralho, N., et. al. (eds.) *Eucalyptus in a Changing World: Proceeding of IUFRO Conference*, 11-15 of October, Aveiro, Portugal, pp. 6.
 88. **Gullberg, U., Vegerfors, B.** (1987) Genotype-environment interaction in Swedish material of *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Nr. 2, pp. 417 – 432.
 89. **Gullberg, U., Yazdini, R., Rudin, D.** (1982) Genetic differentiation between adjacent populations of *Pinus sylvestris*. *Silva Fennica*, 16 (2), pp. 205-214.
 90. **Haapanen, M.** (1992) Effect of plot size and shape on the efficiency of progeny tests. *Silva Fennica*, Nr. 26, pp. 201-209.
 91. **Haapanen, M.** (1995) Within-Plot Subsampling of Trees for Assessment in Progeny Trials of Scots Pine. *Silva Fennica*, Nr. 29, pp. 13-19.
 92. **Haapanen, M.** (1996) Impact of Family-by-trial Interactions on the Utility of Progeny Testing Methods for Scots Pine. *Silvae Genetica*, Nr. 45, pp. 130-135.
 93. **Haapanen, M.** (2001) Time trends in genetic parameter estimates and selection efficiency for Scots pine in relation to field testing method. *Forest Genetics*, Nr. 8, pp. 129-144.

94. **Haapanen, M.** (2002) Evaluation of options for use in efficient genetic field testing of *Pinus sylvestris* (L.): Academic Dissertation in Forest Tree Breeding. Finnish Forest Research Institute, Vantaa Research Centre, Helsinki, 145 p.
95. **Haapanen, M.** (2005) Forest Tree Breeding 2050 – Finland’s new breeding plan. Presentation in Meeting of Nordic Tree Breeders and Forest Geneticists 2005 – Status, Monitoring and Targets for Breeding Programs, September 13-15, Siktivkar, Komi, Russia.
96. **Haapanen, M., Pöykkö, T.** (1993) Genetic relationships between growth and quality traits in an 8-year-old half-sib progeny trial of Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Nr. 8, pp. 305-312.
97. **Haapanen, M., Velling, P., Annala, M-L.** (1997) Progeny Trial Estimates of Genetic Parameters for Growth and Quality Traits in Scots Pine. *Silva Fennica*, Nr. 31, pp. 3-12.
98. **Hänninen, H.** (1991) Does climatic warming increase the risk of frost damage in northern trees? *Plant, Cell and Environment*, Nr. 14, pp. 449-454.
99. **Hannrup, B., Ekberg, I.** (1998) Age-age correlations for tracheid length and wood density in *Pinus sylvestris*. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 28, pp. 1373-1379.
100. **Hannrup, B., Wilhelmsson, L., Danell, Ö.** (1998) Time Trends for Genetic Parameters of Wood Density and Growth Traits in *Pinus sylvestris* L. *Silvae Genetica*, Nr. 47, pp. 214-219.
101. **Hansen, J.K.** (2005) Low cost improvement of Coastal Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* (Mirb.) Franco) by application of the Breeding seed Orchard approach in Denmark. Presentation in Meeting of Nordic Tree Breeders and Forest Geneticists 2005 – Status, Monitoring and Targets for Breeding Programs, September 13-15, Siktivkar, Komi, Russia.
102. **Hansen, O.K.** (2007) Integrating molecular genetic methods in seed source management and breeding activities of Nordmann Fir and other *Abies* species. In: Proceeding of GENECAR meeting “Application of DNA based tools for genetic research, molecular breeding, and management and monitoring of genetic resources”, Umeå, Sweden, 23-25 September 2007.
103. **Harju, A., Muona, O.** (1989) Background Pollination in *Pinus sylvestris* Seed Orchards. *Scand. J. For. Res.*, 4, pp. 513-520.
104. **Hodge, G.R., White, T.L.** (1992) Genetic Parameter Estimates for Growth Traits at Different Ages in Slash Pine and Some Implications for Breeding. *Silvae Genetica*, Nr. 41, pp. 252-262.
105. **Högberg, K.-A.** (2005) Rooting response of late summer cuttings taken from *Pinus sylvestris* half-sib families. *Scand. J. For. Res.* 20, pp. 313-317.
106. **Högberg, K.-A., Ekberg, I., Norell, L., von Arnold, S.** (1998) Integration of somatic embryogenesis in a tree breeding programme: a case study with *Picea abies*. *Can. J. For. Res.*, 28, pp. 1536–1545.
107. **Hurme, P.** (1997) Climatic adaptation of bud set and frost hardiness in Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 27, pp. 716-723.
108. **Hurme, P.** (2000) Genetic Basis of Adaptation: Bud Set Date and Frost Hardiness Variation in Scots Pine: doctoral thesis. Department of Biology, OULU, Finland, 33p.
109. **Hynynen, J.** (1995) Predicating tree crown ratio for unthinned and thinned Scots pine stands. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 25, pp. 57-62.
110. **Isik, F., Goldfarb, B., LeBude, A., Li, B., McKend, S.** (2005) Predicted genetic gains and testing efficiency from two loblolly pine clonal trials. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 35, pp. 1754-1766.
111. **Isik, F., Li, B., Frampton, J.** (2003) Estimates of Additive, Dominance and Epistatic Genetic Variances from a Clonally Replicated Test of Loblolly Pine. *Forest Science*, Nr. 49, pp. 77-88.

112. **Isik, F., Li, B., Frampton, J., Goldfarb, B.** (2004) Efficiency of Seedlings and Rooted Cuttings for Testing and Selection in *Pinus taeda*. Forest Science, Nr. 50, pp. 44-53.
113. **Jäghagen, K.** (1997) Timber Quality and Volume Increment of Advanced Growth and Planted *Pinus sylvestris*. Scandinavian Journal of Forest Research, Nr. 12, pp. 328-335.
114. **Jansons, Ā.** (2005b) Distinguish between the effect of seed material and forest type on Scots pine stand productivity. In: Gaile, Z., Špoģis, K., Ciproviča, I., Valters, J., Alsiņš, J., Bernhard, A (eds.) Research for Rural Development, 2005: Proceeding of 11 International Scientific Conference, LLU, Jelgava, Latvia, 19-22 May, pp. 227-233.
115. **Jansons, Ā.** (2006a) variability and genetic determination of Scots pine quantitative traits at the age of 32 years. Presentation in: international scientific conference Research for Rural Development, 2006, 18th of May, LLU, Jelgava.
116. **Jansons, Ā.** (2006b) Parastās priedes mežsaimnieciski nozīmīgo pazīmju variācija un ģenētiskā nosacītība 15 gadu vecumā. Prezentācija konferencē Zinātne un prakse nozares attīstība, Meža fakultāte, LLU, Jelgava, 2006. g. 16. martā.
117. **Jansons, Ā., Baumanis, I.** (2005) Growth Dynamics of Scots Pine Geographical Provenances in Latvia. Baltic Forestry, Nr. 11, pp. 29-37.
118. **Jansons, Ā., Baumanis, I., Dreimanis, A., Gailis, A.** (2006) Variability and Genetic Determination of Scots Pine Quantitative Traits at the Age of 32 Years. In: Research for Rural Development, 2006, proceeding of international scientific conference, 17-20 of May, LLU, Jelgava, Latvia, pp. 289-295.
119. **Jansons, Ā., Baumanis, I., Haapanen, M.** (2008) Parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.) klonu atlase Kurzemes zonas 2. kārtas sēkļu plantācijas izveidei un sagaidāmais ģenētiskais ieguvums, Mežzinātne, Nr. 17, 88.-116. lpp.
120. **Jansson, G.** (2007) Gains from selecting *Pinus sylvestris* in southern Sweden for volume per hectare. Scandinavian Journal of Forest Research, Nr. 22, pp. 185 – 192.
121. **Jansson, G., Danell, Ö., Stener, L.-G.** (1998) Correspondence between single-tree and multiple-tree plot genetic tests for production traits in *Pinus sylvestris*. Canadian Journal of Forest Research, Nr. 28, pp. 450-458.
122. **Jansson, G., Li, B., Hannrup, K.** (2003) Time trends in genetic parameters for height and optimal age for parental selection in Scots pine. Forest Science, Nr. 49, pp. 696-705.
123. **Jayawickrama, K. J. S., Carson, M. J.** (2000) A Breeding Strategy for the New Zealand Radiata Pine Breeding Cooperative. Silvae Genetica, Nr. 49, pp. 82-90.
124. **Johnson, G.R.** (1997) Site-to-site Genetic Correlations and Their Implications on Breeding Zone Size and Optimum number of Progeny Test Sites for Coastal Douglas-fir. Silvae Genetica, Nr. 46, pp. 280-285.
125. **Johnson, G.R., Burdon, R.D.** (1990) Family-site interaction in *Pinus radiata* - Implications for progeny testing strategy and regionalized breeding in New Zealand. Silvae Genetica, Nr. 39, pp. 55-62.
126. **Jokinen, P. Kellomäki, S.** (1982) Observations on the effect of spacing on branchiness of Scots pine stems at pole stage. Folia Forestalia, Nr. 508, 12 p.
127. **Jonsson, A., Ekberg, I., Eriksson, G.** (1976) Flowering in seed orchards of *Pinus sylvestris* L. Stud. For. Suec., 135, 38 p.
128. **Jonsson, A., Eriksson, G., Ye, Z., Yeh, F.C.** (2000) A retrospective early test of *Pinus sylvestris* seedlings grown at wide and dense spacing. Canadian Journal of Forest Research, Nr. 30, pp. 1443-1452.
129. **Juodvalkis, A.** (1994) Stand productivity increasing and quality improvement by thinnings. In: Scots pine breeding and genetics: Proceedings of IUFRO S.02.18. Symposium, 13-17 of September, LFRI, Kaunas, Lithuania, pp.189-191.
130. **Kalniņš, A.** (1930) Latvijas priedes (*Pinus sylvestris* L.) tehniskās īpašības. Latvijas mežzinātniskie raksti, Nr. 1, 133 lpp.
131. **Kang, H.** (1979) Long-term tree breeding. In: Proceeding of the 15th Southern Forest Tree Improvement Conference, 19-21 of June, Mississippi, USA, pp. 66-72.

132. **Kang, K.S., Harju, A.M., Lindgren, D., Nikkanen, T., Almqvist, C., Suh, G.U.** (2001) Variation in effective number of clones in seed orchards. *New Forests*, Nr. 21, pp. 17-33.
133. **Kang, K-S., Bila, A.D., Harju, A.M., Lindgren, D.** (2003) Estimation on fertility variation in forest tree populations. *Forestry*, 76 (3), pp. 329-344.
134. **Karlsson, B., Höglberg, K-A.** (1998) Genotypic parameters and clone x site interaction in clone tests of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Forest Genetics*, Nr. 5, pp. 21-30.
135. **Karlsson, B., Mari, S., Eriksson, G.** (2002) Juvenile-mature Genetic Correlations in *Picea abies* (L.) Karst. Under Different Nutrient and Mycorrhiza Regimes. *Silvae Genetica*, Nr. 51, (4), pp. 171-175.
136. **Karlsson, B., Rosvall, O.** (1993) Norway spruce. In: Correct reprint from: Lee, S.J. Progeny testing and breeding strategies: Proceeding of Nordic group of tree breeding, October 1993, Edinburgh, pp. 16-21.
137. **Kellomäki, S.** (1983) Strength of Scots pine branches. *Silva Fennica*, Nr. 17, pp. 175-182.
138. **Kerr, R..J., Dieters, M.J., Tier, B.** (2004) Simulation of comparative gains from four different hybrid breeding strategies. *Canadian Journal of Forest Research*, 34, pp. 209-220.
139. **King, J.N., Yeh, F.C., Heaman, J.C., Dancik, B.P.** (1992) Selection of Crown Form Traits in Controlled Crosses of Coastal Douglas-fir. *Silvae Genetica*, Nr. 41, pp. 362-370.
140. **Kjær, E. D., Foster, G. S.** (1994) The Economics of Tree Improvement of Teak (*Tectona grandis* L.). USDA Forest Service, US, 17 p.
141. **Kjær, E. D., Graudal, L., Pilegaard Hansen, C.** (1998) Conservation of forest genetic resources for improved tree plantings in the tropics. Danida Forest Seed Centre, Denmark, 5 p.
142. **Klemperer, W.D.** (1996) *Forest Resource Economics and Finance*. McGraw-Hill, New York, US, 551 p.
143. **Klintonäs, M.** (2005) Early flowering – a tool for shortened generation time in tree breeding: PhD project. In: <http://resschool.slu.se/> - resurss aprakstīts 5.12.2005.
144. **Kohlstock, N., Schneck, V.** (1992) Scots Pine Breeding (*Pinus sylvestris* L.) at Waldsieversdorf and its Impact on Pine Management in the Northeastern German Lowland. *Silvae Genetica*, Nr. 41, pp. 174-180.
145. **Kohlstock, N., Schneck, V.** (1994) IUFRO provenance trials of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) at Waldsieversdorf 1982-1994. In: Scots pine breeding and genetics: Proceedings of IUFRO S.02.18. Symposium, 13-17 of September, LFRI, Kaunas, Lithuania, pp. 29-36.
146. **Koski, V.** (1970) A study of pollen dispersal as a mechanism of gene flow in conifers. *Com. Inst. For. Fen.*, 70 (4), 78 p.
147. **Koski, V.** (1971) Embryonic lethals of *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Comm. Inst. For. Fen.*, 75 (3), 30 p.
148. **Koski, V.** (1973) On self-pollination, genetic load, and subsequent inbreeding in some conifers. *Comm. Inst. For. Fen.*, 78 (10), 42 p.
149. **Koski, V.** (1980) Summary: minimum requirements for seed orchards of Scots pine. *Silva Fennica*, 14 (2), pp. 148.
150. **Koski, V., Rousi, M.** (2005) A review of the promises and constraints of breeding silver birch (*Betula pendula* Roth.) in Finland. *Forestry*, 78 (2), pp.
151. **Kowalczyk, J.** (2005) Comparison of phenotypic and genetic selections in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) single tree plot half-sib progeny tests. *Dendrobiology*, Nr. 53, pp. 45-56.
152. **Ladig, F.T., Vargas-Hernandez, J.J., Johnsek, K.H.** (1998) The Conservation of Forest Genetic Resources: Case Histories from Canada, Mexico, and the United States. *Journal of Forestry*, 96 (1), pp. 32-41.
153. **Laura, M.** (1973) Priedes sēklas attīstības cikls. *Mežsaimniecība un mežrūpniecība*, Nr. 2, 12.-14. lpp.

154. **Leakey, R. R. B.** (2004) Clonal approaches to hardwood forestry in the tropics. Prospects for high-value hardwood timber plantations in the 'dry' tropics of northern Australia, Mareeba, 12 p.
155. **Ledig, F. T., Porterfield, R.L.** (1982) Tree Improvement in Western Conifers: Economic Aspects. *Journal of Forestry*, Nr. 80, pp. 653-657.
156. **Leinonen, I.** (1996) Dependence of dormancy release on temperature in different origin of *Pinus sylvestris* and *Betula pendula* seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Nr. 11, pp. 122-128.
157. **Libby, W.** (2006) The Next 30 Years: Keynote Speech at the IUFRO, Division 2 Joint Conference: Low input breeding and genetic conservation of forest tree species, 9 - 13 of October, Anatalya, Turkey, 9 p.
158. **Libby, W.J., Bridgwater, F., Lantz, C., White, T.** (1997) Genetic diversity in commercial forest tree plantations: introductory comments to the 1994 SRIEG meeting papers. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 27, pp. 397-400.
159. **Liepa, I.** (1974) *Biometrija. Zvaigzne*, Riga, Latvija, 340 lpp.
160. **Liepa, I.** (1996) *Pieauguma mācība*. LLU, Jelgava, Latvija, 123 lpp.
161. **Lindgren, D.** (1975) The relationship between self-fertilization, empty seeds and seed originating from selfing as a consequence of polyembryony. *Stud. For. Suec.*, 126, 24 p.
162. **Lindgren, D.** (1984) Prediction and optimization of genetic gain with regards to genotype x environment interactions. *Studia Forestalia Suecica*, Nr. 166, pp. 15-24.
163. **Lindgren, D.** (1991) Progeny testing. In: Giertych, M., Mátyás, Cs. (ed.) *Genetics of Scots Pine*. Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, pp. 191-203.
164. **Lindgren, D.** (2003) Optimum number of tested clones in seed orchards. www.genfys.slu.se/staff/dagl/Meetings/Iceland03/IcelandNumberClones2003.ppt, resurss apraksts: 01.08.2006.
165. **Lindgren, D., Matheson, A.C.** (1986) An Algorithm for Increasing the Genetic Quality of Seed from Seed Orchards by using Better Clones in Higher Proportions. *Silvae Genetica*, 35 (5-6), pp. 173-177.
166. **Lindgren, D., Mullin, T.J.** (1998) Relatedness and status number in seed orchard crops. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 28, pp. 276-283.
167. **Lindgren, D., Prescher, F.** (2005) Optimal Clone Number for Seed Orchards with Tested Clones. *Silvae Genetica*, 54 (2), pp. 80-92.
168. **Lindgren, D., Wei, R.-P., Lee, S.J.** (1997) How to calculate optimum family number when starting a breeding program. *Forest Science*, Nr. 43, pp. 206-212.
169. **Lowe, W. J., Byram, T.D., Bridgwater, F.E.** (1999) Selecting Loblolly Pine Parents for Seed Orchards to Minimize the Cost of Producing Pulp. *Forest Science*, 45 (2) pp.
170. **Lynch, M., Conery, J., and Burger, R.** (1995) Mutation accumulation and the extinction of small populations. *The American Naturalist*, Nr. 146. pp. 489– 518.
171. **Mäkinen, H.** (1996) Effect of Intertree Competition on Branch Characteristics of *Pinus sylvestris* Families. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Nr. 11, pp. 129-136.
172. **Mäkinen, H.** (1999a) Effect of stand density on radial growth of branches of Scots pine in southern and central Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 29, pp. 1216-1224.
173. **Mäkinen, H.** (1999b) Growth, suppression, death, and self-pruning of branches of Scots pine in southern and central Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 29, pp. 585-594.
174. **Mäkinen, H., Colin, F.** (1999) Predicting the number, death, and self-pruning of branches in Scots pine. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 29, pp. 1225-1236.
175. **Mäkinen, H., Hynynen, J., Isomäki, A.** (2005) Intensive management of Scots pine in southern Finland: First empirical results and simulated further development. *Forest Ecology and Management*, Nr. 215, pp. 37-50.
176. **Manninen, A.-M., Vuorinen, M., Holopainen, J.K.** (1998) 1315-1331.

177. **Månsson, P.E., Eriksson, C., Sjödin, K.** (2005) Antifeedants against *Hylobius abietis* Pine Weevils: An Active Compound In Extract of Bark of *Tilia cordata* Linden. *Journal of Chemical Ecology*, Nr. 31, pp. 989-1001.
178. **Marilaë, J., Crnokrak, P** (2001) Comparison of genetic differentiation at marker loci and quantitative traits. *J. Evol. Biol.*, 14, pp. 892-903.
179. **Matheson, A.C., Cotterill, P.P.** (1990) Utility of Genotype x Environment Interactions. *Forest Ecology and Management*, Nr. 30, pp. 159-174.
180. **Matheson, A.C., Wu, H.X., Spencer, J.D., Raymond, C.A., Griffin, A.R.** (2002) Inbreeding in *Pinus Radiata* III. The Effect of Inbreeding on Age-age Correlation and Early Selection Efficiency. *Silvae Genetica* 51 (2–3), pp. 115-122.
181. **Matras, J.** (2005) New program for the forest gene conservation and breeding in Poland: Presentation in Meeting of Nordic Tree Breeders and Forest Geneticists 2005 – Status, Monitoring and Targets for Breeding Programs, September 13-15, Siktivkar, Komi, Russia.
182. **Mátyás, C.** (2007) What do field trials tell about the future use of forest reproductive material? In: J. Koskela, A. Buck, E. Teissier du Cros (eds.) *Climate change and forest genetic diversity: implications for sustainable forest management in Europe*, pp. 53-68.
183. **Matzirs, D.** (2005) Genetic Variation and Realized Genetic Gain From Black Pine Tree Improvement. *Silvae Genetica*, Nr. 54, pp. 96-104.
184. **McDonald, B.A.** (2004) Population Genetics of Plant Pathogens. <http://www.apsnet.org/education/AdvancedPlantPath/Topics/PopGenetics/top.htm>, resurss apraksts 10.08.2007.
185. **McKeand, S. E., Eriksson, G., Roberds, J. H.** (1997) Genotype by environment interaction for index traits that combine growth and wood density in loblolly pine. *Theoretical and Applied Genetics*, Nr. 94, pp. 1015-1022.
186. **McKeand, S., Li, B.** (2005) The NC State Tree Improvement Program – 50 Years of Partnering with Southern Forest Landowners. NC State University-Industry Cooperative Tree Improvement Program, Department of Forestry and Environmental Resources, Raleigh, NC, US, 2 p.
187. **McKeand, S.E., Bridgwater, F.E.** (1998) A Strategy for the Third Breeding Cycle of Loblolly Pine in Southeastern U.S. *Silvae Genetica*, Nr. 47, pp. 223-234.
188. **McKend, S., Mullin, T., Byram, T., White, T.** (2003) Deployment of Genetically Improved Loblolly and Slash Pines in South. *Journal of Forestry*, April/May, pp. 32-37.
189. **McRae, T. A., Dutkowski, G. W., Pilbeam, D. J., Powell, M. B., Tier, B.** (2004) Genetic evaluation using the Treeplan® system. In: B. Li and S. McKeand (eds) *Forests genetics and tree breeding in the age of genomics: progress and future*, IUFRO joint conference of division 2., November 1-5, Charleston, South Carolina, pp. 8.
190. **McRae, T. A., Dutkowski, G. W., Pilbeam, D. J., Powell, M. B., Tier, B.** (2004a) Genetic evaluation using the Treeplan® system. In: *IUFRO joint conference of division 2. „Forests genetics and tree breeding in the age of genomics: progress and future.”*, Charleston, South Carolina, 8p.
191. **McRea, J.B., Stelzer, H.E., Foster, G.S., Caldwell, T.** (1993) Genetic test results from a tree improvement program to develop clones of loblolly pine for reforestation. In: Weir, Robert J.; Hatcher, Alice V. (compilers) *proceeding of 23rd Southern Forest Tree Improvement Conference*, Atlanta, GA, pp. 424-433.
192. **Meža ģenētisko resursu saglabāšanas un selekcijas attīstības programma** (2003) Lietuvas Republikas Vides ministra 2003. gada 7. marta pavēle Nr 110.
193. **Mikola, J.** (1985) Methods used for the genetic evaluation of tree breeding material in Finland. In: Tigersted, P., Puttonen, P., Koski, V. (eds.) *Crop Physiology of Forest Trees*. University of Helsinki, Finland, pp. 138-143.
194. **Moberg, L.** (1999) Variation in Knot Size in Two Initial Spacing Trials. *Silva Fennica*, Nr. 33, pp. 131-144.

195. **Molotkov, P.I., Patlaj, I.N.** (1991) Systematic position within the genus *Pinus* and intraspecific taxonomy. In: Giertych, M., Mátyás, C. (eds.) Genetics of Scots Pine. Elsevier, Amsterdam, pp. 31-40.
196. **Morand, M.-E., Brachet, S., Rossignol, P., Dufour, J., Frascaria-Lacoste, N.** (2002) A generalized heterozygote deficiency assessed with microsatellites in French common ash populations. *Molecular Ecology*, 11, pp. 377-385.
197. **Moura, V.P.G., Dvorak, W.S.** (2001) Provenance and family variation of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* from Guatemala and Honduras, grown in Brazil, Colombia and Venezuela. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, Nr. 36, pp. 225-234.
198. **Müller-Starck, G.** (1982) Sexually asymmetric fertility selection and partial self-fertilization: Clonal gametic contribution to the offspring of a Scots pine seed orchard. *Silva Fennica*, 16 (2), pp. 99-106.
199. **Muona, O., Harju, A.** (1989) Effective Population Sizes, Genetic Variability, and Mating Systems in Natural Stands and Seed Orchards of *Pinus sylvestris*. *Silvae Genetica*, Nr. 38, pp. 221-228.
200. **Muona, O., Harju, A.** (1989) Effective Population Sizes, Genetic Variability, and Mating Systems in Natural Stands and Seed Orchards of *Pinus sylvestris*. *Silvae Genetica*, 38 (5-6), pp. 221-228.
201. **Namkoong, G.** (1998) The place of adaptation and production in genetic improvement programmes for sustainable development. Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, BC, 15 p.
202. **Namkoong, G.** (2001). Forest genetics: pattern and complexity. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 31, pp. 623-632.
203. **Neale, D.B.** (2007) Genomics of Adaptation to Biotic and Abiotic Stresses in Conifers. In: Proceeding of GENE CAR meeting “Application of DNA based tools for genetic research, molecular breeding, and management and monitoring of genetic resources”, Umeå, Sweden, 23-25 September 2007.
204. **Nicholls, J.W.P., Morris, J.D., Pederick, L.A.** (1980) Heritability estimates of density characteristics in juvenile *Pinus radiata* wood. *Silvae Genetica*, 29, pp. 76-84.
205. **Nielsen, U.B.** (2002) Tree Breeding in Denmark. In: Haapanen, M., Mikola, J. (eds.) Proceedings of the Nordic Group for Management of Genetic Resources of Trees, meeting at Mekrijärvi, Finland, March 23-27, 2001, pp. 23.-32.
206. **Nienstaed, H., Riemenschneider, D.E.** (1984) Changes in Heritability Estimates with Age and Site in White Spruce, *Picea glauca* (Moench) Voss. *Silvae Genetica*, Nr. 34, pp. 34-41.
207. **Nikkanen, T., Haapanen, M.** (1997) Finnish Forest Tree Breeding in Pictures. In: <http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketti/treebreeding.htm>, resurss aprakstīts 02.08.2006.
208. **Nikkanen, T., Peltonen, M., Antola, J.** (2005) New seed orchard programme in Finland. Presentation in Meeting of Nordic Tree Breeders and Forest Geneticists 2005 – Status, Monitoring and Targets for Breeding Programs, September 13-15, Siktivkar, Komi, Russia.
209. **Nikkanen, T., Ruotsalainen, S.** (2000) Variation in Flowering Abundance and Its Impact on the Genetic Diversity of the Seed Crop in a Norway Spruce Seed Orchard. *Silva Fennica*, 34 (3), pp. 205-221.
210. **Nilsson, J.-E., Eriksson, G.** (1986) Freez Testing and Field Mortality of *Pinus sylvestris* (L.) in Northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Nr. 1, pp. 205-218.
211. **Nilsson, J.-E., Eriksson, G.** (1986) Freez Testing and Field Mortality of *Pinus sylvestris* (L.) in Northern Sweden. *Scand, J. For. Res.*, 1, pp. 205-218.
212. **Nilsson, J.-E., Lindgren, D.** (2005) Using seed orchard seed with unknown fathers. In: Fedorkov, A. (ed.) Status, monitoring and targets for breeding programs: Proceedings of the Meeting of Nordic Tree Breeders and Forest Geneticists, Syktyvkar, Komi Republic, Russia, September 13-15, 2005, pp. 57-64.

213. **Niskanen, A.-M.** (2008) Field behaviour of Scots pine cuttings compared to seedlings: presentation. In: conference: Vegetative propagation of conifers for enhancing landscaping and tree breeding, September 10-11, Punkaharju, Finland.
214. **Noteikumi par meža reprodiktīvo materiālu, Nr 648** (2003) LR Ministru kabinets, Rīga, 27 lpp.
215. **Nummi, T.** (1999) Prediction of stem characteristic for *Pinus sylvestris*. Scandinavian Journal of Forest Research, Nr. 14, pp. 270-275.
216. **Oleksyn, J., Reich, P.B., Chalupka, W., Tjoelker, M.G.** (1999) Differential above- and below-ground biomass accumulation of European *Pinus sylvestris* populations in a 12-year-old provenance experiment. Scandinavian Journal of Forest Research, Nr. 14, pp. 7-17.
217. **Oleksyn, J., Tjoelker, M.G., Reich, P.B.** (1998) Adaptation to changing environment in Scots pine populations across a latitudinal gradient. Silva Fennica, Nr. 32, pp. 194-140.
218. **Olsson, T.** (2001) Parameters, relationships and selections in pines: doctoral thesis. Department of Forest Genetics and Plant Physiology, SLU, Umeå, Sweden, 27 p.
219. **Olsson, T., Ericsson, T.** (2002) Genetic Parameter Estimates of Growth and Survival of *Pinus sylvestris* with Mixed Model Multiple-trait Restricted Maximum Likelihood Analysis. Scandinavian Journal of Forest Research, Nr. 17, pp. 103-110.
220. **Owino, F.** (1977) Genotype x Environment Interaction and Genotypic Stability in Loblolly pine. Silvae Genetica, Nr. 26, pp. 176-179.
221. **Parland, S. Mc., Kearney, J. F., Rath, M., Berry, D.P.** (2007a). Inbreeding Effects on Milk Production, Calving Performance, Fertility, and Conformation in Irish Holstein-Friesians. J. Dairy Sci., 90, pp. 4411-4419.
222. **Parland, S. Mc., Kearney, J. F., Rath, M., Berry, D.P.** (2007b). Inbreeding trends and pedigree analysis of Irish dairy and beef cattle populations. J. Anim Sci., 85, pp. 322-331.
223. **Paul, M., Hinrichs, T., Janssen, A., Schmitt, H.P., Soppa, B., Stephan, B.R., Dörflinger, H.** (2000) Konzept zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung forstlicher Genressourcen in der Bundesrepublik Deutschland. Bestätigt durch die Forstchefkonferenz am 26./27. 10. 2000. in Augsburg. Neufassung. 66 b.
224. **Pederick, L.A.** (1990) Family x Site Interactions in *Pinus radiata* in Victoria, Australia, and Implications for Breeding Strategy. Silvae Genetica, Nr. 39, pp. 134-140.
225. **Pedersen, A.** (1994) Trends in Scots pine provenance experiments. In: Scots Pine Breeding and Genetics : Proceeding of the IUFRO S.02.18. Symposium, Kaunas, Lithuania, pp. 104-113.
226. **Pedersen, A.P.** (1994) Trends in Danish Scots pine provenance experiments. In: Scots pine breeding and genetics: Proceedings of IUFRO S.02.18. Symposium, 13-17 of September, LFRI, Kaunas, Lithuania, pp.37-45.
227. **Persson, A.** (1972) Studies on the basic density in mother trees and progenies of pine. Studia Forestalia Suecica, Nr. 96, 37 p.
228. **Persson, A.** (1994) How genotype and Silviculture Interact in Forming Timber Properties. Silva Fennica, Nr. 28, pp. 275-282.
229. **Persson, B.** (1994) Effect on provenance transfer on survival in nine experimental series with *Pinus sylvestris* (L.) in Northern Sweden. Scandinavian Journal of Forest Research, Nr. 9, pp 275-287.
230. **Persson, B.** (1998) Will climate changes affect the optimal choice of *Pinus sylvestris* provenances? Silva Fennica, Nr. 32, pp. 121-128.
231. **Persson, B., Beuker, E.** (1997) Distinguish between the effects of changes in temperature and light climate using provenance trials with *Pinus sylvestris* in Sweden. Canadian Journal of Forest Research, Nr. 27, pp. 572-579.
232. **Persson, B., Persson, A., Ståhl, E.G., Karlsmats, U.** (1995) Wood quality of *Pinus sylvestris* progenies at various spacings. Forest Ecology and Management, Nr. 76, pp. 127-138.
233. **Petersson, H.** (1997) Functions for Predicting Crown Height of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* in Sweden. Scandinavian Journal of Forest Research, Nr. 12, pp. 179-188.

234. **Pietilä, J.** (1989) Factors affecting the healing-over of pruned Scots pine knots. *Silva Fennica*, Nr. 23, pp. 125-158.
235. **Pliūra, A., Gabrilavičius, R.** (1994) Ecological plasticity of Lithuanian Scots pine populations. In: Scots pine breeding and genetics: Proceedings of IUFRO S.02.18. Symposium, 13-17 of September, LFRI, Kaunas, Lithuania, pp.54-62.
236. **Portmann, P., Ketata, H.** (1997) Field plot technique. In: R.A. Kempton, P.N. Fox (eds.) *Statistical Methods for Plant Variety Evaluation*. Chapman & Hall, London, pp. 9-18.
237. **Pöykkö, T.** (1982) Genetic variation in quality characters of Scots pine: An evaluation by the means of heritability concept. *Silva Fennica*, Nr. 16, pp. 135-140.
238. **Prescher, F., Lindgren, D., Varghese, M.** (2004) Genetic Thinning of Clonal Seed Orchards using Linear Deployment. In: B. Li, S. McKend (eds.) *Forest Genetics and Tree Breeding in the Age of Genomics - Progress and Future: proceeding of IUFRO Joint Conference of Division 2, November 1-5, 2004, Charleston, South Carolina, USA*, pp. 233-241.
239. **Prescher, F., Lindgren, D., Wennstrom, U., Almqvist, C., Ruotsalainen, S, Kroon, J.** (2006) Seed production in Scots pine seed orchards. In: Fedorkov, A. (ed.) *Status, monitoring and targets for breeding programs: proceedings of the Meeting of Nordic Tree Breeders and Forest Geneticists, September 13-15, Syktyvkar, Komi Republic, Russia*, pp.65-72.
240. **Pro Silva** (1996) *Pro Silva Europa*, 36 p.
241. **Rebetez, M., Dobbertin, M.** (2004) Climate change may already threaten Scots pine stands in the Swiss Alps. *Theoretical and Applied Climatology*, Nr. 79, pp. 1-9.
242. **Reed, D.H., Frankham, R.** (2003) Correlation between Fitness and Genetic Diversity. *Conservation Biology*, 17 (1), pp. 230-237.
243. **Reich, P.B., Wright, I.J., Cavender-Bares, J., Craine, J.M., Oleksyn, J., Westoby, M., Walters M.B.** (2003) The Evolution of Plant Functional Variation: Traits, Spectra, and Strategies. *Int. J. Plant Sci.*, 164 (3 Suppl.), pp. 143-164.
244. **Roberds, J.H., Bishir, J.W.** (1997) Risk analyses in clonal forestry. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 27, pp. 425-432.
245. **Robledo-Arnuncio, J.J., Alía, R., Gil, L.** (2004) Increased selfing and correlated paternity in a small population of a predominantly outcrossing conifer, *Pinus sylvestris*. *Molecular Ecology*, 13, pp. 2567-2577.
246. **Roff, D.A.** (2001) The threshold model as a general purpose normalizing transformation. *Heredity*, Nr. 86, pp. 404-411.
247. **Rone, V.** (1973) Fenotipiskās izlases ietekme uz parastās egles *Picea abies* L. (Karst.) ātraudzību. *Jaunākais Mežsaimniecībā*, Nr. 15, 3.-6. lpp.
248. **Rone, V.** (1984) Pirmie egļu provenienču vērtēšanas rezultāti Latvijā. *Jaunākais Mežsaimniecībā*, 26, 33.-38. lpp.
249. **Rone, V.** (1985) Egles klonu juvenilā augšana un selekcijas stratēģija. *Jaunākais Mežsaimniecībā*, Nr. 27, 10.-16. lpp.
250. **Rone, V.** (1993) Norway spruce. In: Rone, V., Birģelis, J., Gailis, A. (ed.) *Forest tree breeding in Latvia, Silava, Salaspils*, pp. 11-16.
251. **Rosvall, O.** (1999) Enhancing Gain from Long-Term Forest Tree Breeding while Conserving Genetic Diversity: doctoral thesis. Department of Forest Genetics and Plant Physiology, SLU, Umeå, Sweden, 65 p.
252. **Rosvall, O.** (2001) New seed orchards give high genetic gain. *SkogForsk Results*, Nr. 2, 4 p.
253. **Rosvall, O., Jansson, G., Andersson, B., Ericsson, T., Karlsson, B., Soennesson, J., Stener, L.-G.** (2002) Predicting genetic gain from existing and future seed orchards and clone mixes in Sweden. In: Haapanen, M, Mikola, J., (eds.) *Integrating Tree Breeding and Forestry: Proceeding of the Nordic Group of Management of Genetic Resources of Trees meeting, March 23-27, Mekrijärvi, Finland*, pp.71-85.

254. **Rosvall, O., Lindgren, D., Mullin, T.** (1998) Sustainability, robustness and efficiency of a multi-generation breeding strategy based on within-family clonal selection. *Silvae Genetica*, Nr. 47, pp. 307-321.
255. **Rosvall, O., Ståhl, P.** (2007) New Swedish Seed Orchard Program: In Lindgren D. (ed.) Proceedings of a Seed Orchard Conference, September 26-28, Umeå, Sweden, pp. 216-217.
256. **Roth, B.E., Jokela, E.J., Martin, T.A., Huber, D.A., White, T.L.** (2007) Genotype x environment interactions in selected loblolly and slash pine plantations in the Southeastern United States. *Forest Ecology and Management*, Nr. 238, pp. 175-188.
257. **Routsalainen, S., Lindgren, D.** (1998) Predicting Genetic Gain of backward and Forward Selection in Forest Tree Breeding. *Silvae Genetica*, Nr. 47, pp. 42-50.
258. **Rudin, D., Ekberg, I.** (1982) Genetic structure of open-pollinated progenies from seed orchard of *Pinus sylvestris*. *Silva Fennica*, 16 (2), pp. 87-93.
259. **Ruotsalainen, S., Lindgren, D.** (2000) Stratified sublining: a new option for structuring breeding populations. *Can. J. For. Res.* 30, pp. 596-604.
260. **Ruotsalainen, S., Lindgren, D.** (2001) Number of founders for a breeding population using variable parental contribution. *Forest Genetics* 1 (8), pp. 57-67.
261. **Russel, J.H., Loo-Dinkins, J.A.** (1993) Distribution of testing Effort in Cloned Genetic Tests. *Silvae Genetica*, Nr. 42, pp. 98-104.
262. **Sabor, J.** (1994) Breeding value of Polish provenances of Scots pine in the Carpathian Mountains. In: Scots pine breeding and genetics: Proceedings of IUFRO S.02.18. Symposium, 13-17 of September, LFRI, Kaunas, Lithuania, pp.157-168.
263. **Sakalauskaitė, A., Kazlauskienė, B.** (2003) Lietuvos miško genetiniai ištekliai ir jų išsaugojimas / Lithuanian forest genetic resources and their conservation. LR aplinkos ministerija, Vilnius, Lithuania, 56 p.
264. **Samuel, S.** (2001) On the integration of improved material into forestry. In: M. Haapanen, J. Mikola (eds.) Integrating Tree Breeding and Forestry: proceeding of the Nordic Group for Management of Genetic Resources of Trees, meeting at Mekrijärvi, Finland, March 23-27, pp.44.-47.
265. **Sarmulis, Z.** (2007) Priedes stumbra komerciālās daļas kvalitātē saistībā ar zarojumu: disertācija. Meža izmantošanas katedra, LLU, Jelgava, Latvija, 112 lpp.
266. **Sarvas, R.** (1970) Establishment and registration of seed orchards. *Folia Forestalia*, Nr. 89, 24 p.
267. **Schmidtling, R.C.** (1994) Use of provenance tests to predict response to climate change: loblolly pine and Norway spruce. *Tree Physiology*, Nr. 14, pp. 805-817.
268. **Schmidtling, R.C., Hipkins, V.** (1998) Genetic diversity in longleaf pine (*Pinus palustris*): influence of historical and prehistorical events. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 28, pp. 1135-1145.
269. **Schneck, V.** (2002) Ergebnisse und Perspektiven der forstlichen Selektions- und Kreuzungszüchtung am Beispiel der Kiefer. *Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch. ökol.* 3 (36). b.132 – 135.
270. **Schneck, V., Schneck, H.** (1997) 30 Jahre Kreuzungszüchtung bei der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) in Waldsieversdorf. *Forst und Holz* 12., b. 332-335.
271. **Sedjo, R.A.** (2001) The Economic Contribution of Biotechnology and Forest Plantations in Global Wood Supply and Forest Conservation. In: Strauss, S.H., Bradshaw H.D. (eds.) Proceeding of First International Symposium on Ecological and Societal Aspects of transgenic Plantations, Oregon, pp. 29-46.
272. **Shutyaev, A.M., Giertych, M.** (1997) Height growth variation in a comprehensive Eurasian provenance experiment of *Pinus sylvestris* L. *Silvae Genetica*, 46 (6), pp 332-349.
273. **Shutyaev, A.M., Giertych, M.** (2000) Genetic subdivision of the range of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) based on a transcontinental provenance experiment. *Silvae Genetica*, 49 (3), pp 137-151.
274. **Simms, E.L.** (2000) Defining tolerance as a norm of reaction. *Evolutionary Ecology*, Nr. 14, pp. 563-570.

275. **Skaret, G.** (2004) Fremtidig skogfrøforsyning av gran i nord Norge: Rapport nr 1 19 lpp.
276. **Skjøppa, T.** (2002) Forest tree breeding in Norway – status and challenges for the future.
277. **Skjøppa, T.** (2002) Forest tree breeding in Norway – status and challenges for the future. In: Haapanen, M, Mikola, J., (eds.) Integrating Tree Breeding and Forestry: Proceeding of the Nordic Group of Management of Genetic Resources of Trees meeting, March 23-27, Mekrijärvi, Finland, pp. 21.-22.
278. **Snyder, E.B., Namkoog, G.** (1978) Inheritance in a Diallel Crossing Experiment with Longleaf Pine: Research Paper SO-140. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, New Orleans, LA, US, 31 p.
279. **Sonesson, J., Jansson, G., Eriksson, G.** (2001) Retrospective Genetic Tests of *Pinus sylvestris* L. in Growth Chambers with Two Irrigation Regimes and Two Temperatures. Scandinavian Journal of Forest Research, Nr. 16, pp. 21-29.
280. **Ståhl, E.G.** (1988) Transfer effect and variations in basic density and tracheid length of *Pinus sylvestris* L. populations. Studia Forestalia Suecica, Nr. 180, 15 p.
281. **Ståhl, P.H., Jansson, G.** (2002) Tree Breeding in Sweden. In: Haapanen, M., Mikola, J. (eds.) Proceedings of the Nordic Group for Management of Genetic Resources of Trees, meeting at Mekrijärvi, Finland, March 23-27, 2001, pp. 14 - 20.
282. **Stener, L.G.** (2005) Results from genetic tests of *Betula pendula* in southern Sweden and its impact on future breeding: Presentation in Meeting of Nordic Tree Breeders and Forest Geneticists 2005 – Status, Monitoring and Targets for Breeding Programs, September 13-15, Siktivkar, Komi, Russia.
283. **Stener, L.-G., Jansson, G.** (2005) Improvement of *Betula pendula* by clonal and progeny testing of phenotypically selected trees. Scandinavian Journal of Forest Research, Nr. 20, pp. 292-303.
284. **Stener, L.-G., Jansson, G.** (2005) Improvement of *Betula pendula* by clonal and progeny testing of phenotypically selected trees. Scand. J. For. Res., 20 (4), pp. 292-303.
285. **Stephan, B.R.** (1991) Inheritance of resistance to biotic factors. In: Giertych, M., Mátyás, Cs. (ed.) Genetics of Scots Pine. Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, pp. 205-218.
286. **Stoehr, M., Webber, J., Woods, J.** (2004) Protocol for rating seed orchard seedlots in British Columbia: quantifying genetic gain and diversity. Forestry, Nr. 77, pp. 297-303.
287. **Stoehr, M.U., El-Kassaby, Y.A.** (1997) Levels of genetic diversity at different stages of the domestication cycle of interior spruce in British Columbia. Theoretical and Applied Genetics, Nr. 94, pp. 83-90.
288. **Storz, J.F.** (2002) Contrasting patterns of divergence in quantitative traits and neutral DNA markers: analysis of clinal variation. Molecular Ecology, 11, pp. 2537-2551.
289. **Svensson J.C., McKeand S.E., Allen H.L., Campbell R.G.** (1999) Genetic Variation in Height and Volume of Loblolly Pine Open-Pollinated Families During Canopy Closure. Silvae Genetica, Nr. 48, pp.204-208.
290. **Talbert, J. T. Weir, R. J., Arnold, R. D.** (1985) Costs and Benefits of a Mature First-Generation Loblolly Pine Tree Improvement Program. Journal of Forestry, 83 (3), pp. 162-166.
291. **Talbot, M.** (1997) Resource allocation for selection systems. In: R.A. Kempton, P.N. Fox (eds.) Statistical Methods for Plant Variety Evaluation. Chapman & Hall, London, pp. 163-174.
292. **Tamm, Ü.** (1996) Forest Tree Breeding in Estonia. Estonian Institute of Forestry and Nature Conservation, Tartu, Estonia, 40 p.
293. **Tamm, Ü. (ed.)** (1996) Forest Tree Breeding in Estonia. Estonian Institute of Forestry and Nature Conservation, Tartu, 40 p.
294. **Tamm, Ü., Kurm, M.** (2002) Integrating tree breeding and forestry in Estonia: Proceedings of the Nordic Group for Management of Genetic Resources of Trees, meeting at Mekrijärvi, Finland, March 23-27, pp. 33-38.

295. **Tegelmark, D.O.** (1999) Prediction of stem properties based on climate and soil factors in naturally regenerated *Pinus sylvestris* stands. Scandinavian Journal of Forest Research, Nr. 14, pp. 131-142.
296. **Tigerstedt, P.M.A., Rudin, D., Niemelä, T., Tammisola, J.** (1982) Competition and neighbouring effect in a naturally regenerating population of Scots pine. Silva Fennica, 16 (2), pp. 122-129.
297. **Todoroki, C. L., Carson, S. D.** (2003) Managing the future forest resource through designer trees. International Transactions in Operational Research, 10 (5), pp. 449-462.
298. Adult large pine weevils *Hylobius abietis* feed on silver birch *Betula pendula* even in the presence of conifer seedlings. Agricultural and Forest Entomology, Nr. 8, pp. 121–128.
299. **Toivonen, R., Viiri, H.** (2006) Adult large pine weevils *Hylobius abietis* feed on silver birch *Betula pendula* even in the presence of conifer seedlings. Agricultural and Forest Entomology. 8 (2), pp. 121-128.
300. **Turkia, K., Kellomäki, S.** (1987) Influence of site fertility and stand density on the diameter of branches in young Scots pine stands (in Finnish with English summary). Folia Forestalia, Nr. 705, 16 p.
301. **Ulvcrona K.A., Claesson S., Sahlén, K., Lundmark, T.** (2007) The effect of timing of pre-commercial thinning and stand density on stem form and branch characteristics of *Pinus sylvestris*. Forestry: Advanced Access. Available at: <http://forestry.oxfordjournals.org/cgi/content/abstract/cpm011v1>, 13.02.2008.
302. **Uusvaara, O.** (1985) The Quality and Value of Sawn Goods from Plantation-grown Scots pine. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae, Nr. 130, 52 p.
303. **Valinger, E., Elfving, B., Mörling, T.** (2000) Twelve-year growth response of Scots pine to thinning and nitrogen fertilization. Forest Ecology and Management, Nr. 134, pp.-45-53.
304. **Vanninen, P.** (2004) Allocation of above-ground growth in *Pinus sylvestris* – impact of tree size and competition. Silva Fennica, Nr. 38, pp. 155-166.
305. **Velling, P.** (1982) Genetic variation in quality characteristics of Scots pine. Silva Fennica, Nr. 16, pp. 129-134.
306. **Velling, P., Haapanen, M., Napola, M.-L., Ruotsalainen, S., Venäläinen, M., Viherä-Aarnio, A.** (2002) The impact of genetically improved reproductive material on forest regeneration: METLA project. Available at <http://www.metla.fi/hanke/3235/index-en.htm>, resurss aprakstīts 01.08.2006.
307. **Velling, P., Tigerstedt, P.M.A.** (1984) Harvest index in a progeny test of Scots pine with reference to the model of selection. Silva Fennica, Nr. 18, pp. 21-32.
308. **Via, S., Lande, R.** (1995) Genotype-environment interaction and the evolution of phenotypic plasticity. Evolution, Nr. 39, pp. 505-522.
309. **Viherä-Aarnio, A., Heikkilä, R.** (2006) Effect of the latitude of seed origin on moose (*Alces alces*) browsing on silver birch (*Betula pendula*). Forest Ecology and Management, Nr. 229, pp. 325 -332.
310. **Viherä-Aarnio, A., Velling, P.** (2001) Micropropagated silver birch (*Betula pendula*) in the field – Performance and clonal differences. Silva Fennica, Nr. 35, pp. 385-401.
311. **Vitalität and genetische Variabilität der Eiche in Nordrhein-Westfalen** (2004) Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten NRW, 58 b.
312. **Wainhouse, D., Staley, J., Johnston, J., Boswell, R.** (2005) The effect of environmentally induced changes in the bark of young conifers on feeding behaviour and reproductive development of adult *Hylobius abietis* (Coleoptera: Curculionidae). Bulletin of Entomological Research, Nr. 95, pp. 151-159.
313. **Wang, X-R., Lindgren, D., Szmidt, A.E., Yazdani, R.** (1991) Pollen Migration Into a Seed Orchard of *Pinus sylvestris* L. and the Methods of its Estimation using Allozyme Markers. Scandinavian Journal of Forest Research, Nr. 6, pp. 379-385.

314. **Wei, R.-P.** (1995) Predicting genetic diversity and optimizing selection in breeding programmes: doctoral thesis, Department of Forest Genetics and Plant Physiology, SLU, Umeå, Sweden, 59 p.
315. **Wei, R.-P., Lindgren, D.** (2001) Optimum breeding generation interval considering buildup of relatedness. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 31, 722-729.
316. **Welander, M., Zhu, L.-H., Lindgren, D., Barnett, J., Bonham, V., Gallagher, T., Butler, E., Andersson, U., Ewald, D., Naujoks, G., Hagqvist, R., Salonen, M., Lapinjoki, S.** (2002) Characterization and validation of wood properties in birch for industrial use and future breeding. In: Welander, M., Zhu, L.-H. (ed.) *Proceeding of the workshop on high quality birch clonal propagation and wood properties*, Ronneby, Sweden, August 27-28, 2001, pp. 26-36.
317. **Werner, M.** (1993) Breeding broad-leaved tree species in Sweden. In: Correct reprint from: Lee, S.J. *Progeny testing and breeding strategies: Proceeding of Nordic group of tree breeding*, October 1993, Edinburgh, pp. 22-25.
318. **Westin, J., Sonesson, J.** (2005) Unik studie visar på stor potential för förädling av gran. *Skoghrost Results*, Nr. 20, 4 p.
- Abraitis, R., Eriksson, G.** (1998) Analysis of unreplicated Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenance trials. *Baltic Forestry*, Nr. 2, pp. 63-68.
319. **White, T.L., Hodge, G.R.** (1989) *Predicting Breeding Values with Application in Forest Tree Improvement*. Kluwer, 423 p.
320. **White, T.L., Huber, D.A., Powel, G.L.** (2003) Third-Cycle Breeding Strategy for Slash Pine by the Cooperative Forest Genetic Research Program. In: *proceeding of 27th Southern Forest Tree Improvement Conference*, Nr. 27, pp. 17-29.
321. **Whittock, S. P., Apiolaza, L. A., Dutkowski, G. W., Greaves, B. L., Potts, B. M.** (2004) Carbon revenues and economic breeding objectives in Eucalyptus Globulus pulpwood plantations. In: Borralho, N., et. al. (eds.) *Eucalyptus in a Changing World: Proceeding of IUFRO Conference*, 11-15 of October, Aveiro, Portugal, pp. 5.
322. **Wilhelmsson, L., Andersson, B.** (1993) Breeding of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and lodgepole pine (*Pinus contorta* spp. *latifolia*). In: Lee, S.J. *Progeny testing and breeding strategies: Proceeding of Nordic group of tree breeding*, October 1993, Edinburgh, UK, pp. 5-15.
323. **Wu, H. X., Matheson, A. C., Spencer, D.** (2004a) Inbreeding in *Pinus radiata*. I. The effect of inbreeding on growth, survival and variance. *TAG*, 97 (8), pp. 1256-1268.
324. **Wu, H.X.** (1998) Study of Early Selection in Tree Breeding: 1. Advantage of Early Selection through Increase of Selection Intensity and Reduction of Field Test Size. *Silvae Genetica*, Nr. 47, pp. 146-155.
325. **Wu, H.X., Ivković, M., Gapare, W.J., Matheson, A.C., Baltunis, B.S., Powell, M.B., McRae, T.A.** (2007) Breeding for Wood Quality and Profit in Radiata Pine: A Review of Genetic Parameters. *Ensis –Genetics & Southern Tree Breeding Association*, 20 p. Available at [http://proceedings.com.au/afgc/papers%20\(pdf\)/Wu.pdf](http://proceedings.com.au/afgc/papers%20(pdf)/Wu.pdf), resurss aprakstīts 12.11.2007.
326. **Wu, H.X., Matheson, A.C.** (2005) Genotype by Environment Interactions in an Australia-Wide Radiata Pine Diallel Mating Experiment: Implications for Regionalized Breeding. *Forest Science*, Nr. 51, pp. 29-40.
327. **Wu, H.X., Matheson, A.C., Abarquez, A.** (2002) Inbreeding in *Pinus radiata*. IV: the effect of inbreeding on wood density. *Ann. For. Sci.*, 59, pp. 557–562.
328. **Wu, H.X., Owen, J.V., Abarquez, A., Matheson, A.C.** (2004b) Inbreeding in *Pinus Radiata* – V. The Effects of Inbreeding on Fecundity. *Silvae Genetica*, 53 (2), pp. 80-87.
329. **Wu, R., Li, B., Wu, S.S., Casella, G.** (2001) A maximum likelihood-based method for mining major genes affecting a quantitative character. *Biometrics*, Nr. 57, pp. 764-768.
330. **Xiang, B., Li, B., Isik, F.** (2003a) Time Trends of Genetic Parameters in Growth Traits of *Pinus taeda* L. *Silvae Genetica*, Nr. 52, pp. 114-121.

331. **Xiang, B., Li, B., McKeand, S.** (2003b) Genetic Gain and Selection Efficiency of Loblolly Pine in Three Geographical Regions. *Forest Science*, Nr. 49, pp. 196-208.
332. **Xie, C.-Y.** (2003) Genotype by environment interaction and its implications for genetic improvement of interior spruce in British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 33, pp. 1635-1643.
333. **Xie, C.Y., Woods, J., Stoehr, M.** (1994) Effect of Seed Orchard Inputs on Estimating Effective Population Size of Seedlot – A Computer Simulation. *Silvae Genetica*, Nr. 43, pp. 145-154.
334. **Xie, C.-Y., Ying, C.C.** (1996) Heritabilities, Age-Age Correlations, and Early Selection in Lodgepole Pine (*Pinus contorta* ssp. *latifolia*). *Silvae Genetica*, Nr. 45, pp. 101-107.
335. **Yanchuk, A.D.** (2001) A quantitative framework for breeding and conservation of forest tree genetic resources in British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 31, pp. 566-576.
336. **Ying, C.C., Morgenstern, E.K.** (1979) Correlations of height growth and heritabilities at different ages in white spruce. *Silvae Genetica*, Nr. 28, pp. 181-185.
337. **Yu, Q.** (2001) Selection and propagation of hybrid aspen clones for growth and fiber quality. *Acad. Diss. For. Tree Breed.* Helsinki, 41 p.
338. **Zas, R., Merlo, E., Fernández-López, J.** (2004). Genotype x Environment Interaction in Maritime Pine Families in Galicia, Northwest Spain. *Silvae Genetica*, Nr. 53, pp. 175-182.
339. **Zas, R., Sampedro, L., Moreira, X., Martíns, P.** (2008) Effect of fertilization and genetic variation on susceptibility of *Pinus radiata* seedlings to *Hylobius abietis* damage. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 38, pp. 63-72.
340. **Zas, R., Sampedro, L., Prada, E., Fernández-López, J.** (2005) Genetic variation of *Pinus pinaster* Ait. seedlings in susceptibility to the pine weevil *Hylobius abietis* L. *Annals of Forest Science*, 62, pp. 681–688.
341. **Zas, R., Solla, A., Sampedro, L.** (2007) Variography and kriging allow screening *Pinus pinaster* resistant to *Armillaria ostoyae* in field conditions. *Forestry*, Nr. 80, pp. 201-209.
342. **Zhelev, P., Ekberg, I., Eriksson, G., Norell, L.** (2003) Genotype environment interactions in four full-sib progeny trials of *Pinus sylvestris* (L.) with varying site indices. *Forest Genetics*, Nr. 10, pp. 93-102.
343. **Zobel, B.J., Talbert, J.** (1984) Applied forest tree improvement. John Wiley & Sons, New York., 431 p.
344. **Zsuffa, L. Senneby-Forsse, L., Weisgerber, H., Hall, R.B.** (1993) Strategies for clonal forestry with poplars, aspen and willows. In: Ahuja, M.R., Libby, W.J. (eds.) Conservation and application: Vol. 2., Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 91-119.
345. **Zviedre, A.** (1973) Priedes no citurienes. *Zinātne un Tehnika*, Nr. 8, 12.-14. lpp.
346. **Бауманис, И., Озолс, Г.** (1976) Межсемейные различия повреждений лосями и насекомыми в популяциях сосны *Pinus sylvestris* L. - Защита хвойных в Латв. ССР. – Рига: Зинатне – С.56-63.
347. **Бауманис, И., Роне, В., Биргелис, Я., Паегле, М.** (1982) Влияние географических эффектов на ювенильный рост потомства сосны обыкновенной в ЛССР. – Географические опыты в лесной селекции Прибалтики. – Рига: Зинатне – С.17-41.
348. **Дрейманис, А.А.** (1990) Внутрипопуляционная изменчивость и стабильность роста сосны обыкновенной. На: Пирагс, Д.М., Бауманис, И.И., Роне, В.М. (ред.) Роль селекции в улучшении Латвийских лесов. Зинатне, Рига, с. 78-83.
349. **Правдин, Л.Ф.** (1964) Сосна обыкновенная. Наука, Москва, 191 с.
350. **Роне, В.М.** (1990) Клоновоееле соводство. На: Пирагс, Д.М., Бауманис, И.И., Роне, В.М. (ред.) Роль селекции в улучшении Латвийских лесов. Зинатне, Рига, с. 22-36.

Pielikums

1. tabula

Lietotie saīsinājumi

d	caurmērs krūšu augstumā (1,3 m), cm;
$\Delta g\%$	selekcijas efekts (ģenētiskais ieguvums), %;
h	augstums, m;
h^2	iedzimstamības koeficients;
h^2_f	pussību ģimeņu vidējo vērtību iedzimstamības koeficients (ģimeņu iedzimstamības koeficients);
hd	stabilitātes koeficients ($h d^{-1}$);
hzz	pirmā zaļā zara augstums, m;
N_e	efektīvais populācijas īpatņu skaits
r_a	aditīvā ģenētiskā efekta noteiktā korelācija starp 2 viena un tā paša indivīda pazīmēm (A-tipa ģenētiskā korelācija);
r_b	ģenētiskā korelācija starp vienas un tai pašas pazīmes vērtībām dažādos eksperimentos (B-tipa ģenētiskā korelācija);
$r\%$	diskonta likme, %;
se	iedzimstamības koeficienta standartklūda;
se_f	pussību ģimeņu vidējo vērtību iedzimstamības koeficienta standartklūda;
se_{ra}	A-tipa ģenētiskās korelācijas standartklūda;
tilp	stumbra tilpums, m^3 ;
\bar{x}	vidējā vērtība;
zb	zaru resnums ballēs;
zd	resnākā zara līdz 2 m augstumam diametrs, mm;
zd1, zd2, zd3	attiecīgi 1., 2., un 3. resnākā zara diametrs 1,3 m augstumam tuvākajā mieturī, mm;
zdprocm	vidējā zara diametra, mm / stumbra diametra, cm attiecība, $((zd_{vid} d^{-1}) 10)$, %;
zdprocx	resnākā zara diametra, mm / stumbra diametra, cm attiecība, $((zd1 d^{-1}) 10)$, %;
zdsun	zaru diametru summa 1,3 m augstumam tuvākajā mieturī, mm;
zdtop	vidējais 3 resnāko zaru diametrs 1,3 m augstumam tuvākajā mieturī $((zd1+zd2+zd3) zn^{-1})$, mm;
zdvid	vidējais zara diametrs 1,3 m augstumam tuvākajā mieturī, $(zdsun zn^{-1})$, mm;
zn	zaru skaits 1,3 m augstumam tuvākajā mieturī;
zv	zaļā vainaga relatīvais garums, $((h-hzz) h^{-1}) 100$, %;

aprēķinos izmantoti tikai valdaudzies koku dati no parcelēm bez trapes vai citu slimību pazīmēm, ja nav norādīts citādi

Selekcijas izmaksu aprēķinam lietotie dati

Atalgojuma likme, Ls/diena (bruto)

Procesa izpilde	30
Procesa vadība	60
Darba devēja nodoklis	0,2409

Darbietilpība, vienības/1 cilvēkdiena

Materiāla ievākšana identifikācijai	75 koki P, E, kur jābraukā pa plantācijām 150 koki B, jo viena stādījuma ietvaros, nevajag identificēt 200 koki atkārtotai krustošanai ģeneratīvās shēmas gadījumā
Ziedēšanas fenoloģijas novērojumi	12 koki P, E, kur apseko 6 reizes, vidēji 2 cilvēkdienas, kloni attālas plantācijas 4 koki B, kur apseko 4 reizes, vidēji 1 cilvēkdiena 10 koki H-Apse
Krustošanas materiāla atrašana (pluskoki)	koki 0,5
Krustošanas materiāla ievākšana	2 koki
Izolācijas maisu uzlikšana	15 kombinācijas P, E, pa 5 maisiem kombinācijā (fenotipiskās alternatīvas gadījumā vairāk) 40 kombinācijas B, H-apse pa 2 maisiem kombinācijā
Putekšņu ievākšana, žāvēšana	4 koki P, E 15 koki B
Putekšņu ieguve no Kanādas Fitosanitārā kontrole	2 koki, Amerikas apse H-apses ieguvei, organizatoriskais darbs 120 kombinācijas, H-apse
Papildus ziedēšanas fenoloģijas novērojumi	koki, H-apse 5 20 kombinācijas P, E (oti atkarīgs no attālus starp ramiem un puteksnēšanas vietām)
Puteksnēšana	100 kombinācijas B, jo kompakti vienā siltumnīcā 80 kombinācijas H-apse
Ūdens maiņa	40 kombinācijas 22 kombinācijas P, E
Izolācijas maisu noņemšana, marķēšana	60 kombinācijas B 80 kombinācijas H-apse
Krustojumu apsekošana	30 kombinācijas P, E (jāapseko 2 reizes) 60 kombinācijas B (jāapseko 2 reizes)
Spurdžu ievākšana, marķēšana	40 kombinācijas H-apse 22 kombinācijas P, E
Sēklu ievākšana, marķēšana	60 kombinācijas B 30 kombinācijas H-apse 100 kombinācijas kandidātu pārbaudēs, kur materiāls relatīvi kompakti
Platības izvēle	5 ha
Platības marķēšana	2 ha
Stādu marķēšana	1000 stādi
Identifikācija	1200 koki
Pirmā gada saglabāšanās kartēšana	1200 koki (aprēķiniem pieņemot 100% iestādītā skaita)
Uzmērīšana	200 koki
Datu ievade	1200 koki
Izvērtēšana	15 (1 stādījuma vieta)
Stacionārais marķējums	100 parces (izgatavošana, uzstādīšana)
Vairošanās koeficienta noteikšana	1,75 kloni, H-apse
Sākotnējais stādījuma biežums, koki/ha	2000 P, E, B 1100 H-apse

Kontraktēto pakalpojumi izmaksas**Ls/vienība**

Identifikācija ar molekulārajiem marķieriem	1 paraugs 4
Sēkļu attīrīšana, uzglabāšana	24 6 paraugi (3x2), kas vajadzīgi 1 kokam 2 kombinācija
Augsnes gatavošana	150
Stādīšana	160
Papildināšana	208 stādīšanas izmaksas x 1,3, plānota 20% no kopējs platības
Agrotehniskā kopšana	145 pļaušana, vidējs aizzēlums, 1 reize
Sastāva kopšana	145
Žogs	10 Ls/m žogs ar uzstādīšanu pieņemts kvadrātveida laukums ģimeņu stādījums 2 vietās (optimāli 1, bet ne vienmēr varēs atrast) kandidātu pārbaudes 4 vietās
Ievadīšana mikroklonālai pavairošanai	600 ievadīts H-apses klons

Transporta izmaksas

Autotransporta noma, Ls/dienā	35
Autotransporta noma, Ls/km (papildus)	0,05
Degvielas izmaksas, Ls/ 100 km	6
Kilometrāža, km/cilvēkdiena	120
Kopā, Ls/cilvēkdiena	48,2 (koriģētas atbilstoši darba specifikai)

Materiālu izmaksas, Ls/vienība

Izolācijas maisi	0,5 kombinācijai P, E
Šļirce, vate	0,2 kombinācijai B, H-apse
Krustošanas materiāla ievākšana - instrumenti	0,2 kombinācijai, visas sugas koks, H-apse
Putekšņi	0,5
Insekticīds	120 no Kanādas, H-apse
Marķējums zariem ar krustojumiem	0,1 kombinācijai, H-apse
Spurdžu, sēkļu marķējums	0,5 kombinācijai P, E 0,1 kombinācijai B, H-apse 0,1 kombinācijai, H-apse
Stādi	0,11 gab., P (rūpnieciskā materiāla cena x2, skaits x1,2) 0,14 gab., E (rūpnieciskā materiāla cena x2, skaits x1,2) 0,16 gab., B (rūpnieciskā materiāla cena x2, skaits x1,2) 0,40 gab., H-apse 0,65 gab., P
Klonālās kopijas (veģetatīvi pavairoti stādi)	0,40 gab., E 0,45 gab., B (neņemot vērā ievadīšanas izmaksas) 3,5 gab., H-apse ar sakņu spraudņiem
Stādu marķējamā lenta	0,02 stāds
Stacionārā marķējuma miets	1 vajadzīgs viens katrai 25 koku bloku parcelei
Datu analīzes programmatūra	900 katrā datu izvērtēšanas gadā

Lietotie saīsinājumi	
P	priede
E	egle
B	kārpainais berzs
H-Apse	hibrīdā apse
Kombinācija	krustojumu kombinācija