

Atskaite



Par līgumdarba

Saimnieciski nozīmīgo koku sugu (parastā priede, parastā egle, kārpainais bērzs) un apses selekcijas mērķu un selekcijas darba programmas aktualizācija a/s „Latvijas valsts meži”

izpildi

Projekta vadītājs:

/Ā. Jansons/

15.12.2007.

Kopsavilkums

Darba mērķis: izstrādāt detaļu plānu parastās priedes, parastās egles, kārpainā bērza un hibrīdās apses selekcijas darbam un tā realizācijai praksē (sēklu plantāciju ierīkošanai), pilnveidot selekcijas darbu metodiku un uzsākt pētījumus par iespējām saīsināt selekcijas ciklu.

Darba uzdevumi

1. Turpināt metodikas izstrādi selekcijas darba ekonomiskā aspekta novērtēšanai.
2. Izstrādāt dažādu koku sugu sēklu plantāciju ierīkošanas plānu laika periodam 10...30 gadi.
3. Turpināt selekcijas parauglaukumu uzmērīšanas metodikas pilnveidošanu.
4. Papildināt ievākto datu analīzes standarta metodiku.
5. Uzsākt praktiskos eksperimentus, vērtējot selekcijas cikla saīsināšanas iespējas.
6. Papildināt literatūras apskatu par ģenētisko daudzveidību.
7. Precizēt izstrādāto hibrīdās apses selekcijas shēmu.
8. Apvienot un papildināt selekcijas objektu un literatūras datu bāzi.
9. Turpināt selekcijas grupu izveidi.
10. Turpināt pēcnācēju pārbaudžu ierīkošanas principu izstrādi.

Galvenie secinājumi

Pārskata periodā, ciešā sadarbībā ar Meža ekoloģijas un mežkopības daļas pētnieku J. Doni izstrādāts modelis alternatīvu meža selekcijas metožu izmantošanas efekta salīdzināšanai viena selekcijas cikla ietvaros, kas balstīts uz diferenciālo pieeju. Analizējot kārpainā bērza un parastās priedes nākamās selekcijas cikla izpildes alternatīvas secināts, ka pie prognozētās 25% papildus krājas rotācijas periodā, salīdzinot ar dabiski atjaunojušos mežaudzi, jebkura no tām sniedz papildus ienākumus: tīrā tagadnes vērtība pēc 2006. gada cenām pie 3% reālās interešu likmes lielāka par 0. Diferenciālo ienākumu no selekcijā un sēklu plantācijās ieguldītajiem līdzekļiem nozīmīgi (līdz 10 reizēm) ietekmē ikgadējais apstādīto platību apjoms. Augstāko atdevi, pie tam īsākā laika posmā, no selekcijas darbā ieguldītajiem līdzekļiem iespējams iegūt, izmantojot veģetatīvās pēcnācēju pārbaudes. Otrs augstākais ieguvums ir no ģeneratīvās metodes izmantošanas, taču tās realizācijai nepieciešams gandrīz 2 reizes ilgāks laiks. Zemākais ekonomiskais vērtējums ir fenotipiskajai atlasei starp kokiem kontrolētās krustošanas ģimenes ietvaros.

Selekcijas darba rezultātu praktiskajai realizācijai svarīgi nodrošināt augstākas ģenētiskā uzlabojuma pakāpes materiāla izmantošanu sēklu plantācijās, tiklīdz veikta tā atlase. Maksimālo ģenētisko ieguvumu sēklu plantāciju pēcnācējiem (tātad arī maksimālo peļņu no selekcijā un sēklu plantācijās ieguldītajiem līdzekļiem), iespējams iegūt izmantojot nelielu (bet vienlaikus pietiekamu ģenētiskās daudzveidības nodrošināšanai) pārbaudīto klonu skaitu, turklāt ar rametu skaitu proporcionālu katra klona selekcijas vērtībai. Jauni klonu komplekti 2. kārtas sēklu plantāciju papildus ierīkošanai eglei un priedei pieejami 2007. – 2012. gadā. Bērzam tuvākajos 3 gados pieejams klonu komplekts, kas pēc ģenētiskā ieguvuma vērtības atbilstošs 2. kārtas plantācijai. Nodrošinot selekcijas darba nepārtrauktību un efektīvāko metožu izmantošanu, 4. kārtas sēklu plantāciju ierīkošana var tikt uzsākta 2030.-2034. gadā. Koku sugām ar nelielu saimniecisko nozīmi rekomendēta 2. kārtas sēklu plantāciju izveide.

Turpināta parauglaukumu uzmērīšanas un datu analīzes metodikas pilnveidošana. Veicot elektroniskā augstummēra precizitātes pārbaudes, vēlams izmantot 5 un 9 ballu skalu stumbra taisnuma un zaru resnuma novērtēšanai. Izstrādāts algoritms eksperimentu kopējai standartizētai analīzei ģimeņu ranžēšanai.

Veikta potēšana klonu arhīvā pēcnācēju pārbaužu materiāla ziedēšana stimulēšanas eksperimentiem.

Analizējot 4 priedes klonu arhīvu stādījumus, 2 no tiem konstatētas statistiski būtiskas, taču nelielas atšķirības starp klonālo un ģeneratīvo materiālu, vērtējot pēc koku augstuma, caurmēra, zaru caurmēra, zaru skaita mieturī. Secināts, ka atšķirību cēlonis, visticamāk, ir šajos stādījumos konstatētie ievērojami dzīvnieku bojājumi potētajām priedēm. 2 eksperimentos konstatētas atšķirības starp potēto un no sēklām audzēto koku parametriem nebija statistiski būtiskas.

Apkopojot literatūras datus par ģenētisko daudzveidību secināts, ka selekcijas grupā ar 50 kokiem to iespējams nodrošināt pietiekamā apjomā. Nav nozīmīgas gēnu dreifa ietekmes, netiek zaudētas bieži pārstāvētās alēles (kuras ir nozīmīgas mežaudzes vitalitātes un adaptācijas spēju nodrošināšanai). Izmantojot dubultpāru krustošanu un atlasī ģimeņu ietvaros 10 selekcijas ciklu laikā ģenētiskā daudzveidība samazinās tikai par ~6%. Pētījumi liecina, ka sēklu plantācijās ar pārbaudītu materiālu (2. un augstāku kārtu) efektīvā klonu skaita (20-25) izmantošana nodrošina pēcnācējiem tādu pat ģenētiskās daudzveidības līmeni kā mežaudžu pēcnācējiem.

Precizētā hibrīdās apses selekcijā shēma, turpināta selekcijas grupu izveides un pēcnācēju pārbaužu ierīkošanas principu izstrādē.

Apvienota selekcijas objektu un literatūras datu bāze, padarot infomācijas meklēšanu vienkāršāku. Selekcijas objektu datu bāze papildināta ar 10 eksperimentālo stādījumu iepriekš veikto uzmērīšanas datu informāciju.

Atskaites periodā plānotie darba uzdevumi izpildīti pilnā apmērā.

Saturs

1. Metodikas izstrāde selekcijas darba ekonomiskā aspekta novērtēšanai	5
2. Sēklu plantāciju ierīkošanas plāns laika periodam 10...30 gadi	13
2.1. Putekšņu fons sēklu plantācijās un tā ietekmes mazināšana	13
2.2. Klonu skaits sēklu plantācijās un tā saistība ar ģenētisko ieguvumu un daudzveidību	15
2.3. Sēklu plantāciju ierīkošanas plāns	20
3. Selekcijas parauglaukumu uzmērīšanas metodikas papildinājums.....	25
4. Ievāktu datu analīzes standarta metodikas papildinājums	29
5. Praktiskie eksperimenti vērtējot selekcijas cikla saīsināšanas iespējas	31
5.1. Potēšana vecu koku vainagos ziedēšanas paātrināšanai.....	31
5.2. Klonālo pēcnācēju pārbažu izmantošanas iespēju novērtējums	34
6. Literatūras apskats par nozīmīgiem selekcijas darba aspektiem	43
6.1. Ģenētiskā daudzveidība.....	43
6.2. Selekcijas indekss	48
7. Precizēta hibrīdās apses selekcijas shēma.....	55
8. Selekcijas objektu un literatūras datu bāze	58
9. Selekcijas grupu izveides aspekti	60
10. Pēcnācēju pārbažu ierīkošanas principu papildinājums	61
Izmantotā literatūra.....	64
1. Pielikums: SAS algoritms ģimeņu ranžēšanai vairākos eksperimentos	71

1. Metodikas izstrāde selekcijas darba ekonomiskā aspekta novērtēšanai

Pārskata periodā ciešā sadarbībā ar Meža ekoloģijas un mežkopības daļas pētnieku J. Doni izstrādāts modelis alternatīvu meža selekcijas metožu izmantošanas efekta salīdzināšanai viena selekcijas cikla ietvaros. Modelis balstīts uz vispāratzītiem ekonomiskiem kritērijiem, tādiem kā tagadnes tūrā vērtība (NPV) (Klemperer, 1996), un izmantota t.s. diferenciālās pieejas metode (Ahtikoski, 2000).

Izmantojot diferenciālo pieeju, iespējams veikt tādu pat novērtēšanu kā ar tradicionālām metodēm, bet ir nepieciešams ievērojami mazāks datu apjoms. Respektīvi – nepieciešams identificēt tās salīdzināmo alternatīvu izmaksas un ieguvumus, kuras ir atšķirīgas, un apkopot informāciju par atšķirību lielumu, salīdzinātas diferenciālo izmaksu un ieguvumu summas. Šīs metodes izmantošanas gadījumā alternatīvas nav jāvērtē atkarībā no pieprasījuma/piedāvājuma elastības, cenu efekta ietekmes u.c. kā parastās izmaksu/ieguvumu (cost/benefit) analīzes gadījumā, bez tam tiek novērsts arī dubultas uzskaites risks (Ahtikoski, 2000).

Modelis izstrādāts balstoties uz parastās priedes un kārpainā bērza selekcijas cikla analīzi. Dati par egli un hibrīdo apsi tiks pievienoti nākamajā gadā. Kā diferenciālais ieguvums modelī izmantota papildus krāja koku dimensijas salīdzinot ar 2 alternatīvām: dabisko atjaunošanos vai atjaunošanu no mežaudzēs iegūtām sēklām. Otra alternatīva nepieciešama tādēļ, ka daļā no auglīgākajiem meža tipiēm dabiskā atjaunošanās, piemēram, ar skuju kokiem faktiski ir neiespējama, bet lapu koku atjaunošanās varētu būt nevienmērīga un meža atjaunošanās termiņš ievērojami garāks nekā mākslīgās atjaunošanas gadījumā (tātad par tādu pat laiku būtu jāpagarina arī rotācijas periods).

Kā atskaites sistēma meža augšanas gaitas un kopšanas ciršu raksturošanai izmantots Prof. P. Zālīša (P. Zālītis, personīga komunikācija) ieteiktais tradicionāli apsaimniekotu audžu modelis (1.-4.tab.). Mākslīgā meža atjaunošana galvenokārt tiek veikta auglīgos meža tipos, arī selekcijas darba efekts tajos ir lielākais. Bez tam, īpaši priedei, liela daļa mazauglīgo mežu atrodas dabas aizsardzības teritorijās, kur meža stādīšana nenotiek. Priedei aprēķini veikti atsevišķi pa bonitātēm, bērzam augstāko bonitāšu audzes apvienotas vienā tabulā.

Aprēķiniem izmantots selekcijas efekts ciršanas vecumā +10% krājai un augstuma pieaugumam (1. variants), kā arī +25% krājai un augstuma pieaugumam (2.variants). Šie rādītāji ir ievērojami zemāki nekā potenciālais un jau realizētais ieguvums, izmantojot sēklu plantāciju materiālu un raksturo ģenētisko uzlabojumu selekcijas grupā. No tās sēklu plantācijai tiek atlasīti tikai paši labākie kloni, efekts papildus palielinās tiem savstarpēji krustojoties, tātad praksē realizējamais ģenētiskais ieguvums ir ievērojami augstāks. Šādi procentuālie ieguvumi izmantoti, ņemot vērā nepieciešamību veikt salīdzinājumu tieši starp atšķirīgām metodēm, veicot nākamo selekcijas ciklu selekcijas grupām.

Ģenētisko ieguvumu iekļaušanai augšanas gaitas modelēšanā, nepieciešama pēcnācēju pārbaužu rezultātu ekstrapolācija visam rotācijas periodam (Andersson et al., 2003). Tādēļ nepieciešams ņemt vērā pazīmju vērtību korelācijas atšķirīgā uzmērīšanas vecumā (Jansson et al., 2003) un to potenciālās vērtības rotācijas periodā. Latvijā vecākie priežu iedzīmtības pārbaužu stādījumi ir sasnieguši tikai 30 gadu vecumu, kas ir aptuveni 1/3 no tradicionālā rotācijas perioda, lielākā daļa bērza izmēģinājumu ir tikai 9-11 gadus veci. Nākamajā gadā tiks veikta iespējami precīza ģenētiskā ieguvuma prognozēšana, balstoties uz pēcnācēju pārbaužu datiem un aprēķini par praksē realizējamo ģenētisko ieguvumu un tā ekonomisko vērtību.

Izstrādātajā modelī, ņemot vērā J. Doņa ieteikumu, diferenciālie ieguvumi aprēķināti, izmantojot konstantu proporcionālu krājas ieguvumu (t.i. palielinot katrā reizē iegūstamās krājas daudzumu un saīsinot rotācijas ciklu atbilstoši mērķa caurmēra sasniegšanas vecumam) salīdzinājumā ar *tradicionālo* mežaudžu taksācijas rādītājiem (palielinot to krājas un augstuma vērtības 1.1 un 1.25 reizes, savukārt vidējā diametra vērtību abos variantos 1.1 reizi). Sortimentu sagatavju īpatsvars pieņemts atbilstoši tabulētajām vērtībām (Нормативы для таксации..., 1988.), cenas un dimensijas (garums un tievgaļa caurmērs) atbilstoši „LVM Mežs” sniegtajai informācijai (2006. gada cenas), savukārt iznākums aprēķināts izmantojot prof. R. Ozoliņa izstrādāto „Virtuālās dastlapas” prototipu. Diferenciālos ieguvumus var aprēķināt pēc bonitātes izmaiņām pārrēķinot uzlaboto audžu bonitāti atbilstoši papildus augstumam, kā arī konstanto proporcionālo priekšrocību (Ahtikoski 2000).

Ģenētiskā ieguvuma ekonomiskais efekts novērtēts, pārveidojot cirtes rezultātā iegūstamās krājas apjomus no „normālām” audzēm un „uzlabotām” audzēm to izsakot monetārās vērtībās, t.i., iegūstamo sortimentu vērtību reizinot ar iegūstamo sortimenta apjomu un pēc attiecīgas diskonta likmes izrēķinot tagadnes vērtību (PV). Diferenciālais ieguvums tiek aprēķināts kā PV starpība starp normālu un uzlabotu audzi.

1. tabula

Augstuma, caurmēra un krājas vērtības priedei tradicionāli apsaimniekotām un selekcijas grupas vidējai vērtībai atbilstošām 1. bonitātes mežaudzēm

Priede 1. bonitāte																	
Vecums, gadā	N, taudzē	D, cm			H, m			V, m ³ /ha									
		taudzē	1. var.	2. var.	taudzē	1. var.	2. var.	taudzē	izc. taudzē	1. var.	izc. 1. var.	2. var.	izc. 2. var.	taudzē	1. var.	2. var.	
10	1,00																
20	3000	10	11	12	9	10	11	120		134		151					
30	1000 (-300)	14	12	16	13	14	16	170	80	190	90	214	101	1484	1701	2181	
40	300	20	21	23	16	18	20	200		254		283					
50	750 (-100)	24	26	28	18	20	22	260	120	325	131	367	151	3371	3785	4357	
60	150	28	28	30	20	22	25	270		258		280					
70	400	28	30	33	22	24	27	260	kaizē	291	kaizē	318	kaizē	7434	8229	9341	
80	400	29	31	34	24	26	30	300	kaizē	336	kaizē	378	kaizē	8528	10017	11243	
90	300	31	34	36	26	29	32	340	kaizē	387	kaizē	428	kaizē	10716	12710	14377	
100	100	33	35	38	28	31	35	350	kaizē	426	kaizē	479	kaizē	11471	13410	15000	

tradīc. – ar neuzlabotu ģenētisko materiālu ierīkota, tradicionāli apsaimniekota mežaudzē;

1. var. – papildus augstums, krāja caurmērs 10%;

2. var. – papildus augstums, krāja 25%, caurmērs 10%;

izc. – izcirstā daļa;

█ - atļauta ciršana pēc mērķa caurmēra.

2. tabula

Augstuma, caurmēra un krājas vērtības priedei tradicionāli apsaimniekotām un selekcijas grupas vidējai vērtībai atbilstošām 2. bonitātes mežaudzēm

Priede 2. bonitāte																	
Vecums, gadā	N, taudzē	D, cm			H, m			V, m ³ /ha									
		taudzē	1. var.	2. var.	taudzē	1. var.	2. var.	taudzē	izc. taudzē	1. var.	izc. 1. var.	2. var.	izc. 2. var.	taudzē	1. var.	2. var.	
10	1,00																
20	3000	8	9	9	6	7	7	60		67		76					
30	2100 (-700)	12	12	14	11	12	14	140	80	127	80	176	70	184	1100	1421	
40	1200	15	16	18	14	15	17	170		198		189					
50	1050 (-150)	20	21	23	16	18	20	210	90	269	101	302	113	3271	3613	4051	
60	350	24	26	28	18	20	22	220		216		237					
70	350	25	27	29	19	21	24	250	kaizē	280	kaizē	313	kaizē	7014	7939	9267	
80	400	27	29	32	20	22	25	270	kaizē	322	kaizē	340	kaizē	7767	8836	10172	
90	450	29	31	34	21	23	26	290	kaizē	375	kaizē	367	kaizē	8544	9874	11180	
100	400	30	32	35	23	25	28	310	kaizē	417	kaizē	391	kaizē	9130	10581	11800	

Apzīmējumi kā 1. tabulā

Augstuma, caurmēra un krājas vērtības priedei tradicionāli apsaimniekotām un selekcijas grupas vidējai vērtībai atbilstošām 3. bonitātes mežaudzēm

Priede III bonitāte														
Vecums, gadi	N, tūkst.	tūkst.	D, cm		H, m		V, m ³ /ha							
			1. var.	2. var.	tūkst.	1. var.	2. var.	tūkst.	1. var.	1. var.	2. var.	1. var.	2. var.	
10	3000													
20	4000	7	7	8	4	4	5	60		47		76		
30	2400	10	11	12	5	8	10	80		101		113		
40	1400 (600)	14	15	16	10	11	12	150	60	138	60	189	30	1145 1445 1975
50	750	17	18	20	11	15	17	160		170		203		
60	700	21	22	25	16	18	20	199		213		239		
70	600	24	25	28	17	19	21	220	kaife	246	kaife	277	kaife	3997 7023 9073
80	200	26	28	30	18	20	22	240	kaife	289	kaife	302	kaife	6739 7761 8059
90	100	27	29	32	19	21	24	260	kaife	297	kaife	328	kaife	7407 8574 9824
100	150	28	30	33	21	23	26	280	kaife	310	kaife	353	kaife	8115 9257 10600

Apzīmējumi kā 1. tabulā

Augstuma, caurmēra un krājas vērtības bērzam tradicionāli apsaimniekotām un selekcijas grupas vidējai vērtībai atbilstošām 1.-2. bonitātes mežaudzēm

Bērzs														
Vecums, gadi	N, tūkst.	tūkst.	D, cm		H, m		V, m ³ /ha							
			1. var.	2. var.	tūkst.	1. var.	2. var.	tūkst.	1. var.	1. var.	2. var.	1. var.	2. var.	
10	3000	2	3	2	3	3	4	30		33		33		
20	3600	7	8	8	12	14	10	110		122		140		
30	1820 (800)	14	15	17	16	18	20	170	30	189	21	217	33	116 377 730
40	800	19	21	23	20	23	25	210		233		268		
50	210 (100)	22	24	26	23	26	29	230	20	238	21	249	25	404 516 662
60	600	23	25	28	23	28	32	230	kaife	260	kaife	282	kaife	6644 7823 9079
70	300	25	27	30	25	30	34	260	kaife	272	kaife	290	kaife	7713 8873 10600

Apzīmējumi kā 1. tabulā

Diferenciālās izmaksas veidojas no selekcijas darbu un sēkļu plantācijas ierīkošanas un uzturēšanas izmaksām. Modelī šobrīd nav ietvertas izmaksas, kuras saistītas ar sēkļu ieguvu un uzglabāšanu, visu darbu administratīvās izmaksas, kā arī zinātniskajai darbībai (piemēram, bērza, egles, priedes klonālo pavairošanas metožu pilnveidošanai) potenciāli nepieciešamais finansējums.

Selekcijas darbu izmaksas

Modelis veidots vienam pilnam selekcijas ciklam, sākot ar kontrolēto krustošanu starp atlasītiem kokiem. Tajā ietvertas darbaspēka, transporta un materiālu izmaksas, vadoties pēc praktiskās pieredzes:

- 1) kontrolētajai krustošanai (materiāla atlase, identifikācija, ziedēšanas fenoloģijas novērojumi, putekšņu ievākšana, krustošana, sēkļu ievākšana);
- 2) pēcnācēju pārbaužu ierīkošanai (stādāmais materiāls, platību marķēšana, stādīšana, identifikācija);
- 3) pēcnācēju pārbaužu kopšanai (saskaņā ar mežsaimniecisko darbu praksi);
- 4) pēcnācēju pārbaužu uzmērīšanai (ieskaitot datu ievadi un apstrādi).

Ģeneratīvo pārbaužu gadījumā nav ietvertas iespējamo ziedēšanas stimulēšanas pasākumu izmaksas, tikai tam varbūtēji nepieciešamais laiks. Nav ietvertas administratīvās un zinātniskās izmaksas. Veģetatīvās pavairošanas gadījumā stādāmā materiāla izmaksas šobrīd ir nosakāmas tikai aptuveni, jo notiek tikai pētījumi un metodikas aprobācija (5.1. nodaļa).

Pieņemts, ka daļa mežsaimniecisko darbu, kuru izpildei nav nepieciešama zinātnisko darbinieku piesaiste (piem., pētījumu objektu agrotehniskā kopšana) tiek kontraktētas kā pakalpojums. Izmaksas noteiktas 2006. gada cenās un diskontētas.

Selekcijas darbu apjoms

Darbu apjoms noteikts, balstoties uz pieejamā materiāla bāzi (2. nodaļa), vērtējumu par nepieciešamās selekcijas populācijas lielumu (9. nodaļa), kā arī iepriekšējā gadā apkopoto kaimiņvalstu pieredzi (Jansons, 2006).

Ģenētiskais ieguvums aprēķināts, izmantojot Danusevičius, Lindgren (2002) izstrādāto un aprakstīto programmu. Programma paredzēta aprēķinu veikšanai, veicot atlasīto ģimeņu ietvaros, un tajā nav ietvertas iespējas modelēt genotipa-vides mijiedarbību. Ņemot vērā, ka galvenais mērķis šajā gadījumā ir savstarpēji salīdzināt nākamā selekcijas cikla izpildes variantus, plānotā izmantotā materiāla apjoms nedaudz modificēts, tādejādi ieguvums no selekcijas cikliem, kuros izmantotas ģeneratīvās un veģetatīvās pēcnācēju pārbaudes, līdzsvarots (padarīts vienāds). Selekcijas cikls, kur atlasīto paredzēts veikt tikai pēc fenotipa, pārāk atšķiras no abiem pārējiem. Lai iegūtu salīdzināmus rezultātus, pārrēķināta tajā iegūstamā papildus krāja, reizē ar to diferenciālo ienākumu apjoms.

Ģenētiskā ieguvuma aprēķiniem izmantotās vides faktoru un aditīvā ģenētiskā efekta noteiktās dispersijas vērtības aprēķinātas no 8 parastās priedes iedzimtības pārbaudžu stādījumu datiem, kā pazīmi izmantojot koku augstumu. Tāpat aprēķināta aditīvā ģenētiskā efekta noteiktā variācijas koeficienta vērtība. Ģenētiskās korelācijas aprēķināšanai starp pazīmju vērtībām iedzimtības pārbaudžu stādījumu uzmērīšanas vecumā un ciršanas vecumā izmantots Jansson et al. (2003) uz priedes pēcnācēju pārbaudžu stādījumu datiem Zviedrijas dienvidu daļā balstītais modelis. Specifiski bērzam šāds modelis nav izstrādāts, tādēļ tas izmantots abām sugām. Ģenētiskā ieguvuma un ģenētiskās daudzveidības samazinājuma nozīme grupas uzlabojuma funkcijā (Lindgren, Mullin, 1997) vērtētas kā vienādi nozīmīgas.

Selekcijas populācijas lielums pieņemts 160 ģimenes priedei (2 grupas pa 160 ģimenēm, viena pāra krustošana) un 200 ģimenes bērzam (4 grupas – atbilstoši izdalīto meža reproduktīvā materiāla ieguves apgabalu skaitam – pa 50 ģimenēm, dubultpāru krustošana).

Saskaņā ar 2006. gada rezultātiem izvēlēta atkārtotās atlasē shēma, 3 savstarpēji salīdzināmie varianti: fenotipiskās pārbaudes, ģeneratīvās pārbaudes, veģetatīvās pārbaudes. Fenotipisko pārbaudžu gadījumā atlasīto veic starp kokiem ģimenes ietvaros, balstoties uz fenotipisko vērtējumu. Iedzimtības koeficienta vērtība ir zema, nepieciešama augsta atlasē intensitāte, lai nodrošinātu ģenētisko ieguvumu. Tādēļ izvēlētais koku skaits ģimenē ir 300. veģetatīvo pārbaudžu gadījumā no izaudzētajiem 100 kontrolēto krustojumu pēcnācējiem izvēlas (vai nu pēc stādu veselīguma, vai, piemēram, augšanas ritma) 40 kandidātus, kurus pavairo veģetatīvi (klonē) un tiem ierīko iedzimtības pārbaudes stādījumus. No katra kandidāta tiek iegūtas 20 (priedei) vai 30 (bērzam) klonālās kopijas. Priedei klonālo kopiju ieguve dārgāka un tehniski ļoti sarežģīti iegūt vairāk par 20 kopijām. Saskaņā ar klonālo pārbaudžu rezultātiem izvēlas labākos no kandidātiem 2 katras ģimenes ietvaros. Ģeneratīvo pārbaudžu gadījumā kontrolēto krustojumu ģimeni (120 koki) audzē eksperimentālajos stādījumos un tās ietvaros atlasīto fenotipiski labākos kandidātus (20-25 no ģimenes) pēc interesējošo pazīmju (piemēram, koka augstuma) vērtībām. Kandidātiem veic ziedēšanas stimulēšanu, kontrolēto krustošanu un ierīko iedzimtības pārbaudžu stādījumus ar ģeneratīvajiem pēcnācējiem (30 katram kandidātam priedei, 35 bērzam). Pēc šo pārbaudžu rezultātiem izvēlas 2 ģenētiski labākos kandidātus katras ģimenes ietvaros selekcijas darba turpināšanai.

Nākamā selekcijas cikla izpildes variantu atsevišķu posmu izpildes laiki apkopoti 5. tabulā.

Modelī izmantotie selekcijas cikla izpildes laiki

Suga	Posms	Selekcijas alternatīva		
		veģetatīvā	ģeneratīvā	fenotipiskā
Parastā priede	Rekombinācija	7	7	7
	Stādmateriāla ieguve	4	2	2
	Pārbaudes	12	14	28
	Rekombinācija ¹		7	
	Stādmateriāla ieguve		2	
	Pārbaudes		12	
	Kopā	23	44	37
Kārpainais bērzs	Rekombinācija	3	3	3
	Stādmateriāla ieguve	4	2	2
	Pārbaudes	12	14	26
	Rekombinācija ¹		3	
	Stādmateriāla ieguve		1	
	Pārbaudes		14	
	Kopā	19	37	31

¹ – ziedēšanas stimulēšana un kontrolētā krustošana, kuru veic fenotipiski atlasīto kandidātu pārbaužu ierīkošanai

Modelī ietvertie priedes selekcijas cikla laiki ir tādi, kuri aptuveni varētu tikt realizēti praksē. Pirmā rekombinācijas laika ilgums saistīts ar vēl nepieciešamo vienu gadu pēcnācēju pārbaužu novērtēšanas pabeigšanai. Pēc tam jāveic materiāla identifikācija, kontrolētā krustošana, kam seko ievērojamais gaidīšanas laiks līdz sēklu materiāla ieguvei. Arī otrajā rekombinācijā (izmantojot ģeneratīvās pēcnācēju pārbaudes) ilgais rekombinācijas laiks saistīts ar ziedēšanas stimulēšanas nepieciešamību un ilgo gaidīšanas laiku līdz sēklu ievākšanai.

Bērzam selekcijas alternatīvu salīdzinājumā pirmais rekombinācijas laiks varētu būt ievērojami garāks, jo vēl būs nepieciešami vairāki gadi pēcnācēju pārbaužu vērtēšanai, dažas no tām vēl nav sasniegušas novērtēšanas vecumu. Tāpat bērzam nav pieejami mātes koki, tātad atlasī vajadzēs veikt starp pēcnācējiem un stimulēt to ziedēšanu.

Relatīvi garākais pārbaužu laiks fenotipiskās atlasē gadījumā saistīts ar nepieciešamību iegūt iespējami precīzus rezultātus (augstākas iedzīstamības koeficienta vērtības), jo materiāla izlase notiek tikai pēc fenotipiskā pazīmju vērtējuma. Zviedrijas lapu koku selekcionārs Lars-Göran Stener (pers. komunikācija) uzskata, ka šo pārbaužu laiku būtu iespējams saīsināt, kas nesaskan ar rezultātiem no Danusevičius, Lindgren (2002) ģenētiskā ieguvuma aprēķināšanas programmas. Tādēļ nākamajā gadā tiks veikta šī jautājuma detāla analīze.

Sēklu plantāciju izmaksas

Sēklu plantāciju izmaksās ietvertas plantācijas ierīkošanas (priedei – zemes pirkšana, aršana, planēšana, iežogošana, bērzam – siltumnīcas būve; rametu izmaksas), uzturēšanas (vainagu veidošanas, priedei arī zāles pļaušanas), kā arī sēklu ievākšanas izmaksas. Veicamie darbi prognozēti, konsultējoties ar vadošo pētnieku Dr. I. Baumanī un LVMI „Sēklas un stādi” sēklkopības nozares vadītāju J. Lūkinu. Nav ietvertas administratīvās izmaksas, sēklu ieguves izmaksas pēc čiekuru ievākšanas un transporta izmaksas. Izmaksas noteiktas 2006. gada cenās un diskontētas. Sēklu plantācijas ierīkošana plānota pēc selekcijas cikla pabeigšanas, tās ražošanas

sākums (iespējas no sēklām ierīkot pirmo mežaudzi) – priedei pēc 15 gadiem, bērzam pēc 4 gadiem.

Citas izmaksas

Salīdzinot iespējas izmantot meža atjaunošanu no sēklām ar selekcijas grupu vidējām vērtībām aprēķinos izmantota „LVM Sēklas un stādi” sniegtā informācija par meža koku sēklu realizācijas cenām.

Kokaudzētavas izmaksas netiek pieskaitītas pie diferenciālajām, pieņemot, ka atšķirības starp mežaudzēs ievāktu un selekcionētu (sēklu plantāciju) sēklu materiālu nozīmīgi neietekmē stādu ražošanas izmaksas (lai gan pētījumi liecina, ka sēklu plantāciju sēklas ir ar augstāku dīdzību un fizioloģisko kvalitāti, Rosvall et al., 2002).

Salīdzinot ar dabisko meža atjaunošanu kā diferenciālās izmaksas ietvertas: stādu cena, augsnes sagatavošana, stādīšanas izmaksas, 2 agrotehniskās kopšanas (pieņemot, ka dabiskās atjaunošanās gadījumā nepieciešamo kopšanu skaits ir mazāks).

Visas minētās izmaksas atkarībā no tā, kurā gadā šīs izmaksas tiek veiktas, pārrēķinātas tagadnes vērtībā jeb diskontētas izmantojot sekojošu formulu (1):

$$D_p = \left(1 + \frac{p}{100}\right)^{-1}, \quad (1)$$

kur

D_p = diskontēšanas faktors ar procentu p

Aprēķiniem izmantota 3% diskonta likme.

Diferencēto ieguldījumu metodes (difference investment method) tīro ieguvumu (net benefit) tagadnes vērtības aprēķināšana veikta izmantojot formulu (2):

$$P_{tb} = \sum_{t=1}^t JT_t * (D_p)^t - \sum_{n=1}^{nn} NS_n * (D_p)^n - (C_g(S) - C_o(S)), \quad (2)$$

kur

P_{tb} = tīrais ieguvums Ls/ha;

JT_t = uzlabotas audzes kopšanas cirtes vai galvenās cirtes finansiālā vērtība (celmu nauda), Ls/ha;

NS_n = normālas audzes kopšanas cirtes vai galvenās cirtes finansiālā vērtība (celmu nauda) Ls/ha;

D_p = diskonta faktors (1. formula);

t_1 = laiks (gados) pirmajai kopšanas cirtei uzlabotā audzē;

n_1 = laiks (gados) pirmajai kopšanas cirtei normālā audzē;

tt = laiks (gados) galvenai cirtei uzlabotā audzē;

nn = laiks (gados) galvenai cirtei normālā audzē;

$C_g(S)$ = sākotnējās ierīkošanas izmaksas, kad izmanto sēklu plantācijas sēklas Ls/ha;

$C_o(S)$ = sākotnējās ierīkošanas izmaksas, kad izmanto audzē ievāktas sēklas Ls/ha

Diferenciālo ieguvumu un izmaksu tagadnes vērtības aprēķins veikts, izmantojot šādu formulu (3):

$$NPV = \sum_{t1}^{tt} B_t^{diff} * (D_p)^t - \left[\sum_{n1}^{nm} C_t^{es} * (D_p)^t + \sum_{n1}^{nm} C_t^{diff1} * (D_p)^t + \sum_{n1}^{nm} C_t^{diff2} * (D_p)^t \right], \quad (3)$$

kur

NPV = tagadnes tīrā vērtība, Ls (bāzes gads 2006);

B_t^{diff} = diferenciālais ieguvums valstī gadā t pie attiecīgā ģenētiskā ieguvuma, Ls;

C_t^{es} = iepriekšējās sēklu plantāciju ierīkošanas izmaksas, Ls;

C_t^{diff1} = iepriekšējās diferenciālās sēklu plantāciju ierīkošanas izmaksas gadā t , Ls;

t = sēklu plantāciju ierīkošanas gads;

C_t^{diff2} = diferenciālās sēklu plantāciju ierīkošanas izmaksas gadā t , Ls;

D_p = diskonta faktors (1. formula);

Informācija par kultivējamajām platībām (kailciršu platības, atjaunojamās platībās, platības, kurās tie veikt meža ieaudzēšana) iegūta no VMD izdotajiem kompaktdiskiem „Meža statistika” (2001-2007). Aprēķinos tiek pieņemts, ka cērtamo un atjaunojamo platību apjoms un īpatsvars saglabājas arī nākotnē. Parastajai priedei ikgadējā atjaunojamā platība aprēķināta pa bonitātēm, vadoties no kailciršu platības priežu audzēs sadalījuma pa bonitātēm, pieaugušo un pāraugušo audžu īpatsvara sadalījumā pa bonitātēm un procentuālā mākslīgās atjaunošanas īpatsvara katrā no bonitātēm. Potenciālais ieguvums tiek aprēķināts ņemot vērā ieguvuma vērtību katrā bonitāte un šīs bonitātes īpatsvaru kopējā platībā.

Diferenciālais ieguvums priedei un bērzam katrai no selekcijas cikla izpildes alternatīvām, salīdzinot ar dabisko atjaunošanos, ja izmantots 2. varianta ģenētiskā ieguvuma vērtības, apkopots 6. tabulā.

6. tabula

Diferenciālais ieguvums no ha izmantojot atšķirīgas selekcijas alternatīvas selekcijas grupai attiecībā pret dabisko atjaunošanos

Suga	Platība, ha/gadā	Izmantošanas laiks, gadi	Kopējā platība, ha	Selekcijas alternatīva		
				veģetatīvā	ģeneratīvā	fenotipiskā
Parastā priede	500	36	18000	26	11	-4
	1000	36	36000	47	25	8
	2500	36	90000	59	33	16
	5000	36	180000	63	36	18
	10 000	36	360000	66	37	20
Kārpainais bērzs	300	10	3000	36	7	-26
	600	10	6000	84	42	-8
	1200	10	12000	107	59	1
	2400	10	24000	119	68	5
	4800	10	48000	125	72	8

Aprēķinos izmantota 3% diskonta likme;

■ aptuvenā vidējā mākslīgi atjaunoto mežaudžu platība pēdējos 5 gados.

Sēklu plantācijas ražošanas laiks pieņemts 10 gadi bērzam un 36 gadi priedei. Priedei, atkarībā no izvēlētās selekcijas alternatīvas, kvalitatīvāks (ģenētiski augstvērtīgāks) materiāls var būt pieejams īsākā laika periodā, kad arī rekomendējams ierīkot jaunas plantācijas, uzsākt veco nomaiņu (2. nodaļa).

Var secināt:

- 1) augstāko atdevi no selekcijas darbā ieguldītajiem līdzekļiem iespējams iegūt izmantojot veģetatīvās pēcnācēju pārbaudes. To izmantošana sniedz iespējas ģenētisko ieguvumu praksē realizēt īsākajā laikā. Tas nozīmē, ka ir lietderīgi turpināt pētījumus veģetatīvās pavairošanas mežu aprobācijā un efektivitātes paaugstināšanā;
- 2) otrs augstākais ieguvums ir no ģeneratīvās metodes izmantošanas, taču tā realizācijai nepieciešams gandrīz 2 reizes ilgāks laiks. Tiks veikta potenciālā ieguvuma analīze, ierīkojot 3. kārtas plantācijas – no fenotipiski atlasīto kandidātu materiāla vienlaikus ar otro rekombināciju;
- 3) selekcijas un sēklu plantācijās ieguldītie līdzekļi atmaksājas tikai tad, ja ievērojamās platībās tiek veikta mākslīgā atjaunošana. Pie modelī ietvertajiem parametriem – ņemot vērā pēdējos gados vidēji ar bērzu atjaunoto izcirtumu platību diferenciālais ieguvums pie 3% diskonta likmes, izmantojot ģeneratīvās iedzimtības pārbaudes, ir ~10 reizes mazāks nekā, ja mākslīgi tiktu atjaunota visa bērzu izcirtumu ikgadējā platība (~4800 ha).

Nākamajā gadā nepieciešams pabeigt selekcijas darba ekonomisko analīzi, novērtējot potenciālo ģenētisko ieguvumu no nākamo kārtu sēklu plantācijām monetārā izteiksmē, papildinot un precizējot modelī iekļautos izmaksu posteņus un summas, iekļaujot dažu nozīmīgāko potenciālo kvalitātes pazīmju uzlabojuma ar selekcijas metodēm novērtējumu (un ekonomisko atdevi no tā).

Nepieciešams veikt modeļa jutīguma analīzi, kā arī novērtēt iespējamus riskus veģetatīvo pēcnācēju pārbažu izmantošanā, to mazināšanas iespējas, potenciālās izmaksas absolūtās vienībās.

2. Sēklu plantāciju ierīkošanas plāns laika periodam 10...30 gadi

Sēklu plantācijas ir posms starp veikto selekcijas darbu un tā rezultātu aprobāciju praksē. Pat ļoti kvalitatīvs un augstvērtīgs selekcijas darbs nesniegs ekonomisko atdevi, ja tā rezultātā iegūtais jaunais materiāls ar augstāku ģenētisko vērtību netiks iespējami ātri izmantots kvalitatīvu (no ģenētiskā ieguvuma realizācijas viedokļa) sēklu plantāciju izveidē.

Plantāciju klonu pēcnācēju ģenētiskā ieguvuma vērtības lielā mērā nosaka atlases intensitāte (izvēlētais klonu skaits), atsevišķu klonu rametu īpatsvars, kā arī apkārtējo mežaudžu putekšņu ietekme. Pārskata periodā veikta literatūras datu analīze par šiem aspektiem.

2.1. Putekšņu fons sēklu plantācijās un tā ietekmes mazināšana

Mežaudžu koku putekšņu (turpmāk – fona putekšņu) dalība sēklu plantāciju apputeksnēšanā ir visai augsta – 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). Fona putekšņu ietekme augstāka ir jaunās plantācijās, kur sievišķā ziedēšana sākas agrāk un bieži vien putekšņu daudzums plantācijā nav pietiekams (Jonsson et al., 1976). Konstatēts, ka plantāciju koku apputeksnēšana ar fona putekšņiem būtiski atšķiras pa gadiem (Harju un Muona, 1989).

Atšķirības skaidrojamas ar plantācijas klonu atšķirīgo ziedēšanas intensitāti pa gadiem un atšķirīgo ziedēšanas fenoloģiju. Jonsson et al. (1976) konstatējuši būtisku klona ietekmi uz ziedēšanas intensitāti, turklāt rangu korelācija, vērtējot ziedēšanas intensitātes rangus tiem pašiem kloniem atšķirīgos gados, ir augsta un pozitīva. Novērots, ka sievišķie strobili ātrāk atveras koka dienvidu pusē, bet ziemeļu pusē – 5-6 dienas vēlāk, tādējādi samazinot ziedēšanas fenoloģijas nozīmīgumu. Secināts, ka ziedēšanas intensitātes atšķirības gēnu pārnesi uz nākamo paaudzi ietekmē daudz būtiskāk nekā fenoloģiskās atšķirības.

Turpretī Koski (1973) norāda, ka ziedēšanas fenoloģijas atšķirībām – tā paša klona sievišķie strobili spēj apaugļoties un atveras vidēji par 0,5–1 dienu ātrāk nekā izlido vīrišķie putekšņi – ir nozīmīga loma ne tikai pašapputes mazināšanā, bet arī fona putekšņu ietekmes paaugstināšanā. Harju un Nikkanen (1996) veikuši eksperimentu priedes sēklu plantācijā ziedēšanas fenoloģijas nozīmes novērtēšanai, izolējot sievišķos strobilus pirms to apaugļoties spējas iestāšanās un dažādos laika periodos izolāciju pārtraucot. Konstatēts, ka vidējā fona putekšņu ietekme uz neizolētiem megastrobiliem visu ziedēšanas periodu bijusi 48%; savukārt augstākā fona putekšņu dalība (60%) konstatēta gadījumā, kad megastrobili atsegti pirms intensīvas sēklu plantācijas putekšņu izlidošanas sākuma (pēc tam izolēti), bet zemākā (27%), kad megastrobili atsegti tikai sēklu plantācijas putekšņu izlidošanas maksimuma periodā. Līdzīgi rezultāti par ziedēšanas fenoloģijas nozīmīgumu iegūti arī Gullberg et al. (1982) pētījumā, kur izvērtēta blakus augošu mežaudžu, no kurām viena atrodas pakalnā, bet otra – purvā, koku krustošanās. Konstatētas 2 – 6 dienu atšķirības sievišķo strobilu atvēršanās un vīrišķo putekšņu izlidošanas laika ziņā starp minētajām audzēm, kā rezultātā purva priedes piedalīšanās pakalna prieku apputeksnēšanā samazinājusies par aptuveni 50%. Šie fakti liecina par ziedēšanas fenoloģijas īpašo nozīmi, nosakot fona putekšņu dalības plantāciju klonu apaugļošanā īpatsvaru, neskatoties uz konstatētajām atšķirībām starp strobilu atvēršanās fāzes iestāšanās laiku tam pašam kokam

ziemeļu un dienvidu pusē (vidēji 1 diena), kā arī agrāko un vēlāko strobilu atvēršanos tā paša koka dienvidu pusē (arī aptuveni 1 diena). Fenoloģijas ietekme saistīta ar sievišķā strobila uzbūves īpatnībām: tā putekšņu kamarā ir vieta 1 – 5 putekšņiem (Sarvas, 1962) un tam, ka pirmajiem putekšņiem, kas sievišķā strobila atvēršanās laikā atrodas gaisā, varbūtība iekļūt vēl neaizpildītajā putekšņu kamarā ir lielāka. Kā liecina Varis et al. (2004) pētījumi, veicot kontrolētu krustošanu un sievišķo ziedu appūšot vispirms ar vienu putekšņu maisījumu, bet pēc dažām stundām - ar otru (no ģeogrāfiski atšķirīgas vietas), konstatēts, ka putekšņi no pirmā uzsmidzinātā maisījuma apaugļojuši 55-75% sēklu.

Fona putekšņu ietekmes iespējamās sekas var būt šādas: pazemināta pēcnācēju kvalitāte un ātraudzība, bet atsevišķos gadījumos var samazināties adaptācijas spējas klimatiskajiem apstākļiem. Sekas nosaka fona putekšņu ģenētiskā kvalitāte salīdzinājumā ar plantācijas putekšņiem (Nilsson, Lindgren, 2005, Varis et al., 2004).

Analizējot putekšņu fona ietekmi uz ģenētisko ieguvumu no sēklu plantācijas, pieņemts, ka fona putekšņu vērtība aptuveni ir vienāda ar pluskoku vidējo vērtību visos eksperimentos. Šajā gadījumā ģenētiskais ieguvums tiek samazināts par tik procentiem, kāda ir fona putekšņu līdzdalība kā tēva kokiem. Piemēram, ja dalība ir 50%, tad vidējā selekcijas starpība plantāciju kloniem ir 1,5, jo puse no tēva kokiem un visi mātes koki ir ar attiecīgu selekcijas starpību ($0,5+1=1,5$). Protams, ka šāds fona putekšņu ietekmes novērtējums ir minimāli iespējams, jo netiek ņemts vērā ieguvums no pluskoku atlasē, kā arī varbūtība, ka fona putekšņi pārstāv zemas kvalitātes mežaudzi. Lai samazinātu putekšņu fona ietekmi, sēklu plantācijām jāizvēlas kloni ar iespējami sinhronu ziedēšanas laiku: agri un vēlu ziedošos klonus fona putekšņi ietekmēs vairāk (Rudin, Ekberg, 1982). Konstatēts, ka gan mežaudzēs (Gullberg et al., 1982), gan plantācijās (Jonsson et al., 1976) ātri un vēlu uzziiedošie koki salīdzinājumā pa gadiem ir vieni un tie paši, respektīvi, ziedēšanas laika rangu korelācija starp novērojumiem dažādos gados ir pozitīva un būtiska. Plantācijās konstatēta arī augsta un būtiska klona ietekme uz sievišķās un vīrišķās ziedēšanas dažādu fenoloģisko fāžu iestāšanās laiku (Jonsson et al., 1976).

Putekšņu ietekmi iespējams samazināt, ierīkojot lielas sēklu plantācijas (Koski, 1980). Apsekojot 3 ha lielu plantāciju, Harju un Muona (1989) konstatējuši, ka fona putekšņu ietekme kokiem plantācijas malās ir tāda pati kā vidusdaļā, savukārt 12,5 ha lielas plantācijas vidusdaļā fona putekšņu ietekme bijusi mazāka nekā malas rindās, neatkarīgi no šo rindu izvietojuma attiecībā pret valdošajiem vējiem ziedēšanas laikā (Yazdani, Lindgren, 1991).

Sēklu plantācijas izolācija, izvietojot to tālu no priežu audzēm, Latvijas apstākļos nevar būt efektīva: Robledo-Arnuncio et al. (2004) konstatējuši $\leq 5\%$ fona putekšņu ietekmi *Pinus sylvestris* mežaudzē Spānijā, kur tuvākā šīs pašas sugas audze atradusies 30 km attālumā. Līdzīgi Koski (1970) Somijā secina: lai gan mežaudzes koka apputeksnēšanā aptuveni 60% piedalās vidēji 25 tuvākie koki, kas aug attālumā līdz 50 m, tomēr atlikušo apputeksnēšanas daļu var veidot putekšņu maisījums pat no vairākus 100 km tālām mežaudzēm. Arī mēģinājums palielināt plantācijas putekšņu dalību tās klonu apputeksnēšanā, izmantojot traktorvilkmes ventilatoru un ziedēšanas periodā katru rītu izbraucot cauri plantācijai, lai „paceltu gaisā” putekšņus, nav izrādījies sekmīgs (Almqvist, Pulkkinen, 2005).

Pamatojoties uz literatūras analīzi ierosinu ap plantāciju izveidot vairāku rindu „buferjoslu” no zināmiem, agri ziedošiem kloniem ar augstu selekcijas vērtību un vīrišķās ziedēšanas intensitāti, cenšoties klonu vainagus veidot tā, lai maksimāla gaismas piekļuve stimulētu to intensīvu ziedēšanu. Šie kloni piedalītos plantācijas sēklu ģenētiskās kvalitātes veidošanā kā tēva koki, sēklas (ar prognozējamu augstu fona putekšņu ietekmi) no tiem netiktu ievāktas.

2.2. Klonu skaits sēklu plantācijās un tā saistība ar ģenētisko ieguvumu un daudzveidību

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 krustojšanās 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 sēklu 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 sēklu 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. Heterozigoti koki ir mazāk uzņēmīgi pret slimībām un elastīgāk pielāgojas vides apstākļu izmaiņām (Lindgren, Prescher (2005).

Chaisurisri un El-Kassaby (1994) salīdzina ģenētisko daudzveidību Sitkas egles (*Picea sitchensis*) sēklu plantācijā ar 134 kloniem un mežaudzēs. Sēklu plantācijā nav konstatētas 3 allēles, kuras ir trijās no 10 mežaudzēs (ar sastopamības biežumu 1-5%). Savukārt 6 sēklu plantācijā konstatētās allēles netika atrastas dabisko mežaudžu paraugos. Heterozigotāte mežaudžu un sēklu 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 mežaudzēm un sēklu 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* sēklu plantācijas un mežaudzes, konstatē, ka vidējais polimorfo lokusu skaits tajās neatšķiras, taču sēklu plantācijās heterozigotāte un allēļu skaits lokusā ir mazliet zemāks nekā mežaudzēs; 7 allēles ar zemu pārstāvības biežumu, kas konstatētas mežaudzēs, nav atrastas sēklu 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 mazāks ir sēklu plantācijās. Secināts, ka ģenētiskā līdzība starp sēklu plantācijām un mežaudzēm ir lielāka par 99%. Uz iegūto empīrisko datu pamata analizēta situācija, kāda būtu, ja sēklu

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 sēklu plantāciju un audžu pēcnācēju atšķirību cēloņus:

- 1) sēklu 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 sēklu plantācijās pašappute 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 sēklu pēcnācējiem, konstatēta vidēji tāda pati heterozigotāte kā mežaudzēs. Kopējais allēļu skaits plantācijās ir par 2–7 mazāks nekā mežaudzēs, taču sēklu 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 sēklu 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 pašapaugļošānās, 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). 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 *Pinus sylvestris* koki ar vidējo biežību 2,4 koki/ha). Paaugstinoties audzes biežībai (pat tikai līdz 20 kokiem/ha), šāda tendence vairs nav novērojama. 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

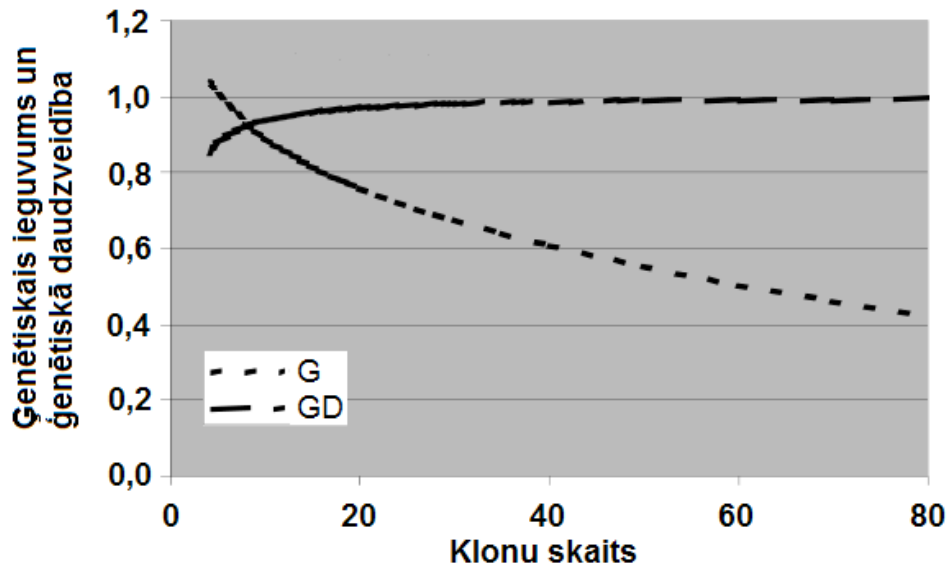
sugām (Barett, 2003), ir nozīmīgas atšķirības starp pašapputi un pašapaugļošanas (Prescher et al., 2006).

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 pašapaugļošanas 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 pašapaugļošanas (saglabāt ģenētisko daudzveidību) un vienlaikus nesamazināt sēklu apjomu (Lindgren, 1975). Mehānisma efektivitāti, nodrošinot sēklu plantācijas klonus pret pašapaugļošanas, demonstrē pētījumu rezultāti: El-Kassaby et al. (1989) konstatējuši pašapaugļošanas 4%, turklāt rezultāts neatšķirās plantācijās ar 58 un 39 kloniem; Burczyk (1998) konstatējis 1,3% pašapaugļošanas plantācijā ar 32 kloniem; Muona un Harju (1989) konstatējuši 2% pašapaugļošanas 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 iepriekšējās 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.

Visbeidzot 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 secina, ka otrās kārtas sēklu plantācijās optimāls klonu skaits ir 16 (atšķirīgām alternatīvām klonu skaits svārstās no 12 līdz 21) (1. att.). 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

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

No literatūras apskata var secināt, ka ierīkojot 2. un augstāku kārtu sēklu plantācijas ir būtiski:

- 1) lai samazinātu fona putekšņu ietekmi, izmantot plantācijas, kuras nav mazākas par 10 ha. Ja ieteicams saglabāt (ja jaunās plantācijas ierīkošana tiek veikta vecās plantācijas teritorijā) vai izveidot ap plantāciju vairāku rindu buferjoslu no agri ziedošiem kloniem ar augstu selekcijas vērtību un vīrišķās ziedēšanas intensitāti, kā arī izmantot klonus ar iespējami sinhronāku ziedēšanas laiku, lai mazinātu apkārtējo mežaudžu putekšņu dalību plantācijas klonu apputeksnēšanā;
- 2) lai sasniegtu maksimālā ģenētiskā ieguvuma vērtību, nodrošināt iespējami ātru (līdzko tas pieejams) augstākas uzlabojuma pakāpes materiāla izmantošanu sēklu plantācijās;
- 3) lai sasniegtu maksimālo ģenētiskā ieguvuma vērtību un vienlaikus nemazinātos ģenētiskās daudzveidības vērtība, katra klona pārstāvniecībai (rametu skaitam) plantācijā jābūt proporcionālam tā selekcijas vērtībai;
- 4) ieteicamais efektīvais klonu skaits plantācijās ar pārbaudītu materiālu (≥ 2 . kārtas) ir 20-25. Šis secinājums balstīts uz plašu literatūras materiālu par ģenētiskās daudzveidības vērtībām mežaudzēs un sēklu plantācijās, un, nepieciešamības gadījumā, var tikt pārbaudīts eksperimentāli arī Latvijā. Būtiski atcerēties, ka katra papildus klona iekļaušana plantācijā samazina no viena un tā paša selekcijas darba (tātad vienāda investīciju apjoma) realizēto ģenētisko ieguvumu (peļņu).

Papildus aspekts, kas loģiski izriet no jau minētajiem: paaugstinātas ģenētiskās vērtības iespējami ātrai realizācijai praksē svarīgi rūpēties par iespējami ātru pirmo ražu iegūšanu un pieejamā ģenētiski augstvērtīgākā sēklu materiāla prioritāru izmantošanu kokaudzētāvās.

2.3. Sēklu plantāciju ierīkošanas plāns

Pārskata periodā apkopota informācija par selekcijas izejmateriālu un ģenētiski augstvērtīgāka materiāla iegūšanas laikiem pa koku sugām. Materiāla izmantošana jaunu sēklu plantāciju izveidē, prognozētais sēklu patēriņš un līdz ar to vajadzīgās plantāciju platības ir LVM „Sēklas un stādi” speciālistu kompetencē.

Parastā priede

Selekcijas darbam pieejamo materiālu var iedalīt 4 grupās:

A. 850 pluskoku (lielākā daļa no tiem sēklu plantāciju kloni) un kvalitatīvu mežaudžu koku ar brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumiem, kuri atrodas izvērtēšanas stadijā (uzmērīšana notiek saskaņā ar plānu, tiks pabeigta nākamā gada laikā);

B. ~120 kloni plantācijās bez pēcnācēju pārbaudēm un to ierīkošanai ievākta materiāla;

C. ~350 kloniem iedzimtības pārbaužu stādījumi 1-2 gadus veci, vai arī to ierīkošana plānota turpmākajos 2 gados;

D. Dažādas pakāpes kontrolētās krustošanas materiāls, no kura iespējams atlasīt kvalitatīvas neradniecīgu krustojumu kombinācijas (skaits iekavās): eksperimenti 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).

Atlasīta materiāla ar augstāku ģenētisko vērtību ieguves posmi:

- 1) 2007. g. pieejams klonu komplekts 2. kārtas sēklu plantācijas ierīkošanai Kurzemes zonā, balstoties uz 11 parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumu izvērtēšanu;
- 2) 2009. g. pieejams jauns klonu komplekts 2. kārtas sēklu plantāciju papildināšanai, balstoties uz brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumu rezultātu analīzi;
- 3) 2009. g. pieejams klonu komplekts 3. kārtas (eksperimentālās) plantācijas izveidei (veicot analīzi materiāla grupā D.)
- 4) 2028 – 2030 g. – (izmantojot ģeneratīvās pēcnācēju pārbaudes) pieejami klonu komplekti 3. kārtas sēklu plantāciju izveidei abiem meža reproduktīvā materiāla ieguves apgabaliem pie nosacījuma, ja selekcijas darbs norit nepārtraukti, krustošanas tiek uzsākta uzreiz pēc visu pēcnācēju pārbaužu stādījumu izvērtēšanas. Izmantotas 2 selekcijas grupas (pa 160 kokiem) veicot viena pāra krustošanu, kas sniedz iespējas atlasīt arī starp ģimenēm, ja iepriekšējo pēcnācēju pārbaužu rezultāti attiecīgajam klonam bijuši zemas kvalitātes. Tā paša iemesla dēļ papildus plānoti 60 viena pāra krustojumi no ģimenēm, kuras ir (it kā) ar augstu selekcijas vērtību, taču novērtējums balstās uz rezultātiem tikai no 1, zemas precizitātes iedzimtības pārbaužu stādījuma.
- 5) 2032 – 2034. g. (izmantojot klonālās pēcnācēju pārbaudes) pieejams klonu komplekts 4. kārtas plantāciju ierīkošanai. Iespējams šo alternatīvu izmantot tikai augstvērtīgāko klonu selekcijai, pārējiem izmantojot ģeneratīvās pēcnācēju pārbaudes. Tādējādi var paātrināt 4. kārtas plantāciju materiāla ieguves laiku, bet nākamā selekcijas cikla uzsākšanai tāpat būs nepieciešams sagaidīt pārējo (ģeneratīvi pārbaudīto) klonu iedzimtības pārbaužu rezultātus, lai nodrošinātu nepieciešamo materiāla apjomu turpmākam darbam.

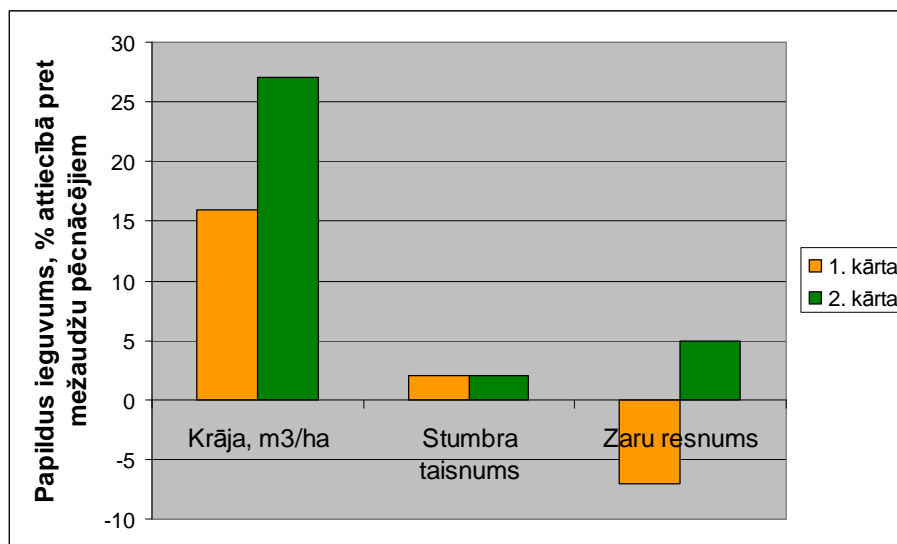
B grupas materiālam ir pārāk laikietilpīgi šobrīd ierīkot brīvapputes iedzimtības pārbaužu stādījumus, jo to rezultāti (un 2. kārtas sēklu plantāciju izveidei piemērots materiāls) būtu pieejami tikai 2022.-2025. gadā. Tādēļ plānots veikt šī materiāla kontrolēto krustošanu pēc viena pāra shēmas. Ņemot vērā ievērojamo darba apjomu ar A grupas materiālu, šī krustošana tiks



veikta 1-2 gadus pēc A grupas klonu krustošanas, taču uzmērīšana (ar mazliet zemāku rezultātu precizitāti) vienlaikus, labākās ģimenes iekļaujot selekcijas grupās un izmantojot 3. kārtas kā bāzi 3. kārtas sēklu plantāciju izveidei.

C. grupas materiāla iedzimtības pārbažu stādījumu rezultāti, pēc uzlabojuma atbilstoši 2. kārtas plantāciju ierīkošanai, būs pieejami 2022. – 2025. gadā taču, ņemot vērā, ka jau 3-5 gadus vēlāk pieejams materiāls 3. kārtas sēklu plantāciju izveidei, nav lietderīgi ierīkot jaunas plantācijas. Tā vietā var tikt pagarināts pēcnācēju pārbažu augšanas periods un veikta materiāla fenotipiska materiāla atlase ģimeņu ietvaros, labāko materiālu integrējot no A grupas izveidotajā selekcijas populācijā. Alternatīvs variants ir veikt šī materiāla uzmērīšanu un vecāku koku atlasīti pēc pēcnācēju pārbažu rezultātiem 2022. – 2025. gadā (kas ir dažus gadus ātrāk nekā A un B grupai), reizē ar to izlīdzinot nepieciešamā darbaspēka un finansējuma apjomu pa gadiem) un labākos kokus iesaistīt no A un B grupas izveidotajā selekcijas populācijā (bet ne uzreiz sēklu plantāciju izveidē) nākamās kontrolētās krustošanas veikšanai.

D. grupas materiālam faktiski visiem kokiem stādījumos jau ir čiekuri, tādēļ turpmākajos gados var tikt veikta kandidātu atlase (~20 no ģimenes), potēšana klonu arhīvā un iedzimtības pārbažu stādījumu ierīkošana un 2028. gadā jau iegūts 4. kārtas plantāciju ierīkošanai atbilstošs materiāls. Vienlaikus to iespējams izmantot kā papildinājumu, ja tikai daļai no selekcijas grupas tiek pielietotas klonālās pēcnācēju pārbaudes (un līdzīgā laika periodā arī pieejams 4. kārtas sēklu plantāciju ierīkošanai atbilstošs materiāls).

Lai novērtētu sagaidāmo ģenētisko ieguvumu no 2. kārtas sēklu plantāciju materiāla izmantošanas, veikta datu analīze no 11 parastās priedes iedzimtības pārbažu stādījumiem, atlasot klonu komplektu plantācijas ierīkošanai Rietumu zonā. 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 pārbažu stādījumiem (no kuriem veikta atlase), rezultāti atspoguļoti 2. attēlā.



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

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

2. kārtas sēklu plantācijas prognozētā ģenētiskā ieguvuma vērtības Latvijā ir saskaņā ar aprēķinu rezultātiem Zviedrijā, kur sagaidāmais ieguvums (krājai rotācijas periodā) plānots 23-27%. (Rosvall, 2001). Līdzīgi Andersson et al., (2003) salīdzinot parastās priedes pluskoku kontrolētās krustošanas pēcnācējus (tātad – bez putekšņu fona ietekmes) ar audžu pēcnācējiem un pārreķinot pārākumu augstumā 10 gadu vecumā uz krāju 30 gadu vecumā iegūts 17-19%. Aprēķini parāda, ka selekcijas starpība pārreķinot uz krāju rotācijas vecumā ir mazāka nekā 20-30 gadu vecumā, kad priedei ir tekošā pieauguma kulminācija.

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 sēklu 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 sēklu 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 atlasē 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. komunikācija, ar ātraudzīgām *Pinus* sugām White et al., 2003), kā arī aprēķinus, izmantojot Danusevičius, Lindgren (2002) izstrādāto programmu, prognozējamais ieguvums no 3. kārtas sēklu plantācijām krājai *rotācijas periodā* ir 25-35% no 4. kārtas plantācijām 35-45%. Prognozes tiks precizētas nākamajā gadā pēc visu pēcnācēju pārbaudžu stādījumu uzmērīšanas.

Kārpainais bērzs

Pieejamais materiāls kārpainā bērza selekcijas darba turpināšanai ir:

A. ~650 pluskoku un kvalitatīvu audzes koku (no visiem 3 reproduktīvā materiāla ieguves reģioniem) brīvapputes pēcnācēju ģimenes. Stādījumi ierīkoti 1998.-1999. gadā, to mātes koki nav pieejami;

B. 100 kloni (no 2 meža reproduktīvā materiāla ieguves apgabaliem) sēklu plantācijā, veikta to kontrolētā krustošana un nākamajā gadā tiks uzsākta pēcnācēju pārbaudžu stādījumu ierīkošana;

C. atsevišķi agrāk ierīkoti iedzimtības pārbaudžu stādījumi (ap 50 kokiem), kuru materiāla identifikācija nav veikta.

Ņemot vērā pieejamā materiāla apjomu, lietderīgi izveidot 4 selekcijas grupas pa 50 kokiem katrā, nodrošinot sākotnējo atlasē intensitāti 1/4 – 1/5, kas sakrīt ar atlasē intensitāti nākamā selekcijas cikla uzsākšanai Zviedrijas ziemeļu daļā (Dr. B. Andersson, pers. komunikācija). Vienlaikus ar pēcnācēju pārbaudžu analīzi nepieciešams novērtēt iespējas samazināt pārbaudītā reproduktīvā materiāla izmantošanai nepieciešamo reģionu skaitu. Analizējot pēcnācēju pārbaudžu stādījumus gan Zviedrijas dienvidu daļā (Stener, Jansson, 2005) un Somijā (Koski, Rousi, 2005) konstatēts, ka bērzs ir relatīvi plastiska suga, vienas un tās pašas ģimenes ir starp labākajām relatīvi lielu reģionu ietvaros. Ja šī likumsakarība apstiprinātos arī Latvijā, tad būtu iespējams nākamajā selekcijas ciklā vairākas selekcijas grupas apvienot, paaugstinot atlasē intensitāti un ģenētiskā ieguvuma vērtību.

Ņemot vērā, kā mātes koki pēcnācēju pārbaudēs esošajām ģimenēm nav pieejami, nepieciešams veikt atlasē starp pēcnācējiem. Kā liecina rezultāti eksperimentos ar priedi Somijā

un selekcijas teorija, ģenētiskais ieguvums, veicot no *brīvapputes* ģimenēm fenotipiski atlasīto kandidātu iedzimtības pārbaudes, ir zems. Tas tādēļ, ka vispirms notiek atlase starp ģimenēm, kuru vidējā vērtība reprezentē mātes koka vērtību. Ja ģimenes vidējā (tātad mātes koka) vērtība ir augsta, tad ļoti zema varbūtība, ka kāds no tēva kokiem (brīvapputes pēcnācējiem) būs bijis ar augstāku ģenētisko vērtību (reizē ar to sniedzot papildus ieguvumu no labākā kandidāta izvēles ģimenes ietvaros) (Ruotsalainen, Lindgren, 1998).

Atlasīta materiāla ar augstāku ģenētisko vērtību ieguves posmi:

- 1) 2010. g. izvēlēti fenotipiski labākie kandidāti labāko ģimeņu ietvaros un sastādīts klonu komplekts sēklu plantāciju nomaīnai siltumnīcā (ierīkojot tās reģioniem, kuriem līdz šim sēklu plantācijas nebija);
- 2) 2020. g. sagatavots ar augstu precizitāti pēc fenotipiskās metodes atlasīts klonu komplekts visiem meža reproduktīvā materiāla ieguves reģioniem (pēc ģenētiskās vērtības atbilstošs 3. kārtas sēklu plantācijām);
- 3) 2030. – 2032. g. 4. kārtas sēklu plantāciju komplekts no kontrolētās krustošanas materiāla B grupas ietvaros izmantojot klonālo pēcnācēju pārbaūžu metodi.

Kontrolētai krustošanai starp A grupas kokiem nepieciešamas (labākā fenotipiskā atlasītā materiāla no augstvērtīgākajām ģimenēm) klonālās kopijas, kurām jāveicina ziedēšana. Kā liecina pieredze, bērza sēklu plantācijās plastplēves seguma siltumnīcā pirmo ziedēšanu iespējams panākt jau 4 gadu vecumā. Tādēļ lietderīgi apsvērt iespēju siltumnīcā izvietot klonu no visas selekcijas populācijas un pēc kontrolētās krustošanas pabeigšanas (4. – 5. gadā) mazāk vērtīgos vai citu meža reproduktīvo reģionu pārstāvošos izvākt. Lai to īstenotu, iespējams sākotnēji izmantot mazākus stādīšanas attālumus. Taču labāk klonus, kurus nav plānots saglabāt, izvietot liela izmēra plastmasas podos starp rindām siltumnīcā (iespējams, tikai periodos, kuri ir kritiski priekš ziedpumpuru aizmešanās) un pēc kontrolētās krustošanas iestādīt klonu arhīvā. Tādā gadījumā saglabātos arī iespēja izmantot kvalitatīvākos klonus lielākā proporcionālā pārstāvniecībā, nodrošināt augstāku atdevi no selekcijas darba realizāciju praksē.

Parastā egle

Pieejamais materiāls parastās egles selekcijas darba turpināšanai ir:

- A.** 200 pluskoki ar brīvapputes pēcnācēju pārbaūžu stādījumiem, kuri atrodas izvērtēšanas stadijā;
- B.** ~200 kloni ražojošās sēklu plantācijās bez pēcnācēju pārbaūžēm;
- C.** ~360 kloni jaunās (2000. g.) plantācijās bez pēcnācēju pārbaūžēm;
- D.** ~1700 brīvapputes ģimenes no mežaudžu kokiem un 77 plantāciju klonu paraugi (1989. – 2006. g. raža) jaunās pēcnācēju pārbaūžu stādījumos (2003. – 2007. g.);

Līdzīgi kā bērzam, arī eglei līdz jauno pēcnācēju pārbaūžu izvērtēšanai lietderīgi saglabāt esošo sadalījumu 4 meža reproduktīvā materiāla ieguves reģionos.

Lai vismaz īslaicīgi risinātu no sēklu plantācijām ievāktu sēklu trūkumu, rekomendējams:

1. 2008. – 2012. g. pēc 1976.-1985. gadā ierīkoto iedzimtības pārbaūžu stādījumu novērtēšanas (Kuldīgā, Kalsnavā) tajos veikt intensīvu kopšanas cirti, saglabājot un atbrīvojot augšanas telpu augstvērtīgākajiem kokiem no labākajām ģimenēm. Rezultātā pēcnācēju pārbaūžu stādījumus var tikt izmantots kā sējeņu sēklu plantācija;
2. 2010. – 2012.g. sagatavot klonu komplektu 2. kārtas sēklu plantāciju ierīkošana balstoties uz A grupas materiālā analīzi, ko var papildināt ar augstus rezultātus salīdzinošajos stādījumos uzrādījušo Remtes plantācijas vecākā klonu bloka kopiju. Nav rekomendējams

plantācijas vecā klonu komplekta atkārtošanai izmantot vairāk kā 4 daļu no jaunajai plantācijai atvēlētās platības, jo tā ģenētiskā vērtība ir zemāka nekā iespējams iegūt dažus gadus pagaidot līdz pēcnācēju pārbaužu eksperimentu izvērtēšanai un izmantojot pārbaudītu materiālu. Bez tam, vecā komplekta kopiju iespējams izveidot tikai pēc klonu identifikācijas veikšanas ar ģenētisko marķieru palīdzību.

Atlasīta materiāla ar augstāku ģenētisko vērtību ieguves posmi:

- 1) 2008-2012. g. pieejams klonu komplekts 2. kārtas sēklu plantācijas ierīkošanai balstoties uz A grupas materiāla novērtējumu;
- 2) 2022-2024. g. pieejams klonu komplekts 3. kārtas sēklu plantāciju izveidei, balstoties uz atlasītiem starp vecāku kokiem D grupā iekļautajiem klonu pēcnācējiem un fenotipiski labākajiem kokiem no pārāko ģimeņu ietvaros pārējam materiālam;
- 3) 2030.-2032. g. pieejams klonu komplekts 4. kārtas plantācijas izveidei, balstoties uz kontrolēto krustošanu B grupas materiālam, Remtes sēklu plantācijas vecākās daļas kloniem;
- 4) 2045. – 2050. g. – pieejams klonu komplekts 4. kārtas plantāciju ierīkošanai balstoties uz D grupas materiālu, kuram veikta labāko ģimeņu atlase, ziedēšanas stimulēšana, kontrolētā krustošana, ierīkotas klonālās pēcnācēju pārbaudes.

Hibrīdai apsei paredzēt izveidot klonu arhīvus, jautājums par to apskatīts atsevišķi 7. nodaļā.

Citas koku sugas

Ņemot vērā relatīvi nelielo mākslīgo meža atjaunošanas apjomu ar citām koku sugām, nav lietderīgi to selekcijā investēt ievērojamus līdzekļus. Taču pirmās, iespēju robežās, 2. kārtas sēklu plantāciju izveide ir lietderīga. Tas sniedz produktivitātes, taču daudz svarīgāk – ievērojamu kvalitātes pazīmju uzlabojumu. Kā konstatēts uzmērot, piemēram, bērza un melnalkšņa iedzimtības pārbaužu stādījumus, kuri ierīkoti no atlasītiem, kvalitatīviem kokiem – koku ar šauru zaru leņķi, gan līkumainu stumbru, gan dubultgalotņu veidošanos (t.s. „dakšošanos”) īpatsvars starp ģimenēm atšķiras pat vairākas reizes. Šādus kokus būtiski izslēgt no tālākas pavairošanas, lai nodrošinātu augstvērtīgu mežaudžu izveidošanos mākslīgi atjaunotajās platībās.

Tādēļ lietderīgi turpināt pēcnācēju pārbaužu ierīkošanu un izvērtēšanu:

- 1) melnalksnim (jaunās plantācijās ~150 klonu, vecās ap 70) nodrošinot klonu sarakstu 2. kārtas sēklu plantācijas izveidei līdz 2025. gadam;
- 2) ozolam (~150 kloni) nodrošinot klonu sarakstu 2. kārtas sēklu plantācijas izveidei līdz 2025. – 2030. gadam;
- 3) lapeglei un liepai.

3. Selekcijas parauglaukumu uzmērīšanas metodikas papildinājums

Koku augstumu daudz mazāk nekā caurmēru ietekmē konkurences faktori, tā iedzimstamības koeficients (h^2) gandrīz vienmēr ir augstāks. Tādēļ iedzimtības pārbaudi stādījumos koku augstums parasti tiek izmantots par galveno atlases pazīmi, īpaši situācijās, kad koku skaits ģimenē ir neliels un saglabāšanās nevienmērīga. Tanī pat laikā augstumu mērīšana sadārdzina kopējo datu ieguves procesu. Tādēļ svarīgi novērtēt, vai ar elektronisko augstummēru iegūtie dati ir pietiekami precīzi un attaisno papildus izdevumus, kā arī analizēt varbūtējos uzmērīšanas neprecizitāšu cēloņus un to novēršanas iespējas.

Plašāks literatūras apskats par problēmas nostādni atrodams Jansons (2006).

Augstummēra precizitātes analizēm izvēlēts parastās priedes pēcnācēju pārbaudi stādījums, kurā nepieciešama kopšana. Koku vecums 32 gadi, uzmērīto koku augstums svārstās robežās no 4,9 līdz 17,3 m, vidēji 12,0 m, caurmērs 3,5-24,6 cm, vidēji 9,7 cm, stumbra taisnums un zaru resnums ballēs vidēji 1,2, resnākā zara līdz 2 m augstumam caurmērs 0,9 cm. Tas nozīmē, ka koki ir taisni un maz zaraini, tātad relatīvi viegli veikt precīzu uzmērīšanu. Kopumā 169 kokiem uzmērīts augstums ar ultraskaņas augstummēru Vertex III, lāzera augstummēru Vertex IV un pēc nozāģēšanas noteikts faktiskais augstums ar mērlenti.

Konstatēta augsta korelācija starp faktisko koka augstumu un gan ar ultraskaņas augstummēru, gan lāzera augstummēru noteikto ($r > 0,99$). Augstumu atšķirības (kļūdas modālā vērtība) ir vidēji $0,3 \pm 0,02$ m, standartnovirze 0,25 m. Uzmērot ar ultraskaņas augstummēru vairumā gadījumu (157 no 169) iegūta par faktisko mazāka vērtība, ar lāzera augstummēru 126 gadījumos no 169 – par faktisko lielāka vērtība. Darba laikā konstatēts, ka lāzera augstummērs ir neērtāks lietošanā, precīzāk jāfokusē uz koka pamatni. Pat nelieli šķēršļi, kā, piemēram, virši, zāle, var traucēt precīzu attāluma līdz kokam un līdz ar to augstuma noteikšanu. Tā rezultātā darbs ar šo instrumentu ir ievērojami lēnāks. Tā kā precizitāte nav augstāka, lāzera augstummēra izmantošana līdzīgos apstākļos nav rekomendējama.

Lai gan kopumā elektronisko augstummēru precizitāte ir augsta, maksimālās uzmērīšanas kļūdas vērtības atsevišķos gadījumos sasniedz pat 1 m un mazliet vairāk, tādēļ svarīgi noskaidrot galvenos neprecizitāšu cēloņus. Viens no praktiskiem cēloņiem var būt neprecīzi novietota „bāze” – elements, no kura ultraskaņa atstarojas, nodrošinot iespēju augstummēram aprēķināt attālumu un leņķi līdz kokam. Pēc instrukcijas „bāze” jānovieto augstummērā uzstādītajā augstumā (š.g. 1,3 m). Salīdzinot ar faktisko augstumu datus, kas iegūti „bāzi” novietojot 15 cm augstāk konstatēta cieša korelācija ($r > 0,99$), un zema kļūdas vērtība ($0,20 \pm 0,02$ m, standartnovirze 0,21).

Secinājums saskan ar rezultātu no otra eksperimenta, kurā izmantoti 100 koku mērījumi. Šajā gadījumā kontroles koki nav nozāģēti, tātad faktiskais to augstums nav zināms. Katrā „bāzes” novietojuma augstumā (1,3 m divas reizes, 1,4 m, 1,5 m) veikti pa 2 mērījumiem un aprēķinātas visu augstumu savstarpējās korelācijas (7. tabula).

Korelācija starp koku augstumu mērījumiem pie dažādā elektroniskā augstummēra bāzes novietojuma augstuma

	1,3A	1,3B	1,3C	1,3D	1,4A	1,4B	1,5A	1,5B	1,3s
1,3B	1,00								
1,3C	0,99	0,99							
1,3D	0,99	0,99	1,00						
1,4A	0,99	0,99	1,00	1,00					
1,4B	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00				
1,5A	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,99			
1,5B	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00		
1,3s	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	
1,3s2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00

1,3 – bāze novietota 1,3 m augstumā (kā paredzēts instrukcijā), A,B,C,D apzīmē 4 atsevišķus mērījumus tam pašam kokam;

1,4 – bāze novietota 1,4 m augstumā, A, B apzīmē 2 atsevišķus mērījumus tam pašam kokam;

1,5 – bāze novietota 1,5 m augstumā, A, B apzīmē 2 atsevišķus mērījumus tam pašam kokam;

1,3s – bāze novietota 1,3 m augstumā, ar sānu pret mērījuma virzienu, A, B apzīmē 2 atsevišķus mērījumus tam pašam kokam;

Redzams, ka korelācija starp visiem koku augstumu mērījumiem ir augsta ($r \geq 0,99$). Nav novērojama tendence, ka noteikts bāzes augstums vai novietojums vienmēr dotu tikai augstāku vai zemāku koka augstuma mērījumu kā citi. Tanī pat laikā konstatēts, ka no divās atšķirīgās dienās veiktiem mērījumiem viens vienmēr uzrāda par vidēji 30 cm lielāku koku augstumu, kas var būt saistīts ar neprecīzi veiktu instrumenta kalibrēšanu dienas sākumā.

Papildus neprecizitāti var radīt egļu paauga, krūmi, zari, kuri aizsedz bāzi. Salīdzinot 102 koku augstumu mērījumus caur egļu paaugu vai zariem un pēc tam bez šiem traucēkļiem (traucējošos kokus nocērtot) konstatēts, ka mērījumu atšķirības ir $0,20 \pm 0,02$ m. Tā nav lielākas kā atšķirības starp faktisko un uzmērīto koka augstumu skrajā mežā (bez šķēršļiem starp augstummēru un bāzi). Turklāt pusē gadījumu (52 no 102) caur paaugu mērītais augstums bija mazāks, bet otrā pusē (40 no 102) lielāks kā bez šķēršļiem starp augstummēru un bāzi noteiktais.

Vērtējot atšķirības starp diviem viena un tā paša koka augstumu mērījumiem, kuri izdarīti secīgi viens pēc otra nemainot mērītāja un augstummēra bāzes pozīciju, konstatēts, ka atšķirības starp šiem mērījumiem vidēji ir tikai 0,06 m. Maksimālā konstatētā atšķirība analizējot 400 mērījumu pārus 1 gadījumā bija 0,3 m un 18 gadījumos 0,2 m. Var secināt, ka nozīmīga ietekme uz rezultātu var būt koka slīpumam vai precīzai galotnes punkta noteikšanai, kas mainās atkarībā no uzmērītāja atrašanās vietas.

Iegūtie rezultāti liecina, ka ar elektronisko ultraskaņas augstummēru koku augstumu iespējams novērtēt ar precizitāti 0,3 m, taču nepieciešams īpašu uzmanību veltīt koka slīpuma noteikšanai, galotnes atrašanai, augstummēra kalibrēšanai, lai rezultātu precizitāte nepazeminātos.

Selekcijas stādījumos ir nozīmīgi precīzi novērtēt ne tikai atsevišķu ģimeņu produktivitāti, bet arī kvalitāti. Kvalitātes parametru iedzimstamības koeficienta vērtības parasti katra eksperimenta

ietvaros mazliet zemākas vai tādas pat kā koku augstumam (Karlsson, Högborg, 1998), kas norāda uz iespēju veicot selekcijas darbu šī vērtības paaugstināt. Ja tiek pieņemts, ka šāda paaugstināšana nav lietderīga – iedzīstamības koeficients norāda, ka kvalitātes pazīmes ir ģenētiski kontrolētas un nepieciešama to novērtēšana, analīze, lai nākamajā paaudzē (selekcijai) kvalitātes parametru vērtības saglabātos iepriekšējā līmenī (nepazeminātos). Prastā priedes pluskoku brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumos Somijā konstatētie iedzīstamības koeficienti ir: zaru skaitam mieturī 0,21, zaru resnumam, ballēs 0,26, zaru resnumam, mm – 0,24 (Haapanen et al. (1997). Polijā (aprēķinātas pēc datiem publikācijā) zaru resnumam 0,09-0,15, stumbra taisnumam 0,11-0,18 (Kowalczyk, 2005).

Stumbra taisnums un zaru resnums iedzīstamības pārbaužu stādījumos Latvijā tiek novērtēti 3 ballu skalā, kur 1 – tievi zari, taisns stumbrs, 2 – vidēji resni zari, stumbrs ar 1 līkumu, 3 – resni zari, stumbram vairāk nekā 1 līkums. Zaru resnuma novērtējums tiek izdarīts relatīvi – salīdzinot ar citiem līdzīga caurmēra kokiem attiecīgā stādījuma ietvaros. Šai metodikai konstatēti 2 nozīmīgi trūkumi:

- 1) nav iespējams pietiekami precīzi raksturot visu eksperimentā ietvertu koku kvalitātes daudzveidību, aprakstīt atšķirības pietiekami niansēti;
- 2) apgrūtināta datu statistiskā analīze, jo, kā liecina 12 parastās priedes iedzīstamības pārbaužu stādījumu datu analīze, 3 ballēs novērtēto pazīmju izkliede eksperimenta ietvaros būtiski atšķiras no normālā sadalījuma.

Precīzāku novērtējumu iespējams iegūt izmantojot 6 ballu skalu (Zas, 2006) vai 9 ballu skalu (Kumar, 2006). Parastās priedes stādījumos Zviedrijā un Somijā biežāk lietotās skalas stumbra taisnuma un zaru resnuma novērtēšanai ir 5 un 9 ballu (Dr. M. Haapanen, Dr. C. Almqvist, pers.com.). Cotterill un Dean (1990) iebilst pret skalu ar nepāra skaitu ballēm izmantošanu. Saskaņā ar šo autoru viedokli izmantojot pāra skaitu balles (vislabāk 6) par katru koku, kurš aptuveni atbilst eksperimenta vidējai vērtībai, tomēr nākas izšķirties – tas ir labāks vai sliktāks par vidējo. Tādejādi tiek novērsta iespēja neproporcionāli daudz kokus novērtēt kā „vidējus”, kas var novest pie datu neatbilstības normālajam sadalījumam.

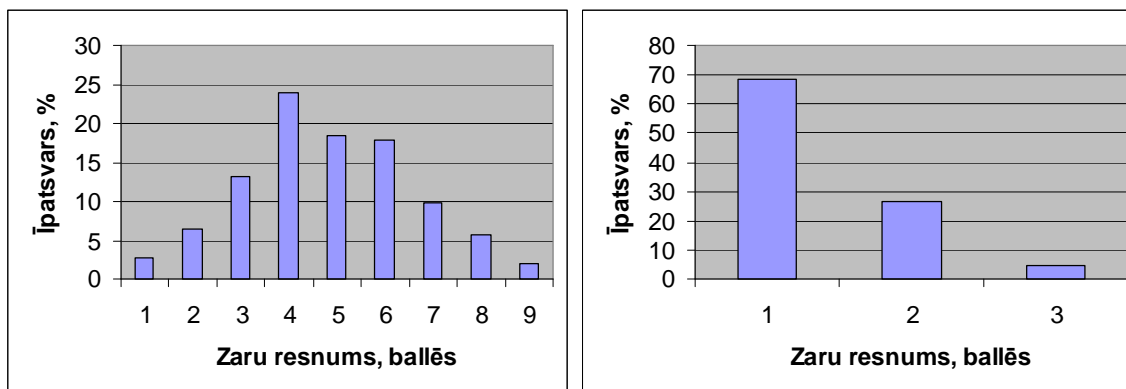
Lai novērtētu 5 un 9 ballu skalas izmantošanas efektivitāti, tās pielietotas 5 parastās priedes iedzīstamības pārbaužu stādījumu uzmērīšanā. Ņemot vērā, ka Latvijas priedes lielākoties ir izteikti taisni stumbriem, praktiski nebija iespējams sadalīt kokus pēc stumbra taisnuma 9 grupās. Tādēļ stumbra taisnumam izmantota 5 ballu skala, kur 1 – pilnīgi taisns, 2 – ar ļoti nelielu līkumu, 3 ar 1 līkumu, 4 – ar 2 līkumiem, 5 ar vairāk nekā 2 līkumiem. Zaru resnums vērtēts salīdzinoši ar citiem līdzīga caurmēra kokiem eksperimenta ietvaros, 9 ballu skalā, no 1 – ļoti tievi, līdz 9 – ļoti resni zari.

Konstatēts, ka, izmantojot 5 un 9 ballu skalu, ne stumbra taisnuma, ne zaru resnuma ģimeņu vidējās vērtības stādījuma ietvaros būtiski neatšķiras no normālā sadalījuma. Pārbaude veikta izmantojot Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises un Anderson-Darling testus. Vizuālās atšķirības koku sadalījumam pēc zaru resnuma 3 un 9 ballēs atspoguļotas 3. attēlā.

Kā papildus kvalitāti raksturojoši parametri var tikt izmantots resnākā zara diametrs, zaru skaits mieturī, zaru leņķis (Eriksson et al., 1987). Analizējot Latvijas priežu iedzīstamības pārbaužu stādījumus zaru skaitam mieturī konstatēts iedzīstamības koeficients 0,11 – 0,19, resnākā zara diametram 0,12-0,24. Hannrup, Jansson (2002), analizējot 5 priežu klonu pēcnācēju pārbaužu datus, konstatējuši, ka zaru leņķa iedzīstamības koeficients vidēji ir 0,23. Vērtējot datus no dažādas intensitātes kopšanas ciršu parauglukumiem priežu audzēs Zviedrijā Ulvcrona et al. (2007) atzīst, ka ne koku vidējais augstums kopšanas cirtes izdarīšanas laikā, ne biežums pēc kopšanas cirtes nespēj būtiski ietekmēt zaru leņķi un zaru skaitu mieturī. Tas nozīmē, ka selekcijā šīm pazīmēm jāpievērš īpaša uzmanība.

Lai izvēlētos, kuras tieši zarojuma pazīmes uzņēmīt iedzimtības pārbaužu stādījumos, nepieciešami plašāki pētījumi par šādiem jautājumiem:

- 1) kāda ir resnākā zara līdz 2 m augstuma diametra korelācija ar zaru resnumu augstāk vainagā (kur tos praktiski lielam koku skaitam uzņēmīt nav iespējams);
- 2) kāds ir aditīvā ģenētiskā efekta noteiktais variācijas koeficients zaru leņķim – vai lietderīgāk šo pazīmi novērtēt visiem kokiem, vai tikai atzīmēt kokus ar īpaši šauru zaru leņķi;
- 3) kādas ir zaru skaita mieturī atšķirības izvēloties blakus esošu mieturus vienam un tam pašam kokam, vai zaru skaits mieturī līdz 2 m augstumam korelē ar zaru skaitu mieturī augstāk kokā.



3. att. Koku skaita sadalījums pēc zaru resnuma 9 un 3 ballu skalā parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumos.

4. Ievākto datu analīzes standarta metodikas papildinājums

Pārskata periodā sadarbībā ar Dr. Matti Haapanen izstrādāts datu analīzes modelis SAS datorprogrammā situācijām, kad nepieciešams vienots ģimeņu ranžējums pēc kādas pazīmes vairākos eksperimentos, bet tikai neliela daļa ģimeņu pārstāvētas vairāk kā 1 no tiem.

Modelis balstīts uz pieņēmumu, ka visos eksperimentos iekļautās ģimenes pārstāv vienu un to pašu pētniecisko grupu („populāciju”) – pluskoki iegūti kā paraugi no Latvijas mežaudzēm (kā no vienota veseluma).

Gan objektu vecums uzmērīšanas brīdī, gan augšanas apstākļi ir visai atšķirīgi, taču šīs atšķirības savstarpēji izlīdzinājušās un koku vidējais augstums ir samērā līdzīgs. Tādēļ pieņemts, ka analizētajos eksperimentos un konkrētajā vecumā šo pazīmi ietekmē viens un tas pats gēnu komplekss. Ja šie pieņēmumi atbilst īstenībai, tad aditīvā ģenētiskā efekta standartnovirzei visos eksperimentos jābūt vienādaī un konstatējamās atšķirības radušās tikai vides faktoru ietekmē. Katrā eksperimentā aprēķināta aditīvā ģenētiskā efekta standartnovirze (4):

$$ad_std = \sqrt{4 * S_f^2}, \quad (4)$$

kur

S_f^2 – aditīvā ģenētiskā efekta (ģimeņu) dispersijas komponente.

Atbilstoši šai vērtībai koriģēti attiecīgās pazīmes fenotipisko mērījumu dati katrā eksperimentā pēc formulas (5):

$$a_n = a * \left(\frac{ad_std}{ad_std_i} \right), \quad (5)$$

kur

a_n – koriģētā fenotipiskā mērījuma vērtība,

a – oriģinālā fenotipiskā mērījuma vērtība,

ad_std – vidējā aditīvā ģenētiskā standartnovirze (aprēķināta no visiem eksperimentiem),

ad_std_i – aditīvā ģenētiskā efekta standartnovirze attiecīgajā eksperimentā.

Izmantojot šādi koriģētas mērījumu vērtības, veikta ģimeņu ranžēšana un selekcijas vērtību aprēķināšana visiem eksperimentiem kopā (algoritms 1. pielikumā).

Ja no kāda eksperimenta pieejami vairāku uzmērīšanas reižu dati, tos visus iespējams izmantot ģimeņu selekcijas vērtības aprēķināšanā. Vispirms lietderīgi novērtēt ģenētisko korelāciju starp rezultātiem pēc vienas un tās pašas pazīmes atšķirīgā uzmērīšanas vecumā: ja korelācija ir augsta, papildus datu izmantošana nesniegs paaugstinātu rezultātu precizitāti. Aditīvā ģenētiskā efekta noteikto korelāciju var aprēķināt pēc formulas (Williams, Matheson, 1991) (6):

$$r_a = \frac{COV_{(x,y)}}{\sqrt{VAR_x \cdot VAR_y}} = \frac{VAR(x+y) - VAR_x - VAR_y}{2 \sqrt{VAR_x \cdot VAR_y}}, \quad (6)$$

kur

r_a – ģenētiskā korelācija

x – pazīme vienā uzmērīšanas vecumā;

y – pazīme citā uzmērīšanas vecumā;

var – dispersija;

cov – kovariācija.

Nepieciešams novērtēt arī datu precizitāti – aprēķināt iedzīstamības koeficienta vērtības. Datu kopai ar augstākajām iedzīstamības koeficienta vērtībām un lielākā vecumā selekcijas indeksā piešķir augstāku koeficientu (palielinot to īpatsvaru kopējā rezultāta noteikšanā). Lai piešķirtu augstāku vērtējumu ģimenēm ar lielāku pieejamo datu apjomu (tātad precīzāku novērtējumu) svarīgi analīzei (ģimeņu selekcijas vērtību aprēķināšanai) izmantot uz BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) balstītu metodiku, piemēram, SAS Proc mixed /solution funkciju.

Iedzīstamības koeficients, kurš aprēķināts izmantojot tikai 1 eksperimenta datus, parasti ar tendenciozi (kļūdaini) palielinātu vērtību. Tā, piemēram, analizējot parastās priedes iedzīstības pārbaužu stādījumus Somijā, konstatēts, ka viena ekoloģiskā fona (eksperimenta vietas) ietvaros aprēķinātās iedzīstamības koeficienta vērtības vidēji par 50% augstākas nekā ar vairāku stādījuma vietu datiem pamatotās (Haapanen, 2001), līdzīgi Hodge, White (1992) secinājuši, ka vērtības ir pat 1,5 – 2 reizes augstākas. Arī ģimeņu selekcijas vērtības, kuras aprēķinātas no vairāku stādījumu datiem, būs daudz precīzākas, jo selekcijas darba mērķis ir atlasīt materiālu, kurš vienlīdz labi pielāgots meža atjaunošanai atšķirīgos tipos.

Kompleksu novērtējumu iespējams izdarīt aprēķinus veicot saskaņā ar aditīvu lineāru modeli, kurā ietverts arī stādījuma vietas komponents (7):

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + b(t)_{ij} + f_k + ft_{ik} + fb(t)_{ijk} + e_{ijk}, \quad (7)$$

kur

Y_{ijk} – individuāls fenotipiskais mērījums;

μ – pazīmes vidējā vērtība (no visiem analizētajiem eksperimentiem);

t_i – stādījuma vietas ietekme;

$b(t)_{ij}$ – atkārtojuma (stādījuma vietas ietvaros) ietekme;

f_k – aditīvā ģenētiskā efekta (ģimenes) ietekme;

ft_{ik} – aditīvā ģenētiskā efekta (ģimenes) un stādījuma vietas mijiedarbības ietekme;

$fb(t)_{ijk}$ – aditīvā ģenētiskā efekta (ģimenes) un atkārtojuma (stādījuma vietas ietvaros) mijiedarbības ietekme;

e_{ijk} – fona (modelī neietvertu faktoru) ietekme.

Vienkoka parcelu izmantošanas priekšrocības iedzīstības pārbaužu stādījumu ierīkošanā ir augstāka statistiskā efektivitāte pie vienāda koku skaita ģimenē, salīdzinot ar citā veida (rindu, bloku) parcelēm. Ņemot vērā, ka materiāls izvietots iespējami lielākajā skaitā atšķirīgu konkurences un augsnes apstākļu, samērā precīzu rezultātu sniedz vienkārša ģimeņu vidējo vērtību aprēķināšana. Taču paaugstināt precizitāti, īpaši situācijā, ja ne visas ģimenes pārstāvētas visos eksperimenta blokos, var izmantojot BLUP metodiku. Algoritms atšķiras no 1. pielikumā ietvertā ar to, ka tiek izmantotas individuālu koku, nevis parcelu vidējās (vai 3 garāko koku) vērtības.

Pēc uzmērījumu veikšanas iespējama stādījuma sadalīšana atkārtojumos, tajos ieverot vairākus sākotnējos blokus, balstoties uz augsnes apstākļu atšķirībām kādā no eksperimenta daļām (Ericsson, 1997). Taču tas ievērojami apgrūtina rezultātu interpretāciju un var novest pie kļūdainiem secinājumiem (Williams, Fu, 1999). Tādēļ svarīgi pirms eksperimenta ierīkošanas novērtēt augsnes apstākļu gradientu un apsvērt izmantojamo bloku skaitu un lielumu.

5. Praktiskie eksperimenti vērtējot selekcijas cikla saīsināšanas iespējas

5.1. Potēšana vecu koku vainagos ziedēšanas paātrināšanai

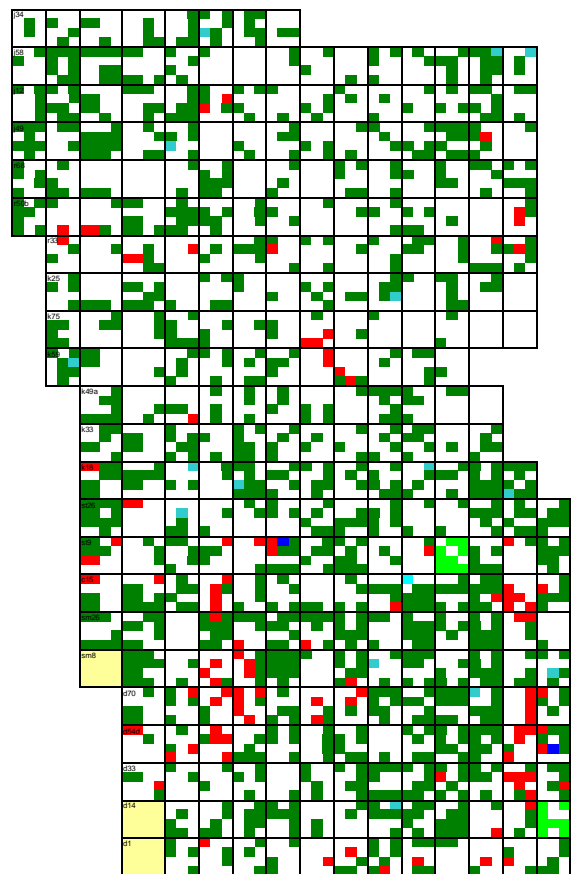
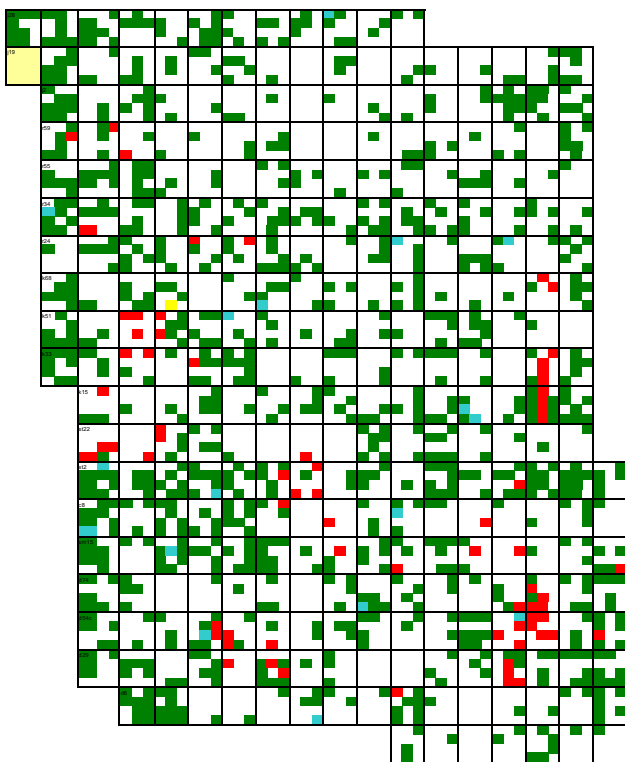
Selekcijas darba ekonomiskā efektivitāte ir atkarīga no viena selekcijas cikla izpildes laika (garuma) gados. Jo īsākā laikā iespējams panākt uzlabojumu, jo lielāks ģenētiskais ieguvums gada laikā un selekcijas darba rezultāts īsākā termiņā var tikt realizēts praksē. Šobrīd Skandināvijas valstīs un Lietuvā secināts, ka iedzimtības pārbaužu stādījumu novērtējumu var veikt 12-16 gadu vecumā. Nākamā selekcijas cikla uzsākšanai nepieciešams veikt kontrolēto krustošanu starp atlasītajiem, ģenētiski pārākajiem kokiem. Taču tik agrā stadijā zied neliels procents koku. Piemēram, parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumā (eksperimentā Nr. 357) 13 gadu vecumā tikai 21 no 1261 koka jeb 1,7% koku konstatēti čiekuri. Kā zināms, priedei agrākā vecumā attīstās sievišķie ziedi, tātad pēc čiekuriem samērā droši var konstatēt, kuri koki vispār ziedējuši. Šī ziedēšanas īpatnība var papildus apgrūtināt kontrolēto krustošanu – var nebūt pieejami izvēlēto koku putekšņi.

Problēmu iespējams risināt, izmantojot dažādas ziedēšanas stimulācijas metodes (piemēram, hormona giberilīna ievadīšanu, strangulāciju). Taču šīs metodes ne vienmēr dod pozitīvu un tūlītēju rezultātu.

Cits risinājums ir jaunu koku zaru potēšana vecu koku vainagos, panākot šo zaru ziedēšanu. Lai izmēģinātu šīs metodes efektivitāti pārskata periodā izvēlēti koki 3 iedzimtības pārbaužu stādījumos, no kuriem atlasīt potzarus un uzpotēt vecu (klonu arhīvu) koku vainagos.

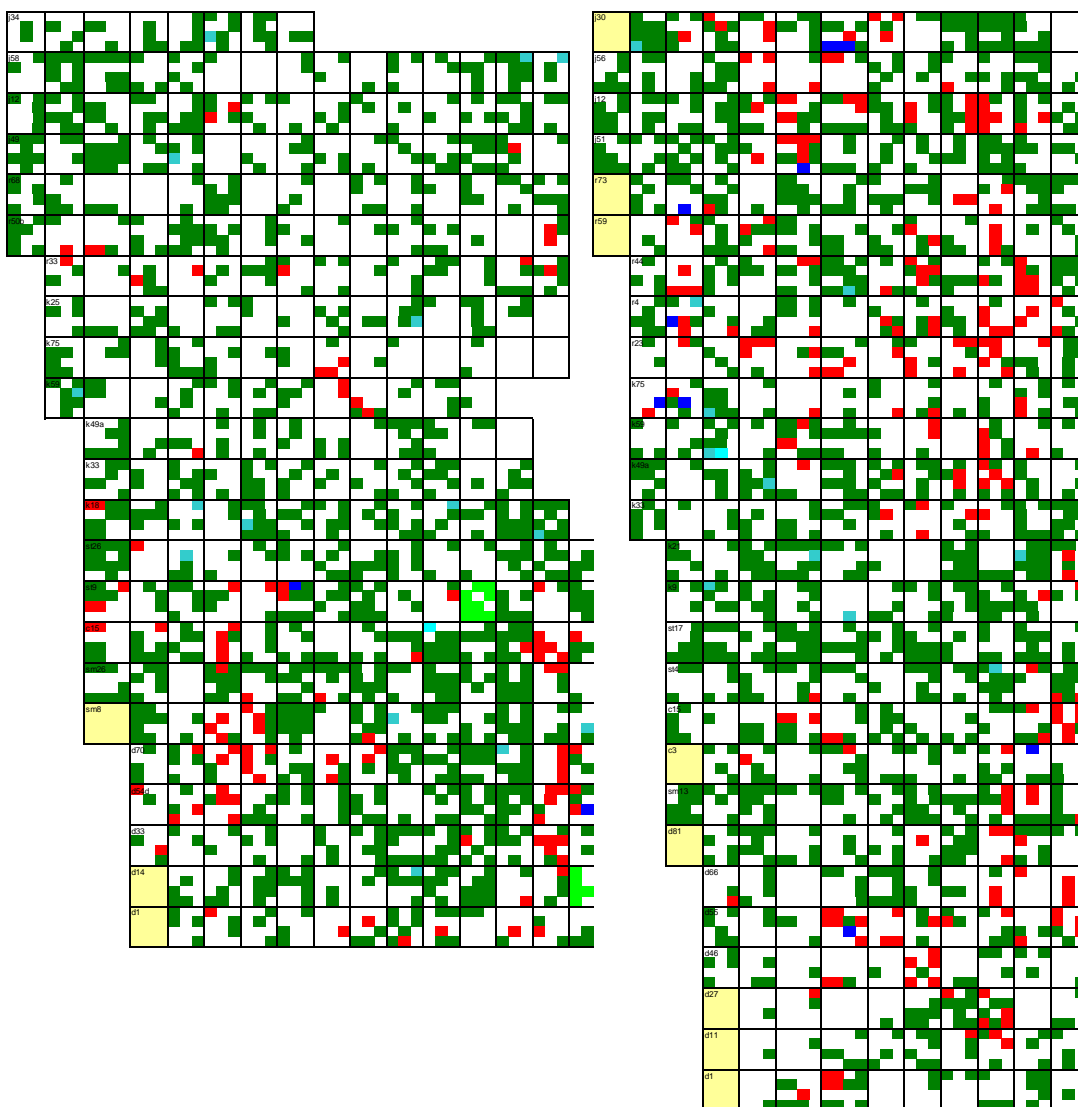
Eksperimentos Nr. 356 un 357 (attiecīgi 14 un 13 gadu vecumā), kuri sastāv no kontrolēto krustojumu (sibu) ģimenēm izvēlēts garākais koks katrā ģimenē. Precīza ģenētiski labāko koku atlase šajos eksperimentos nav iespējama, jo tajos ietverts ļoti neliels ģimeņu skaits, stādījumā Nr. 365 ģimenes izvietotas 3 atsevišķos blokos un visas nav pārstāvētas katrā blokā, izmantotas lielas bloku parces. Tādēļ labākie koki atlasīti ģimenes ietvaros savstarpēji salīdzinot un izvēloties to, kura augstuma starpība ar apkārt (tādos pat apstākļos) augošajiem ir vislielākā. Turpmākajos gados paredzēts atlasīt labākos kokus arī no citiem, neradniecīgiem kontrolētajiem krustojumiem un ievākt to potzarus ziedēšanas veicināšanai. Līdzīgi tiks izmantoti plantāciju vidējo paraugu stādījumi, rezultātā veidojot pamatu kontrolētās krustošanas veikšanai (selekcijas cikla paātrināšanai) un nākamās paaudzes sēklu plantāciju klonu ieguvei.

Potzari iegūti arī eksperimentā Nr. 29, kurš ierīkots 1976. gadā. Stādījumā izvēlēti fenotipiski augstvērtīgi koki, kuri atrodas tiešā sakņu trapes ligzdu tuvumā, tātad varbūtēji ir neuzņēmīgāki pret šīs slimības iedarbību (4., 5. att.). Pēc tam, kad to potējumi būs pieaudzēti vairākos klonu arhīvos, varēs veikt eksperimentus ar kokiem (piemēram, mākslīgi inficējot ar trupi un sekojot slimības attīstībai), lai novērtētu rezistenci. Ja tāda tiks konstatēta, ziedošie potzari arhīvos varēs nekavējoties tikt iesaistīti kontrolētās krustošanas darbā, paaugstinot nākamās selekcijas populācijas paaudzes koku noturību pret sakņu trupi.



- izkritis koks
- dzīvs koks
- sakņu trapes bojājumu dēļ nokaltis koks
- trapes pazīmes visai parcelei
- fenotipiski augstvērtīgs koks
- fenotipiski augstvērtīgi visi koki parcelē
- parcele meža ceļa malā, nav veikta mērīšana
- ātraudzīgs, bet mazāk kvalitatīvs (masas) koks
- ievākti potzari

4. att. Eksperimenta Nr. 29: priedes pluskoku brīvapputes pēcnācēju pārbaūžu stādījuma 3. un 4. atkārtojums pēc stāvokļa 2007. g janvārī



Apzīmējumi kā 1. att.

5. att. Eksperimenta Nr. 29: priedes pluskoku brīvapputes pēcnācēju pārbaucēju stādījuma 1. un 2. atkārtojums pēc stāvokļa 2007. g janvārī

Potēšana veikta izmantojot kambija-serdes salikumu priedes klonu arhīvā Zvirgzdē. Katram potējumam pievienota folija identifikācijas zīme ar stādījuma numuru, klonu nosaukumu, atkārtojuma un koka numuru, lai precīzi varētu noteikt, no kura koka potzars iegūts (6. att.).

Nākamajos gados nepieciešams potējumus veikt vismaz 2 klonu arhīvos, lai samazinātu risku materiālu zaudēt klimatisko vai citu faktoru ietekmes rezultātā. Šogad potēšana veikta vainaga klonu vainaga vidējā un augšējā daļā, ar mērķi stimulēt sievišķo ziedu veidošanos. Taču arī šis jautājums vēl nav plaši pētīts un nepieciešams katru izvēlēto koka potzarus izvietot atšķirīgās klonu arhīva koka vainaga daļās un veikt novērojumus par ietekmi uz sievišķo vai vīrišķo ziedu veidošanos.



Zars ar potējumiem apsiets ar polietilēna lenti un katram potējumam pievienota folija identifikācijas zīme

6. att. Klonu arhīvā Zvirgzdē veiktie potējumi veca koka vainagā ziedēšanas stimulēšanai

5.2. Klonālo pēcnācēju pārbaužu izmantošanas iespēju novērtējums

Priekšrocības, ko sniedz klonālo pēcnācēju pārbaužu izmantošana salīdzinājumā ar ģeneratīvo pēcnācēju pārbaudēm:

- Ø saīsināts selekcijas cikla izpildes laiks – rezultātus iespējams iegūt par 3-5 gadiem ātrāk;
- Ø mazāks nepieciešamais stādu skaits vienādas precizitātes rezultātu iegūšanai, vai – ar vienu un to pašu stādu skaitu iespējams pārbaudīt vairāk ģenētiski atšķirīgu īpatņu vai vienus un tos pašus vairāk dažādos augšanas apstākļos;
- Ø augstāka rezultātu precizitāte – katrs ramets ir mātes koka ģenētiska kopija, rezultātu precizitāti ietekmē tikai vides apstākļi, nevis ģenētiskais „fons”;

Kārpainais bērzs

Bērza veģetatīvā (mikroklonālā) pavairošana tiek izmantota iedzimtības pārbaužu stādījumos Somijā (Viherä-Aarnio, Velling, 2001) un Zviedrijā (Stener, Jansson, 2005). Salīdzinot veģetatīvo un ģeneratīvo pēcnācēju pārbaužu rezultātu, nav konstatētas būtiskas atšķirības ne saglabāšanas procentā, ne koku vidējā augstumā (Viherä-Aarnio, Velling, 2001). Tas nozīmē, ka klonālās pēcnācēju pārbaudes var izmantot labāko vecāku koku atlasei arī tad, ja rūpnieciskā materiāla pavairošana notiks sēkļu plantācijās (ar sēklām). Izmantojot standarta barotni un gaismas, temperatūras režīmus, konstatētas nozīmīgas veģetatīvo dzinumumu veidošanās atšķirības starp kloniem, taču *in vitro* apsākšanās procents visu pārbaudīto genotipu bērziem bija augsts (Welander et al., 2002, Ewald et al., 2002). Līdzīgi rezultāti iegūti arī Latvijā, pētījumos noskaidrojot arī atsevišķu atlasīto bērzu optimālo pavairošanas režīmu (barotnes sastāvu, gaismu, temperatūru u.c.) (Dubova, 1994). Nozīmīgākā darba daļa ir materiāla audzēšanas uzsākšana, jo ne visi kloni vairojas vienādi viegli (Koski, Rousi, 2005). LVMI „Silava” Augu fizioloģijas

laboratorijā, D. Auzenbahas vadībā notiek darbs pie bērza mikroklonāls pavairošanas metodikas probācijas, šobrīd vēl nav iespējams precīzi novērtēt potenciālās metodes izmaksas. Ņemot vērā grūtības atsevišķu klonu pavairošanā, daļai selekcijas populācijas var nākties izmantot ģeneratīvās pēcnācēju pārbaudes.

Parastā egle

Atšķirībā no priedes, parastās egles pavairošana ar spraudņiem nav sarežģīta. Tā jau ilgstoši ir vienīgais pēcnācēju pārbaužu veids gan Zviedrijā (Karlsson, Rosvall, 1993, Högberg et al., 1998), gan Somijā un sāka pielietot selekcijas darbam arī Lietuvā (Danusevičius, 2004). Egles dzinumu spraudņu apsākšanas metodika Latvijā izmantota jau 1975. gadā (Rone, 1993) Tās trūkums ir ierobežotais spraudņu skaits, ko var iegūt no viena mātes stāda, jo palielinoties mātes stāda vecumam samazinās no tā ievāktu spraudņu apsākšanās spēja (Högberg et al., 1998).

Izmantojot somātisko embriogēni, pavairoto klonālo kopiju skaits ir praktiski neierobežots, (von Arnold et al., 2005) bez tam iedzimtības pārbaužu stādījumus iespējams ierīkot 2-3 gadus ātrāk (pēc krustošanas) nekā izmantojot pavairošanu ar spraudņstādiem (Högberg et al., 1998). Papildus priekšrocība ir iespēja izmantot krioprezervāciju un faktiski neierobežotu laiku saglabāt genotipus. Tādējādi tiek veidota ģenētiskā materiāla banka un vienlaikus nodrošināta iespēja uzsākt klonālo pavairošanu uzreiz pēc pēcnācēju pārbaužu rezultātu iegūšanas. Somātiskās embriogēnes praktiskai izmantošanai egles selekcijā nozīmīgākie trūkumi ir izmaksas un fakts, ka ne visus genotipus iespējams ar šo metodi pavarot (Högberg et al., 1998, 2001). Zviedrijā konstatēts, ka ar somātisko embriogēni iespējams pavairot tikai aptuveni trešo daļu egles klonu (Högberg et al., 2001). Tādēļ meža selekcijas vajadzībām, kur vajadzīga visu genotipu pavairošana ar relatīvi nelielu klonālo kopiju skaitu katram un iespējami zemām izmaksām, šobrīd perspektīvāka ir pavairošana ar apsāknotiem spraudņiem.

Tanī pat laikā, ņemot vērā tehnoloģiju attīstību (tātad izmaksu samazināšanos un iespēju paplašināšanos) svarīgi aprobēt arī somātiskās embriogēnes metodiku. LVMI „Silava” Augu fizioloģijas laboratorijā šīs metodes apgušanai uzsākta 2006 gadā ar trīs embriogēnām Polijas egļu klonu kallusa līnijām, kuras izgāja visas somātiskās embriogēnes attīstības fāzes, ieskaitot jaunu, pilnvērtīgu augu reģenerāciju. Darbs tika veikts sadarbībā ar Polijas Mežzinātnes institūta Ģenētikas un Fizioloģijas nodaļas vadošo pētnieci Kristīnu Szczygiel, izmantojot praksē jau pārbaudītu materiālu (Fiļipovičs u.c., 2006). Metodes tālākai apguvei un attīstīšanai 2007. gada Meža attīstības fonda finansēta projekta „Latvijas mežsaimniecības reaģētspējas uz iespējamām klimata izmaiņām Eiropā un kvalitatīvas koksnes kā rūpniecības izejvielas vērtības pieaugumu pilnveidošana” (vadītājs A. Gailis) ietvaros šī gada augustā un septembrī ievāktas, laboratorijas apstākļos apstrādātas, sterili preparētas un par eksplantiem izmantotas 10 Latvijas egļu klonu nenobriedušas sēklas dažādās attīstības stadijās.

Parastā priede

Parastās priedes veģetatīvā pavairošana ir sarežģītākā. Mikroklonālā pavairošana ir ar ļoti zemām sekmēm, tādēļ faktiski vienīgā alternatīva ir spraudņstādu izmantošana. Tā testēta arī Latvijā pagājušā gadsimta astoņdesmito gadu beigās – deviņdesmito sākumā V. Bambes vadībā, taču pēc tam pētījumi finansējuma trūkuma dēļ pārtraukti. Labākos rezultātus līdz šim izdevies sasniegt Zviedrijas mežzinātnes institūta speciālistiem – nodrošināt vidēji 54% spraudņu apsākšanos un stādu izveidošanos no tiem. Konstatēts, ka ar spraudņiem iespējams pavairot visas (kopumā 46) eksperimentā ietvertās ģimenes (Högberg, 2005).

2007. gadā uzsākts sadarbības projekts ar Zviedrijas un Somijas mežzinātnes institūtiem priedes spraudenstādu ieguves metodikas aprobācijai un pilnveidošanai, kuru vada Dr. K.-A. Högberg no Zviedrijas mežzinātnes institūta.

Pirms plašākas veģetatīvi pavairota materiāla izmantošanas eksperimentālajos stādījumos svarīgi novērtēt pieredzi jau esošajos eksperimentos, tādos kā parastās priedes klonu arhīvi. Pārskata periodā uzmērīti un analīzei izmantoti 4 stādījumi, kuru dati apkopoti 8. tabulā.

Zaru diametri uzmērīti 1,3 m augstumam tuvākajā mieturī bez redzamiem defektiem (piem., padēliem). Ja tuvākais mieturis bojāts, izvēlēts nākamais tuvākais. Mērīts stumbra asij perpendikulārais zara diametrs, aptuveni 1 cm attālumā no stumbra. Ja zars nokritis, bet koka mizā vēl redzams defekts (zara caurums), uzmērīts šī defekta diametrs.

Par „dzīvnieku bojājumiem” dēvēti pārnadžu barošanās, beršanās vai ragu trīšanas rezultātā noplēsti koka mizas laukumi, kuri uzmērīti salīdzinot ar plaukstas platību (~160 cm²). 8. tabulā iekļauti 507 veģetatīvo (potēto) koku dati, kuri analīzē salīdzināti savstarpēji un ar 2390 ģeneratīvajiem kokiem.

Parastās priedes veģetatīvos stādījumus raksturojošie rādītāji

Eksp. Nr.	Stat. rād.	Parametri																								
		d	bv	hzz	h	z1	z2	z3	z4	z5	z6	z7	z8	zs	v%	z_12	z_13	z_23	z_1_3	zv	bs	zem	augst	b%	bkop	hsz
4bv	vid.	10,7	4,8	7,4	12,5	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,6	0,2		3,8	41	2,0	1,8	1,6	2,8	0,8	2,1	0,5	1,5	56	7,0	27
	s	3,2	3,6	1,3	2,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2			0,9	9	0,7	0,6	0,6	0,9	0,3	3,3	0,3	0,4	25	5,0	25
	n	225											140	48	4	1	0	225								
bv	vid.	15,8	1,7	10,3	17,4	1,2	1,0	0,7	0,6	0,5	0,3			4,3	40	2,2	2,0	1,7	3,0	0,8	0,1					
	s	3,9	2,5	1,7	2,2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1			1,0	10	0,6	0,6	0,6	0,9	0,3	0,2					
	n	42											33	17	6	0	0	42								
20	vid.	13,2	4,5	11,6	16,9	1,7	1,3	1,1	0,8	0,6	0,3	0,3	0,3	5,1	31	3,0	2,8	2,5	4,1	1,1						
	s	2,7	5,0	1,2	1,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	1,2	4	0,7	0,7	0,7	1,0	0,3						
	n	39											26	9	6	2	39									
100v	vid.	13,2	0,3	4,9	11,5	1,6	1,2	1,0	0,7	0,6	0,5	0,3	0,3	4,7	57	2,8	2,6	2,2	3,8	1,0						
	s	3,0	0,9	1,0	1,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2		1,1	9	0,9	0,8	0,8	1,2	0,3						
	n	201											179	123	44	11	1	201								

Eksp. Nr. - eksperimenta Nr. Ilgtermiņa pētniecisko objektu reģistrā. Ja esperiments nav reģistrēts - pieņemts apzīmējums

Stat. rād.- statistiskie rādītāji: vid. - aritmētiskais vidējais, s-standartnovirze, n-koku skaits

d-caurmērs 1,3 m augstumā, cm

bv-dzīvnieku bojājumi, kuri vecāki par pagājušās ziemas, platība, plaukstās

hzz-pirmā zaļā zara augstums, m

h-koka augstums, m

z-1,3 m augstumam tuvākā mietura bez padēla zaru caurmēri, cm: z1-resnākā zara, z2-2. resnākā utt.

zs-zaru skaits 1,3 m augstuma tuvākajā mieturī bez padēla

v% - zaļais vainags, % no koka garuma

z_ - zaru caurmēru summas: z_12 - 1. un 2. resnākā zara, z_1_3 - pirmo 3 resnāko zaru

zv- vidējais zara caurmērs 1,3 m tuvākajā mieturī bez padēla

bs - "svaigs" - iepriekšējā ziemas - dzīvnieku bojājums

zem - dzīvnieku bojājuma zemākā robeža, m

augst - dzīvnieku bojājuma augšējā robeža, m

b% - bojājums % no stumbra apkārtmēra visvairāk bojārajā vietā

bkop - iepriekšējo gadu un pēdējās ziemas dzīvnieku bojājumu kopapjoms, plaukstas

hsz - pirmā sausā zara augstums, cm

Parametru atšķirības veģetatīvajiem un ģeneratīvajiem kokiem

Augšanu un kvalitāti raksturojošo parametru atšķirības veģetatīvajam un ģeneratīvajam materiālam atspoguļo 9. tabula.

9. tabula

Fenotipisko parametru atšķirības veģetatīvi (potējot) un ģeneratīvi pavairojot iegūtiem kokiem

Eksp. Nr.	Materiāls		h	d	hzz	v%	z1	z2	z3	z4	z5	z6	zs	z_12	z_13	z_23	z_1_3	zv	bkop	b%		
4bv	v	vid.	12,5	10,7	7,4	41	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,6	3,8	2,0	1,8	1,6	2,8	0,8	7,0	56		
	g	vid.	13,4	12,5	7,6	43	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	4,8	1,9	1,8	1,6	2,7	0,8	0,0	0		
	b	**	***	z	**	*	z						***	z				**	-	-		
	g1	vid.	14,6	12,9	8,2	43	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	5,4	1,9	1,7	1,6	2,6	0,7	0,0			
	b1		***			**	**	*	z						***	*	z		*	***	-	-
bv	v	vid.	17,4	15,8	10,3	40	1,2	1,0	0,7	0,6	0,5	0,3	4,3	2,2	2,0	1,7	3,0	0,8	1,8			
	g	vid.	18,2	17,1	11,2	38	1,3	1,0	0,9	0,7	0,6	0,4	5,4	2,3	2,2	1,9	3,2	0,9	0,0			
	b		z						***						z				-	-		
20	v	vid.	16,9	13,2	11,6	31	1,7	1,3	1,1	0,8	0,6	0,3	5,1	3,0	2,8	2,5	4,1	1,1	4,5			
	g	vid.	17,4	13,9	11,8	32	1,4	1,2	1,1	0,9	0,7	0,6	6,4	2,7	2,5	2,3	3,7	1,0	0,0			
	b		z						*	***	*	z				-	-					
100v	v	vid.	11,5	13,2	4,9	57	1,6	1,2	1,0	0,7	0,6	0,5	4,7	2,8	2,6	2,2	3,8	1,0	0,3			
	g2	vid.	11,7	12,2	6,0	48	1,2	1,1	0,9	0,8	0,7	0,5	7,0	2,3	2,1	2,0	3,2	0,8	0,0			
	b2	z	***						**	***	*	***				-	-					
	g	vid.	11,1	11,0	n																	
	b	**	***	-																		

Materiāls: v-veģetatīvais (potētais)

g-ģeneratīvais (audzēts no sēklām)

n - nav vērtēts

g1-ģeneratīvie koki šaurā joslā blakus veģetatīvā stādījuma garākajai malai

g2 - tikai valdaudzes koki

b - atšķirību būtiskums, aprēķināts pēc t-testa

*0,05

**0,01

***0,001

z-nebūtiska

- nav aprēķināta

b1-būtiskums starpībai starp v un g1

b2-būtiskums starpībai starp v un g2

Pārējie apzīmējumi kā 1. tabulā

Eksperimentā 4bv ietverts veģetatīvi un ar sēklām pavairots materiāls. Tam tieši (bez pieslēgrindas) pieguļ tā paša vecuma priedes iedzimtības pārbaužu stādījumu (eksperimentu Nr. 37 un 38) gals. No šiem eksperimentiem pēdējās 3 rindas gar 4bv stādījuma garāko malu izmantotas kā papildus salīdzināmais materiāls (9. tabulā apzīmēts ar g1).

Redzams, ka ar sēklām pavairotie koki ir būtiski lielāki: augstuma selekcijas starpība ar veģetatīvi pavairoto materiālu ir 0,9 m (7%) un 2,1 m (17%), caurmēra 1,8 cm (17%) un 2,2 cm (21%). Eksperimentu Nr. 37 un 38 koki arī būtiski labāk atzarojušies (pirmais zaļais zars vidēji par 0,8 m augstāk. Resnākais zars veģetatīvi pavairotajiem kokiem ir nedaudz (vidēji par 1 mm) resnāks, taču starpība ir statistiski būtiska, tievāko zaru atšķirības ir nelielas un nebūtiskas. Vidējā zara diametra atšķirības ir neizteiktas, taču statistiski būtiskas. Arī zaru skaits atšķiras būtiski un ir par 1 (27%) un 1,6 (42%) lielāks ar sēklām pavairotajiem kokiem.

Eksperimentā bv atšķirības starp veģetatīvi un ģeneratīvi pavairotu koku fenotipiskajiem parametriem uzrāda tādu pašu tendenci kā eksperimentā 4bv, taču starpības lielākoties nav

būtiskas. Tas var būt skaidrojams ar nelielo analizēto koku skaitu. Statistiski būtiska ir tikai atšķirība zaru skaitam mieturī – to par 0,6 (13%) vairāk ir ģeneratīvi pavairotiem kokiem.

Eksperimentā nr. 20 un tam piegulošajās platībās ģeneratīvi pavairoto koku kontroles materiāls izvēlēts netālu no katra veģetatīvā koka ar tam iespējami līdzīgu caurmēru, tātad līdzīgu pozīciju audzē. Redzams, ka tādā gadījumā ne koku augstums, ne zaļā vainaga garums, ne zaru resnumi neatšķiras būtiski. Būtiskas atšķirības konstatētas tikai zaru skaitam mieturī (to, tāpat kā iepriekšējos eksperimentos, vairāk ir ģeneratīvi pavairotajiem kokiem), kā arī 2 resnāko zaru summārajā rādītājā.

Eksperiments 100v faktiski sastāv no 2 atsevišķiem, līdzās izvietotiem stādījumiem – parastās priedes audžu atsevišķu koku brīvapputes pēcnācēju iedzimtības pārbaužu stādījums (eksperiments Nr. 32) un šo pašu koku veģetatīvi pavairota (potēta) stādījuma, tātad vienlaikus iespējams vērtēt gan ģimenes, gan stādāmā materiāla veida ietekmi uz koku parametriem. Analīzi apgrūtina tas, ka klonu arhīvā ir neliels koku skaits (vidēji 5 rameti no katra koka). Bez tam klonu arhīvs stādīts retāk (2x2m) nekā eksperimenta nr. 32 koki (1x2m), tādēļ savstarpējai salīdzināšana veikta gan ar visiem, gan tikai valdaudzes kokiem no ģeneratīvā stādījuma. Kā valdaudze šajā gadījumā izdalīti visi nenomāktie (1.-3. Krafta klases) koki ar brīvu galotni. No salīdzināšanas izslēgtas parces, kurās nav koku, kā arī parces ar kokiem ar sakņu trapes pazīmēm.

Starpaudzes kokiem uzmērīts tikai augstums un caurmērs. Redzams, ka tos iekļaujot ģeneratīvo koku vidējās augstuma un caurmēra vērtības būtiski zemākas kā veģetatīvajiem kokiem. Valdaudzes koku vidējais augstums ģeneratīvi pavairotam materiālam būtiski neatšķiras no veģetatīvi pavairotā, caurmērs ir 1 cm (8%) mazāks. Pirmais zaļais zars ģeneratīvi pavairotajiem kokiem ir par 1,1 m augstāk, rezultātā zaļais vainags vidēji par 9% īsāks. 3 resnāko zaru diametri un vidējais zara diametrs būtiski lielāki ir veģetatīvi pavairotajiem kokiem, taču 3 nākamo pēc resnuma zaru diametri būtiski mazāki. Arī zaru skaits mieturī veģetatīvi pavairotajiem kokiem būtiski mazāks (vidēji par 2,3 jeb 43%) nekā ģeneratīvi pavairotajiem.

Konstatēto atšķirību cēloņi

Veģetatīvi pavairoto koku atpalcība augšanā varētu būt skaidrojama ar nozīmīgajiem pārnadžu nodarītajiem mizas bojājumiem. Eksperimentā 4bv mizas bojājums konstatēts 95% potēto koku, eksperimentā bv – 48%, eksperimentā 20 – 74%, eksperimentā 100v – 21% potēto koku.

Eksperimentā 4bv, kur vidēji no viena koka noplēstās mizas platība (bkop 9. tabulā) ir vislielākā, potētie koki būtiski atpaliek gan pēc augstuma, gan caurmēra. Problēmu raksturo arī fakts, ka visvairāk bojātajā vietā miza noplēsta vairāk kā pusē no stumbra apkārtmēra (56%), tādējādi nozīmīgi apgrūtinot vielu transportu kokā. Stādījumos, kur veģetatīvo koku miza bojāta maz, tie pēc augšanas parametriem neatpaliek būtiski (augstums, caurmērs bv, augstums 100v) vai pat ir būtiski pārāki (caurmērs 100v) kā no sēklām audzētie. Veicot t-testu konstatēts, ka 9. tabulā atspoguļotās kopējā mizas bojājuma platību atšķirības ir būtiskas ($\alpha=0,001$) starp visiem iespējamajiem eksperimentu pāriem, lai gan maksimālā distance starp 2 eksperimentiem nepārsniedz 2 km, tātad dzīvnieku blīvumam teritorijā vajadzētu būt līdzīgam. Kā redzams no eksperimenta Nr. 20 rezultātiem, ja koku augšanas parametri ir līdzīgi, arī to kvalitātes parametri neatšķiras neatkarīgi no stādāmā materiāla veida.

Būtiskās zaru skaita atšķirības starp veģetatīvajiem un ģeneratīvajiem kokiem daļēji varētu būt saistītas ar pārnadžu ietekmi – kā konstatēts eksperimentā 4bv (8. tabula), bojājumi ir vidēji no 0,5 līdz 1,5 m augstumam, tātad vērtētajam zaru mieturim (tuvākajam 1,3 m augstumam) daži zari var būt nolauzti/nobertzi un vairs nav atrodam. Līdzīgi kā bojājumu apjomam, arī zaru skaitam veģetatīvajiem kokiem saskaņā ar t-testa rezultātiem atšķirības ir būtiskas starp visiem

eksperimentu pāriem ($\alpha=0,01$, eksperimentiem bv-100v $\alpha=0,05$), izņemot eksperimentu pāri 20-100v, kur atšķirība nav būtiska. Stādījumā, kur miza bojāta proporcionāli visvairāk kokiem un bojājuma vidējā platība ir vislielākā (4bv), arī zaru skaits mieturī ir mazākais. Tanī pat laikā eksperimentā 20, kur ir otrs lielākais bojāto koku īpatsvars (74%) un bojājuma vidējā platība, konstatēts lielākais vidējais zaru skaits mieturī. Tātad zaru skaitu ietekmē arī citi faktori, piemēram, ģenētiskās atšķirības. Lai to novērtētu, veikta divfaktoru dispersijas analīze eksperimenta 100v datiem, kā faktoros izvēloties stādāmā materiāla veidu (potētie vai ģeneratīvie) un ģimēni (brīvapputes pēcnācēju vai klonālo). Rezultāti apkopoti 10. tabulā. Ģeneratīvā materiāla raksturošanai šajā analīzē izmantoti tikai valdaudzēs koki.

10. tabula

Parastās priedes fenotipiskos parametrus ietekmējošie faktori

Parametrs	Materiāls	Ģimene	Mijiedarbība
h	***	***	***
d	***	***	Z
hzz	***	***	***
v%	***	***	***
z1	***	***	***
z2	***	***	***
z3	***	***	***
z4	***	***	***
z5	***	***	Z
zs	***	***	***

Ietekmes būtiskums,
noteikts ar divfaktoru dispersijas analīzi
*0,05
**0,01
***0,001
z-nebūtiska

Materiāls: veģetatīvais un ģeneratīvais
Mijiedarbība - abu vērtēto faktoru mijiedarbības ietekme
Pārējie apzīmējumi kā 1. tabulā

Redzams, ka stādāmā materiāla veids būtiski ietekmē gan produktivitāti (augstumu, caurmēru), gan kvalitāti (pirmā zaļā zara augstumu, zaru diametrus) raksturojošos parametrus. Taču arī ģenētiskā faktora ietekme ir būtiska. Tātad, ja kādā no eksperimentiem veģetatīvais un ģeneratīvais materiāls nav no tiem pašiem vecāku kokiem, ģenētisko atšķirību ietekme var radīt maldīgu priekšstatu par stādāmā materiāla veida ietekmi uz novērotajām koku fenotipisko parametru vērtību atšķirībām.

Lai novērtētu dažādu faktoru ietekmi uz veģetatīvo un ģeneratīvo koku atšķirībām, veikta šo koku parametru korelācijas analīze. Analīze veikta katram eksperimentam atsevišķi, saglabājot tikai būtiskās korelācijas un pēc tam aprēķināta katras korelācijas vidējā vērtība visos eksperimentos. Rezultāti apkopoti 11. tabulā.

Fenotipisko parametru korelācijas veģetatīvajos parastās priedes stādījumos

	d	bv	bs	hzz	h	z1	z2	z3	z4	z5	zs	v%
bv	0,33											
bs	0,37	0,14										
hzz	0,34	0,14										
h	0,78	0,25	0,32	0,55								
z1	0,55	0,20	0,25		0,34							
z2	0,51		0,26		0,38	0,81						
z3	0,50	0,17	0,26	0,18	0,36	0,65	0,82					
z4	0,46		0,29		0,32	0,52	0,67	0,77				
z5	0,56		0,48		0,38	0,57	0,60	0,69	0,77			
zs	0,21				0,23		0,26	0,37	0,44	0,32		
v%	0,57	0,16	0,26	-0,55	0,39	0,30	0,28	0,25	0,22	0,33	0,18	
zv	0,53	0,15	0,30	0,13	0,36	0,83	0,88	0,81	0,75	0,75		0,27

Neiekrāsotās korelācijas – būtiskas $\alpha=0,01$ līmenī, iekrāsotās – $\alpha=0,05$ līmenī

Tukšās vietas – korelācijas, kuras nav bijušas būtiskas nevienā no analizētajiem eksperimentiem

Pārējie apzīmējumi kā 1. tabulā

Apstiprinās iepriekš izteiktais vērtējums, ka viens no galvenajiem atšķirību cēloņiem starp veģetatīvo un ģeneratīvo koku augšanu ir dzīvnieku bojājumi: bojājumu apjoms vidēji ($r=0,33-0,37$) korelē ar koku caurmēru, tāpat vidēji ($r=0,25-0,32$) ar augstumu. Tātad lielākie koki (kuriem vairāk mizas virsmas) tiek arī intensīvāk bojāti, reizē ar to samazinot šo koku vitalitāti. Stādījumā 4bv konstatēts, ka bojājumu apjoms % no stumbra apkārtmēra visvairāk bojātajā vietā vāji korelē ar koka augstumu un caurmēru (attiecīgi $r=0,18$, $\alpha=0,05$ un $r=0,12$, nebūtiski), taču cieši ar kopējo bojātās mizas platību ($r=0,66$, $\alpha=0,01$). Tāpat bojājumu apjoms vāji negatīvi korelē ar zemāko bojājuma vietu ($r=-0,16$, $\alpha=0,05$) un cieši ar augstāko ($r=0,57$, $\alpha=0,01$). No tā var secināt, ka atsevišķu koku miza ir garšīgāka vai kā citādi pievilcīgāka pārnadžiem, iespējams, koku ģenētisko īpatnību dēļ. Varētu likties, ka šo pieņēmumu pretrunā ir zemā korelācija starp svaigo (pēdējās ziemas) un iepriekšējo gadu mizas bojājumu apjomu. Taču šādas pretrunas nav, jo ievērojamam skaitam visvairāk bojāto koku miza noplēsta tādā mērā, ka atlicis ļoti maz vietas svaigiem bojājumiem.

Tāpat mizas bojājumu platība vidēji saistīta ar zaru caurmēriem ($r=0,17-0,48$), kas arī liecina par labu iepriekš izvirzītajai domai, ka veģetatīvajiem kokiem daļa no tievākajiem zariem 1,3m augstumam tuvākajā mieturī ir notraukti pārnadžu darbības rezultātā. Līdz ar to zaru caurmēru atšķirības starp veģetatīvajiem un ģeneratīvajiem kokiem uzskatāmas par stādāmā materiāla veida ietekmētām tikai pastarpināti. Tanī pat laikā novērotās korelācijas starp zaru skaitu un dzīvnieku bojātās mizas platību (vai citiem bojājumu raksturojošajiem rādītājiem) nav būtiskas.

Resnāko zaru diametri un vidējais zara diametrs cieši saistīti ar koka diametru ($r=0,46-0,55$), ievērojami mazāk ar augstumu. Turpretī zaru skaits ar koku augšanu raksturojošajiem parametriem saistīts mazāk ($r=0,21-0,23$), kas liecina, ka to vairāk ietekmē ģenētiskie faktori, nevis koka pozīcija audzē. Zaļā vainaga garums ciešāk saistīts ar koku caurmēru ($r=0,57$), nevis augstumu ($r=0,39$), liecinot par koka pozīcijas audzē ietekmi uz tā atzarošanās intensitāti.

Nozīmīgākās atšķirības starp atsevišķu parametru korelācijām veģetatīvajiem un ģeneratīvajiem kokiem saistītas ar zaru skaitu: tas uzrāda vēl zemākas korelācijas ar koku

augstumu un caurmēru (attiecīgi $r=0,10$ un $r=0,07$), kā arī vidēji par 0,1 zemākas korelācijas ar resnāko zaru caurmēriem. Arī resnāko (sākot ar 2.) zaru caurmēru korelācijas ar koka augstumu ģeneratīvajiem kokiem ir par 0,06-0,17 zemākas kā veģetatīvajiem. Tas daļēji varētu būt saistīts ar dzīvnieku bojājumu ietekmi – resnāki zari var kavēt veģetatīvo koku apgraušanu, tādējādi sniedzot iespēju kokiem ar resnākiem zariem saglabāt augstāku vitalitāti un lielāku augstumu. Resnāki zari tā paša augstuma kokiem var būt arī veģetatīvo koku zemākas saglabāšanās rezultāts – daļa no tiem iet bojā, jo pārnadži apgrauž mizu pa visu stumbra apkārtmēru. Reizē ar to samazinās koku savstarpējā konkurence, zari veidojas resnāki un lēnāk atmirst. Taču nav zināmi veģetatīvo stādījumu ierīkošanas un saglabāšanās dati, tādēļ par šo procesu iespējams izteikt tikai pieņēmumus.

Var secināt, ka nozīmīgākās atšķirības starp veģetatīvo un ģeneratīvo koku fenotipiskajiem parametriem ir pārnadžu izraisīto mizas bojājumu sekas potētajiem kokiem. Eksperimentā nr. 449 konstatēts, ka no jauniem (2-4 gadus veciem) kokiem iegūtie potzari nav ar īpatnējo, veca koka galotnei raksturīgo mizu. Līdz ar to tie nav dzīvnieku bojāti, atšķirībā no kontroles (no vecu koku galotnes iegūtiem uzpotētiem kokiem šī paša stādījuma ietvaros), kur visiem kokiem konstatēti mizas bojājumi un atsevišķi to dēļ pat gājuši bojā (7. attēls). Diemžēl šim stādījumam nav līdzīga vecuma un augšanas apstākļos augošu to pašu ģimeņu ģeneratīvā stādījuma, tādēļ nav iespējams veikt tiešu augšanas un kvalitātes parametru salīdzinājumu. Taču balstoties uz apkopotajiem faktiem iespējams secināt, ka veģetatīvi (ar spraudņiem, no 1-2 gadus veciem kontrolētās krustošanas pēcnācējiem) iegūtu parastās priedes materiālu būs iespējams sekmīgi izmantot iedzimtības pārbaužu stādījumu ierīkošanai.



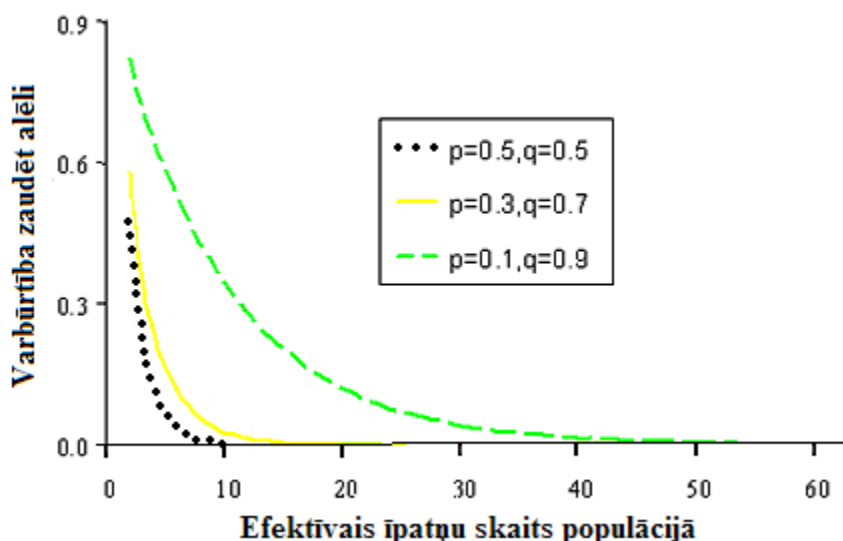
7. attēls. Pārnadžu bojāts parastās priedes potējums no veca koka galotnes

6. Literatūras apskats par nozīmīgiem selekcijas darba aspektiem

6.1. Ģenētiskā daudzveidība

Ģenētisko daudzveidību ietekmē vairāki evolucionāri procesi.

1. **Gēnu dreifs** – nejaušs atsevišķu alēļu 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 alēļu 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 inbrīdinga 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 sēkļu 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 $N_e > 25$. Tik mazs īpatņu skaits nav paredzēts selekcijas grupās, arī sēkļu plantācijās N_e ir lielāks, bez tam to nozīmīgi paaugstina fona putekšņu ietekme (Nikkanen, Ruotsalainen, 2000). Varbūtību, ka allēlē tiks fiksēta 1 paaudzes laikā (tātad sēkļu plantācijas pēcnācējiem) atkarībā no populācijas īpatņu skaita (plantācijas klonu efektīvā skaita) atspoguļo 8. attēls.

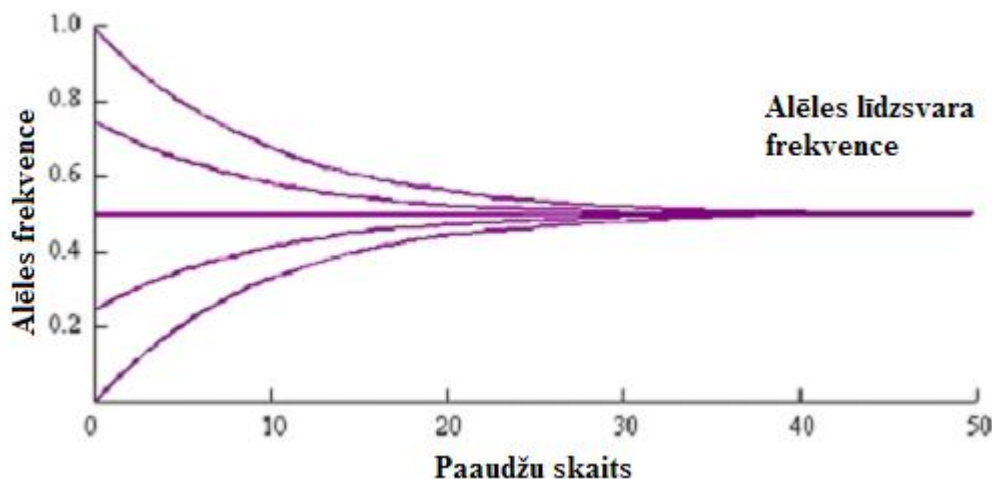


Pieņemts 1 lokusa 2 alēļu modelis, kur p un q – alēļu frekvences

8. att. Varbūtība 1 paaudzes laikā zaudēt retāk pārstāvēto allēli (attēls no McDonald, 2004)

Nākamajā paaudzē sēkļu plantācijas kloni ir nomainīti, tādēļ nav pamata uzskatīt, ka gēnu dreifa ietekme uz sēkļu plantāciju pēcnācējiem turpinās vairākas paaudzes.

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 imigrējušo 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). Procesu raksturo 9. attēls.



9. att. Allēles frekvences izlīdzināšanās starp populācijām, ja imigrējušo īpatņu skaits paaudzē ir 10% no efektīvā īpatņu skaita populācijā (attēls no McDonald, 2004).

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 attālām 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 *Pinus sylvestris* koki ar vidējo biežību 2,4 koki/ha). Paaugstinoties audzes biežībai (pat tikai līdz 20 kokiem/ha), šāda tendence vairs nav novērojama.

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, kā liecina 10. attēls, grupas ar efektīvo īpatņu skaitu 50 inbrīdīga koeficients 50 paaudžu laikā pieaug tikai līdz aptuveni 0,35. Vairākas grupas selekcijas populācijā laika gaitā var tikt apvienotas, palielinot N_e līdz 100, līdz ar to samazinot inbrīdīga koeficientu līdz aptuveni 0,2. 50 paaudzes meža koku selekcijā 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.

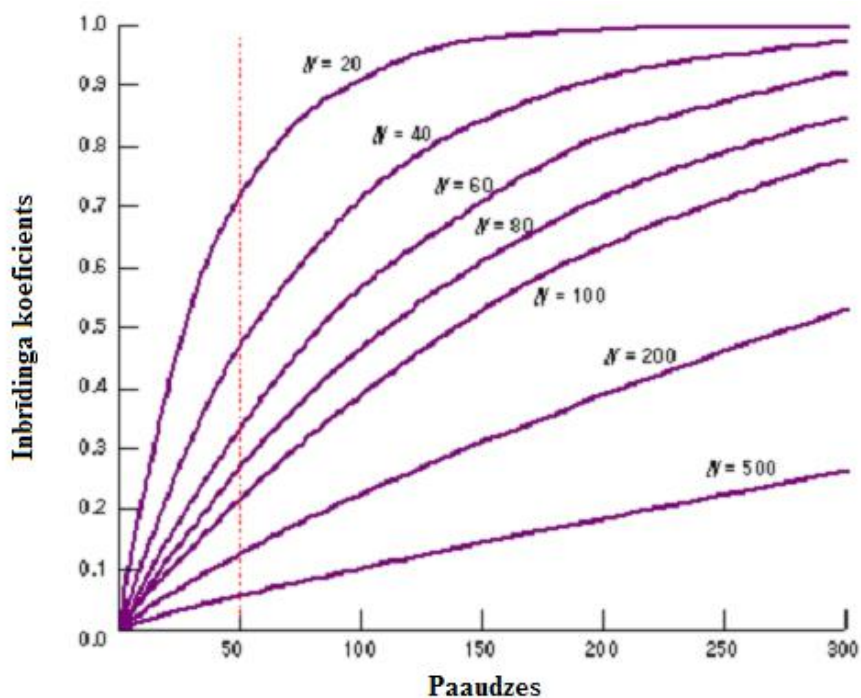
Rosvall et al. (1998) secina, ka selekcijas grupā ar 50 kokiem 10 paaudžu laikā izmantojot dubultpāru krustošanu un atlasī ģimenes ietveros, tiks zaudētas allēles, kuru sākotnējais sastopamības biežums populācijā mazāka par 0,01. Tanī par laikā tiek saglabāti 94% ģenētiskās daudzveidības.

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).

Protams, tuvradnieciskās krustošanās sekas sugām var izpausties atšķirīgi, tādēļ nepieciešams plašāks literatūras apskats par parasto egli un parasto priedi. Taču datus par dažādās pakāpes radniecīgu indivīdu augšanas depresiju šīm sugām līdz šim atrast nav izdevies, līdzīgi eksperimenti ir retums jebkurai no koku sugām.

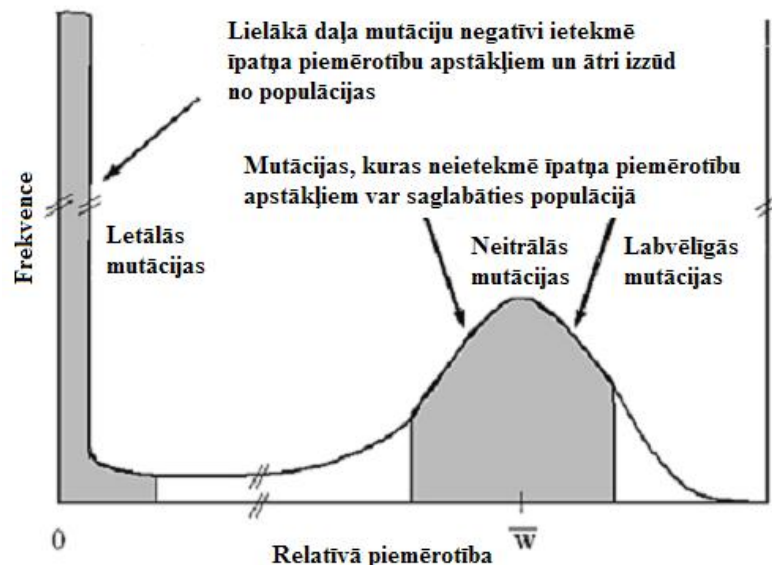


$N=N_e$ – efektīvais īpatņu skaits populācijā

10. att. Attiecības starp efektīvo īpatņu skaitu un inbrīdīga koeficienta palielināšanos populācijā paaudžu gaitā (attēls no McDonald, 2004).

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. Respektīvi, nepieciešams liels paaudžu skaits, līdz jaunā allēle populācijā sasniedz vērā ņemamu sastopamības biežumu un sāk ietekmēt tās parametrus. Izmantojot kontrolēto krustojumu 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 (11. attēls).



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

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. Fenotipiskā plasticitāte ir noteikta genotipa fenotipisko variantu amplitūda atšķirīgos vides apstākļos. Koku sugām to ilgstošā dzīves cikla dēļ raksturīga augsta fenotipiskā plasticitāte, ļaujot līdz zināmai robežai pielāgoties apstākļu izmaiņām dzīves laikā. Vienlaikus tas nozīmē, ka dabiskā selekcija mazāk ietekmē noteiktus genotipus (iedarbība ir vājāka vai aizņem vairāk paaudžu laika) (Eriksson, 1998).

Piemērotība apstākļiem kompleksi ietver īpatņa vitalitāti (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 krustošana nodrošina genotipsko daudzveidību. Gēnu daudzveidība ir alēļu daudzveidība specifiskam lokusam dotajā populācijā. Genotipu daudzveidība, turpretī ir alēļu kombināciju daudzveidība populācijā (McDonald, 2004).

Bez jau minētajiem ģenētiskās daudzveidības indikatoriem FAO ekspertu komisija antropogēno faktoru ietekmi uz ģenētisko daudzveidību iesaka vērtēt pēc 12. tabulā ietvertās shēmas.

12. tabula

Izmaiņu ģenētiskajos procesos indikatori un vērtēšanas kritēriji (pēc Namkoog et al., 2002)

Evolucionārais process:	Gēnu dreifs	(Dabiskā) izlase	Migrācija	Krustošana
Indikatoros:	Variācijas līmeņi	Virzītas izmaiņas	Migrācija starp populācijām	Reproduktīvā sistēma
Vērtē pēc:	Alēļu skaita	Genotipu frekvences	Gānu plūsmas	Neradniecīgas krustošana īpatsvara
	Gēnu daudzveidības	Markieru frekvences		Korelētas krustošana
	Ģenētiskās variācijas	Ģenētiskā vidējā		

Eksistējošo ģenētisko daudzveidību (vai prognozējamo heterozigositāti) galvenokārt nosaka allēles ar pārstāvniecību (sastopamības biežumu) virs 0,1 (Yanchuk, 2001). Prognozējamo heterozigositāti katram lokusam aprēķina pēc Nei formulas (8).

$$h = 1 - \sum x_j^2, \text{ kur} \tag{8}$$

h – prognozējamā heterozigositāte;

x_j – j-tās allēles frekvence lokusā

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).

Lindgren un Mullin (1997), ieteikuši selekcijas grupas ģenētiskā ieguvuma un daudzveidības raksturošanai izmantot „grupas uzlabojumu” (GM), 9. formula.

$$GM = G - c\Theta, \text{ kur} \quad (9)$$

G – vidējā grupas indivīdu selekcijas vērtība, respektīvi, aditīvā ģenētiskā efekta noteiktais ieguvums (vēlamās pazīmes vai to kompleksa uzlabojums),

c – konstante, kas nosaka sasniegtā uzlabojuma un zaudētās ģenētiskās daudzveidības attiecību

Θ - grupas ģenētiskā radniecība

Ģenētiskā radniecība ir varbūtība, ka 2 pēc nejaušības izvēlēti gēni atbilstošajā lokusā indivīdu pārim būs identiski pēc izcelsmes (respektīvi, no viena un tā paša vecāku koka - priekšteča). Koks var būt pārī arī pats ar sevi, šādā gadījumā iegūstot ģenētisko paš-radniecību.

6.2. Selekcijas indekss

Selekcijas indeksā ietvertas pazīmes, pēc kurām tiek veikta labāko koku (vai ģimeņu) atlase. Precīzas atlases metodes un izstrādāts selekcijas indekss ir nozīmīgākie priekšnosacījumi selekcijas darba efektivitātes nodrošināšanai (Cotterill, 1986).

Aprēķinot selekcijas vērtības gan indeksa veidošanas procesā, gan turpmāk to pielietojot, svarīgi izmantot fenotipisko mērījumu datus, kuri koriģēti atbilstoši vides faktoru ietekmei. Praktiski iespējams izslēgt starp atkārtojumiem pastāvošo augsnes apstākļu nevienmērības ietekmi uz fenotipisko parametru vērtībām, izmantojot BLP vai BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) algoritmus, piemēram, SAS programmā (White, Hodge, 1989). Atkārtojumu ietvaros esošo augsnes apstākļu variāciju izslēgt nav iespējams. Ja eksperimentā izmantotas vienkoka parces, tā sadalīšanu atkārtojumos var veikt atbilstoši faktiskajai vides apstākļu variācijai uzmērīšanas brīdī vai novērtējot koku augstumu atšķirības vainagu saslēgšanās sākumā, kad rezultātus maz ietekmē konkurences faktori (Ericsson, 1997).

Vienkāršākie indeksi selekcijas darbā tiek izmantoti veicot individuālu koku atlasīšanas ģimenes ietvaros turpmākām to pēcnācēju pārbaudēm ar mērķi apvienot individuālu koku un ģimeņu informāciju (Cotterill, Dean, 1990, formula 10, 11).

$$I = f + bF_x, \text{ kur} \quad (10)$$

I – indeksa vērtība;

f – individuāla koka fenotipiskā mērījuma rezultāts;

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

b – koeficients.

$$b = \frac{r(1-h^2)}{1-r} * \frac{n}{1+(n-1)rh^2}, \text{ kur} \quad (11)$$

n – koku skaits ģimenē;

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

h^2 – iedzimstamības koeficients.

No formulas redzams, 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 sibu 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.

Šīs metodes izmantošana ir lietderīga gadījumos, ja nepieciešama atlase ne tikai ģimeņu ietvaros, bet arī starp ģimenēm, vai ja no atsevišķām (labākajām) ģimenēm iespējams izvēlēties lielāku koku skaitu nekā no pārējām. Ja tiek veikta tikai noteikta skaita indivīdu atlase katras ģimenes ietvaros, var izmantot koriģētos individuālu koku fenotipisko mērījumu datus.

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:

- 1) **tandēma selekcija** – vairākas paaudzes atlasa 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 (3 balles). Šo metodi efektīvi iespējams izmantot, ja kādu no atlasē pazīmēm novērtēt ir laiktietilpīgi 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, veicot izvēloties garākos kokus 12-15 gadu vecumā, rīkojot to pēcnācēju pārbaudes un vienlaikus ar šo pārbaudi 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), atlasē 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 (Cotterill, Dean, 1990). 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 $\text{kg}\cdot\text{m}^3$). Pazīmju

ekonomisko īpatsvaru var noteikt atbilstoši tirgus rādītāju analīzei vai saskaņā ar selekcijas darba pasūtītāja vērtējumu, viedokli. Kad ekonomiskais īpatsvars ir noteikts, svarīgi datus iestrādāt selekcijas indeksā. Piemēram, ja konstatēts, ka paaugstināt koku augstumu par 20% ir tik pat nozīmīgi kā samazināt resnākā zara līdz 2 m augstumam caurmēru par 20%, tad to nepieciešams pārvērst ekonomiskajos īpatsvaros indeksā. Ja 25 gadu vecumā konstatētais koku vidējais augstums eksperimentā ir 11,7 m, tad 20% paaugstinājums nozīmē +2,3 m, savukārt resnākā zara caurmēram, kura vidējā vērtība ir 1,2 cm, pazeminājums - 0,2 cm. Citiem vārdiem: 2,3 m palielinājums koka augstumam ir tik pat vērtīgs kā 0,2 cm samazinājums resnākā zara caurmēram. Dati jāpārvērš tā, lai ekonomiskā īpatsvara koeficienti reprezentētu vienu katras pazīmes vienību, tātad $2,3 \cdot 1^{-1} = 0,43$ un $0,2 \cdot 1^{-1} = 5$. Atbilstošo selekcijas indekšu atspoguļo formula 12.

$$I = 0,43f_h - 5f_{zd}, \text{ kur} \quad (12)$$

I – selekcijas indekss;
 f_h – koka augstums, m;
 f_{zd} – resnākā zara diametrs, cm

Ekonomiskā īpatsvara koeficienti var tikt izteikti arī kā vienību izmantojot pazīmes fenotipisko standartnovirzi. Koku ātraudzību raksturojošajiem parametriem (augstumam, caurmēram, stumbra tilpumam) koeficienta vērtība bieži vien atkarīga no koka vecuma, augšanas apstākļiem, tādēļ to var nākties pārrēķināt katram eksperimentam atsevišķi (Cotterill, Dean, 1990).

12. formulā atspoguļotajā indeksā nav ietverta informācija par pazīmju iedzimstamības koeficientiem un savstarpējo korelāciju. Tātad tiek pieņemts, ka pazīmju iedzimstamības koeficienti ir vienādi un korelācija starp tām 0, kas reti kad atbilst faktiskajai situācijai. Ģenētisko parametru vērtības ir svarīgas selekcijas indeksa konstruēšanā. Kā piemērs tiks izmatoti dati no 25 gadus veca parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījuma (eksperimenta Nr. 32).

Iedzimstamības koeficients aprēķināts pēc formulas 13:

$$h^2 = \frac{k \cdot S_f^2}{S_f^2 + S_{bf}^2 + S_e^2}, \text{ kur} \quad (13)$$

σ_f^2 – aditīvā ģenētiskā efekta (ģimeņu) dispersija;
 σ_{bf}^2 – atkārtojuma un ģimenes mijiedarbības (parceles) dispersija;
 σ_e^2 – vides apstākļu noteiktā dispersija;

k – koeficients, kurš atkarīgs no radniecības pakāpes starp kokiem ģimenē – sibu ģimenēm (vienas un tās pašas krustojumu kombinācijas pēcnācējiem) 2, pussibu ģimenēm 4, brīvapputes gadījumā parasti tiek izmantots 4, taču, ja ir pamats pieņemt, ka daļa no pēcnācējiem ir ar kopīgu gan mātes, gan tēva koku, tiek izmantots 3. Iedzimstamības koeficients mazāks par 0,1 tiek uzskatīts par zemu (selekcijas efekts individuālu koku atlasē būs neliels), iedzimstamības koeficients lielāks par 0,3 tiek uzskatīts par augstu (Cotterill, Dean, 1990).

Ģenētiskā korelācija ir korelācija starp atsevišķu pazīmju selekcijas vērtībām un to nosaka gēni, kuri vienlaicīgi ietekmē vairāku pazīmju attīstību. Informācija par ģenētisko korelāciju nepieciešama, lai novērtētu sekas, kādas atlase pēc vienas pazīmes var atstāt uz pārējo pazīmju vērtībām.

Kā papildus rādītājs izvēloties selekcijas indeksā iekļaujamus parametrus var tikt izmantots to aditīvā ģenētiskā efekta noteiktais variācijas koeficients – tas raksturo ģenētiskās atšķirības analizētajā eksperimentā un selekcijas darba potenciālās iespējas. Ja kādai no pazīmēm ir zema aditīvā ģenētiskā efekta noteiktā variācija, atlase pēc tās nesniegs ievērojamu pazīmes vērtības

uzlabojumu nākamajā paaudzē. Aditīvā ģenētiskā efekta noteiktais variācijas koeficientu aprēķina pēc formulas 14:

$$s_a\% = \frac{\sqrt{k * S^2 * 100}}{X}, \text{ kur} \quad (14)$$

$s_a\%$ - aditīvā ģenētiskā efekta noteiktais variācijas koeficients;

k – koeficients – pussību ģimenēm 4, sību 2;

σ^2 – aditīvā ģenētiskā efekta (ģimeņu) dispersija;

X – pazīmes vidējā vērtība stādījumā.

Eksperimentā Nr. 32 aprēķinātās pazīmju iedzimstamības koeficientu, fenotipisko standartnoviržu un aditīvā ģenētiskā efekta noteikto variācijas koeficientu vērtības apkopotas 13 tabulā.

13. tabula

Ģenētisko un fenotipisko parametru vērtības dažādām parastās priedes pazīmēm 25 gadus vecā iedzimtības pārbaužu stādījumā

Pazīme	h^2	s_p	$s_a, \%$
d	0,03	2,9	4,1
hzz	0,06	1,1	4,4
h	0,29	1,2	5,5
z1	0,24	0,3	13,1
z2	0,25	0,3	14,2
z3	0,21	0,3	14,1
z4	0,15	0,3	13,3
z5	0,07	0,3	10,2
z6	0,01	0,2	3,6
z7	0,01	0,2	1,5
z8	0,05	0,2	8,9
sb	0,06	0,3	7,2
zs	0,11	1,6	7,6
v,%	0,03	8,8	2,8
z_12	0,26	0,6	13,5
z_13	0,24	0,6	13,2
z_23	0,25	0,6	14,2
z_1_3	0,26	0,9	13,6
zv	0,23	0,2	13,0

h^2 – iedzimstamības koeficients;

s_p – pazīmes fenotipiskā standartnovirze;

$s_a\%$ - aditīvā ģenētiskā efekta noteiktais variācijas koeficients;

d – caurmērs, cm; hzz – pirmā zaļā zara augstums, m; h – koka augstums, m; $z1$ – 1. resnākā zara diametrs 1,3 m augstumam tuvākajā mieturī, cm, $z2$ – 2. resnākā zara diametrs utt.; sb – stumbra novērtējums, balles, kur 1 – taisns, 3 – 2 un vairāk līkumi; zs – zaru skaits 1,3 m augstumam tuvākajā mieturī, $v\%$ - vainaga garums % no koka garuma, z_12 1. un 2. resnākā zara diametru summa, cm; z_1_3 1. un 3. resnākā zara diametru summa, cm; zv – vidējais zara diametrs 1,3 m augstuma tuvākajā mieturī, cm.

Selekcijas indeksa aprēķinam var tikt izmantotas uz noteikta eksperimenta datiem balstītas iedzimstamības koeficientu, ģenētisko un fenotipisko korelāciju vērtības, vai arī „standarta”

vērtības, aprēķinātas balstoties uz lielāku skaitu eksperimentu noteiktai koku sugai attiecīgā augšanas apgabalā. Izmantojot konkrētam eksperimentam specifiskas vērtības iespējams veikt intensīvāku atlasu pēc pazīmēm, kurām noteiktajos apstākļos ir augstākie iedzīstamības koeficienti. Piemēram, ja nabadzīgu augšanas apstākļu vai citu faktoru dēļ koku augstuma iedzīstamības koeficients dotajā iedzīstības pārbaudes stādījumā ir zems, iespējams pārrēķināt selekcijas indeksu, uzsverot kvalitāti raksturojošās pazīmes (piemēram, zaru resnumu). Tanī pat laikā uz viena eksperimenta datiem balstītās ģenētisko parametru vērtības var būt neprecīzas. Tā Haapanen, 2001 analizējot parastās priedes stādījumus Somijā secina, ka viena ekoloģiskā fona (eksperimenta vietas) ietvaros aprēķinātais iedzīstamības koeficienta vērtības vidēji par 50% augstākas nekā ar vairāku stādījuma vietu datiem pamatotās. Iedzīstamības koeficientam parasti raksturīgas samērā augstas standartklūdas vērtības (Haapanen et al., 1997). Līdzīgi Olsson un Ericsson (2002) norāda, ka iedzīstamības koeficients reti kad var tikt aprēķināts ar augstu precizitāti. Vienas un tās pašas pazīmes h^2 vienai un tai pašai sugai var nozīmīgi atšķirties, norādot uz reālām atšķirībām starp populācijām, kuras ir par pamatu aprēķinām, vai arī eksperimenta apstākļu atšķirībām (Haapanen, 2001). Izmantojot stādījuma vietai specifiskas ģenētisko parametru vērtības, katrā no tām galvenais uzsvars atlasē ir pēc citas pazīmes, rezultātā samazinot kopējo selekcijas darba efektu. Tādēļ tiek rekomendēts selekcijas indeksa aprēķinam izmantot standarta ģenētisko parametru vērtības, tās papildinot un koriģējot atbilstoši jauniegūtai informācijai (Cotterill, Dean, 1990)

Kompleksa selekcijas indeksa aprēķinā tiek izmantotai pazīmju ekonomisko vērtību īpatsvari (e), aditīvā ģenētiskā efekta noteiktā dispersija (σ^2_f), fenotipiskās kovariācijas ($c_{p(a,b)}$), aditīvās ģenētiskās kovariācijas ($c_{a(a,b)}$), pastarpināti arī fenotipisko vērtību standartnovirzes (s_p), iedzīstamības koeficienti (h^2). Gan fenotipiskā, gan aditīvā ģenētiskā efekta noteikto kovariāciju var aprēķināt tieši, izmantojot 5 formulā atspoguļoto sakarību ($c_{(a,b)} = (\sigma_{(a+b)} - \sigma_a - \sigma_b) \cdot 2^{-1}$), vai arī pakāpeniski, izmantojot standartizētās fenotipisko un ģenētisko korelāciju vērtības un formulu 15.

$$c_{p(a,b)} = r_{(a,b)} \cdot s_{p_a} \cdot s_{p_b}, \text{ kur} \quad (15)$$

$c_{p(a,b)}$ – fenotipiskā kovariācija;

$r_{(a,b)}$ – pazīmju a un b fenotipiskā korelācija;

s_{p_a}, s_{p_b} – pazīmju a un b fenotipiskās standartnovirzes.

Pazīmju fenotipiskās un ģenētiskās korelācijas eksperimenta Nr. 32 apkopotas 14. un 15. tabulā.

Selekcijas indeksa vērtība tiek aprēķināta pēc formulas 16.

$$I = b_1 p_a + b_2 p_b + b_3 p_c, \text{ kur} \quad (16)$$

I – selekcijas indekss;

b_1, b_2, b_3 – koeficienti;

p_a, p_b, p_c – pazīmju a, b, c attiecībā uz atkārtējuma ietekmi koriģētas vērtības.

Koeficientu b vērtības iespējams aprēķināt atrisinot matricu (Cotterill, Dean, 1990):

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_p(a,a) & c_p(a,b) & c_p(a,c) \\ c_p(b,a) & c_p(b,b) & c_p(b,c) \\ c_p(c,a) & c_p(c,b) & c_p(c,c) \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} c_a(a,a) & c_a(a,b) & c_a(a,c) \\ c_a(b,a) & c_a(b,b) & c_a(b,c) \\ c_a(c,a) & c_a(c,b) & c_a(c,c) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{pmatrix}$$

14. tabula

Pazīmju fenotipiskās korelācijas parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumā 25 gadu vecumā

Pazīmes	d	hzz	h	z1	z2	z3	z4	z5	z6	z7	z8	vperc	z_12	z_13	z_23	z_1_3	zv
hzz	-0,12																
h	0,58	0,38															
z1	0,53		0,29														
z2	0,51		0,30	0,87													
z3	0,45		0,28	0,78	0,90												
z4	0,38		0,26	0,68	0,80	0,89											
z5	0,32		0,21	0,60	0,70	0,78	0,87										
z6	0,24		0,13	0,46	0,54	0,60	0,68	0,77									
z7	0,17		0,10	0,36	0,42	0,46	0,50	0,55	0,72								
z8	0,19		0,09	0,28	0,35	0,40	0,41	0,42	0,54	0,71							
v,%	0,46	-0,84	0,18	0,19	0,16	0,13	0,10	0,09	0,08	0,09	0,09						
z_12	0,54		0,31	0,97	0,96	0,87	0,76	0,67	0,51	0,41	0,32	0,18					
z_13	0,52		0,30	0,95	0,94	0,94	0,83	0,72	0,55	0,43	0,35	0,17	0,98				
z_23	0,50		0,30	0,85	0,98	0,97	0,87	0,75	0,58	0,45	0,38	0,15	0,94	0,96			
z_1_3	0,53		0,31	0,94	0,97	0,94	0,83	0,73	0,56	0,43	0,36	0,17	0,99	0,99	0,98		
zv	0,46		0,25	0,84	0,88	0,88	0,82	0,76	0,62	0,52	0,47	0,15	0,89	0,91	0,90	0,91	
zs	0,07		0,10	0,14	0,21	0,28	0,35	0,38	0,44	0,41	0,38	0,01	0,18	0,22	0,25	0,22	-0,06

Nav iekļautas korelācijas, kuru vērtība mazāka par 0,06
Apzīmējumi kā 5. tabulā

15. tabula

Pazīmju ģenētiskās korelācijas parastās priedes iedzimtības pārbaužu stādījumā 25 gadu vecumā

Pazīmes	d	hzz	h	z1	z2	z3	z4	z5	z6	z7	z8	vperc	z_12	z_13	z_23	z_1_3	zv
hzz	0,11																
h	0,25	0,12															
z1	0,12																
z2	0,11																
z3	0,08																
z4	0,07																
z5	0,07																
z6	0,09																
z7	0,27		0,10														
z8	0,40		0,16														
v,%	0,34		0,17	0,07	0,07			-0,07		0,32	0,19						
z_12	0,18			0,07	0,07	0,06		0,06				0,10					
z_13	0,16			0,07	0,07	0,06		0,06				0,10	0,11				
z_23	0,15			0,07	0,07	0,06		0,06				0,10	0,10	0,10			
z_1_3	0,21			0,07	0,07	0,06		0,07				0,10	0,13	0,12	0,12		
zv	0,08																
zs	-0,06		-0,06						-0,07	-0,12	-0,13						

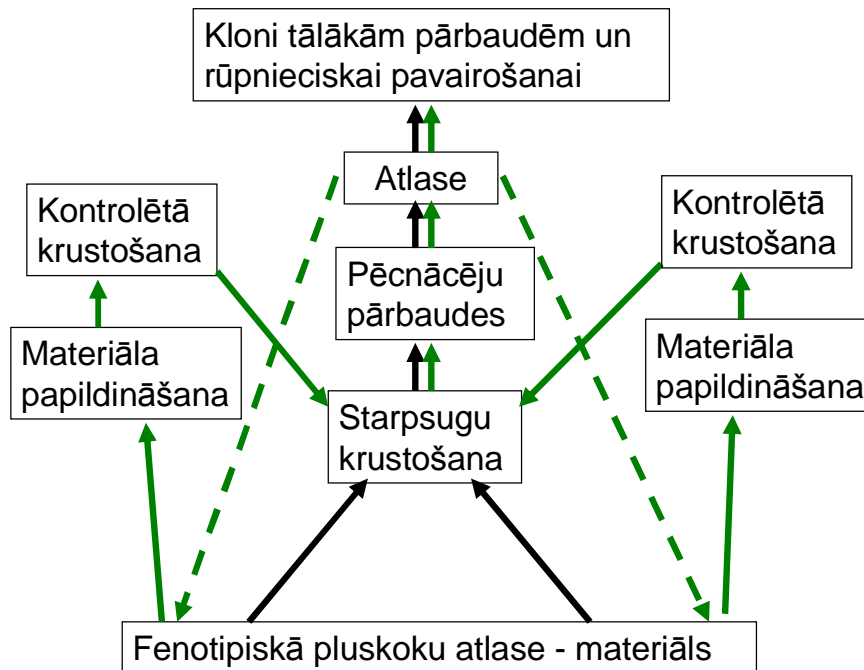
Nav iekļautas korelācijas, kuru vērtība mazāka par 0,06
Apzīmējumi kā 5. tabulā

Saskaņā ar matricas vienādojumu aprēķinātie b koeficienti izveido indeksu, kas nodrošina iespējas atlasīt kokus ar maksimālo ekonomisko vērtību (pēc iepriekš definētās pazīmju 1 vienības ekonomiskās vērtības skalas). Atsevišķos gadījumos (piemēram, ja kādas pazīmes ekonomiskā nozīme ir daudz lielāka kā visām citām) iespējams, ka aprēķinātās maksimālās vērtības nodrošina koku atlasī, kuri ir ļoti labi pēc šīs vienas pazīmes (piemēram, caurmēra), bet nepieņemami pēc citām pazīmēm (piemēram, stumbra taisnuma). Tādēļ izstrādātais indekss pirms izmantošanas jānovērtē, nepieciešamības gadījumā ieviešot papildus kritērijus (līdzīgi kā neatkarīgajā atlasē).

Papildus selekcijas indeksā, ja tas paredzēts individuālu koku atlasei ģimenes ietvaros, var tikt iekļauta informācija par radniecīgu īpatņu (ģimenes) parametriem, dažādām stādījuma vietām. Dārgi uzmērāmu pazīmju informācija var tikt iekļauta ģimeņu vidējo vērtību veidā, kuras aprēķina no atsevišķiem uzmērītiem paraugkokiem. Selekcijas indeksā parasti neiekļauj vairākas cieši pozitīvi korelējošas pazīmes (piemēram, koku augstumu un caurmēru), jo atlase pēc vienas no pazīmēm tāpat nozīmē atlasī arī pēc otras. Jāņem vērā, ka selekcijas darba mērķis ir paaugstināt pazīmju vērtību koku rotācijas vecumā, nevis iedzimtības pārbaužu stādījumu novērtēšanas vecumā. Tādēļ kā papildus kritērijs var tikt iekļautas pazīmes vērtību dažādā vecumā korelācijas (paaugstinot uzmērījumu lielākā vecumā nozīmīgumu). Selekcijas indeksā parasti netiek iekļauti koku ziedēšanas intensitātes, čiekuru ražošanas, pilno sēklu skaita un čiekuru atvēršanās parametri. Ja materiāla pavairošanai plānots izmatot sēklu plantācijas, šo parametru vērtības ir svarīgas un pēc tām jāveic papildus atlase pēc augšanas un kvalitātes parametriem izvēlēto klonu grupā. Tāpat hibrīdajai apsei papildus atlase jāveic pēc mikroklonālās pavairošanas iespēju rādītājiem.

7. Precizēta hibrīdās apses selekcijas shēma

Pārskata periodā detālāk izstrādāta 2006. gadā izveidotā hibrīdās apses selekcijas shēma (12. att.): analizēts heterozes efekts, pazīmju ģenētiskā nosacītība, genotipa-vides ietekme, nepieciešamais materiāla apjoms.



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

12. att. Iespējamā hibrīdās apses selekcijas shēma Latvijā

Heterozes efekts

Hibrīdās apses (Amerikas un parastās apses krustojuma) selekcijas balstās uz heterozes efektu – ģenētiski noteiktu fenomenu, ka starpsugu hibrīds pēc noteiktām pazīmēm pārspēj abus vecāku kokus. Hibrīdajai apsei heterozes efekts izpaužas palielinātā ātraudzībā (Beuker, 2000), kas galvenokārt saistīta ar veģetācijas perioda izmantošanas īpatnībām: parastajai apsei garuma pieauguma (cm/dienā) kulminācija ir vasaras vidū, pēc tam tas krītas, taču hibrīdai apsei raksturīgs vēl viens augstuma pieauguma tempa maksimums augustā. Arī vidējais garuma pieaugums dienā hibrīdajai apsei ir augstāks (Li et al., 1998, Yu et al., 2001a). Izmantotā veģetācijas perioda garums cieši un būtiski korelē ar stumbra tilpumu noteiktā vecumā – reizē ar to arī ar potenciālo audzes krāju. Taču novērotas arī nozīmīgas atšķirības izmantotā veģetācijas perioda garumā starp vienā eksperimentā augošiem kloniem – tas svārstījās 143 līdz 158 dienām (Yu et al., 2001a).

Īpatnību, ka lielu daļu no klona augšanas pārākuma nosaka tieši izmantotā augšanas perioda ilgums, jāņem vērā, izvēloties resursu sadalījumu starp lielāka koku skaita katrā ģimenē izmantošanu vai lielāka krustojumu skaita veikšanu. Priekšrocība dodama lielākam krustojumu skaitam, paaugstinot varbūtību atrast krustojumu kombināciju, kura ir piemērotākā dotajam augšanas reģionam.

Li, Wu (1996, 1997) veicot parastās un Amerikas apses kontrolēto krustojumu stādījumam, kurā pārstāvēti gan sugas ietvaros, gan starp sugām veiktie krustojumi, konstatē ievērojamu hibrīdās apses radiālā pieauguma tempa pārkumu, reizē ar to arī lielāku stumbra tilpumu. Turklāt sakarības saglabājas gan stādījumos uz auglīgām lauksaimniecības, gan meža augsnēm.

Ģenētiski heterozo efektu bieži vien skaidro ar virs-dominances (over-dominance) stāvokli, kad heterozigotam pēc attiecīgo pazīmi nosakošām allēlēm ir priekšrocības salīdzinājumā gan ar homozigotu recezīvu, gan homozigotu dominantu allēļu kombināciju. Papildus tiek minēts faktors, ka ir nozīmīgi, no kuras vecāku koku sugas attiecīgās alleles mantotas. Jāņem vērā, ka katru no kvantitatīvajām pazīmēm nosaka ievērojams gēnu skaits, un, iespējams, ietekme ir arī dažādām to specifiskām kombinācijām, kuras veidojas tieši starpsugu hibrīdiem (Bradshaw, Stetter 1995, Li, et al.1998). Taču precīza un visus gadījumu aptveroša izskaidrojuma fenomenam, kurš spilgti izpaužas tikai pirmajā paaudzē, nav.

Pazīmju ģenētiskā nosacītība

Iedzīstamības koeficients (H^2 , kas ietver visu ģenētisko efektu ietekmi) vērtības koku augstumam ir no 0,45 līdz 0,69, caurmēram 0,14 – 0,45 (Yu, 2001). Analizējot hibrīdās apses klonālos stādījumus Zviedrijā Stener, Karlsson (2004) norāda, ka iedzīstamības koeficients vērtības abām produktivitāti raksturojošajām pazīmēm ir vidēji 0,38.

Hibrīdās apses (kā celulozes izejvielas) atlasē nozīmīga vērtība jāvelta arī ir arī koksnes kvalitātei un šķiedru īpašībām. Analizējot šķiedru kvalitāti raksturojošās pazīmēs konstatētas nozīmīgas atšķirības starp kloniem ģimenes ietvaros, kā arī starp ģimenēm gan pēc šķiedru garumu, gan raupjumu raksturojošajiem rādītājiem, gan koksnes ķīmiskā sastāva (lignīna un celulozes sastāva) (Yu et al., 2001b). Pēcncēju pārbaužu stādījumos Latvijā konstatētas nozīmīgas atšķirības starp kloniem pēc to koksnes blīvuma un izturības dažādās slodzēs rādītājiem (M. Zeps, pers. komunikācija).

Vērtējot 14 hibrīdās apses iemēģinājumu stādījumus Zviedrijā uz bijušajām lauksaimniecības zemēm Stener Karlsson, (2004) norāda, ka nozīmīgas atšķirības starp kloniem saglabājušos koku skaita ziņā nav konstatētas, vidēji saglabāšanās iežogotos stādījumos ap 90%.

Iedzīstamības koeficients izturībai pret stumbra un zaru vēzi (*Entoleuca mammatum* former *Hypoxylon mammatum*, *Leucostoma niveum*) ir zems ($H^2 < 0.10$), taču autori norāda, ka materiāla atlase veikta tikai no veselīgiem kokiem un arī vēža bojājumi konstatēti tikai 0-7% koku (Stener, Karlsson, 2004).

Atsevišķos publicētos pētījumos parasti tiek analizēta vai nu klonu, vai ģimeņu ietekme uz pazīmju vērtībām, taču trūkst salīdzinājuma šo faktoru ietekmes lielumiem. Yu et al. (2001b) norāda, ka konstatētās klonu atšķirības ģimenes ietvaros augšanas un koksnes kvalitātes parametriem ir statistiski būtiskas, taču nelielas. Tanī pat laikā Latvijā konstatētās produktivitātes parametru atšķirības vienas hibrīdās apses ģimenes ietvaros ir nozīmīgas (stumbra tilpumam var pārsniegt pat 2 reizes) (M. Zeps, pers. komunikācija). Attiecība starp klonālo un ģimenes ietekmi ir nozīmīga, nosakot vēlamo proporciju starp izvēlēto klonu skaitu krustojumā un krustojumu skaitu.

Genotipa-vides mijiedarbība

Ģenētiskās nosacītības faktoru lielumu, kā arī materiāla ar universālām adaptācijas spējām atlasī ietekmē un raksturo genotipa-vides mijiedarbības faktors. Li, Wu (1997) norāda uz būtisku genotipa-vides mijiedarbības ietekmi uz parametru (augstuma, caurmēra) vērtībām stādījumos, kuri izvietoti lauksaimniecības un meža zemēs. Līdzīgi Yu (2001) un Yu, Pulkkinen (2001) norāda uz būtisku genotipa vides mijiedarbības ietekmi koku augstumam un caurmēram viena klimata reģionā stādījumos, kuri izvietoti uz lauksaimniecības zemēm. Tātad, lai atrastu

piemērotākos klonus, stādījumus nepieciešams izvietot lielākā skaitā eksperimentu ar atšķirīgiem augsnes apstākļiem. Tam nepiekrīt Stener, Karlsson, (2004) kas, balstoties uz 14 klonālo pārbaudžu datiem, raksturo Zviedrijas dienvidu daļu kā vienotu selekcijas zonu hibrīdās apsēs klonu atlasei ar relatīvi augstām rangu korelācijas vērtībām starp atšķirīgām stādīšanas vietām.

Materiāla apjoms

Ņemot vērā relatīvi nelielo Latvijā ierīkoto hibrīdās apsēs eksperimentu skaitu un ievāktu datu apjomu darbā ar šo koku sugu, iespējamā selekcijas shēma noteikta tikai pamatojoties uz literatūras datiem un to nepieciešams koriģēt, iegūstot papildus informāciju no eksperimentālajiem stādījumiem. Materiāla apjoma raksturošanai izmantotas 3 selekciais shēmas: Somijas (Yu, 2001), Zviedrijas (Stener, Karlsson, 2004) un Kanādas (Li, 1995 Li, Wu, 1996). Izmantota arī Danusevičius, Lindgren (2002) programma ģenētiskā ieguvuma noteikšanai veicot atlasī pēc klonālo pēcnācēju pārbaudžu stādījumu datiem, vērtējot vispārējās likumsakarības ģenētiskā ieguvuma maskimizācijai.

Selekcijas populācija plānota pieņemot ikgadējo atjaunojamās platības apjomu 500 ha (kas ir aptuveni 500 000 stādu).

Selekcijas populācijā tiek iekļauts vismaz 25 Amerikas apšu materiāls, ko izmanto krustojot ar vismaz 25 atlasītiem parastās apsēs kloniem. Pielieto faktoriālo shēmu, kas sniedz iespējas novērtēt gan vispārējās, gan specifiskās kombinatīvās spējas. Paralēli tiek veikti krustojumi arī starp parastās apsēs kloniem, rekombinējot materiālu augstvērtīgāku klonu ieguvei nākamajam selekcijas ciklam. Pēcnācēju pārbaudes tiek ierīkotas 4 stādīšanas vietās, izmantojot vismaz 20 kandidātus no ģimenes, kuri katrā stādīšanas vietā pārstāvēti ar vismaz 10 klonālajām kopijām.

Stādījuma pirmo novērtēšanu izdara 4-5 gadu vecumā, galējo novērtēšanu 10-12 gadu vecumā.

8. Selekcijas objektu un literatūras datu bāze

Selekcijas objektu datu bāze papildināta ar iepriekšējo mērījumu datiem un pēc oriģināla pārbaudītām shēmām Cirgaļu populācijas iedzimtības pārbaudīto stādījumam, kam veikta uzmērīšana arī šajā pārskata periodā. Ievadīti iepriekšējo mērījumu dati A. Zviedres vadībā ierīkoto parastās priedes ģeogrāfisko kultūru stādījumam, apkopoti iepriekšējo mērījumu dati eksperimentiem Nr. 30, 31, 32. ppapildināta programma: ieviesta iespēja meklēt ar objektu saistīto literatūru literatūras datu bāzē.

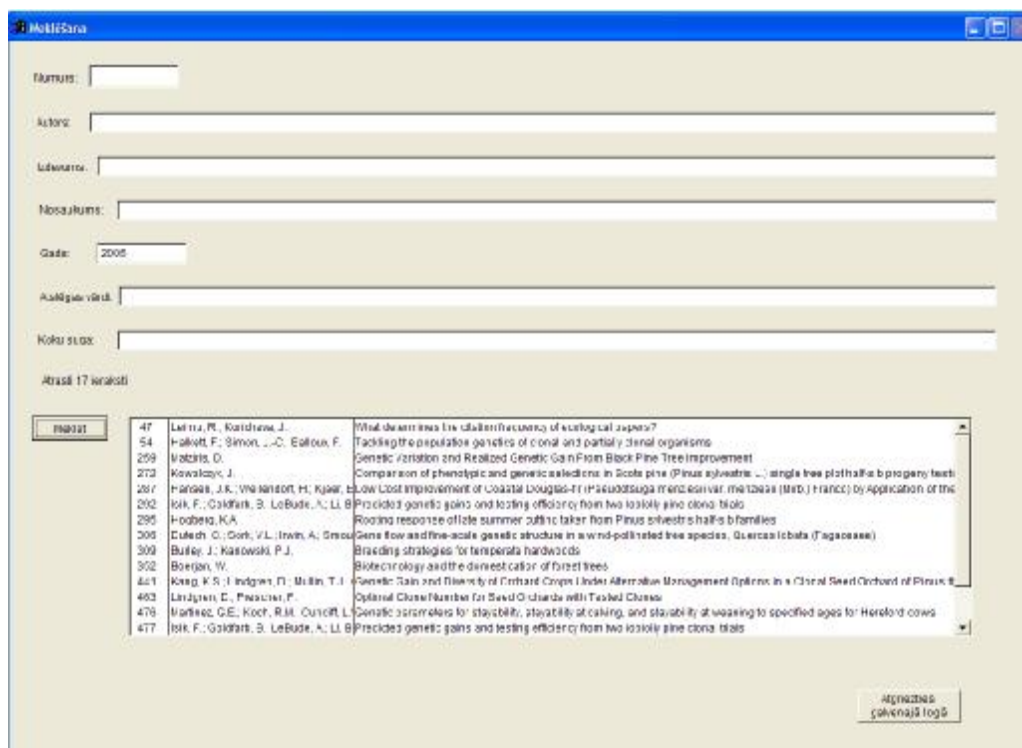
Literatūras datu bāze papildināta ar 361 jaunu publikāciju, lielākoties angļu valodā, kuras nav viegli pieejamas internetā. Publikācijas sadalītas pa tēmām:

- Ø selekcijas stratēģija;
- Ø pēcnācēju pārbaudes;
- Ø kontrolētā krustošana;
- Ø ģenētiskie efekti;
- Ø statistiskā analīze;
- Ø genotipa-vides mijiedarbība;
- Ø sēkļu plantācijas;
- Ø koksnes īpašības;
- Ø kvalitātes pazīmes.

Programmētāja A. Gaile papildinājusi literatūras datu bāzes programmu (13. att.)

13. att. Literatūras datu bāzes programma

Uzlabota iespējas veikt meklēšanu pēc vārda kopsavilkumā. Bez tam iespējams atlasīt rakstus pēc noteiktiem kritērijiem, izvēlēties kādu no tiem apskatīt un pēc tam vēlreiz neievadot kritēriju no jauna atgriezties pie jau atlasīto izdevumu saraksta (14. att.). Tas atvieglo darbu, ja nepieciešams pārskatīt vairākus literatūras avotus par attiecīgo tēmu.



14. att. Literatūras saraksta atlasē iespējas pēc definētiem kritērijiem

9. Selekcijas grupu izveides aspekti

Neviens īpatnis nav vislabāk piemērots augšanai jebkuros apstākļos. Dabiskās selekcijas procesā izveidojušās specifiskiem reģioniem adaptējušās populācijas. Lai novērtētu noteikta materiāla piemērotību kādiem vides apstākļiem, svarīgi novērtēt genotipa-vides mijiedarbības ietekmi uz koku augšanu, kvalitāti. Iespējamās 2 atlases materiāla atlases stratēģijas – izvēlēties kokus, kas ir ar universālām pielāgošanās spējām, starp labākajiem dažādos apstākļos, vai arī tādus, kas ir labākie noteiktu klimatisko/edafisko faktoru ietvaros. Finansiālu apsvērumu dēļ nav iespējams veikt selekcijas darbu specifiskiem meža augšanas apstākļu tipiem, tādēļ meža koku selekcijā galvenokārt tiek diskutēta genotipa-klimatisko apstākļu mijiedarbība, izdalot reģionus atbilstoši tiem. Universāli pielāgotu īpatņu atrašanai var būt nepieciešams ievērojami lielāks pārbaudāmo īpatņu skaits, nekā izvēlēties kokus no kāda reģiona un testējot tos šī reģiona ietvaros. Kā liecina lauksaimniecības kultūru izmēģinājumi (kuru audzēšana notiek daudz regulētākos apstākļos kā meža kokiem) katrs no genotipiem piemērots tikai noteiktai apstākļu amplitūdai un faktiski neeksistē „universāli pielāgoti” genotipi (Ceccarelli, 1989). Sākotnēji iespējamās genotipu izmantošanas zonas nosaka pēc dominējošajiem klimatiskajiem apstākļiem, vēlāk precīzē ierīkojot iedzimtības pārbaudītu stādījumus. Tā piemēram, balstoties uz 10 dažādās reģiona vietās ierīkotiem iedzimtības pārbaudītu stādījumiem, Stener un Jansson (2005) secina, ka bērzam dienvidaustrumu Zviedrija var tikt uzskatīta par 1 selekcijas zonu, jo nav konstatētas būtiskas atšķirības ģimeņu ranžējumā dažādās stādījuma vietās. Clair un Kleinschmit (1986) analizējot 7 egles klonālo pārbaudītu stādījumus Vācijas pavalstī Lejassaksijā secina, ka, saskaņā ar genotipu rangu korelācijām, dažādās stādījumu vietās būtu nepieciešams izdalīt 2 selekcijas zonas. Tomēr potenciālais ieguvums jāvērtē kontekstā ar nepieciešamajiem papildus līdzekļiem. Līdzīgi lauksaimniecības augiem Williams et al. (1992) norāda, ka ar reprezentācijas kritēriju palīdzību iespējams novērtēt noteiktu izmēģinājuma vietu piemērotību reģiona vidējo vērtību atspoguļošanai – un tāpat arī pretēji – definēt vienota klimatiskā reģiona robežas piemērotas noteiktām varietātēm, šķirnēm.

Genotipa-vides mijiedarbību iespējams aprēķināt kā b-tipa ģenētisko korelāciju starp tās pašas ģimenes pazīmes vērtībām dažādās stādījuma vietās. Lietderīgi vienlaikus novērtēt arī katras ģimenes stabilitāti (atklājot genotipa-vides mijiedarbības cēloņus). Atsevišķos gadījumos dažas nestabilas ģimenes var būt viss iemesls nozīmīgajai genotipa-vides mijiedarbībai un, tās izslēdzot, tiek iegūta pavisam cita aina (atšķirīgas materiāla izmantošanas areāla robežas) (Shelbourne, 1972).

Genotipu var uzskatīt par stabilu dažādos vides apstākļos, ja:

- Ø starpība starp pazīmes vērtību dažādos apstākļos ir neliela,
- Ø starpības (atlikuma) vidējo kvadrātu summa regresijas modelim ir neliela,
- Ø atbildes reakcija uz vides izmaiņām ir paralēla vides izmaiņu gradientam.

Vides apstākļu stabilitāti (reģiona robežas) novērtē pēc ģimeņu rangu korelācijas koeficientiem starp eksperimentiem. Augsnes apstākļi (meža augšanas apstākļu tips) var tikt uzskatīti par prognozējamu ietekmējošo faktoru, selekcijas noteiktiem augsnes apstākļiem būtu pārāk dārga un neefektīva. Ņemot vērā, ka selekcijas starpību procentuālās vērtības ir līdzīgas meža tipos ar auglīgām un nabadzīgām augsnēm, bet absolūtās vērtības auglīgā augsnē ievērojami lielākas, selekcijas darba mērķi vispirms ir atlasīt tām piemērotus, iespējami plaši adaptējušos genotipus.

Plašākā mērogā uz genotipa-vides mijiedarbību un tās nozīmīgo ietekmi uz koku saglabāšanos, augšanu un koksnes kvalitāti norāda ģeogrāfiskās kultūras, kur provenienču materiāls parasti tiek pārvietots lielās distancēs (Ståhl, Persson, 1988).

10. Pēcncēju pārbaūžu ierīkošanas principu papildinājums

Efektīva pēcncēju pārbaūžu dizaina mērķis ir paaugstināt ģenētisko ieguvumu no selekcijas darba, samazinot vides apstākļu noteikto dispersijas komponenti (salīdzinājumā ar ģenētisko efektu noteikto), tādejādi paaugstinot iedzimstamības koeficienta vērtības. Tas nozīmē, ka iespējama precīzāka ģenētiski pārāko īpatņu atlase. Rezultātu var sasniegt paaugstinot atkārtojumu skaitu stādījuma vietas ietvaros. Taču, ņemot vērā ierobežotos kopējos līdzekļus, lielāks skaits pārbaudāmo koku (piemēram, viena mātes koka pēcncēji) samazina kopējo pārbaudāmo ģenētisko vienību (mātes koku) skaitu, tādejādi samazinot selekcijas intensitāti – un ģenētisko ieguvumu (Kempton, Fox, 1997)

Jo precīzāki ir eksperimenti (t.i., ne tikai statistiski korekts dizains, bet arī savlaicīga kopšana un uzturēšana) un to ir vairāk (lielāks paraugu skaits katrai ģenētiskajai vienībai), jo uzticamāks ģenētiskais novērtējums. Zemas kvalitātes dizainu vai datu ievākšanas darbu nevar izlabot ar precīzām datu analīzes metodēm (Portmann, Ketata, 1997)

Atkārtojumu izmantošana nozīmīgi paaugstina ģenētiskā novērtējuma precizitāti, jo starp atkārtojumiem esošā vides apstākļu variācijas ietekme uz ranžējumu var tikt izslēgta, tādēļ svarīgi, lai atkārtojumi iespējami precīzi sakristu ar vides apstākļu variāciju. Mazas parces (galējā gadījumā: vienkoka parces) nodrošina labāku iespēju datus sadalīt pa „atkārtojumiem” analīzes procesā – vērtējot atšķirības starp kaimiņu kokiem vai kādas stādījuma uzmērīšanas laikā konstatētas augšanas apstākļu nevienmērības eksperimentā. Vairāki autori norāda, ka vides apstākļu atšķirības visprecīzāk konstatējamas vērtējot koku augstumu vainagu saslēgšanās sākuma posmā, tad arī iespējams definēt turpmākai analīzei izmantojamus atkārtojumus.

Bloku parces var tikt izmantotas, lai samazinātu mijiedarbību ar apkārtējiem genotipiem, taču šī mijiedarbība reti kad būs lielāka kā genotipa-vides mijiedarbība starp stādījuma vietām, tādēļ loģiskāk izvēlēties vairāk stādījuma vietu ar mazākām parcelēm, ja materiāla daudzums (stādu skaits) ir ierobežots (Portmann, Ketata, 1997). Mazāks parces izmērs lielākā skaitā atkārtojumu nodrošina pilnīgākas randomizācijas iespējas – gan aptverot augsnes variāciju, gan lielāku skaitu dažādu kaimiņu koku ietekmju (konkurences variāciju), taču parces izmērām jābūt tik mazam, lai tas būtu piemērots dotās pazīmes novērtēšanai (Mead, 1997).

Ja pārbaudāmā materiāla sēklu (vai rametu) skaits ir ierobežots, bet nepieciešams stādījumus ierīkot lielākā daudzumā stādīšanas vietu, iespējams izmantot 1 – 2 atkārtojumus katrā stādīšanas vietā, un vairākas metodes (stādījumu dizaina veidus) precīzāku ģenētisko salīdzinājumu iegūšanai (Kempton, Gleeson, 1997):

1. izmantojot kontroles materiālu, piemēram, katrā 3. parcelē un pārbaudāmā ģenētiskā materiāla vērtības attiecīgajām pazīmēm noteikt relatīvi pret 3 tuvāko kontroles materiāla parcelu vērtībām (15. attēls).

G	G	A	G	G	A
G	A	G	G	A	G
A	G	G	A	G	G
G	G	A	G	G	A

G – pārbaudāmie genotipi

A – kontrole

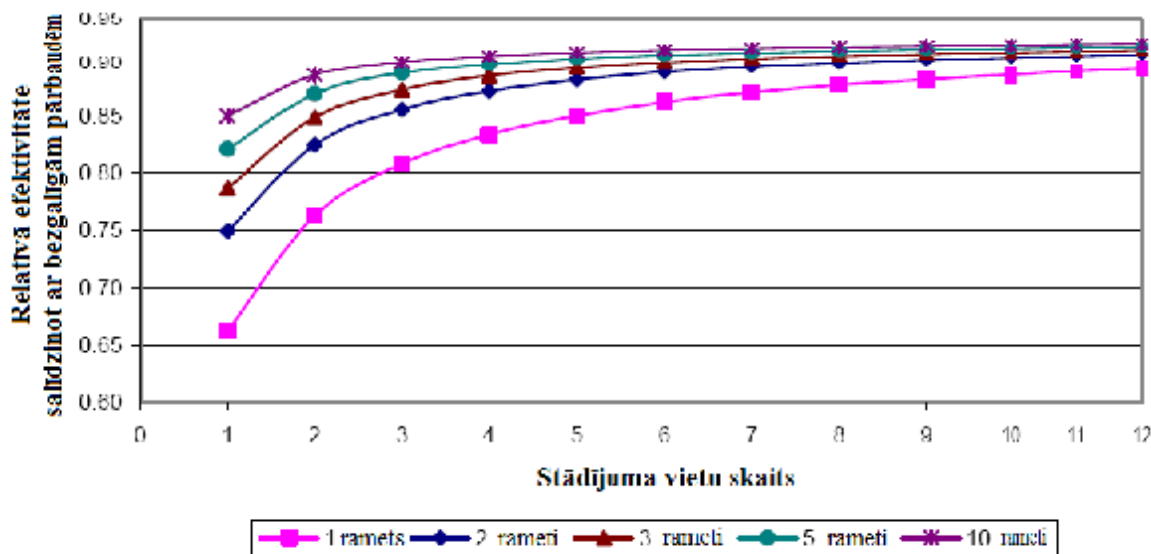
15. att. Pārbaudāmo genotipu un kontroles materiāla izvietojums eksperimentā samazinot nepieciešamo pārbaudāmā genotipa stādu skaitu katrā eksperimenta vietā

Izmantojot šo metodi ir svarīgi, lai kontroles genotipa atbildes reakcija uz vides apstākļu izmaiņām stādījuma ietvaros būtu līdzīga kā pārbaudāmajiem genotipiem, ieteicams izmantot

vismaz 2 kontroles genotipus. Jo biežāk kontroles genotipi atkārtojas, jo precīzāks pārbaudāmo genotipu novērtējums, taču vienlaikus arī augstākas izmaksas un lielāka aizņemtā platība. Lai sasniegtu pietiekamu precizitāti, vismaz katrai piektajai parcelei jābūt kontroles genotipam.

2. izmantojot kā rādītāju katra genotipa vidējo pārākumu par noteiktu skaitu tā tuvākajiem „kaimiņiem” eksperimenta ietvaros. Svarīgi, lai ģimenes stādījuma katrā atkārtojumā būtu izvietotas randomizēti (respektīvi, vairākos atkārtojumos dotajai ģimenei nebūtu vienas un tās pašas kaimiņu ģimenes) Kaimiņu koku (parcelu) skaits, kuras tiek ņemtas vērā aprēķinā atkarīgs no ģenētisko un vides apstākļu noteikto dispersijas komponentu attiecības: jo augstāka vides apstākļu komponente, jo iespējami mazāks blakus parcelu skaits jāizvēlas. Lai atlasītu atsevišķus kokus iegūtās ģimeņu vērtības vēlams dalīt ar pazīmes dispersiju katra atkārtojuma ietvaros, pretējā gadījumā vairāk materiāla tiks izvēlēts no atkārtojumiem ar augstāku vides apstākļu variāciju.

Kopējais pēcnācēju pārbaudēm pieejamais koku skaits optimāli jāsadala starp stādījuma vietām (tātad iespēju aptvert iespējami pašu klimatisko apgabalu) un atkārtojumiem vienas stādījuma vietas ietvaros (iespējām iegūt maksimāli precīzus rezultātus noteiktos apstākļos). Optimums atkarīgs no vides apstākļu variācijas starp stādījuma vietām un to ietvaros (dažādām genotipa-vides mijiedarbības formām), izvirzītā atlase mērķa, kā arī papildus stādījuma vietu ierīkošanas izmaksām. Genotipa-vides mijiedarbība apgrūtina prognozes, ka noteiktos apstākļos atlasīti genotipi reaģēs citos apstākļos. (Ceccarelli, 1989). Tādēļ augstāku papildus ieguvumu vienmēr sniedz vēl viena stādījuma vieta, nevis lielāks (par minimālo) atkārtojumu skaits esošajās stādījumu vietās (Portmann, Ketata, 1997). Stratēģija izvēlēties maksimālo stādījuma vietu skaitu sniedz plašāku informāciju par genotipa reakciju dažādos vides apstākļos, kā arī samazina risku zaudēt visu darba rezultātu vienam no eksperimentiem izjūkot (piemēram, kultūrai nodegot meža ugunsgrēkā). Kā nepieciešamo stādījuma vietu skaitu indikatoru var izmantot ģimeņu rangu korelācija, respektīvi, kādos apstākļos ierīkotajiem stādījumiem ir tāds pats un kādos – atšķirīgs ģimeņu ranžējums un atlasītās ģimenes vienas apstākļos vairs nav starp labākajām citos (Ceccarelli, 1989). Pēcnācēju pārbaudēm lauksaimniecībā rekomendēts izmantot 5 testa vietas, jo katra nākošā sniedz maz papildus precizitātes (Talbot, 1997). Sakarību meža koku klonālajos iedzimtības pārbaudēs stādījumos ilustrē 16. attēls.



16. att. Klonālo pēcnācēju pārbaudēs efektivitāte atkarībā no eksperimenta vietu skaita un rametu skaita eksperimentā. Attēls no Dieters et al., 2004.

Secināts, ka optimāli izmantot 5-6 stādījuma vietas ar 3 vai vairāk ramiem katrā (Dieters et al., 2004). Tomēr jāņem vērā, ka šāda stratēģija neļauj analizēt katru eksperimentu atsevišķi, novērtēt genotipa-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.

Talbot (1997) norāda: jo zemāka ir stādījumu precizitāte, jo augstāka iespēja atlasīt zemas kvalitātes ģimenes un reizē ar to neiegūstot maksimālo atdevi no selekcijā ieguldītajiem līdzekļiem.

Izmantotā literatūra

1. **Ahtikoski, A. (2000)** The profitability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and silver birch (*Betula pendula* Roth) next-generation seed orchards in Finland. Academic Disertation, Helsinki, Yliopistopaino, pp.148.
2. **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.
3. **Andersson, B., Elfving, B., Ericsson, T., Persson, T., Gregorsson, B. (2003)** Performance of Improved *Pinus sylvestris* in Northern Sweden. Scand. J. For. Res., 18, pp. 199-206.
4. **Baumanis, I., Gailis, A., Liepiņš, K. (2002)** Priežu sēklu plantāciju pēcnācēju novērtējums. Mežzinātne, 12, 46.-59. lpp.
5. **Berett, 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.
6. **Beuker, E. (2000)** Aspen breeding in Finland, new challenges. Baltic Forestry. 6(2):81-84.
7. **Bondesson, L., Lindgren, D. (1993)** Optimal Utilization of Clones and Genetic Thinning of Seed Orchards. Silvae Genetica, 42 (4-5), pp. 157-163.
8. **Bradshaw., H.D., Stettler., R. F. (1995)** Molecular genetics of growth and development in Populus. IV. Mapping QTLs with large effects on growth, form, and phenology traits in a forest tree. Genetics 139: 963-973.
9. **Burczyk, J. (1998)** Mating System Variation in Scots Pine Clonal Seed Orchard. Silvae Genetica, 47 (2-3), pp. 155-158.
10. **Ceccarelli, S. (1989)** Wide adaptation: How wide? Euphytica, 40, pp. 197-205.
11. **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.
12. **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, 35 (5-6), pp. 177-186.
13. **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.
14. **Cotterill, P.P. (1986)** Genetic gains expected from alternative breeding strategies including simple low cost options. Silvae genetica, 35, pp. 212-223.
15. **Cotterill, P.P., Dean, C.A. (1990)** Successful tree breeding with index selection. CSIRO, 81 p.
16. **Danusevičius, D. (2004)** Long term breeding of pine and spruce in Lithuania: Presentation in Field Geneticists Network meeting October 5-9, Kaunas, Lithuania.
17. **Danusevičius, D. and Lindgren, D. 2002.** Comparison of phenotypic, clonal and progeny supported selection in long-term tree breeding. Silvae Genetica 51 (1): 19-26.
18. **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.
19. **Dubova, I.** (1994) Bērza *Betula pendula* atsevišķu klonu pēcnācēju pavairošana *in vitro*. Mežzinātne, 37, 28.-33. lpp.
 20. **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.
 21. **Ericsson, T.** (1997) Enhanced heritabilities and best linear unbiased predictors through appropriate blocking of progeny trials. Can. J. For. Res., 27, pp. 2097-2101.
 22. **Eriksson, G.** (1998) Evolutionary Forces Influencing Variation among Populations of *Pinus sylvestris*. Silva Fennica, 32 (2), pp. 173-184.
 23. **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. Scand. J. For. Res., 2, pp. 301-314.
 24. **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.
 25. **Falconer, D.S., Mackay, T.F.C.** (1996) Introduction to Quantitative Genetics: Fourth Edition. Longman Group Ltd, London, England, 465 p.
 26. **Ļilipovičs M., Auzenbaha D., Gailis A., Szczygiel K.** (2006). Embriogēno audu iniciācija parastajai eglei. Mežzinātne, 15(48): 60 – 67.
 27. **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. Can. J. For. Res., 31, pp. 943-949.
 28. **Govindaraju, D.R.** (1988) Relationship between dispersal ability and levels of gene flow in plants. OIKOS, 52, pp. 31-35.
 29. **Gullberg, U., Yazdini, R., Rudin, D.** (1982) Genetic differentiation between adjacent populations of *Pinus sylvestris*. Silva Fennica, 16 (2), pp. 205-214.
 30. **Haapanen, M.** (2001) Time trends in genetic parameter estimates and selection efficiency for Scots pine in relation to field testing method. Forest Genetics, 8(2), pp. 129-144.
 31. **Haapanen, M., Velling, P., Annala, M-L.** (1997) progeny trial estimates of genetic parameters for growth and quality traits in Scots pine. Silva Fennica, 31(1), pp. 3-12.
 32. **Hannrup, B., Jansson, G.** (2002) Baltiska plusträdskloner av tall: Arbeitsreport Nr. 93 (Zviedriski), Skogforsk, 25 lpp.
 33. **Hannrup, B., Wilhelmsson, L., Danell, Ö.** (1998) Time Trends for Genetic Parameters of Wood Density and Growth Traits in *Pinus sylvestris* L. Silvae Genetica, 47 (4), pp. 214-219.
 34. **Harju, A., Muona, O.** (1989) Background Pollination in *Pinus sylvestris* Seed Orchards. Scand. J. For. Res., 4, pp. 513-520.
 35. **Harju, A.M., Nikkanen, T.** (1996) Reproductive success of seed orchard and nonorchard pollens during different stages of pollen shedding in a Scots pine seed orchard. Can. J. For. Res., 26 (6), pp. 1096-1102.
 36. **Högberg K.A., Bozhkov P.V., Gronroos R., von Arnold S.** (2001). Dissection of critical factors affecting ex vitro performance of somatic embryo plants of Norway spruce. Scandinavian Journal of Forest Research, 16(4): 295 – 304.
 37. **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

38. **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.
39. **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*, 41 (4-5), pp. 252-262.
40. **Jansons, Ā.** (2006) Augstumliknes izmantošana parastās priedes pēcnācēju pārbaužu stādījumos. *Mežzinātne*, 16 (49), 91-101. lpp.
41. **Jansson G, Li B, and Hannrup B** (2003). Time Trends in Genetic Parameters for Height and Optimal Age for Parental Selection in Scots Pine. *Forest Science* 49: 696-
42. **Jonsson, A., Ekberg, I., Eriksson, G.** (1976) Flowering in seed orchards of *Pinus sylvestris* L. *Stud. For. Suec.*, 135, 38 p.
43. **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*, 21, pp. 17-33.
44. **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.
45. **Karlsson, B. Högberg, K.A.** (1998) Genotypic parameters and clone × site interaction in clone tests of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), *For. Genet.*, 5, pp. 21–30.
46. **Kempton, R.A., Fox P.N.** (1997) *Statistical Methods for Plant Variety Evaluation*. Chapman & Hall, London, 177 p.
47. **Kempton, R.A., Gleeson, A.C.** (1997) Unreplicated trials. In: R.A. Kempton, P.N. Fox (eds.) *Statistical Methods for Plant Variety Evaluation*. Chapman & Hall, London, pp. 86-100.
48. **Klemperer, W.D.**, (1996) *Forest Resource Economics and Finance*. McGraw-Hill, New York, 551 pp.
49. **Karlsson, B., Rosvall, O.** (1993) Breeding programmes in Sweden—Norway spruce. In S.J. Lee (ed.) *Proceedings of the Nordic Group for Tree Breeding conference: Progeny Testing and Breeding Strategies*, Oct., 1993, Edinburgh, Scotland, pp. 128–134.
50. **Koski, V.** (1970) A study of pollen dispersal as a mechanism of gene flow in conifers. *Com. Inst. For. Fen.*, 70 (4), 78 p.
51. **Koski, V.** (1971) Embryonic lethals of *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Comm. Inst. For. Fen.*, 75 (3), 30 p.
52. **Koski, V.** (1973) On self-pollination, genetic load, and subsequent inbreeding in some conifers. *Comm. Inst. For. Fen.*, 78 (10), 42 p.
53. **Koski, V.** (1980) Summary: minimum requirements for seed orchards of Scots pine. *Silva Fennica*, 14 (2), pp. 148.
54. **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.
55. **Kowalczyk, J.** (2005) Comparison of phenotypic and genetic selections in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) single tree plot half-sib progeny tests. *Dendrobiology*, 53, pp. 45-56.
56. **Kumar, S.** (2006) Correlation between clonal means and open-pollinated seedling progeny means and its implications for radiata pine breeding strategy. *Can. J. For. Res.*, 36, pp. 1968-1975.
57. **Li, B., Wu, R.** (1996) Genetic causes of heterosis in juvenile aspen :a quantitative comparison across intra- and inter-specific hybrids. *TAG*, 93, pp. 380-391.
58. **Li, B., Wu, R.** (1997) Heterosis and genotype × environment interactions of juvenile aspens in two contrasting sites. *Can. J. For. Res.*, 27, pp. 1525-1537.
59. **Li, B.** (1995) Aspen improvement strategies for western Canada – Alberta and Saskatchewan. *For. Chron.*, 71 (6), pp. 720-724.

60. **Li, B., Howe, G. T., Wu, R.,** (1998) Developmental factors responsible for heterosis in aspen hybrids (*Populus tremuloides* x *P. tremula*) *Tree Physiology* 18: 29-36
61. **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. *Can. J. For. Res.*, 27, pp. 397-400.
62. **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.
63. **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.
64. **Lindgren, D., Mullin, T.** (1997) Balancing Gain and Relatedness in Selection. *Silvae Genetica*, 46 (2-3), pp. 124-129.
65. **Lindgren, D., Mullin, T.J.** (1998) Relatedness and status number in seed orchard crops. *Can. J. For. Res.*, 28, pp. 276-283.
66. **Lindgren, D., Prescher, F.** (2005) Optimal Clone Number for Seed Orchards with Tested Clones. *Silvae Genetica*, 54 (2), pp. 80-92.
67. **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.
68. **McDonald, B.A.** (2004) Population Genetics of Plant Pathogens.
<http://www.apsnet.org/education/AdvancedPlantPath/Topics/PopGenetics/top.htm>, resurss aprakstīts 10.08.2007.
69. **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.
70. **Mead, R.** (1997) Design of plant breeding trials. In: R.A. Kempton, P.N. Fox (eds.) *Statistical Methods for Plant Variety Evaluation*. Chapman & Hall, London, pp. 40-67.
71. **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.
72. **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.
73. **Namkoong, G., Boyle, T., El-Kassaby, Y.A., Palmberg-Lerche, C., Eriksson, G., Gregorius, H-R., Joly, H., Kremer, A., Savolainen, O., Wickneswari, R., Young, A., Zeh-Nlo, M., Prabhu, R.** (2002) Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management: Assessment and Monitoring of Genetic Variation: Working Paper FGR/37E, FAO, Rome. Pieejams:
<http://www.fao.org/DOCREP/005/AC649E/ac649e00.htm#Contents>, resurss aprakstīts 05.08.2007.
74. **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.
75. **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.
76. **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

77. **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*, 17, pp. 103-110.
78. **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.
79. **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.
80. **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.
81. **Prescher, F., Lindgren, D., El-Kassaby, Y.A.** (2006) Is linear deployment of clones optimal under different clonal outcrossing contributions in seed orchard? *Tree Genetics & Genomes*, 2, pp. 25-29.
82. **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.
83. **Prescher, F., Lindgren, D., Wennstrom, U., Almquist, C., Ruotsalainen, S., Kroon, J.** (2005) Seed production in Scots pine seed orchard. 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. 65-71.
84. **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.
85. **Rone, V.** (1993) Norway spruce. In: Rone, V., Birģelis, J., Gailis, A. (ed.) *Forest tree breeding in Latvia*, Silava, Salaspils, pp. 11-16.
86. **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*, 47, pp. 307-321.
87. **Rosvall, O.** (2001) New seed orchards give high genetic gain. *SkogForsk Results*, 2, 4 p.
88. **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 at Mekrijärvi*, Finland, March 23-27, 2001, pp.71-85.
89. **Rudin, D., Ekberg, I.** (1982) Genetic structure of open-pollinated progenies from seed orchard of *Pinus sylvestris*. *Silva Fennica*, 16 (2), pp. 87-93.
90. **Ruotsalainen, S., Lindgren, D.** (1998) Predicting genetic gain of backward and forward selection in forest tree breeding. *Silvae Genetica*, 47, pp. 42-50.
91. **Ruotsalainen, S., Lindgren, D.** (2000) Stratified sublining: a new option for structuring breeding populations. *Can J. For. Res.*, 30, pp. 596-604.
92. **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.
93. **Sarvas, R.** (1962) Investigation on the flowering and seed crop of *Pinus sylvestris*. *Com. Inst. For. Fen.*, 70 (4), 198 p.

94. **Schmidting, R.C., Hipkins, V.** (1998) Genetic diversity in longleaf pine (*Pinus palustris*): influence of historical and prehistorical events. *Can. J. For. Res.*, 28, pp. 1135-1145.
95. **Shelbourne, C.J.A.** (1972) Genotype-environment interaction -its study and its implications in forest tree improvement. In: Proceeding of the joint symposia for the advancement of forest tree breeding of Genetics subject group, IUFRO and section 5, Forest trees, The society for the advancement of breeding researches in Asia and Oceania. Government Forest Experimental Station, Tokyo, pp. 1-28.
96. **Ståhl, E.G., Persson, A.** (1988) Wood quality and volume production in for 24-year-old provenance trials with *Pinus contorta*. *Studia Forestalia Suecica*, , 179, 20 p.
97. **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.
98. **Stener, L-G., Karlsson, B.** (2004) Improvement of *Populus tremula x P. tremuloides* by phenotypic selection and clonal testing. *Forest Genetics*, 11(1), pp. 13-27.
99. **Stoehr, M., Webber, J., Woods, J.** (2004) Protocol for rating seed orchard seedlots in British Columbia: quantifying genetic gain and diversity. *Forestry*, 77 (4), pp. 297-303.
100. **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. *TAG*, 94 (1), pp. 83-90.
101. **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.
102. **Tigerstedt, P.M.A., Rudin, D., Niemelä, T., Tammissola, J.** (1982) Competition and neighbouring effect in a naturally regenerating population of Scots pine. *Silva Fennica*, 16 (2), pp. 122-129.
103. **Ulvcrona, K.A., Claesson, S., Sahlén K., Lundmark, T.** (2007) The effects of timing of pre-commercial thinning and stand density on stem form and branch characteristics of *Pinus sylvestris*. *Forestry*, Advance Access published online. <http://forestry.oxfordjournals.org/cgi/content/full/cpm011v1>, Resurss aprakstīts 8.11.2007.
104. **Varis, S., Pakkanen, A., Santanen, A., Häggvik, T., Pappinen, A., Pulkkinen, P.** (2004) Importance of Timing in Pollen Competition in Northern Scots 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. 151-153.
105. **Viherä-Aarnio, A., Velling, P.** 2001. Micropropagated silver birches (*Betula pendula*) in the fi eld – performance and clonal differences. *Silva Fennica*, 35(4), pp. 385–401.
106. **von Arnold, S., Bozhkov, P., Clapham, D., Dyachok, J., Filonova L., Högberg, K-A., Ingouff, M., Wiweger, M.** (2005) Propagation of Norway spruce via somatic embryogenesis. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 81: 323 – 329
107. **Wang, T., Hagqvist, R., Tigerstedt, P.M.A.** (1999) Inbreeding depression in three generations of selfed families of silver birch (*Betula pendula*). *Can. J. For. Res.*, 29, pp. 662–668.
108. **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. *Scand. J. For. Res.*, 6, pp. 379-385.
109. **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.
110. **White, T.L., Hodge, G.R.** (1989) Predicting Breeding Values with Application in Forest Tree Improvement. Kluwer, 423 p.
 111. **White, T.L., Huber, D.A., Powel, G.L.** (2003) Third-Cycle Breeding Strategy for Slash Pine by the Cooperative Forest Genetic Research Program. 27th Southern Forest Tree Improvement Conference, 27, pp. 17-29.
 112. **Williams, E.R. Fu, Y.-B.** (1999) Comment—Enhanced heritabilities and best linear unbiased predictors through appropriate blocking of progeny trials. *Can. J. For. Res.*, 29, pp. 1633–1634.
 113. **Williams, E.R., Luckett, D.J., Reid, P.E., Thomson, N.J.** (1992) Comparison of locations used in cotton breeding trials. *Australian Journals of Experimental Agriculture*, 32, pp. 739-746.
 114. **Williams, E.R., Matheson, A.C.** (1991) Experimental Design and Analysis for Use in Tree Improvement. CSIRO, Australia, 175 p.
 115. **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.
 116. **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.
 117. **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.
 118. **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*, 43 (2-3), pp. 145-154.
 119. **Yanchuk, A.D.** (2001) A quantitative framework for breeding and conservation of forest tree genetic resources in British Columbia. *Can. J. For. Res.*, 31, pp. 566-576.
 120. **Yazdini, R., Lindgren, D** (1991) Variation of Pollen Contamination in a Scots Pine Seed Orchard. *Silvae Genetica*, 40 (5/6), pp. 243-246.
 121. **Yu, Q.,** (2001) Selection and propagation of hybrid aspen clones for growth and fibre quality: Academic dissertation, University of Helsinki, Finland, 41p.
 122. **Yu, Q., Pulkkinen, P.** (2001) Genotype-environment interaction and stability in growth of aspen hybrid clones, *Forest Ecology and Management* 173. 25-35.
 123. **Yu, Q., Pulkkinen, P., Rautio, M., Haapanen, M. Alen, R., Stener, L.G., Beuker E. Tigerstedt, P.M.A.** (2001b) Genetic control of wood physicochemical properties, growth and phenology in hybrid aspen clones. *Can. J. For. Res.*, 31, pp. 1-9.
 124. **Yu, Q., Tigerstedt, P.M.A., Haapanen, M.** (2001a) Growth and phenology of hybrid aspen clones (*Populus tremula* L. x *Populus tremuloides* Michx.). *SilvaFennica*, 35 (1), pp. 15-25.
 125. **Zas, R.** (2006) Iterative kriging for removing spatial autocorrelation in analysis of forest genetic trials. *Tree Genetics & Genomes*, 2, pp. 177–185.
 126. **Нормативы для таксации** леса Латвийской ССР., Рига, 1988. - с. 176:143-145

1. Pielikums: SAS algoritms ģimeņu ranžēšanai vairākos eksperimentos

SAS algoritms ģimeņu ranžēšanai vairākos eksperimentos kompleksi, ja tikai neliels skaits no tām pārstāvētās vairāk kā vienā eksperimentā

Izstrādāts sadarbībā ar Dr. M. Haapanen

Kā atlases pazīme izvēlēta koku augstums

```
proc means data=aj.tallest3 nway noprint;
  class trial;
  var h vol;
  output out=testmean mean=h vol;
run;
proc print data=_last_ run;
***aprēķina vidējās vērtības pa eksperimentiem;
ods listing close;
proc sort data=aj.tallest3; by trial; run;
*** analizē individuālus mērījumus (nevis parcelu vidējās vērtības);
proc mixed data=aj.tallest3 covtest;
  class fam rep;
  model h = rep;
  random fam / s;
  ods output covparms=famcomp;
  by trial;
  where type=1;
run;
ods listing;
proc print data=famcomp; run;
data famcomp;
  set famcomp;
  if covparm="fam";
  keep trial estimate;
run;
proc sort data=famcomp; by trial; run;
proc sort data=testmean; by trial; run;
data cvdata;
  merge famcomp testmean;
  ag_sd = sqrt(4*estimate);
  ag_cv = 100 * sqrt(ag_sd) / h;
run;
proc print data=cvdata; run;
proc sort data=cvdata; by trial; run;
data aj.tallest3;
  merge aj.tallest3 cvdata (keep=trial ag_sd);
  by trial;
run;
data aj.tallest3;
  set aj.tallest3;
  h_new = h*(1/ag_sd);
  ***sākotnējie mērījumi tiek pārveidoti tā, ka aditīvā ģenētiskā
  standartnovirze katrā eksperimentā kļūst 1;
run;

ods listing close;
```

```

proc mixed data=aj.tallest3 covtest;
*** analizē individuālus mērījumus;
class fam rep;
model h_new = rep;
random fam / s;
ods output covparms=famcomp;
by trial;
where type=1;
run;
ods listing;

proc print data=famcomp; run;

ods listing close;
proc mixed data=aj.tallest3 covtest;
class trial fam rep;
model h_new = trial rep(trial) / int;
random fam / s;
lsmeans trial;
ods output SolutionR=aj.famsol_height covparms=famcomp;
where type=1;
run;
ods listing;

proc sort data=aj.famsol_height; by descending estimate; run;
proc print data=aj.famsol_height; run;
proc print data=famcomp; run;
***veic atkārtotu kompleksu analīzi visiem eksperimentiem izmantojot
pārveidotos augstumu mērījumus; aprēķina ģimeņu selekcijas vērtības un veic
ranžēšanu;

```