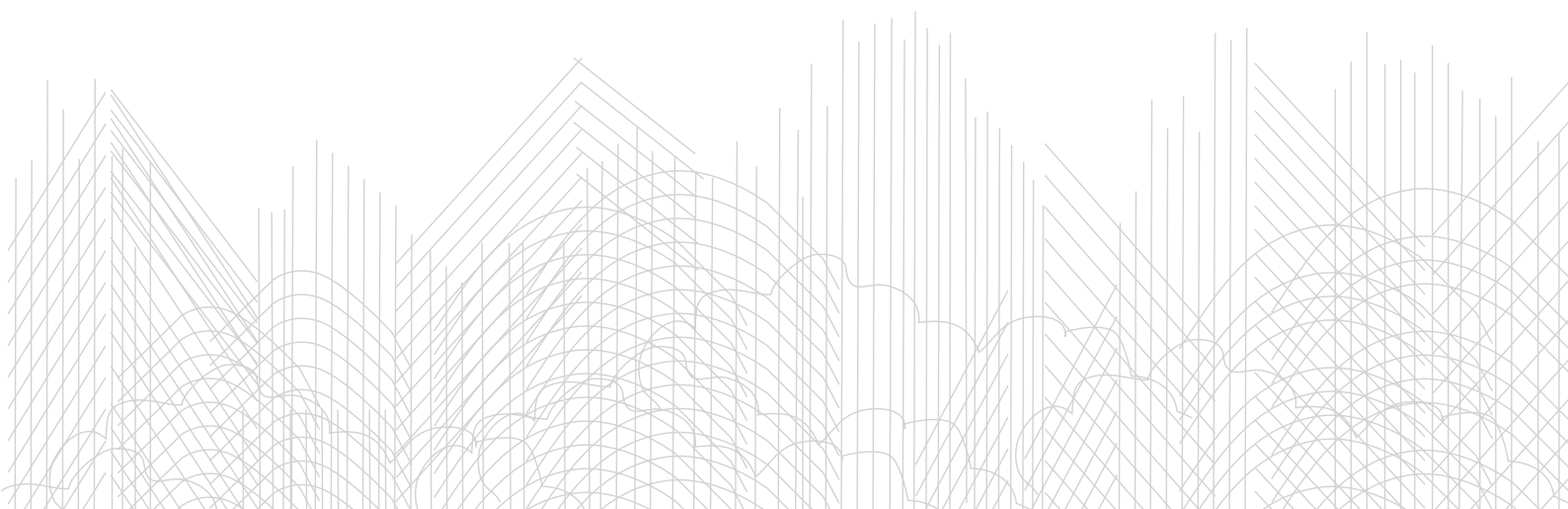


SKOGSTRÄDSFÖRÄDLING



Skogsskötselserien är en sammanställning för publicering via Internet av kunskap om skogsskötsel utan ställningstaganden eller värderingar. Texterna har skrivits av forskare och har bearbetats redaktionellt både sakligt och språkligt. De är upphovsrättsligt skyddade och får inte användas för kommersiellt bruk utan medgivande.

I Skogsskötselserien ingår:

1. Skogsskötselns grunder och samband
2. Produktion av frö och plantor
3. Plantering av barrträd
4. Naturlig förnyring av tall och gran
5. Sådd
6. Röjning
7. Gallring
8. Stamkvistning
9. Skötsel av björk, al och asp
10. Skötsel av ädellövskog
11. Blädningsbruk
12. Skador på skog
13. Skogsbruk - mark och vatten
14. Naturhänsyn
15. Skogsskötsel för människan i skogen
16. Produktionshöjande åtgärder
17. Skogsbränsle
18. Skogsskötselns ekonomi
19. *Skogsträdsförädling*

Skogsskötselserien finansieras av Skogsstyrelsen, Skogsindustrierna, Sveriges lantbruksuniversitet och LRF Skogsägarna. Bidrag har även lämnats av Energimyndigheten för behandling av frågor som rör skogsbränsle och av Stiftelsen Skogssällskapet.

Styrgrupp för projektet:

- Carl Appelqvist, Skogsstyrelsen (projektägare)
- Arne Albrektson, SLU; ersatt i januari 2008 av Urban Nilsson, SLU
- Jan-Åke Lundén, LRF Skogsägarna
- Hans Winsa, Skogsindustrierna
- Jonas Bergquist, Skogsstyrelsen

Projektledare: Clas Fries, Skogsstyrelsen

Skogsskötselserien – Skogsträdsförädling 2010

Författare: Ola Rosvall (avsnittet *Betydelsen av förädlade träd i skogsbruket*), Bengt Andersson (*Egenskaper hos förädlade plantor och Skogsträdsförädling för ett förändrat klimat*), Karl-Anders Högberg (*Användning av förädlade plantor och Hur sker massförökning?*), Lars-Göran Stener (*Användning av förädlade plantor*), Gunnar Jansson (*Hur går skogsträdsförädling till?*), Curt Almqvist (*Hur sker massförökning?*), Johan Westin (*Förädlade träd i skogslandskapet*), samtliga vid Skogforsk.

Redaktörer: Karl-Anders Högberg och Clas Fries

Typografisk formgivning: Michael Håkansson, Textassistans AB

Grafisk profil: Louise Elm, Skogsstyrelsen

Illustrationer och sättning: Bo Persson, Skogsstyrelsen

Foto omslag: Bo Karlsson

Utgivning: Skogsstyrelsens förlag, www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien

Innehåll

SKOGSTRÄDSFÖRÄDLING	5
Betydelsen av förädlade träd i skogsbruket	6
Förädlade träd ger högre tillväxt, vitalitet och kvalitet.....	6
Skogsbruk innehåller osäkerhet och risk	7
Tillväxt, motståndskraft och goda kvalitetsegenskaper kan förenas.....	7
Skötsel av förädlade träd på beståndsnivå	9
Förädlade plantor ger jämnare föryngring	9
Tidigare gallring med förädlade träd	10
Tidigare föryngringsavverkning	10
Skogssådd.....	10
Natur- och miljöhänsyn.....	12
Skogsskötselstrategier med förädlade träd.....	13
Vanliga skötselprogram och deras lönsamhet	13
Varianter av vanliga skogsskötselprogram.....	19
Förädlade träd öppnar för nya skötselprogram	23
Ökade avverkningsmöjligheter med förädlade träd på bestånds-, fastighets- och företagsnivå.....	25
Framtida tillväxtökning ger avverkningsmöjligheter i nuvarande bestånd.....	25
Beslut på beståndsnivå ger effekt på fastighets- och företagsnivå	27
Ökade avverkningsmöjligheter genom förädlade skogar på nationell nivå...30	
Egenskaper hos förädlade plantor	33
Tall och gran	33
Första plantageomgången – 10 % högre tillväxt.....	33
Andra plantageomgången –10 – 20 % högre tillväxt.....	34
Tredje plantageomgången – 25 % högre tillväxt, bättre kvalitet och överlevnad.....	34
Hög robusthet och genetisk variation.....	37
Särplockning och sticklingar ökar vinsten	39
Förädling av andra träslag än tall och gran.....	40
Användning av förädlade plantor	41
Plantor från granplantager.....	42
Plantor från tallplantager.....	44
Nya plantager med contortatall anläggs.....	45
Lärk.....	45
Sitkagran och douglasgran.....	46
Lövträd.....	46
Hur går skogsträdsförädling till?.....	50
Förädlingsteori.....	51
Metodik i den svenska förädlingsstrategin	54
Genetisk variation.....	57
Allelfrekvensernas betydelse för variationen.....	57
Additiv varians som mått på genetisk variation.....	59
Effektiv populationsstorlek, släktskap och inavel.....	60
Hur sker massförökning?	61
Generativ förökning.....	61
Tre omgångar svenska fröplantager.....	61

Plantbehovet styr fröbehovet som styr plantagebehovet	62
Klonurval till fröplantager	63
Lokalisering och anläggning av fröplantager	64
Kott- och fröproduktion i plantager	66
Åtgärder för att öka fröproduktionen	70
Vegetativ förökning	72
Metoder för vegetativ förökning	72
Mikroförökning	75
Genetisk vinst med vegetativ förökning – olika modeller	77
Vegetativ förökning i förädlingen	78
Vegetativ förökning i skogsbruket	78
Skogsträdsförädling för ett förändrat klimat	80
Vad vet vi om det framtida klimatet?	80
Förutsättningar för skogsproduktion om 100 år	81
Behöver vi plantor med nya egenskaper?	82
Anpassning på lång sikt	83
och modifierad användning på kort sikt	84
Nya trädslag	86
Förädlade träd i skogslandskapet	87
Skogsodling har påverkat skogslandskapet	87
Från beståndsfrö till plantagefrö	88
Tall och gran hämtades från kontinentala Europa	88
Skogsodlingens betydelse på kort sikt	89
Skogsodlingsmaterialens betydelse på lång sikt	89
Skogsodlingens effekt på genbevarande och evolution	91
Skogsodlingens effekt på genetisk variation	93
Genetisk variation i enskilda egenskaper	95
Klonskogsbruk kan ge hög produktion men har risker	96
Familjeskogsbruk – de bästa klonerna korsas	97
Litteratur	98
Litteratur för fördjupning	103

SKOGSTRÄDSFÖRÄDLING

Skogsträdsförädlingens betydelse. Skogsträdsförädling är den viktigaste komponenten i strävan efter att öka virkesproduktionen. Effekterna är långsiktiga men blir stora. Den högre tillväxten betyder att skötselprogram kommer att ändas så att gallringar kommer tidigare och omloppstiden kortas. Detta samtidigt som andra egenskaper också förbättras. Ekonomiska kalkyler visar på god lönsamhet på de allra flesta markerna.

Högre tillväxt och förbättrad kvalitet. Det förädlade material som finns praktiskt tillgängligt idag ger en ökad tillväxt på mellan 10 och 20 % beroende på vilken plantage fröet hämtas från. Kvalitetsegenskaperna (rakhet, grenvinkel, grengrovlek, etc) är bättre jämfört med oförädlad beståndsmaterial även om förbättringarna inte är lika påtagliga.

Användning av förädlad material. Det finns god kunskap om var det förädlade materialet passar att använda för huvudträdslagen tall, gran, björk och contortatall. För övriga trädslag varierar kunskapen, men det finns genetiska urval och fröplantager för de flesta.

Genetisk vinst och genetisk variation balanseras. Skogsträdsförädling kan delas upp i tre moment som upprepas i cykler: urval, korsning och testning. Efter testning sker ett nytt urval och en ny förädlingscykel har påbörjats. Den svenska förädlingsmodellen balanserar genetisk vinst och genetisk variation på ett effektivt sätt genom att förädlingspopulationer delas upp i underpopulationer som behandlas separat.

Massförökning. Den helt dominerande metoden att i stor skala utnyttja de genetiska framstegen i förädlingen är genom fröplantager. Fröplantager anläggs med syfte att producera stora mängder frö med testade och utvalda föräldrar. Vegetativa förökningsmetoder, till exempel sticklingsförökning och somatisk embryogenes, kan öka den genetiska vinsten ytterligare och kan förväntas ta en betydligt större andel av plantproduktionen när de utvecklats och blivit mer kostnadseffektiva.

Effekter i skogslandskapet. Skogsträdsförädlingens effekter i skogslandskapet är små i förhållande till den påverkan som skogsodling i sig innebär. Högre tillväxt ger sannolikt kortare omloppstider och därmed i genomsnitt tätare och mörkare skogar, men det tar lång tid för att detta ska bli påtagligt. Sådana effekter kan också motverkas genom olika skötselåtgärder.

Betydelsen av förädlade träd i skogsbruket

av Ola Rosvall

Att använda förädlade plantor får betydelse för det enskilda beståndets utveckling och skötsel, den aktuella fastighetens eller företagets avverkningsmöjligheter samt påverkar hela landets virkesförsörjning.

Att satsa på förädlade träd är som att byta till skog på bättre bonitet. Skogen växer fortare, gallringarna kommer tidigare, omloppstiden blir kortare och effekterna på natur och miljö är små. Genom att förädlade träd är mer motståndskraftiga, har bättre överlevnadsförmåga och i flera avseenden bättre kvalitet kan föryngring och skogsskötsel modifieras på olika sätt. Generellt ökar lönsamheten påtagligt eftersom förädlade plantor inte kostar mycket mer än oförädlade.

Förädlade träd ger högre tillväxt, vitalitet och kvalitet

I dag kan man köpa plantor från fröplantager med olika förädlingsnivå. Från de äldsta plantagernas vinstnivå på 10 % ökad medeltillväxt, jämfört med oförädlad beståndsförö, till de yngsta nu producerande med upp till 20 % vinst i medeltillväxt. Ännu några procentenheter kan läggas till på vinsten om man gör en så kallad särplockning, dvs att man plockar kottar på de bästa träden i plantagerna. Gransticklingar från kontrollerade korsningar ger 20–25 % tillväxtvinst, men finns än så länge bara i liten skala.^{1,2}

Förädlade träd har förutom ökad tillväxt även ökad vitalitet och högre överlevnad. Detta är högst påtagligt för tall i norra Sveriges höglägen där avgångarna till följd av väder- och skadesvampar pågår under många år. Ökad vitalitet gör också att det blir mindre kvalitetsnedsättande skador, till exempel sprötkvistar och dubbeltoppar.

Förädlade träd har även förbättrad stamkvalitet i andra avseenden. De är rakare, har större grenvinkel, dvs grenarna står mer rakt ut från stammen, de har klenare grenar och mindre defekter vid grenvarven. Virket kommer därmed att ha en bättre kvistkvalitet.

Det går inte att lika enkelt som för tillväxt ange hur mycket kvalitetsegenskaper förbättrats. Det varierar från fröplantage till fröplantage och från landsända till landsända. Yngre fröplantager med utvalda testade plusträd ger upphov till plantor med bättre vitalitets- och kvalitetsegenskaper än äldre. Det enklaste sättet att ta reda på vilka förädlade träd som är lämpliga för en viss plats samt deras egenskaper är att besöka Skogforsks hemsida Kunskap Direkt³ (se även avsnittet *Användning av förädlade plantor*).

¹ Rosvall, O., m fl. 2001. Genetiska vinster i nuvarande och framtida fröplantager och klonblandningar. Skogforsk, *Redogörelse* 1, 2001, 41 s.

² Rosvall, O. & Wennström, U. 2008. Förädlings effekter för simulering med Hugin i SKA 08. Skogforsk, *Arbetsrapport* 665, 38 s.

³ Se: www.skogforsk.se (länk: KunskapDirekt / Verktyg).

Skogsbruk innehåller osäkerhet och risk

Att plantera och sköta skog är alltid förknippat med osäkerhet och risk. Skogsskötsel är en lågintensiv verksamhet om man jämför med till exempel jordbruk och trädgårdsskötsel. Träd och plantor är hänvisade till att växa under lång tid – kanske 100 år – med små möjligheter att påverka miljön. De utsätts för växlande väder och många skadeorganismer. Och vem vet vad marknaden efterfrågar när träden skall avverkas?

Målsättningen med skogsträdsförädlingen är att öka trädens förmåga att motstå skador och att bättre utnyttja den begränsade tillgången på resurser som ljus, växtnäring och vatten, att förädla för basala trädegenskaper som motstår förändringar både i miljö och på virkesmarknad. Men här krävs en viss ödmjukhet vad gäller förädlarnas förmåga att förutse alla möjliga risker och mäta rätt egenskaper hos träden. Därför är själva fältprovningen av förädlingsmaterialen upplagd så att det långsiktigt går att övervaka om något oförutsett inträffar.

I de befintliga förädlingsmaterialen känner vi inte till några förändringar som innebär förhöjd risk. Det finns ändå några förhållanden som rör osäkerhet och risk som kan nämnas här. När förädlarna väljer träd till fröplantager och fortsatt förädling lägger de vikt på olika egenskaper så att den totala nyttan mätt i ekonomiskt värde skall bli så stor som möjligt. De flesta egenskaper nedärvs oberoende av varandra men några kan hänga ihop och några stå i motsatsförhållande till varandra. Då blir viktningen av egenskaperna en avvägning mellan dem och resultatet en kompromiss.

Tillväxt, motståndskraft och goda kvalitetsegenskaper kan förenas

I skogsträdsförädlingen bevakas särskilt de egenskaper som kan försämrats av att en annan egenskap förbättras. Det gäller även egenskaper som man valt att inte förbättra. Skogforsk kartlägger därför kontinuerligt, med hjälp av fälttesterna, hur olika egenskaper samvarierar. Den senaste sammanställningen är gjord av Ericsson (2007).⁴ I stora drag kan man säga att det inte finns några allvarliga motsättningar mellan tillväxt och virkeskvalitet vad gäller stamraket och grenegenskaper (figur SF1).

Snabbväxande träd får bredare årsringar och därmed lägre densitet, men denna form av lägre densitet är densamma som en högre bonitet skulle ha medfört och kan motverkas genom att hålla skogen tätare. Veddensitet är en viktig egenskap för biomassatillväxt, utbyte av pappersmassa och virkets hållfasthet. Med stor vikt på tillväxt vid urval kan även den genetiskt betingade densiteten på lång sikt komma att minska, varför sambandet mellan tillväxt och densitet studeras extra noga.

⁴ Ericsson, T. 2007. Parameter estimates of genetic variation and correlation in growth of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. Skogforsk, *manuskript*, 20 s.



Figur SF1 Det har visat sig i skogsträdsförädlingen att hög tillväxt kan förenas med kvalitetsegenskaper som stamraket och gynnsamma grenvinklar. Foto Ola Rosvall.

Det finns heller ingen motsättning mellan motståndskraft mot skador och god kvalitet, tvärtom hänger dessa egenskaper ihop. När det gäller tillväxt och motståndskraft finns en generell hypotes som säger att träd i en resursrik miljö använder mindre resurser på försvarssubstanser och mer på tillväxt⁵ och skulle då uppnå genetiskt betingad hög tillväxt på bekostnad av mindre omfattande försvarsmekanismer. Hypotesen är dock inte bekräftad för förädlade träd. Beroende på skadegörare och skademekanism förekommer både positiva och negativa samband mellan tillväxt och motståndskraft

Den mest grundläggande motsättningen mellan egenskaper gäller tillväxt och frosthärdighet. Det är t ex känt från proveniensforskningen att sydförflyttade tallpopulationer överlever bättre men växer sämre.⁶ Det gäller i princip också för enskilda träd och beror främst på minskad risk för väderskador när tillväxten slutar tidigare på hösten. Låg härdighet och väderskador ökar också risken för angrepp av skadesvampar, till exempel *Gremmeniella* (tallens knopp- och grentorka). När förädlarna väljer träd med god härdighet ökar därför resistensen mot *Gremmeniella*. Men det finns också en komponent i resistensen som är oberoende av tillväxten. Uppföljningar i fältförsöken har visat på mindre skador på förädlade träd, både av den vanligare varianten av

⁵ Coley, P.D., Bryant, J.P. & Chapin, F.S., III. 1985. Resource availability and plant antiherbivore defence. *Science* 230, 895–899.

⁶ Eiche, V. 1966. Cold damage and plant mortality in experimental plantations with Scots pine in northern Sweden. *Studia Forestalia Suecica* 36, 219 s.

Gremmeniella, så kallade *small tree type*, och den mindre vanliga, så kallade *large tree type*.⁷

Data från genetiska försök för *large tree type* fanns inte förrän de stora angreppen uppträdde i början av 2000-talet. Det är ett exempel på att fältprovningens övervakningssystem utnyttjades.

Kravet på en bra synkronisering mellan trädens tillväxtperiod och växtplatsens vegetationsperiod är bakgrunden till proveniensforskningen och anledningen till att det finns olika fröplantager för olika klimat.^{8, 9, 10}

Skötsel av förädlade träd på beståndsnivå

Att satsa på förädlade träd och sköta dessa bestånd är som att byta till skog på bättre bonitet. Skogen växer fortare, gallringarna skall göras tidigare och omloppstiden blir kortare. Standardmodellen för skogsskötsel inklusive naturhänsyn i skogar med förädlade träd är alltså samma som för vanlig skog på en något högre bonitet. Men förädlade träd med speciella egenskaper öppnar för nya skogsskötselmodeller jämfört med om oförädlade träd används.

Förädlade plantor ger jämnare föryngring

Oftast ser förädlade plantor ut som vanliga plantor. Plantskolorna anpassar såddtidpunkt och skötsel så att plantorna skall få en avpassad storlek till de kruksystem som används. Odlingsystem, krukstorlek, avstånd mellan plantorna och odlingstid avgör därför i högre grad plantornas utseende än deras genetiska konstitution.

Frö från fröplantager är oftast större och mer utvecklat än beståndsrö. Det gör att plantpartierna normalt blir jämnare, men ökar också plantornas tillväxt den första sommaren. Särskilt granplantor från fröplantager kan växa länge på hösten. Det kan leda till höstfrostsador på plantorna, varför det är vanligt med långnattsbehandling i plantskolan för att påskynda knoppsättning och invintring.¹¹

Både den högre tillväxten och motståndskraften mot skador hos förädlade plantor ökar överlevnaden. Det skulle kunna utnyttjas genom att plantera färre plantor och ändå få lika tät skog som med oförädlade plantor. Ofta är dock antalet huvudstammar av barrträd i svenska ungsogar så lågt att många anser det som en fördel att de förädlade plantorna ökar tätheten. Men i princip skulle man alltså kunna sänka föryngringskostnaden något genom att plantera färre förädlade plantor med högre överlevnadsförmåga och ändå nå samma täthet som med oförädlade plantor.

⁷ Sonesson, J., m fl. 2007. Genetic variation in responses of *Pinus sylvestris* trees to natural infection by *Gremmeniella abietina*. *Scand. J. For. Res.* 22, 290–298.

⁸ Persson, B. 1994. Effects of climate and provenance transfer on survival, production and stem quality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in northern Sweden. SLU, inst. för skogsproduktion, *Rapport 37*, 43 s.

⁹ Persson, A. & Persson, B. 1992. Survival, growth and quality of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) provenances at the three Swedish sites of the IUFRO 1964/68 provenance experiment. SLU, inst. för skogsproduktion, *Rapport 29*, 67 s.

¹⁰ Rosvall, O., Andersson, B. & Ericsson, T. 1998. Beslutsunderlag för val av skogsodlingsmaterial i norra Sverige med trädslagsvisa guider. Skogforsk, *Redogörelse 1*, 1998, 66 s.

¹¹ Se *Skogsskötselserien* nr 2, Produktion av frö och plantor. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

Tidigare gallring med förädlade träd

Med en snabb etablering av förädlade plantor med hög tillväxt blir konkurrensförhållandena mer gynnsamma jämfört med självföryngrade barr- och lövplantor. Mest påtagligt är det här förädlad contortatall och hybridlärk som redan i oförädlad form är betydligt mer konkurrenskraftig mot lövföryngring än tall och den vanligtvis mer långsamstartande granen. En kombination av stora gransticklingar och högsta förädlingsgrad ger dock en mycket snabb tillväxt för granarna i ungskogen.

Förädlade plantor hävdar sig alltså bättre mot konkurrerande träd än oförädlade. För plantor från de flesta nuvarande fröplantagerna av tall och gran är effekterna emellertid inte så stora att de påtagligt minskar röjningsbehovet. Och möjligheten att skapa blandbestånd med lövträd är oförändrade. Generellt är det lönsammare att röja en skog med hög täthet och tillväxt, precis på samma sätt som att det är lönsammare med investeringar på en högre än en lägre bonitet med dagens skogsskötselsystem.

Gallring kan utföras på många olika sätt beroende på målsättningen med skogsbruket. Men i standardfallet bestäms tidpunkten för gallringarna av skogens täthet. Vid ett givet stamantal gallras bestånd på olika boniteter ungefär vid samma utvecklingsstadium. Detta läge bestäms av övre höjdens utveckling. Gallringen sätts in senare, dvs vid högre övre höjd, om stamantalet är lågt. Vid ett högt stamantal sätts gallringen in tidigare och därmed vid en lägre övre höjd.¹²

Oberoende av stamantal förkortas tiden till gallring på en bättre bonitet eller om man använder förädlade träd. Jämfört vid samma stamantal blir gallringsuttaget både vad gäller medelstammens storlek och totaluttaget ungefär lika i oförädlad och förädlad skog oavsett förädlingsgrad och därmed blir alltså gallringsnettot oförändrat.

Tidigare föryngringsavverkning

Det är inga skillnader mellan att föryngringsavverka en förädlad eller oförädlad skog. Om målet med skogsskötseln är högsta lönsamhet och virkespriserna är stabila bestäms tidpunkten för föryngringsavverkning till det läge då beståndets tillväxt inte längre kan förränta markens och beståndets värde.¹³

Den högre tillväxten i förädlad skog gör att virkesförrådet och det kapitalvärde som det representerar byggs upp snabbare och att slutavverknings-tidpunkten nås tidigare. Det här resonemanget förutsätter att förädlade och oförädlade träd har samma kvalitet och betalas med samma pris.

Skogssådd

Plantagefrö är överlägset beståndsfrö vid skogssådd. En anledning är att plantagefrön är stora och fullmatade med en fröviktt ungefär 50 % högre än ett normalt beståndsfrö. Försök med skogssådd av tall visar att plantagefröplantor efter två år är ca 25 % högre än plantor av beståndsfrö och har drygt dubbla barrbiomassan.^{14,15}

¹² Se *Skogsskötselserien* nr 7, Gallring. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

¹³ Se *Skogsskötselserien* nr 18, Skogsskötselns ekonomi, s 31. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

¹⁴ Wennström, U. 2001. Direct seeding of *Pinus sylvestris* (L.) in boreal forest using orchard or stand seed. SLU, Acta Universitatis agriculturae Sueciae, *Silvestria* 204.

¹⁵ Wennström, U. 2002. Som du sår får du skörda. Skogssådd med inblandning av plantagefrö ger bättre återväxt. Skogforsk, *Resultat* 20, 2002, 4 s.

Skogssåddförsök med plantage- och beståndsfrö av contortatall och gran visar på liknande vinster med plantagefrö. Den högre frövikten hos plantagefrö förklarar ungefär hälften av den tidiga tillväxtökningen hos tall vid skogssådd även om plantagefrön vid samma frövikt ger högre plantor än vad beståndsfrö ger. Den vinst som är kopplad till god frökvalitet hos plantagefrö vid skogssådd är en ”engångsvinst” och motsvarar ca ½ års försprång jämfört med plantor uppkomna ur beståndsfrö.

Den genetiska vinsten av att använda plantagefrö kan förväntas vara lika stor som vid plantering och ger en tillväxtökning som varar hela omloppstiden.

Överlevnaden vid skogssådd är oftast starkt förknippad med plantstorlek. Eftersom plantor uppkomna från plantagefrö är större har de därför generellt sett högre överlevnad än plantor från beståndsfrö, vanligen 5–15 % högre. Differensen är oftast störst på lokaler där avgångsorsaken är uppfrysning, vilket är en av de vanligaste avgångsorsakerna vid skogssådd.

Tillgången på plantagefrö är begränsad och priset på plantagefrö är avsevärt högre än för beståndsfrö. Ett tilltalande alternativ är att blanda plantage- och beståndsfrö vid sådden. Då kan tillgängligt plantagefrö spridas över en större areal och kostnaden per hektar blir lägre än vid sådd med rent plantagefrö. I ett såddförsök med blandsådd av plantage- och beståndsfrö gjordes en simulerad röjning efter 5 år där högsta plantan i varje såddfläck lämnades. Andelen plantagefröplantor i beståndet ökade från 50 % vid anläggningen till 80 % efter röjning.

Fröträd i förädlad skog

Naturlig föryngring med fröträd kan tillämpas i förädlad skog på samma sätt som i oförädlad. Det avgörande är att släktskapet mellan fröträden är så lågt att det inte uppkommer inavel hos de självföryngrade plantorna. Inavel leder till nedsatt vitalitet och tillväxt.^{16, 17} Det kommer att finnas ett visst släktskap mellan träden i en förädlad skog som kommer från fröplantageplantor. Men släktskapet mellan fröträd i förädlad skog är oftast lägre än släktskapet mellan fröträd i en naturligt föryngrad skog. Det beror på att träden i ett naturföryngrad bestånd är närmare släkt med varandra än föräldrträden i fröplantager, speciellt de träd som står nära varandra.

Vid klonskogsbruk med få kloner kommer fröträden att vara genetiskt identiska i samma omfattning som klonernas andel av beståndet. Korsning mellan träd som tillhör samma klon är jämförbart med självpollinering. Självpollinering ger upphov till den högsta graden av inavel. Det vanliga är då att det inte ens blir några frön.

Om det finns minst 5–10 kloner i blandning i en klonskog fungerar en fröträdsställning också bra för självföryngring. Rent teoretiskt kommer då 80–90 % av pollenet som pollinerar en viss fröträdsklon från de andra obesläktade fröträdsklonerna. De 10–20 % av pollenet som kommer från den egna klonen resulterar huvudsakligen i motsvarande mängd mindre frö. Av den lilla andel av självbefruktningen som resulterar i levande plantor konkurreras de flesta successivt ut. Produktionsförlusten blir därför liten i jämförelse med

¹⁶ Falconer, D.S. & Mackay, T.F.C. 1996. *Introduction to quantitative genetics*, 4th Edition. Longman. London and New York. 464 s.

¹⁷ Eriksson, G., Ekberg, I. & Clapham, D. 2006. *An introduction to Forest Genetics*. SLU, inst. för växtbiologi och genetik. 185 s.

produktionsvinsten av att fröträden är förädlade.¹⁸ I praktiken tillkommer inflytandet av det allmänna pollenmolnet som står för i storleksordningen hälften av alla pollineringar och av insådd från omgivande bestånd. Därför fungerar det att självföryngra även om det bara skulle finnas en enda klon i beståndet och alla fröträd därmed är genetiskt identiska. Men i ytterligare nästa generation skulle släktskapet öka.

Bland det sämsta tänkbara är att ställa fröträd i en skog med träd från en enda kontrollerad korsning. Där är alla träd och därmed de utvalda fröträden helsyskon. Den realiserade inavelsnedsättningen blir därmed stor. Det skulle i princip bli resultatet av att ställa fröträd i självföryngringen av en skog med bara två kloner och ingen inkorsning av utifrån kommande pollen.

Natur- och miljöhänsyn

Från natur- eller miljösynpunkt skiljer sig inte en kulturskog med förädlade träd på något påtagligt sätt från en kulturskog med oförädlade träd. Naturvärden skapas framförallt genom skogsskötseln, i synnerhet via hänsyn vid slutavverkning men även genom trädslagsval vid plantering och röjning. Kvarlämnande av evighetsträd, högstubbar, död ved, lövträd samt den nya skogens trädslagssammansättning, täthet och luckighet (gläntor) kan regleras på samma sätt i en förädlad som i en oförädlad skog.¹⁹

Den ökade tillväxten genom förädlade träd kan användas för att behålla avverkningsnivån oförändrad på en fastighet eller i ett landskap om virkesmarknaden är mättad. Då behövs det mindre areal produktionskog och utrymmet ökar för en mer naturvårdsinriktad skötsel på övrig areal. Men utnyttjas förädlade träd för att öka den totala virkesproduktionen i landskapet kan möjligheten till kortare omloppstider förändra natur- och miljövärdena.

Kortare omloppstid leder långsiktigt till en större årlig avverkningsareal. Visserligen blir träden i den mogna skogen lika stora men de är yngre och varje utvecklingsstadium går fortare, även hyggesfasen. Ökad tillväxt och ökade virkesuttag innebär i princip ökad markförsurning. Modellstudier av ökad tillväxt under lång tid i hela landskap visar på ökad kolinlagring, minskad mängd grov död ved men ingen tydlig effekt på avrinningsvattnets kväveinnehåll.²⁰

Även om förädlade träd eller bestånds direkta effekt på andra organismer i ekosystemet inte studerats i någon större omfattning så bedöms det inte föreligga några märkbara effekter på biologisk mångfald med dagens skogsodlingsmaterial.²¹ Inte heller vid ett tänkt klonskogsbruk med klonblandningar är det trädens genetik utan sammanhanget med intensivt skogsbruk som är negativt för den biologiska mångfalden på beståndsnivå och om det får en så

¹⁸ Sonesson, J., m fl. 2001. Ecological evaluation of clonal forestry with cutting-propagated Norway spruce. Skogforsk, *Redogörelse* 1, 2001, 59 s.

¹⁹ Se *Skogsskötselserien* nr 14, Naturhänsyn. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

²⁰ Weslien, J., m fl. 2009. Effects of increased forest productivity and warmer climates on carbon sequestration, run-off water quality and accumulation of dead wood in a boreal landscape: A modeling study. *Scand. J. For. Res.* 24, 333–347.

²¹ Rytter, L., m fl. 2009. Ökad produktion i Svenska kyrkans skogar med hänsyn till miljö och sociala värden. Skogforsk, *Arbetsrapport* 684, 94 s.

stor omfattning att det skulle dominera i landskapet.^{22, 23}

Om den ökade tillväxten skulle bero på att förädlade träd kan bygga upp en större barmassa per hektar, som i exemplet med den snabbväxande contortatallen jämfört med vanlig tall, skulle förädlade skogar vara mörkare och därmed påverka utrymmet för tillväxt hos andra *autotrofa* organismer.²⁴ Men ökad tillväxt kan uppkomma på olika sätt. Träden kan som contortatall eller gran absorbera en större andel av inkommande solenergi men de kan också omvandla solenergi effektivare, fördela mer av *assimilatet* på stamtillväxt eller förlora mindre tillväxt genom avgång och skador. Själva tillväxten kan pågå under längre tid under vegetationsperioden eller ske snabbare under en kortare tid.

Skogsträdsförädlarna arbetar med hypotesen att under många generationer av förädling så bidrar alla dessa faktorer till ökad tillväxt och att inflytandet från faktorerna varierar från träd till träd. Det är i linje med det faktum att nästan alla gener på ett eller annat sätt påverkar tillväxtförmågan, inte några få tillväxtgener.²⁵

Skogsskötselstrategier med förädlade träd

I princip går skogsskötsel vid trakthyggesbruk ut på att anpassa skogens täthet till dess tilltagande höjd. Allteftersom träden blir längre och större glesas skogen ut. Under ett trädets utveckling innebär det praktiskt att man omskolar plantor i plantskolan och enkelställer, röjer och gallrar i skogen.

Att utveckla skogsskötselstrategier är ett kompromissande mellan att få hög tillväxt genom många men slanka träd i tät skog och att producera värdefulla stora träd i glesare skog. När väl målsättningen är fastlagd är det beståndets höjd och stamantal som bestämmer när åtgärden skall göras. Även om många skogsägare inte har en strikt ekonomisk målsättning med sitt skogsbruk är det bra att göra ekonomiska analyser för att förstå konsekvenserna av olika handlingsalternativ.

Vanliga skötselprogram och deras lönsamhet

Exempel för T24 och G24

I figur SF2 samt tabell SF1 redovisas stående virkesförråd över tiden i ett tallbestånd och ett granbestånd som anlagts med förädlade plantor som växer 15 % bättre i jämförelse med oförädlade. Kostnader för föryngring och avverkning samt en genomsnittlig virkesprislista för senare år under mellansvenska förhållanden har använts för att beräkna kostnader och intäkter samt att optimera omloppstiden vid ett reallräntekrav på 2,5 %. I kostnaden för föryngring ingår markberedning, plantor, plantering, hjälplantering,

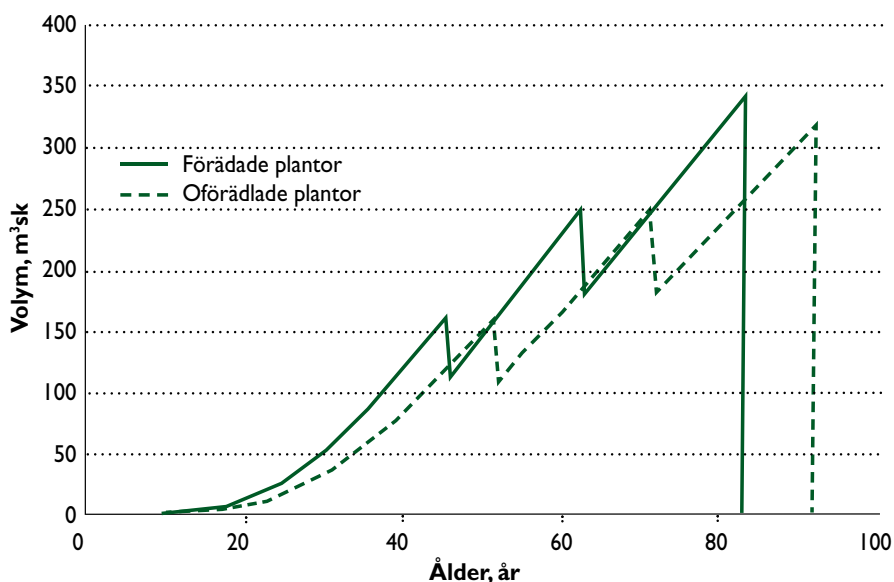
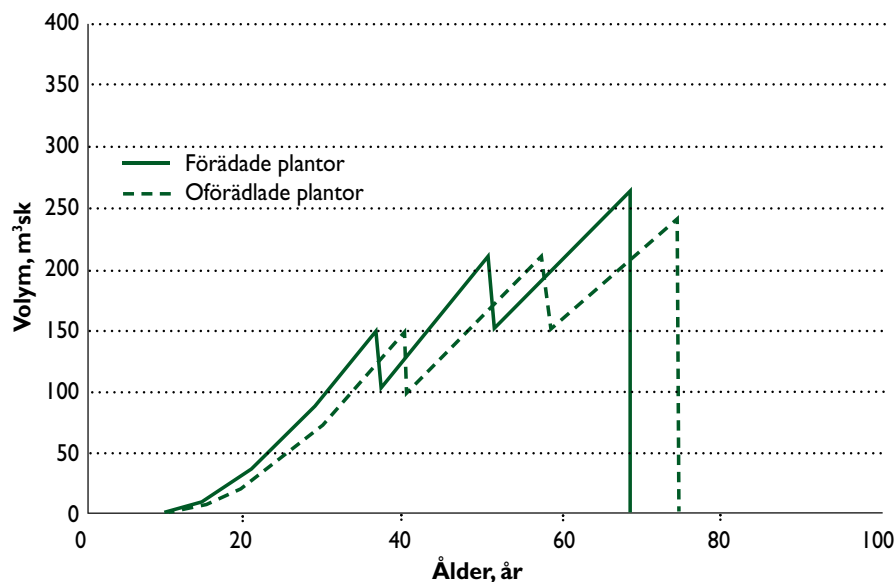
²² Sonesson, J., m fl. 2001. Ecological evaluation of clonal forestry with cutting-propagated Norway spruce. Skogforsk, *Redogörelse* 1, 2001, 59 s.

²³ Larsson, S., Lundmark, T. & Ståhl, G. 2009. *Möjligheter till intensivodling av skog*. Slutrapport regeringsuppdrag JO 2008/1885. SLU, 136 s.

²⁴ Andersson, B., Engelmark, O., Rosvall, O. & Sjöberg, K. 1999. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbruk med contortatall i Sverige. Skogforsk, *Redogörelse* 1, 1999.

²⁵ Eriksson, G., Ekberg, I. & Clapham, D. 2006. *An introduction to Forest Genetics*. SLU, inst. för växtbiologi och genetik. 185 s.

röjning samt kostnader för olika åtgärdskontroller. Alla kostnader för för-
 yngning är lika utom den extra kostnaden 0,04 kr per planta för plantagefrö.
 Kostnaderna uppkommer efter kortare tid i det förädlade beståndet efter-
 som utvecklingen går snabbare. De modeller som använts för att beräkna
 skogsproduktion och ekonomiskt utfall är beskrivna av Rosvall & Eriksson
 (2002).²⁶



Figur SF2 Virkesförrådets utveckling för oförädlade och förädlade plan-
 tor i ett tallbestånd (övre) och ett granbestånd (undre) med ståndortsindex
 H100 24 m. Ekonomiskt optimal omloppstid vid räntan 2,5 %.

²⁶ Rosvall, O. & Eriksson, B. 2002. Nya fröplantager i Sverige – underlag för strategiska beslut. Skogforsk, Arbetsrapport 499, 27 s.

Tabell SF1 Virkesproduktion och ekonomi under mellansvenska förhållanden för oförädlad och förädlad tall och granskog på ståndortsindex H100 24 m. Antalet planterade plantor per ha är 2 300 och röjning sker vid 3 m övre höjd. Antalet träd per ha vid första gallring är 1 800 och bestånden gallras två gånger enligt figur SF2. Källa: Rosvall m fl (2007).²⁷

	Tall		Gran	
	0	+15	0	+15
Förädlingseffekt på tillväxten, %	0	+15	0	+15
Ekonomiskt optimal omloppstid, år	74	68	92	83
Medeltillväxt, m ³ sk/ha och år	5,0	5,8	5,2	6,0
Totalproduktion, m ³ sk/ha	361	383	457	480
Föryngringskostnader, kr/ha (nuvärde)	- 8 064	- 8 198	- 8 983	- 9 170
Markvärde, kr/ha	8 686	13 655	5 779	10 640

I dessa båda fall, där förädlade plantor ökar medeltillväxten med 15 %, förkortas omloppstiden med 6 år för tall och 9 år för gran. Därmed blir den totala tillväxtökningen under den kortare omloppstiden bara 5–6 % högre. Markvärdet ökar med 57 % för tall och 84 % för gran. Det är alltså lönsamare att avverka bestånden tidigare än att bygga upp stora virkesförråd under en längre omloppstid.

Effekt av 10–30 % tillväxtökning på olika bonitet

I figur SF3 och SF4 redovisas hur ekonomiskt optimal omloppstid, medeltillväxt, och markvärde påverkas av att använda förädlade plantor av tall och gran på olika ståndortsindex.

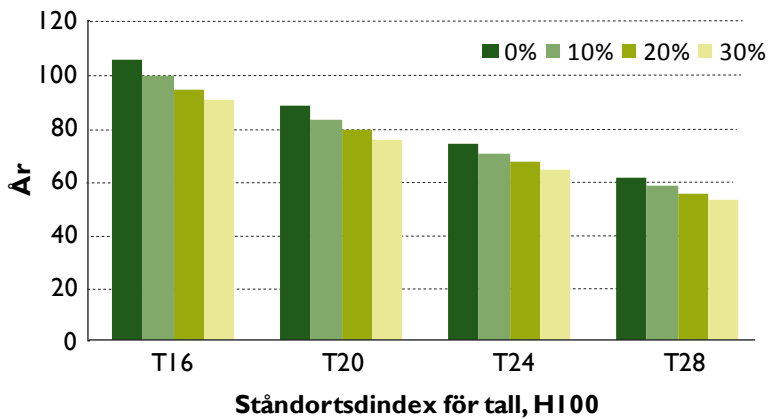
Skötselprogram för jämförelsen av effekt av tillväxtökningen

Skötselprogrammen är anpassade så att det investeras mer på höga än på låga ståndortsindex. För tall varierar plantantalet mellan 1600 och 2500 plantor per ha. Förädlade plantor kostar 0,04 kr extra. Röjning sker vid 3 m övre höjd till en kostnad som varierar mellan 1550 och 2450 kr per ha. I övrigt är de olika föryngringskostnaderna lika per planta eller per ha. Stammantalet vid första gallring varierar mellan 1200 och 2000 per ha. T16 gallras en gång, övriga två gånger. Första gallring sker som låggallring med 35 % (T16 40 %) vid 12–13 m övre höjd och andra gallring också som låggallring med 25–30 % vid 16–18 m övre höjd.

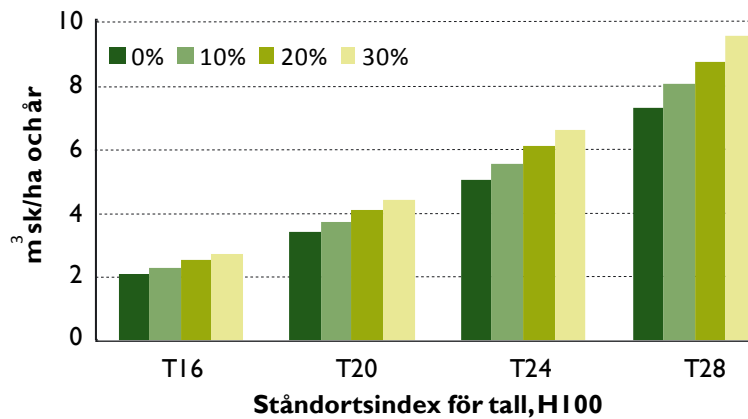
För gran varierar plantantalet beroende på ståndortsindex mellan 2300 och 2500 plantor per ha. Röjning sker vid 3 m övre höjd och kostnaden varierar mellan 2350 och 3550 kr per ha. Plantkostnaden varierar mellan 1,10 kr och 1,70 kr med tillägg av 0,04 kr för förädlade plantor och planteringskostnaden varierar mellan 1,00 och 1,20 kr per planta. I övrigt är de olika föryngringskostnaderna per planta eller per ha lika. Stamantalet vid första gallring varierar mellan 1800 och 2200 per ha. Första gallring sker med 35 % som låggallring vid 14 m övre höjd och andra gallring också som låggallring med 30 % vid 18–19 m övre höjd. Priser och kostnader avser mellansvenska förhållanden.

²⁷ Rosvall, O., m fl. 2007. Tillväxthöjande skogsskötselåtgärder i privatskogsbruket – underlag för lönsamhetsberäkningar. Skogforsk, *Arbetsrapport* 640, 59 s.

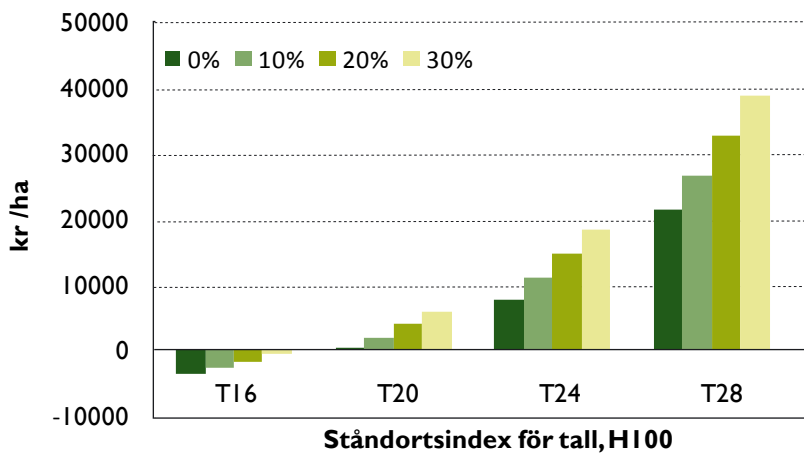
Ekonomisk omloppstid



Tillväxt

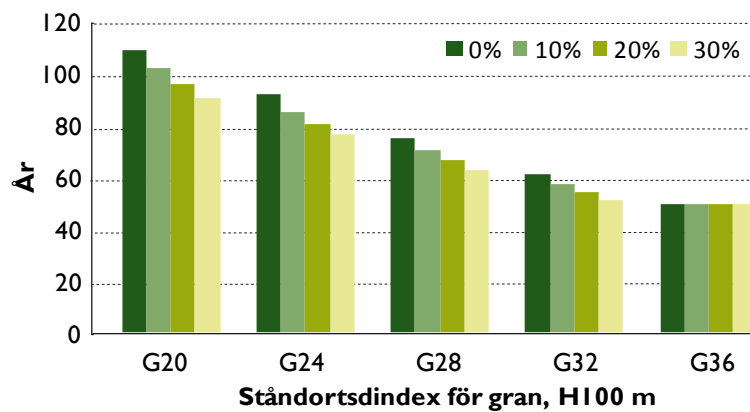


Markvärde

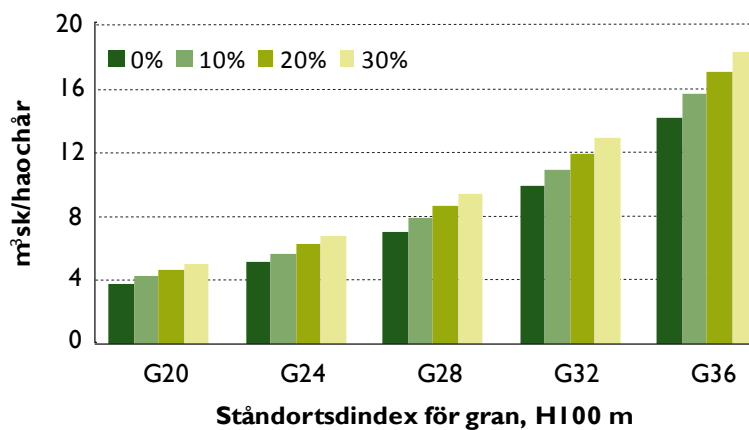


Figur SF3 Effekt av 10, 20 och 30 % ökad tillväxt av förädlad tall på ekonomiskt optimal omloppstid, medeltillväxt och markvärde på olika ståndortsindex vid 2,5 % ränta.

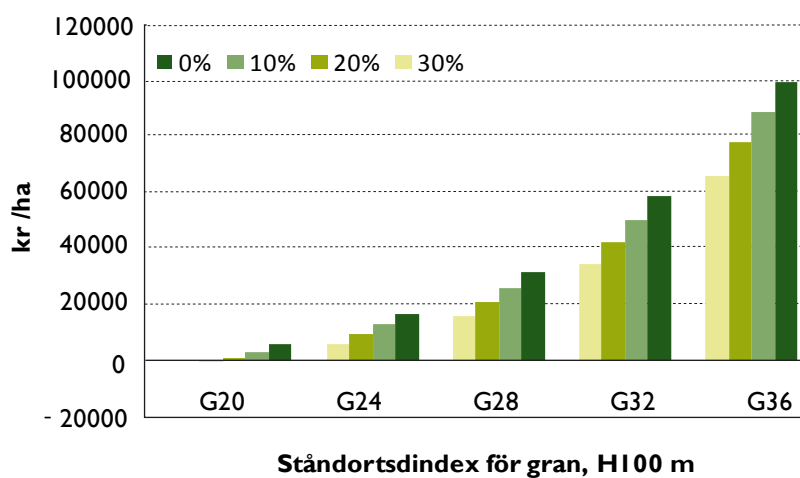
Ekonomisk omloppstid



Tillväxt



Markvärde

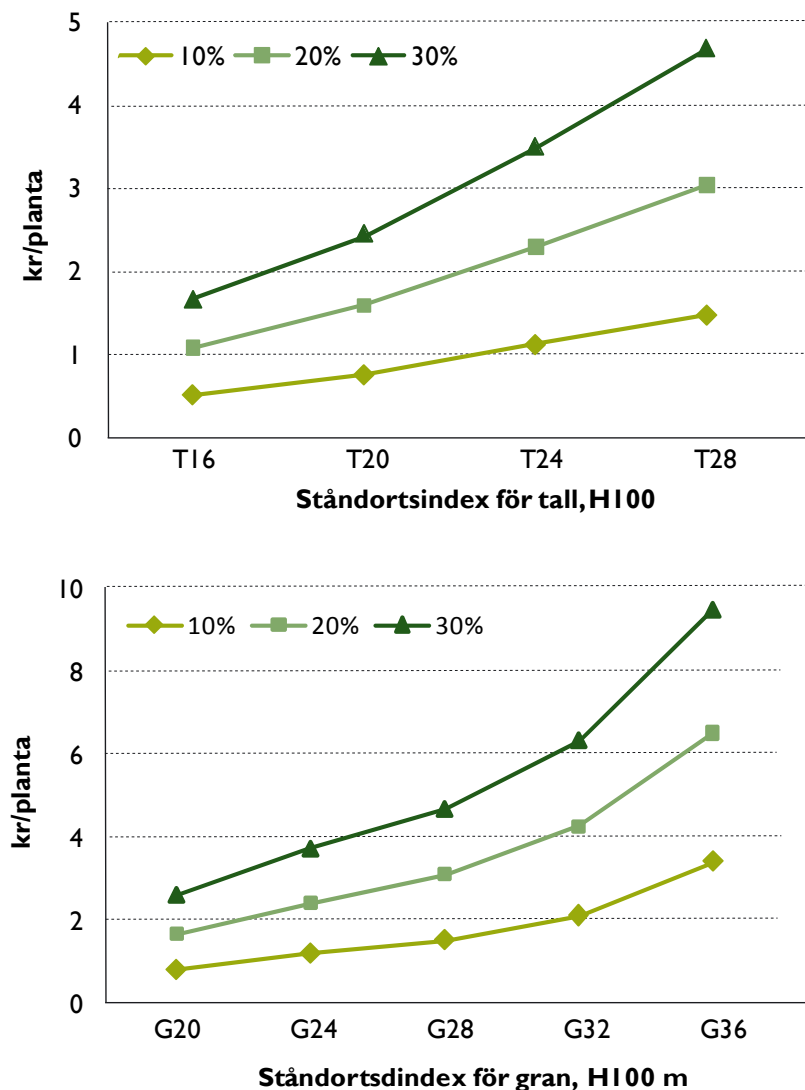


Figur SF4 Effekt av 10, 20 och 30 % ökad tillväxt av förädlad gran på ekonomiskt optimal omloppstid, medeltillväxt och markvärde på olika ståndortsindex vid 2,5 % ränta.

När tillväxten ökar med 10, 20 och 30 % förkortas den ekonomiskt optimala omloppstiden med ca 5, 10 och 15 % för tall och med 7, 12 och 17 % för gran. Trots lågt plantantal och en gallring på ståndortsindex T16 är det inte lönsamt att plantera vid det aktuella räntekravet 2,5 %. Men med förädlade plantor som växer 30 % bättre blir plantering nästan lönsamt. På T20 nås visserligen förräntningskravet med oförädlade plantor, men marginalerna är små jämfört med om man väljer förädlade plantor. För gran på G20 räcker det med att de förädlade plantorna växer 10 % bättre för att plantering skall bli lönsamt.

Skulle vi sänka räntekravet eller anta att framtida priser blir högre än dagens blir plantering med oförädlade plantor lönsamt även på låga ståndortsindex. Kalkylen visar vikten av att hålla i utgifterna på de svagaste markerna och att förädlade plantor bidrar till ökade intäkter och ökad lönsamhet. Ju högre ståndortsindex desto mer ökar lönsamheten av att välja förädlade plantor.

I figur SF5 redovisas det ökade nettonuvärdet av att plantera förädlade plantor utslaget per planta. Det motsvarar det pris man skulle kunna betala extra för förädlade plantor utan att den ursprungliga lönsamheten förändras vid 2,5 % ränta (Observera att plantering på T16 är olönsamt även vid 30 % förädlingseffekt och på G20 vid 10 % förädlingseffekt enligt ovan.) Vid det aktuella räntekravet finns det t ex utrymme att betala 3 kr extra för gransticklingar till SI G28 om de växer 20 % bättre.



Figur SF5 Ökat nettonuvärde per planterad planta av tall och gran med olika förädlingsvinst på olika ståndortsindex vid 2,5 % ränta. Det motsvarar det pris man skulle kunna betala extra med bibehållen lönsamhet vid detta räntekrav.

Varianter av vanliga skogsskötselprogram

Enligt standardmodellen för skötsel på en högre bonitet planteras något fler plantor och skogen hålls något tätare (även om detta är omdiskuterat). De anförda skälen är att en bättre mark har biologisk bärkraft för en tätare skog och ekonomisk bärkraft för en större investering i både anläggning och skötsel. För det enskilda trädet motverkar den tätare skogen den snabbare ungdomstillväxten, vilket ger tätare årsringar och klenare kvist, varvid virkets kvalitet förbättras.

Skötselprogram med högre tillväxt och oförändrad årsringsbredd

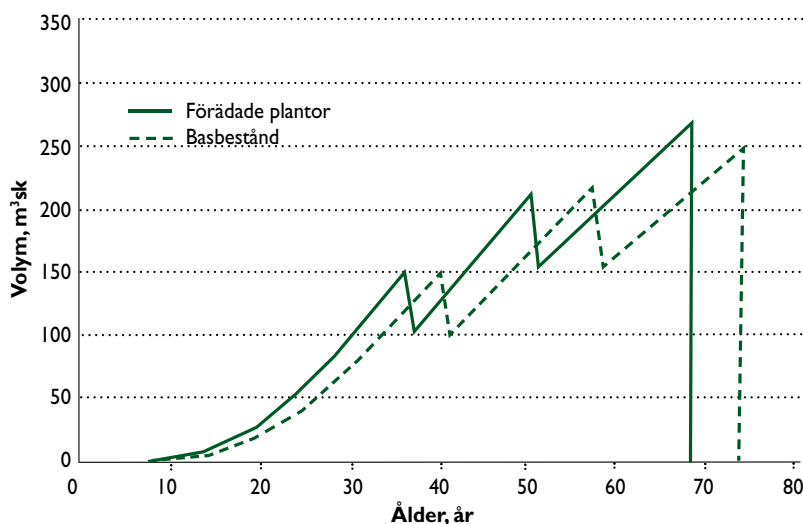
Om man startar den förädlade skogen med samma stamantal som den oförädlade och vill nå samma antal träd i slutavverkning innebär normal skötsel att gallringar och slutavverkningar kommer tidigare. Träden utvecklas snabb-

bare och man kan plantera nästa skogsgeneration tidigare. I det fallet får träden grövre årsringar (samma diameter på kortare tid).

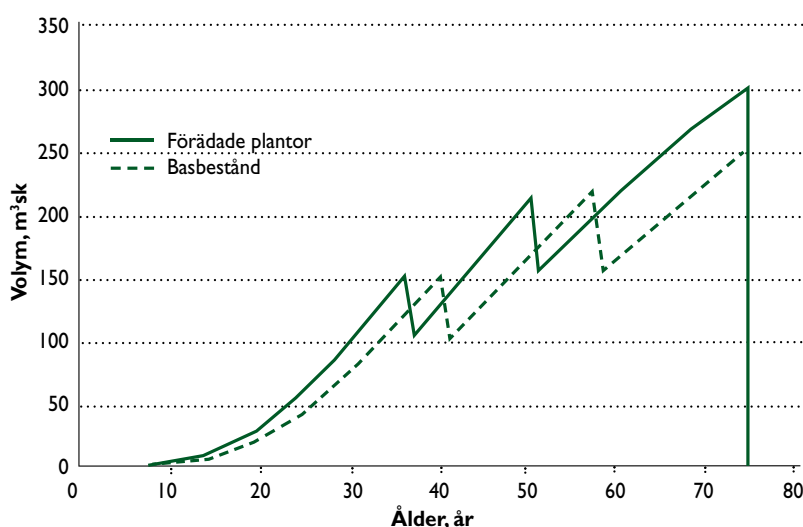
Ett alternativ skulle kunna vara att ta ut mertillväxten i den förädlade skogen i form av fler träd av samma storlek och ålder och därmed samma årsringsbredd som i den oförädlade skogen. Då får man plantera tätare och hålla skogen tätare under hela omloppstiden. Inom ramen för dessa alternativ kan skötseln varieras på olika sätt beroende på skogsägarens målsättning och förväntningar.

I figur SF6 och tabell SF2 visas en enkel ekonomisk analys av exempel på fyra skogsskötselstrategier för den förädlade skogen. Två av dem illustreras i figur SF6:

1. Oförädlad skog planteras med 2300 plantor/ha som regleras till att ha 1800 stammar/ha vid första gallring. Ekonomiskt optimal omloppstid blir 74 år (figur SF6).
2. Förädlad skog med samma plant- och stamantal (2300 resp. 1800) och gallringsinriktning. Ekonomiskt optimal omloppstid (68 år).
3. Förädlad skog med samma plant- och stamantal (2300 resp. 1800) och gallringsinriktning under oförändrad omloppstid (74 år).
4. Förädlad skog med högre plant- och stamantal (2600 plantor/ha och 2100 stammar/ha vid första gallring) under oförändrad omloppstid (74 år), dvs samma årsringsbredd som i oförädlad skog (figur SF6).



Figur SF6



Volymutveckling för oförädlad och förädlad tallskog som växer 15 % bättre. Det övre diagrammet visar ett bestånd som anläggs och sköts med samma stamantal och slutavverkas vid respektive bestånds ekonomiskt optimala omloppstid. I nedre diagrammet anläggs och sköts det förädlade beståndet med fler stammar och avverkas vid det oförädlade beståndets optimala omloppstid. Tillväxtökningen tas här ut i form av fler träd med samma ålder, diameter och därmed årsringsbredd som i det oförädlade beståndet.

Högst markvärde vid aktuell ränta (2,5 %) uppnås med förädlade plantor och en ekonomiskt optimal omloppstid på 68 år (tabell SF2). Genom att plantera 300 fler plantor per hektar och öka antalet träd vid första gallring från 1800 till 2200 per hektar kan man efter 74 år avverka 86 fler träd per hektar med samma ålder och medeldiameter (24,1 cm), dvs samma årsringsbredd som i den oförädlade skogen. För att det skall löna sig måste virkespriset för de mer långsamväxande träden öka så mycket att den dyrare beståndsanläggningen kompenseras så att markvärdet inte sänks. (I kalkylexemplet användes samma prislista oavsett årsringsbredd.) Men markvärdet höjs ungefär lika mycket av alla förädlingsalternativen, vilket också visar att man kan ha samma omloppstid i den förädlade skogen som i den oförädlade utan påtagligt sänkt lönsamhet.

Tabell SF2 Beståndsutveckling och ekonomi för oförädlad och förädlad skog som växer 15 % bättre vid olika slutavverkningsålder och beståndstäthet. Jämförelse görs med förädlad skog vid ekonomiskt optimal omloppstid och om omloppstiden förlängs till samma som för oförädlad skog. I jämförelsen ingår också förädlad skog som har tätare utgångsförband för att man skall kunna skörda flera (86 per hektar) lika grova och lika gamla träd som då har samma årsringsbredd. Kalkylränta 2,5 %.

Antal stammar per ha							
	Omloppstid (år)	Plantor	Vid första gallring	I slutavverkning	Medeldiameter (Dg, cm)	Medeltillväxt (m ³ sk/ha och år)	Markvärde (kr/ha)
Oförädlad	74 ¹⁾	2 300	1 800	574	24,1	5,0	8 851
Förädlad	68 ¹⁾	2 300	1 800	577	24,6	5,8	13 877
Förädlad med förlängd omloppstid	74	2 300	1 800	567	25,7	5,8	13 578
Förädlad med förlängd omloppstid och tätare	74	2 600	2 100	660	24,1	6,0 ²⁾	12101

1) Ekonomiskt optimal omloppstid.

2) Ökad tillväxt på grund av både förädling och större utgångstäthet.

Skötselprogram med extra hårdig tall och gran

På bonitet T20 är skogsvårdslagens täthetskrav vid senaste tidpunkt för hjälplantering i allmänhet 1 700 huvudplantor per ha och i svårföryngrad skog 1 300 huvudplantor per ha.²⁸ Fortsatta avgångar kommer att reducera antalet huvudstammar ytterligare. Skogsvårdslagens föryngringskrav är ett minimikrav. I det följande exemplet antas därför att det är önskvärt att uppnå 1 300 träd per ha vid första gallring och att beståndet då gallras så att det blir ca 600 träd per ha i slutavverkning.

På en skogsodlingslokal i Norrlands inland är överlevnaden när ungsbogen är slut oftast bara 50 % med lokal proveniens. Den kan till exempel förbättras till 70 % genom att sydförflytta beståndsplantor två breddgrader eller genom att välja lämpliga fröplantageplantor. För att uppnå 1 300 träd per ha krävs då 2 600 plantor per ha av lokalt beståndsfrö eller 1 860 plantor per ha av nordligt beståndsfrö eller hårdighetsförädlade plantor. Det ger en besparing på 740 plantor per ha.

I tabell SF3 finns ett kalkylexempel. Med plantor som ökar överlevnaden från 50 % till 70 % sparas 1 400 kr per ha (nuvärde) i föryngringskostnad för att nå 1 300 stammar per ha före gallring och markvärdet ökar med 1 600 kr per ha. Det är lika stor markvärdesförbättring som att välja förädlade plantor som växer 10 % bättre med oförändrad överlevnadsförmåga. Väljer man förädlade plantor som både ökar överlevnaden och tillväxten sparas man 1 300 kr per ha i föryngringskostnad och vinner 3 300 kr per ha i markvärde.

²⁸ Skogsvårdslagstiftningen. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (länk: Lagen). Alternativt Skogsvårdslagen – Handbok. 2009. Skogsstyrelsens förlag.

Tabell SF3 Värdet av ökad överlevnadsförmåga från 50 till 70 % genom att 740 färre plantor per ha planteras för att nå 1 300 stammar per ha vid första gallring.

	2 600 plantor per ha		1 860 plantor per ha	
	50	50	70	70
Plantornas överlevnad, %	50	50	70	70
Plantornas tillväxtökning, %	0	10	0	10
Föryngringskostnad, kr (nuvärde)	-8 327	-8 498	-6 919	-7 059
Omloppstid, år	86	81	85	81
Medeltillväxt, m ³ sk/ha och år	3,2	3,5	3,2	3,5
Markvärde, kr/ha	121	1 742	1 724	3 407

Frosthärdig gran produceras i speciella fröplantager för användning på frostbenägna lokaler i södra och mellersta Sverige. Frosthärdig gran ger förutom en överlevnadsvinst också en tidsvinst genom att tillväxten inte hämmas på grund av frostsador på årsskotten. Varje års tidsvinst ger lika stor tillväxtökning som beståndets medeltillväxt. För ett granbestånd med SI G28 innebär 5 års tidsvinst totalt 36 m³sk per ha. Det är i storleksordning ungefär hälften av de 77 m³sk per ha som 15 % tillväxtökning genom förädling ger under en hel omloppstid.

Förädlade träd öppnar för nya skötselprogram

Smalkroniga träd

Det finns genetiskt smalkroniga träd som växer bra utan att breda ut sina kronor och få grova kvistar. De antas att dessa träd är mer effektiva att utnyttja marknäring och solljus samtidigt som de inte är så konkurrenskraftiga. Motsatsen är starkväxande vidkroniga träd som växer bra genom att breda ut sig och ta i anspråk en större mängd av marknäring och solljus. De är konkurrenskraftiga och får grova kvistar när de ges utrymme. Man talar på engelska om olika ideotyper: *crop ideotypes (beståndsideotyper)* respektive *competition ideotypes (konkurrensideotyper)*.²⁹ Det har gett upphov till idéer om nya skötselprogram. I Sverige experimenteras med detta.

Om man enbart planterar *crop ideotypes*, smalkroniga effektiva träd, skulle man kunna hålla en tätare skog och nå större produktion per hektar. Å andra sidan kanske en skog med bara konkurrensstarka träd ändå producerar mest per hektar. Vi vet inte vilka trädtyper som producerar bäst i det långa loppet.

Det är emellertid uppenbart i fältförsök som närmar sig gallringstidpunkt att man med glest planterade genetiskt smalkroniga träd snabbt kan få stora träd med oförändrad eller reducerad mängd kvist och därmed bibehållen god virkeskvalitet jämfört med träd med normal kronutveckling. Med till exempel 1000 träd per ha istället för 2000 blir givetvis totalproduktionen mindre under tiden fram till gallring. Men då glesas även en tätare skog ut. Kanske kan man helt undvika gallring och ha kvar alla 1000 ”effektiva” stammar per ha fram till slutavverkning och därmed kompensera för den tidiga till-

²⁹ Dickman, D.I. 1985. The Ideotype Concept Applied to Forest Trees. I: *Attributes of Trees as Crop Plants*. Cannell, M.G.R. & Jackson, J.E. (redaktörer), s 89–101.

växtförlusten. Normalt gallrar man ner till ca 650 träd per ha vid sista gallring.³⁰

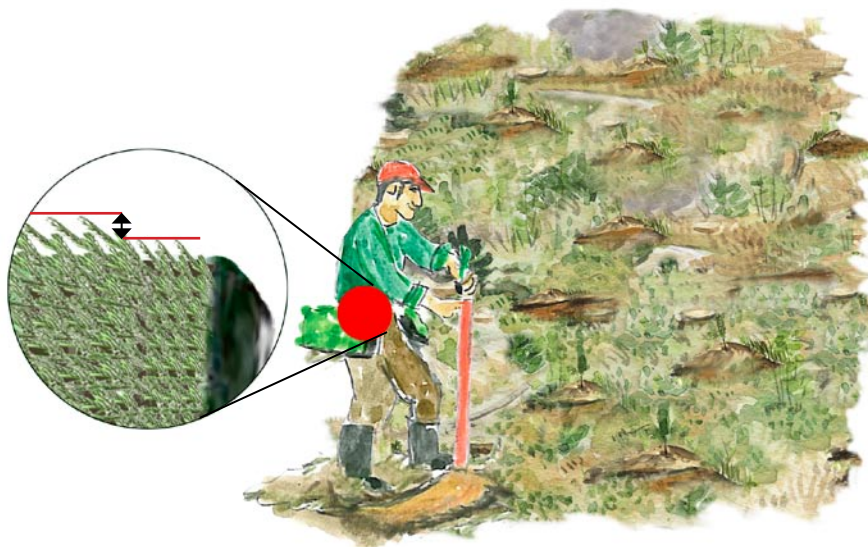
Även om totalproduktionen skulle bli lägre är skötselsystemet intressant genom den låga förnygrings- och skötselkostnaden, det bibehållna höga virkesvärdet och att skogen blir öppen och ljus. Kanske kan detta vara ett sätt att kombinera skogsbruk och annan markanvändning, till exempel rennäring.

”Varannan planta förädlad”

Det kommer alltid att vara brist på plantor med de allra bästa genetiska egenskaperna. När plantor med lika hög förädlingsnivå finns tillgängliga i stor mängd kommer det alltid att finnas något nytt och ännu bättre i begränsat antal. Den ständiga bristen på ”det bästa” bör i sig leda till högre pris för högförädlade träd. Om dessa träd massförökas med sticklingar eller i framtiden med somatisk embryogenes blir plantpriset uppskattningsvis minst det dubbla, på grund av den högre produktionskostnaden.

Det faktum att det bara är ett mindre antal träd som går fram till slutavverkning och att dessa producerar huvuddelen av virkesvolymen och värdet under en omloppstid, har gett upphov till idén att plantera ”varannan planta förädlad” (figur SF7). Övriga plantor är lämpligen de ”nästa bästa” som är tillgängliga. De kan till exempel vara plantagefröplantor planterade mellan gransticklingar eller beståndsfröplantor planterade mellan plantagefröplantor. Under vissa förhållanden kan man kanske förlita sig på naturlig förnygring av barr- och lövträd.

De högförädlade träden kommer att vara mer konkurrenskraftiga och dominera beståndet efter gallringar. De lågförädlade träden upprätthåller hög arealproduktion i beståndets tidiga fas och bidrar med sin konkurrens till de högförädlade trädens kvalitetsdaning.



Figur SF7 Vid stor skillnad i pris och tillväxt mellan plantor av olika förädlingsnivå kan ”varannan planta förädlad” vara en modell som sänker förnygringskostnaden jämfört med om endast högförädlade plantor användes, samtidigt som de flesta träd som går fram till slutavverkning är högförädlade. Illustration Bo Persson.

³⁰ Se *Skogsskötselserien* nr 7, Gallring. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

Varannan planta förädlad är ett oprövat system, men man har testat att i praktiken distribuera två plantsorter till varje förnygringsyta och till varje plantör och det har fungerat i stor skala.³¹ Modellberäkningar visar att slutavverkningsbeståndet med stor sannolikhet kommer att domineras av de förädlade träden.³² Vidare skulle det gå att förstärka de förädlade trädens konkurrensförmåga vid etablering genom att använda något större plantor.³³

Ökade avverkningsmöjligheter med förädlade träd på bestånds-, fastighets- och företagsnivå

Vid övergång från förnygring med oförädlade träd till förnygring med förädlade träd, liksom vid införande av alltmer högförädlade sorter, påverkas både nuvarande och framtida avverkningsmöjligheter. Tillväxtökningen i ett nyplanterat förädlat bestånd kan förstås inte skördas förrän i framtida gallringar och vid slutavverkning i beståndet självt. Däremot påverkas de omedelbara möjligheterna att avverka de bestånd som nu är mogna för förnygringsavverkning. Genom att på bred front införa förädlade plantor påverkas därför hela fastighetens nuvarande avverkningsmöjligheter. För ett skogsägande industriföretag påverkas hela virkesförsörjningen.

Framtida tillväxtökning ger avverkningsmöjligheter i nuvarande bestånd

Det finns många teorier och namn på strategier där *framtida tillväxtökningar kan avverkas redan nu*. I Nordamerika talas om *the allowable cut effect*³⁴, i Sverige talas om SCA-modellen.^{35,36} Detta tänkande bygger ofta på att man betraktar en fastighet som en enhet. Åtgärder i ett bestånd leder till möjligheter i ett annat. Ingen av dessa modeller är emellertid underbyggda med en invändningsfri ekonomisk teori. Tillämpning av *allowable cut* har till exempel politiska dimensioner.

Vanlig investeringsteori på beståndsnivå är emellertid invändningsfri och fullt tillräckligt för att beräkna både kort- och långsiktiga avverkningsmöjligheter.³⁷ Den ekonomiska mekanismen bakom möjligheten att omedelbart öka avverkningen i befintlig skog när man överväger att plantera förädlade plantor beror på att markvärdet höjs. Den nuvarande skogen skall då med sin tillväxt förränta sitt eget kapital plus det högre markvärdet, vilket den inte kan göra lika länge. Det blir således lönsamt att snabbare ersätta gammal skog med ny som växer bättre (se faktaruta).

³¹ Till exempel på dåvarande Korsnäs AB:s marker.

³² Bullock, B., Nyström, K. & Rosvall, O. 2010. Mixed stand establishment with genetically improved and unimproved plant material for Norway spruce. Simulations of future yields and impacts on forest management. *Working paper*, March, 2010. 7 s.

³³ Jäghagen, K. & Albrektson, A. 1996. Induced competition among Scots pine seedlings and its effect on future timber quality. *New Forests* 12, 163–174.

³⁴ Schweitzer, D.L., Sassaman, R.W., & Schallau, C.H. 1972. Allowable cut effect: some physical and economic implications. *J. For.* 70, 415–418.

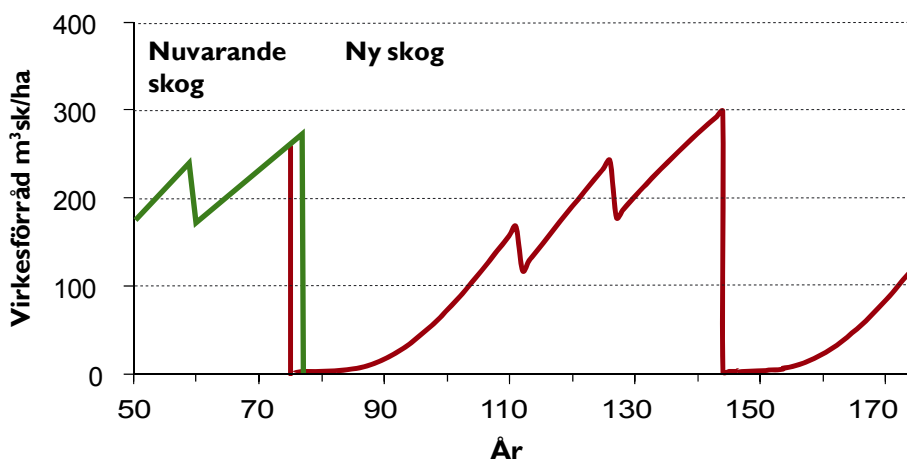
³⁵ Hagner, S. 1969. Styrmedel för val av ekonomiskt optimal insatsnivå i olika skogsvårdsarbeten samt några nya hjälpmedel för beslutsfattandet. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 8.

³⁶ Hagner, S. 2005. *Skog i förändring – vägen mot ett rationellt och hållbart skogsbruk i Norrland 1940–1990*. Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien, Stockholm, 398 s.

³⁷ Se *Skogsskötselserien* nr 18, Skogsskötselns ekonomi. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

Tidigare avverkning av befintlig skog när markvärdet höjs med förädlade plantor – analys på beståndsnivå.

Möjligheten att plantera förädlade plantor som förbättrar lönsamheten leder till att markvärdet ökar. Det gäller all mark där man kan plantera förädlade plantor oavsett om den är kal eller bevuxen med skog. Ett befintligt skogsbestånd skall då med sin tillväxt förränta sitt eget kapital plus det högre markvärdet. Med ett höjt markvärde kan nuvarande tillväxt inte förränta det större kapitalet lika länge som tidigare. Den nuvarande skogen blir därmed avverkningsmogen något tidigare (figur SF8). Det blir således lönsamt att snabbare ersätta gammal skog med ny vars tillväxt är högre. Förädlade plantor ökar alltså inte bara den långsiktiga virkesförsörjningen, utan även den kortsiktiga.



Figur SF8 Möjligheten att plantera förädlade plantor höjer markvärdet i nuvarande skog (grön linje i diagrammet) så att tillväxten inte kan förränta det sammanlagda kapitalvärdet av stående virkesförråd och mark. Nuvarande skog blir avverkningsmogen några år tidigare och ersätts med ny skog (röd linje i diagrammet).

Det är inte alla tillväxthöjande åtgärder som medför en höjning av markvärdet. Om en tillväxthöjande åtgärd är dyr kan de högre investeringskostnaderna medföra att markvärdet blir oförändrat eller minskar trots ökade intäkter på grund av tillväxthöjningen. Att byta till förädlade plantor har emellertid en mycket stark höjande effekt på markvärdet eftersom det oftast nästan inte kostar något extra. I vissa fall sänks till och med kostnaden. Plantering med förädlade plantor innebär i detta sammanhang ett teknikgenombrott. Det kan även sägas vid införande vissa snabbväxande trädslag.

Markvärdet beräknas i dessa sammanhang som nuvärdet av alla framtida kostnader och intäkter i all oändlighet.³⁸ Det är det pris till vilket man kan köpa kal skogsmark och nå lönsamhet vid den alternativränta som uppställts. Alternativräntan är den högsta ränta man kan få genom att investera pengarna på annat sätt under samma tidsrymd och med samma risk.

³⁸ Se *Skogsskötselserien* nr 18, Skogsskötselns ekonomi. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

Beslut på beståndsnivå ger effekt på fastighets- och företagsnivå

En viktig förutsättning för omedelbart ökad avverkning är förstås att det finns skog som är mogen för förnygringsavverkning. Ett skogsföretag som startar med beskogning av till exempel kal åkermark måste vänta till första gallringen för att kunna avverka. Detsamma gäller om företaget bara äger unga skogar.

Möjligheten att öka den omedelbara avverkningen gäller alltså för varje enskilt bestånd som är moget för förnygringsavverkning men får effekt på hela skogsinnehavets avverkningsmöjligheter och därmed skogstillstånd. Ökad avverkning på kort sikt och kortare omloppstid på lång sikt påverkar åldersklassfördelning och årlig åtgärds mängd för hela skogsinnehavet (se faktaruta).

För en skogsägare, liten som stor, med tillgång på avverkningsmogen skog genererar varje nytt utbud av mer högförädlade plantor en omedelbar markvärdesökning och möjlighet till ökad avverkning i äldre skog. Om hela denna möjlighet avverkas på en gång av många skogsägare och i stor skala, kan det påverka marknaden så att priserna sänks. För ett skogsföretag som försörjer egen industri kan den långsiktiga virkesförsörjningen bli alltför ojämn. Olika typer av skogsägare och skogsföretag, stora eller små, kan vilja ha jämna inkomster eller jämn virkesförsörjning. Särskilt för större företag är det vanligt att hushålla med avverkningarna så att de blir jämnt stigande. Vid den ekonomiska analysen behövs olika restriktioner för att i praktiken uppnå företagets alla mål (se faktaruta).

Förändrad skogshushållning med förädlade plantor – analys på fastighetsnivå^{39, 40}

Genom att inkludera tillväxt- och markvärdesökningen av att använda förädlade plantor i en ekonomiskt baserad avverkningsberäkning kan man optimera skogshushållningen.

Ett alternativ är att maximera nuvärdet, dvs nettot av alla framtida utgifter och inkomster diskonterade till beslutstillfället. Det leder dock till ojämn avverkning och ojämn förrädsutveckling som visas för avverkningsstrategi (2. *Högsta nuvärde* i figur SF9). I den första perioden avverkas alla nu plötsligt ”överåriga” nuvarande bestånd direkt eftersom de inte förräntar det höjda markvärdet. Det medför lägre uttag till dess den nya skogen ”vuxit i kapp” den gamla. Då avverkas både de sista nuvarande bestånden och de första nya förädlade bestånden som ju har kortare omloppstid. Den förhöjda avverkningen sänker inledningsvis virkesförrådet men det återställs snabbt av den nya snabbväxande skogen.

³⁹ Rosvall, O., Peichen, G. & Simonsen, R. 2006. Framtida tillväxtökning kan tas ut redan i dagens skog. Skogforsk *Resultat* 4, 2006, 4 s.

⁴⁰ Rosvall, O., Peichen, G. & Simonsen, R. 2006. Den gamla skogen står i vägen för den nya. I: Utvecklingskonferens 2006. Skogforsk, *Redogörelse* 2, 2006, s 94–104.

Om man istället väntar med uttaget (visas ej i figur SF9) och avverkar nuvarande skog vid ursprunglig omloppstids slut uppkommer en enda hög avverkningstopp när den nya skogen vuxit i kapp den gamla och båda avverkas samtidigt. Väntar man med uttaget byggs virkesförrådet upp, men långsammare eftersom ny skog införs i lägre takt. Båda alternativen, att maximera nuvärdet eller vänta med uttaget, leder alltså till stora svängningar i avverkning och stående virkesförråd. Det kan vara oacceptabelt för en stor skogsägare som påverkar marknaden eller ett skogsindustriföretag som eftersträvar jämn virkesförsörjning.

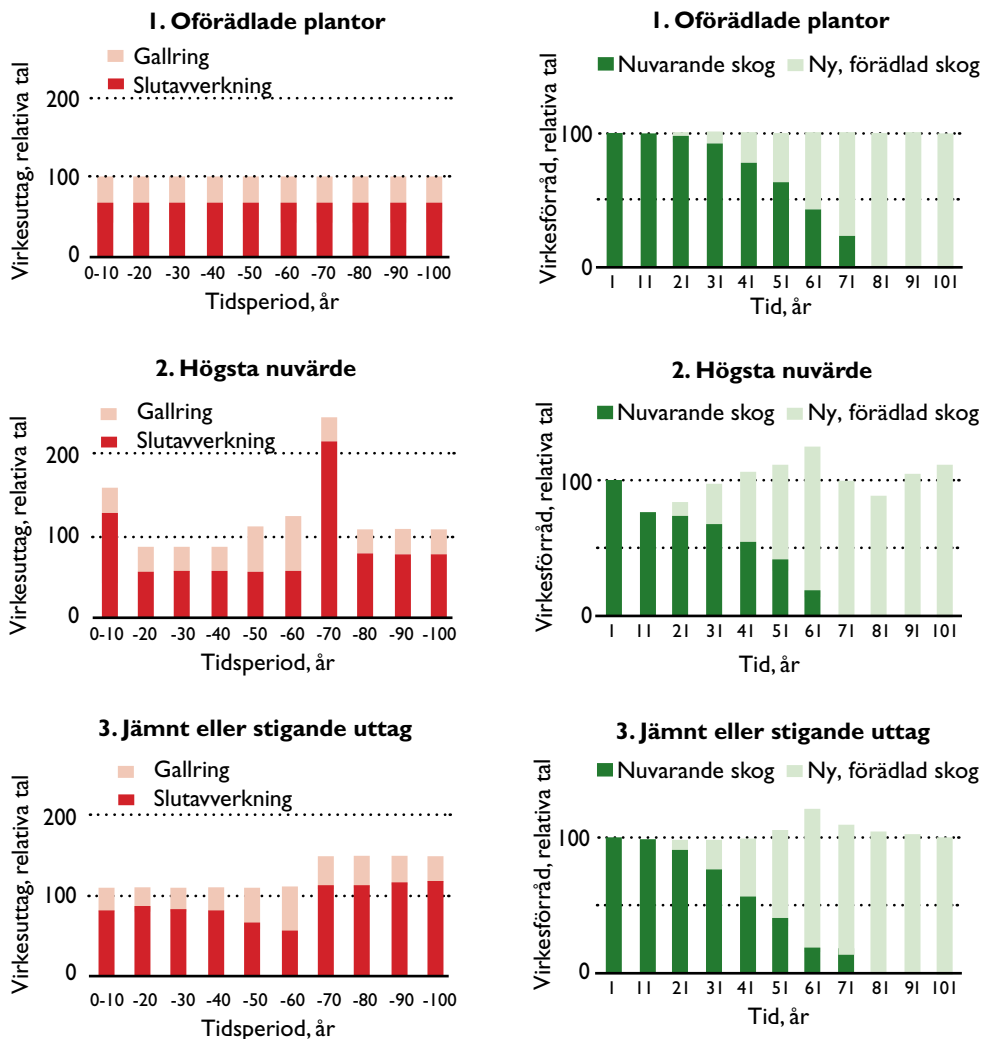
Genom att formulera andra mål och införa olika restriktioner kan man med ekonomisk optimering utveckla andra bättre passande avverkningsstrategier. En skogsägare vill kanske ha jämn inkomst eller jämnt virkesflöde till industrin. Ett vanligt önskemål är att avverkningarna aldrig skall minska. Det visas för strategi 3. *Jämnt eller stigande virkesuttag*. Med det kravet visar modellberäkningar att ca ¼ av den förväntade tillväxtökningen kan avverkas på kort sikt. På lång sikt blir avverkningsökningen lika stor som tillväxtökningen.

Denna ekonomiska princip tillämpas i *Indelningspaketet* som dominerat skoglig strategisk planering och avverkningsberäkning på företagsnivå under senare årtionden.⁴¹ Men Indelningspaketet har inte inkorporerat förädlingseffekterna, även om det är fullt möjligt. Den möjligheten kommer att finnas i Heurekas planeringsverktyg *Beståndsvis* och *Planvis*.^{42, 43}

⁴¹ Jonsson, B. Jacobsson, J., & Kallur, H. 1993. The Forest Management Planning Package. Theory and application. *Studia Forestalia Suecica* 189, 26 s.

⁴² Anon. 2010. *The Heureka Research Programme. Final report for phase 2, October 2005 – September 2009*. SLU, inst. för skoglig resurshushållning. Under färdigställande.

⁴³ Wikström, P., Klintebäck, F. & Westling, J. 2008. BeståndsVis, en simulator för analys av skogsskötsel. SLU, *Fakta Skog* 4, 2008. Även tillgänglig på: <http://heureka.slu.se/wiki>.



Figur SF9 Virkesuttag och virkesförråd (i relativa tal) under en 100-årsperiod när man planterar förädlade plantor på en fastighet med jämn åldersklassfördelning (normalskog). Med 1. *Oförädlade plantor* är avverkning och virkesförrådet lika över tiden. Om man som med strategi 2. *Högsta nuvärde* bara ser till lönsamheten uppkommer två avverkningstoppar och en ojämn förrådsutveckling. I den första perioden avverkas fler av de äldre oförädlade bestånden för att de inte förräntar det höjda markvärdet. I period sju avverkas både de sista nuvarande bestånden och de första nya förädlade bestånden som har kortare omloppstid. Med strategi 3. *Jämnt eller stigande uttag* hushållar man med avverkningen så att den aldrig sjunker. Det ger också ett stabilare virkesförråd. Källa Rosvall m fl (2006).^{44, 45}

⁴⁴ Rosvall, O., Peichen, G. & Simonsen, R. 2006. Den gamla skogen står i vägen för den nya. I: Utvecklingskonferens 2006. Skogforsk, *Redogörelse 2*, 2006, s 94–104.

⁴⁵ Rosvall, O., Peichen, G. & Simonsen, R. 2006. Framtida tillväxtökning kan tas ut redan i dagens skog. Skogforsk, *Resultat 4*, 2006, 4 s.

Ökade avverkningsmöjligheter genom förädlade skogar på nationell nivå

Det finns en rad tillväxthöjande åtgärder vars tillämpning skulle få stort genomslag för hela Sveriges virkesutbud.⁴⁶ Alla metoder ställer krav på markägarens engagemang. De krävs kunskap hos markägaren för att fatta beslut. Planer skall upprättas, investeringsmedel ska anskaffas och någon skall utföra arbetet. Skogsgödsling och dikesrensning är exempel på kunskapsintensiva åtgärder. Plantering med snabbväxande trädslag där kunskap och erfarenheter i allmänhet är mindre och osäkerhetsfaktorerna fler kräver många överväganden och riskanalyser. Intensivare förnygring kan medföra olönsamt höga investeringar.

Att plantera förädlade plantor från fröplantager däremot kräver nästan ingen extra kunskap, besluten är enkla och det kostar oftast inget extra. Investeringarna i fröplantager är gjord av skogsföretag och plantskolor och plantskolornas huvudsortiment är just förädlade plantor. Att investera i högförädlad material i form av sticklingar eller andra dyra plantor kräver däremot ett ekonomiskt övervägande och tillgång till investeringsmedel. Därför kan genomslaget inte förväntas bli lika stort som för billiga fröplantageplantor även om det skulle vara lönsamt med de dyrare plantorna.

Förädlade plantor har störst total potential

Det har under åren gjorts ett antal analyser för att uppskatta hur mycket olika tillväxthöjande åtgärder kan öka tillväxt och avverkning på nationell nivå. Den senaste är Skogliga konsekvensanalyser 2008, SKA-VB -08⁴⁷, framtagna i ett samarbete mellan Skogsstyrelsen och Sveriges lantbruksuniversitet. Där uppskattas tillväxtökningen av att plantera förädlade plantor från och med 2010 till 6–7,5 % i slutet av den 100-åriga analysperioden. Effekten baseras på att man använder plantagefröplantor med verklighetens restriktion att det kommer att vara brist på förädlad granfrö i 30 år. Det kan jämföras med effekten av att införa behovsanpassad gödsling (BAG) i granungskog på 5 % av skogsmarksarealen (1,1 milj. ha) under en 50-årsperiod. Skötselprogrammet omfattar gödsling vartannat år från julgransstorlek till dess granungskogen är fullsluten, då gödslingsintervallet utökas till 5 år. Det skulle öka tillväxten med 5–6 % i mitten av analysperioden. Men att gödsla så intensivt under så lång tid kräver stora utgifter och lönsamheten med ett sådant program är osäker.

I regeringens utredning *Möjligheter till intensivodling av skog (MINT)* valde man ut 15 % av Sveriges skogsmarksareal med låga naturvärden för att analysera effekten av intensivskogsbruk i stor skala. Då kan behovsanpassad gödsling och nya trädslag ge större tillväxtökning än förädlade plantor.⁴⁸ Men BAG och nya trädslag kan inte, som förädlade plantor, tillämpas på huvuddelen av skogsmarken, både av ekonomiska och miljömässiga skäl.

⁴⁶ Se *Skogsskötselserien* nr 16, Produktionshöjande åtgärder. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

⁴⁷ Skogliga konsekvensanalyser 2008 (SKA-VB -08). 2008. Skogsstyrelsen. *Rapport* 25, 2008. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (Länk: Bokhandeln / Rapporter.)

⁴⁸ Larsson, S., Lundmark, T. & Ståhl, G. 2009. *Möjligheter till intensivodling av skog*. Slutrapport regeringsuppdrag JO 2008/1885. SLU, 136 s.

Därför medför förädlade plantor den största potentialen att öka hela landets skogstillväxt.

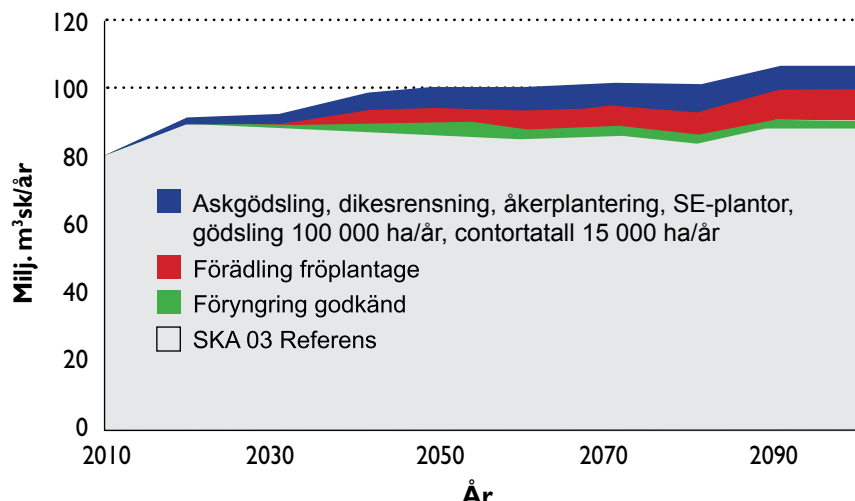
I en något äldre analys som avsåg all produktionsskog inkluderades den potentiella tillväxtökningen hos ett större antal åtgärder än i SKA-VB-08.⁴⁹ Där beräknades även effekten av att använda förädlade plantor i en situation där det inte är brist på plantagefrö och för ett alternativ där man kan eliminera den väntetid som uppkommer till dess en nyplanterad fröplantage ger frö. Det sistnämnda skulle kunna ske med metoder för vegetativ förökning, metoder som för närvarande bara finns i liten skala men som kan komma att tillämpas i framtiden. Att plantera förädlade fröplantageplantor på 75 % av skogsmarksarealen skulle ge en tillväxtökning på lång sikt med 9 %. Om väntetiden till fröproduktion i fröplantagerna kunde elimineras skulle ökningen bli 14 %.

I analysen bedömdes att om alla kända åtgärder (inklusive plantering på åkermark och nydikning) vidtogs så skulle Sveriges skogstillväxt kunna höjas med ca 50 %. Den totala tillväxtökningen om alla metoder sattes in i ”rimlig praktisk omfattning” bedömdes vara 20 % varav 17 % från de fyra traditionella metoderna: bättre föryngring, plantering med fröplantageplantor, contortatall inom tillåten areal samt tillämpning av traditionell gödsling på 100 000 ha per år. De skulle bidra med 4 %, 9 %, 2 % och 2 % vardera (figur SF10). Till detta kom sammanlagt 3 % tillväxtökning från en rad intensiva metoder om ca 0,6 % vardera, varav en var den marginella effekten av klonskogsbruk med SE-plantor⁵⁰ om de används på 5 % av som för närvarande är den tillåtna arealen.

Förädlade plantor intar alltså en särställning för att öka Sveriges tillväxt och avverkning genom att stå för mer än hälften av den rimliga tillväxtökningen. I verkligheten kanske den möjligheten kommer att vara ännu mer dominerande.

⁴⁹ Rosvall, O. 2007. Produktionspotentialen är betydligt högre än dagens tillväxt. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademins Tidskrift* nr 4, 2007, s 13–30.

⁵⁰ SE = somatisk embryogenes. Se avsnittet *Hur sker massförökning?* Se även *Skogsskötselserien* nr 2, Produktion av frö och plantor. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotsel-serien.



Figur SF10 Tillväxtökning för hela Sverige under kommande 100-årsperiod om man skulle tillämpa ett antal produktionshöjande åtgärder i ”rimlig praktisk omfattning”. Denna omfattning är en bedömning gjord med hänsyn till ekonomi, naturhänsyn och nuvarande lagstiftning. Det är bara traditionell skogsgödsling, och i viss mån askgödsling av torvmark, som har effekt på kort sikt. Att som i detta exempel uppnå godkända föryngringar enligt skogsvårdslagens krav och plantera förädlade plantor har störst effekt. Källa: Rosvall (2002).⁵¹

Rotnettot efter avdrag för drivningskostnader för den totala årliga tillväxtökningen i Sverige av förädlade plantor (enligt figur SF10) beräknas till 1,2 miljarder kr per år under andra halvan av detta århundrade. Värdet gäller för antagandet att det genomsnittliga rotnettot för all avverkning är 166 kr per m³sk. Nuvärdet för all ökad avverkning under 100 år blir då 1,8 miljarder kronor vid 2 % ränta. Förädlingsvärdet i industrin är mer än 10 gånger större.

⁵¹ Rosvall, O. 2007. Produktionspotentialen är betydligt högre än dagens tillväxt. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademins Tidskrift* nr 4, 2007, s 13–30.

Egenskaper hos förädlade plantor

av Bengt Andersson

Förädlade skogsplantor har sitt ursprung i naturskogen. Eftersom skogsträdförädlingen pågått endast under ett fåtal trädgenerationer har förädlade plantor stora likheter med oförädlade naturplantor, till skillnad från t ex jordbruksväxter där den förädlade grödan skiljer sig betydligt från den vilda ursprungsväxten. Trots att skogsträdförädlingen i detta sammanhang är ung och till stora delar oexploaterad har ett antal ekonomiskt viktiga egenskaper kunnat förbättras.

Tall och gran

Första plantageomgången – 10 % högre tillväxt

Den egentliga förädlingen av skogsträd startade i Sverige på 1950-talet även om genetikens och framförallt härstamningens (*proveniensen*) betydelse för skogsplantornas och beståndens utveckling hade diskuterats redan ett halvsekel tidigare.⁵² Enskilda trädindivider med fördelaktiga egenskaper valdes då ut i naturskogarna, så kallade *plusträd*. Störst vikt lades vid hög tillväxt, stam- och grenkvalitet samt sundhet. Plusträden ympades till fröplantager för att producera frö för plantframställning.

Med början på 1960-talet korsades plusträden och genetiska fältförsök anlades (*avkommeförsök*). Resultat från prövningen av denna första omgång plusträd och fröplantager visade att *arvbarheten* för urvalsegenskaperna var relativt låg och varierande.⁵³

Plantor från plusträd hade ca 10 % högre tillväxt än oförädlade beståndsplantor, beräknat uthålligt över en hel omloppstid.⁵⁴ Skillnader i stam- och grenkvalitet var mindre men en viss förbättring hade skett, speciellt i relation till den ökade tillväxten. För överlevnad var skillnaderna obetydliga, vilket är naturligt eftersom det inte går att selektera plusträd på härdighet – alla träd som levde vid urvalstillfället hade ju till synes samma härdighet.

I tabell SF4 ges exempel på resultat från utvärdering av genetiska tester. Tillväxtskillnaden som mäts upp i yngre försök, i detta fall vid 27 års ålder, översätts sedan till skillnad över hela omloppstiden med hjälp av tillväxt- och produktionsfunktioner. Nio procents skillnad i trädhöjd vid 27 års ålder, motsvarar ett högre ståndortsindex (T23 istället för T22 i vårt exempel), som i sin tur betyder 10 % högre totalproduktion över hela omloppstiden.

Funktionsberäkningarna jämförs också med data från de äldre försök som finns tillgängliga, vilket verifierar att förädlade träd utvecklas som om de växte på en bördigare mark (högre ståndortsindex/bonitet) i jämförelse med oförädlade.

⁵² Langlet, O. 1971. Two hundred years of gene ecology. *Taxon* 20, 653–722.

⁵³ Till exempel: Andersson, B. & Bäckström, I. 1993. *Plusträdskloner i tallfröplantage 10 Östteg. Avelsvärden nr 14*. Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut. Uppsala. 12 s.

⁵⁴ Andersson, B., m fl. 2007. Characteristics and development of improved *Pinus sylvestris* in northern Sweden. *Can. J. For. Res.* 37, 84–92.

Tabell SF4 Resultat från 36 tallavkommeförsök i norra Sverige, där plusträdsavkommor jämförs med beståndsavkommor vid 27 års ålder. Källa: Andersson m fl (2007).⁵⁵

Egenskap	Beståndsavkommor	Plusträdsavkommor
Överlevnad (%)	50	49
Träd med sprötkvist (%)	50	51
Träd med stambrott (%)	7	6
Trädhöjd (%)	100	109
Träddiameter (1,3 m) (%)	100	105
Trädvolym (%)	100	119

Den första omgångens fröplantager är fortfarande i drift och en betydande del av de förädlade plantor som finns att tillgå i dag kommer från dessa plantager. På grund av inkorsning av oförädlad pollen från omkringliggande skogar reduceras vinsterna något jämfört med det som mätts upp i fältförsöken, till exempel blir tillväxtförbättringen i praktiken 8 % istället för 10 %.

Andra plantageomgången – 10–20 % högre tillväxt

För att vidga den genetiska basen och lägga grunden till långsiktiga förädlingsprogram för tall och gran genomfördes ett kompletterande plusträdsurval under 1980-talet. Plusträden valdes i medelålders bestånd, oftast anlagda genom plantering eller sådd. Tanken var att urvalet skulle bli effektivare, dels på grund av likåldrigheten och dels för att stam- och grenkvalitet lättare kan bedömas på yngre träd. Träden ympades till fröplantager (andra plantageomgången) och genetiska tester anlades direkt med fritt avblommat frö (okänd fader). Fröplantagerna ”spetsades” ofta med de bästa plusträden från första plantageomgången eftersom de kunde väljas ut baserat på genetiska tester.

Tillväxtökningen för plantor från dessa plantager varierar mellan 10–20 % jämfört med oförädlade plantor. Kvalitet och överlevnad är också högre. Vinsterna varierar bland annat beroende på hur stor andel testade plusträd som ingår i plantagen. I praktiken reduceras vinsterna något på grund av inkorsande pollen i plantagerna.

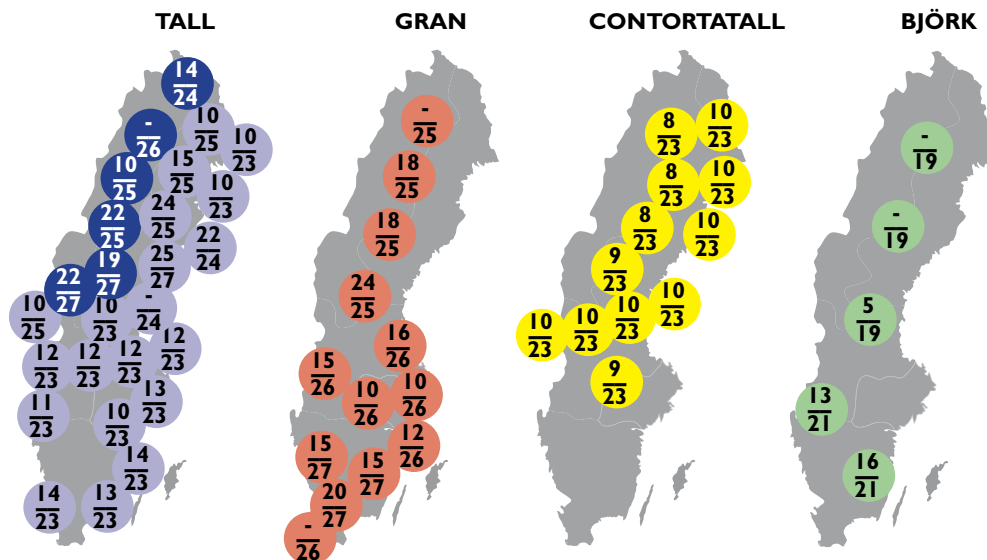
Tredje plantageomgången – 25 % högre tillväxt, bättre kvalitet och överlevnad

Den genetiska fälttestningen av första och andra omgången plusträd och plantager är nu till största delen genomförd. De bästa träden (ca 15 % av de testade) korsas nu för fortsatt förädling och de allra bästa träden (ca 3 % av de testade) ympas eller sticklingförökas till en tredje plantageomgång, så kallade TreO-plantager. Vid urvalet av bra träd tas hänsyn till följande egenskaper:

⁵⁵ Andersson, B., m fl. 2007. Characteristics and development of improved *Pinus sylvestris* in northern Sweden. *Can. J. For. Res.* 37, 84–92.

- Vitalitet
 - biotisk resistens, dvs mot svamp, insekter, etc.
 - abiotisk resistens, dvs mot klimat, etc.
- Biomassaproduktion per hektar
 - tillväxtkapacitet
 - tillväxteffektivitet
 - stamvolym
 - veddensitet
- Anpassningsbarhet eller robusthet
 - stabil prestation över varierande miljö
- Stam- och vedkvalitet
 - förbättrad biomassaallokering (mer stam), stamraket
 - kontrollerade gren-, fiber-, m fl egenskaper

Egenskaperna vägs ihop med ekonomiska vikter till ett långsiktigt värdeindex. Indexet varierar något från trädslag till trädslag och över geografiska områden, till exempel ges tillväxt och kvalitet hög vikt för gran i sydliga och milda lägen medan klimathärdighet är extra viktigt för tall i nordliga och kärva lägen. Till viss del kompenseras avgångar genom att omkringstående träd utnyttjar uppkomna luckor, men höga avgångar kan ge påtagliga produktionsförluster.⁵⁶



Figur SF11 Vinst i arealproduktion för nuvarande 2:a omgången (över strecket) och framtidens 3:e omgången (under strecket) fröplantager. Blå cirklar indikerar ytterligare vinst för överlevnad med 5-8% vid 50% överlevnadsnivå. Efter Rosvall m fl (2001).

Jämfört med oförädlat material har plantor från TreO-plantagerna teoretiskt ca 25 % högre produktion, bättre resistens mot sjukdomar och ska-

⁵⁶ Berlin, M., m fl. 2009. Economic weight of tree survival relative to volume production in tree breeding: A case study with *Pinus sylvestris* in northern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 24, 288–297.

degörare, högre stam- och grenkvalitet och större robusthet mot variation i odlingsmiljön (figur SF12).⁵⁷ Tallplantageplantor för kärva områden har dessutom 5–12 % högre överlevnad och granplantageplantor för Syd- och Mellansverige har senare skottskjutning och skadas mindre av vår- och försommarfroster.

Sammantaget innebär ökad motståndskraft bättre överlevnad och att det blir mindre kvalitetsnedsättande skador, till exempel sprötkvistar och dubbeltoppar (figur SF12).



Figur SF12 Plantor från kontrollerad korsning mellan föräldräd i TreO-plantage (vänster) och från naturbestånd (höger). Foto Bengt Andersson.

De flesta TreO-plantager är unga eller under anläggning och producerar därför inte frö ännu. Där frö finns reduceras de genetiska vinsterna på grund av inkorsande pollen på samma sätt som för övriga plantageomgångar. I praktiken innebär det att TreO-plantor har ca 20 % högre produktion istället för 25 %. Det kan jämföras med en höjning av ståndortsindex från till exempel T/G24 till T/G26–28.

I webb-programmet *Plantval* på Skogforsk's hemsida⁵⁸ beräknas den realiserbara genetiska vinsten vid användning av plantageplantor på valfri föryngringslokal.

⁵⁷ Rosvall, O., m fl. 2001. Genetiska vinster i nuvarande och framtida fröplantager och klonblandningar. Skogforsk, *Redogörelse* 1, 2001, 41 s.

⁵⁸ Se: www.skogforsk.se (länk: KunskapDirekt / Verktyg / Plantval).

Hög robusthet och genetisk variation

Träd är generellt anpassade till varierande miljö på grund av de olika förhållanden som de möter under sin långa livslängd. Men de förädlade träden är utvalda efter prestation på *många* lokaler (kärva – milda, bördiga – magra, fuktiga – torra, etc) och bara de träd som är bra på alla lokaler går vidare i förädlingsprogrammen. De är mer generalister än specialister och har därför extra hög anpassning. Det ger en större robusthet mot varierande miljöförhållanden och även mot förändringar i klimatet. Förädlade träd har därmed både hög kapacitet (växer bra under gynnsamma förhållanden) och hög effektivitet (växer bra under begränsande förhållanden). Det skiljer dem från förädlade jordbruksgrödor och träd med korta omloppstider som till exempel eukalyptus, där det oftast behövs omfattande markbearbetning och närings-tillförsel för att fullt utnyttja förädlingsvinsten.

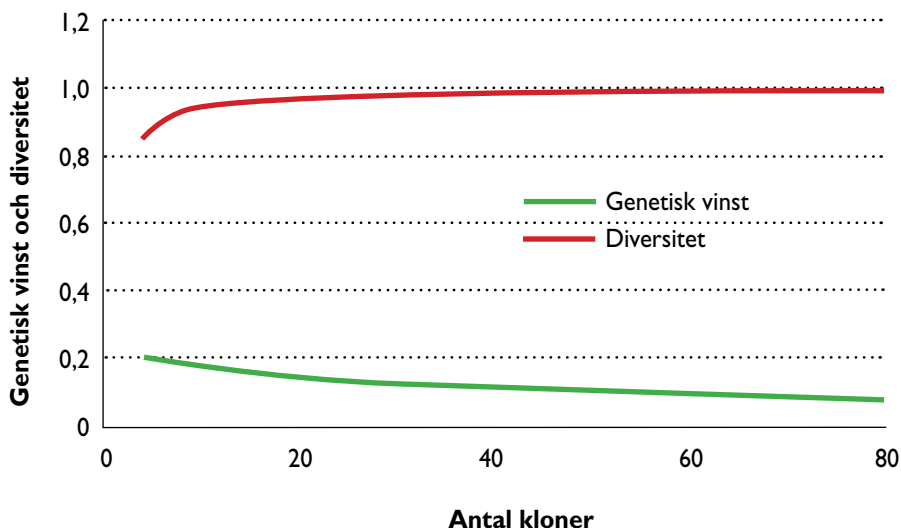
Förädlade plantor från fröplantager ger bestånd med minst lika stor *genetisk variation* som naturligt förnygrade bestånd.^{59, 60} Eftersom plantager består av plusträd med relativt stor geografisk spridning kan plantagefrö egentligen förväntas ha större variation än beståndsfrö. Dessutom är plantageplantorna mindre inavelsbelastade. I naturen hamnar en stor del av fröet i närheten av moderträdet och moderträdet pollineras i första hand av de närmaste träden. Även om fjärrpollen står för en del av pollineringen innebär detta att ett visst släktskap och inavel byggs upp i naturskogen efter ett antal generationer. I det förädlade materialet kan släktskap och inavel kontrolleras och hållas på en låg nivå.

I figur SF13 visas hur genetisk vinst och diversitet påverkas av antalet kloner i en plantage. Den genetiska vinsten är beräknad med genomsnittet för plusträd som nollnivå. För att jämföra med oförädlad beståndsmaterial ska därför vinsten ökas med 10 %. Beräkning av genetisk diversitet utgår från att alla föräldraträd är obesläktade. I ett naturligt förnygrat bestånd är gendiversiteten lägre än 1,0 (1,0 = träden helt obesläktade, 0,0 = träden tillhör en enda klon) och beror på hur mycket besläktade föräldraträden är. För svenska förhållanden ger en plantage med 16 obesläktade kloner en bra balans mellan vinst och diversitet.⁶¹

⁵⁹ Godt, M.J.W., m fl. 2001. Comparisons of genetic diversity in white spruce (*Picea glauca*) and jack pine (*Pinus banksiana*) seed orchards with natural populations. *Can. J. For. Res.* 31, 943–949.

⁶⁰ Lindgren, D. & Prescher, F. 2005. Optimal clone number for seed orchards with tested clones. *Silvae Genetica* 54, 80–92.

⁶¹ Lindgren, D. & Prescher, F. 2005. Optimal clone number for seed orchards with tested clones. *Silvae Genetica* 54, 80–92.



Figur SF13 Genetisk diversitet (röd) och genetisk vinst (grön) för plantor från fröplantager med olika antal obesläktade kloner. Vid 15-20 kloner är den genetiska diversiteten mycket nära den maximala och den genetiska vinsten fortfarande hög. (Bearbetad efter Lindgren & Prescher (2005).)⁶²

På landskapsnivå kan den genetiska variationen på sikt däremot bli mindre med plantor från fröplantager, speciellt om samma plantage används över stora områden och under lång tid. I praktiken är minskningen dock liten eftersom plantagerna inkorsas med en hel del pollen utifrån (både lokalt och regionalt) och det kommer en viss andel självföryngrade plantor i planteringarna.

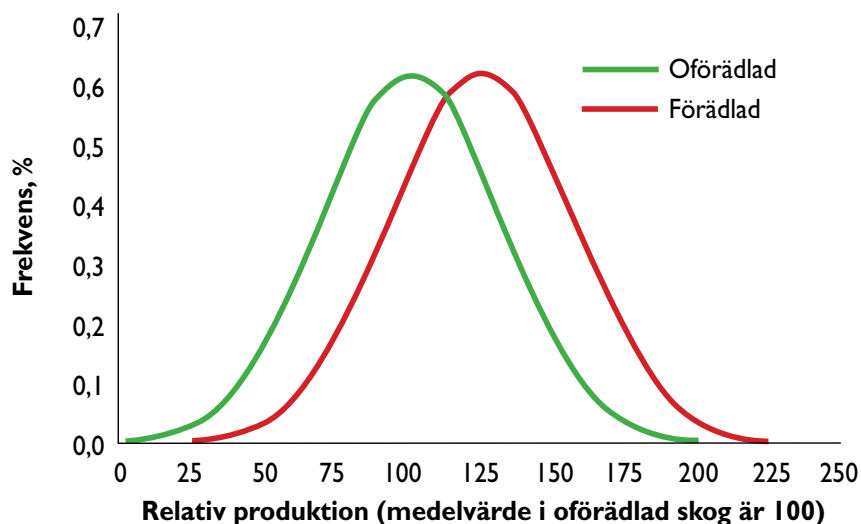
Den övervägande orsaken till *fenotypisk variation*⁶³, som till exempel storlekskillnader mellan träd, beror på miljön. Av slumpskäl blir förhållandena vad gäller mark, klimat, skador, m m, olika för plantorna vid plantering. Det ger dem olika vitalitet, resurstillgång och konkurrensförhållande till grannar. Man kan därför inte räkna med lägre variation i trädhöjd eller lägre diameter-spridning i en förädlad skog. Detsamma gäller även för en skog med ett litet antal kloner. Först i extremfallet med en enda klon på en mycket homogen mark och effektiva föryngringsmetoder kan man räkna med minskad höjd- och diametervariation, jämfört med om man använder oförädlade plantor på vanlig skogsmark.

Det finns emellertid egenskaper där arvet verkar starkare och miljö och skötsel har mindre inflytande. Dit hör en del kvalitetsegenskaper, till exempel grenvinkel. Även om förädlingen förbättrat den genomsnittliga grenvinkeln något så är fortfarande variationen i grenvinkel oförändrad i en förädlad skog från fröplantager eller klonblandningar. Men det skulle gå att framställa ett skogsodlingsmaterial med mindre variation i grenvinkel.

För ett förädlad plantmaterial är alltså variationen (både genetisk och fenotypisk) lika stor som i ett oförädlad plantmaterial (figur SF14). Det gäller både de egenskaper som direkt påverkats av förädling och de som indirekt påverkats.

⁶² Lindgren, D. & Prescher, F. 2005. Optimal clone number for seed orchards with tested clones. *Silvae Genetica* 54, 80–92.

⁶³ Den skillnad vi ser eller kan mäta mellan trädindivider och som är en kombination av genetik och miljö.



Figur SF14 Variationen i till exempel trädstorlek eller tillväxt är lika stor i den förädlade som i den oförädlade skogen. Källa: Rosvall m fl (2001).⁶⁴

Särplockning och sticklingar ökar vinsten

I de plantager som idag producerar frö kan *särplockning* tillämpas, dvs kottar plockas bara från de genetiskt bästa träden.⁶⁵ Vinsten från särplockat plantagefrö eller utvalda kloner som sticklingförökats varierar från fall till fall beroende på syfte och urvalskriterier. Det kan antingen vara någon specifik egenskap som fokuseras (skottskjutningstidpunkt, hårdighet, ökad resistens mot skadegörare, etc) eller ett högt sammantaget *indexvärde*. Generellt kan sägas att ett mervärde skapas genom att producera mer av det mest högförädlade materialet eller att matcha det mot specifika odlingsförhållanden.

I en situation med frööverskott kan den genetiska vinsten för till exempel indexvärdet ökas med 3–6 procentenheter om de 6–10 bästa klonerna skördas i en plantage med 50 plusträdskloner.⁶⁶ I en bristsituation, där allt plantagefrö används, kan särplockning också motiveras. Den genetiskt bästa delen av fröskörden kan då användas på de mest produktiva markerna i goda avsättningslägen och därmed ge ett mervärde för användaren.

En möjlighet är också att särplocka de hårdigaste klonerna för användning på kärva föryngringslokaler medan resterande skörd används i mildare lägen. På så sätt kan särplockning och styrd användning ge ytterligare vinst.

Gransticklingar från klonblandningar finns att tillgå i begränsad omfattning och då framförallt för Götaland. På beställning produceras frö från kontrollerade korsningar mellan de bästa granklonerna. Plantor framställs från fröet och uppförökas sedan vegetativt med sticklingförökning. Inom en inte alltför avlägsen framtid kan uppförökningen ske genom en kombination

⁶⁴ Rosvall, O., m fl. 2001. Genetiska vinster i nuvarande och framtida fröplantager och klonblandningar. Skogforsk, *Redogörelse* 1, 2001, 41 s.

⁶⁵ Se även *Skogsskötselserien* nr 2 och 16, Produktion av frö och plantor, respektive Produktionshöjande åtgärder, www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

⁶⁶ Rosvall, O. & Wennström, U. 2008. Förädlingseffekter för simulering med Hugin i SKA 08. Skogforsk, *Arbetsrapport* 665, 38 s.

av *somatisk embryogenes* och *sticklingförökning*, eller med somatisk embryogenes enbart.⁶⁷

Den genetiska variationen i ett särplockat material eller en speciellt utvald klonblandning är obetydligt lägre än i ett material från en hel plantageskörd. Särplockning av till exempel 10 kloner i en plantage med 50 kloner minskar den genetiska diversiteten i fröskörden med 1 %.⁶⁸

Förädling av andra trädslag än tall och gran

Contortatall har använts vid skogsodling i mellersta och norra Sverige sedan 1970-talet. Det finns ett långsiktigt förädlingsprogram och producerande fröplantager. Plantageplantornas egenskaper är jämförbara med första plantageomgången för tall och gran, dvs ca 10 % högre tillväxt och en viss förbättring av stam- och grenkvalitet. Till skillnad mot inhemska trädslag reduceras inte vinsten av inkorsande, oförädlad pollen. Nya plantager med genetiskt testat material och högre genetisk vinst är under anläggning.

Björk används i mindre omfattning för förnygring men förädlad frö från bland annat växthusplantager finns tillgängligt i varierande omfattning. Förädlade plantor har ca 15 % högre tillväxt och något bättre kvalitet (gren-egenskaper och stamraket) än oförädlade.⁶⁹

Det finns också fröplantager för ek, bok, ask, lind, lönn, rönn och fågelbär.⁷⁰ Plantageträden är fenotypiskt utvalda för främst hög vitalitet (skadefrihet) och stam- och grenkvalitet, men också tillväxt. Syftet med fröplantagerna är både fröproduktion för praktiskt skogsbruk och genbevarande. De utgör också basmaterial för eventuell förädling i framtiden.

Äldre fröplantager med sibirisk lärk för norra Sverige och hybridlärk (europeisk lärk x japansk lärk) för södra Sverige finns i produktion.⁷¹ Plantageträden är fenotypvalda för främst stamraket och hög vitalitet (till exempel motståndskraft mot lärkkräfta).

Fältförsök med ett stort antal barrträdsarter från Nordamerika och Ryssland finns anlagda i forskningssyfte, bland annat med tanke på framtida klimatförändringar. Försöken utgör också en materialbas för eventuell framtida förädling.

⁶⁷ Se *Skogsskötselserien* nr 2 och 16, Produktion av frö och plantor, www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien och avsnittet *Hur sker massförökning?*

⁶⁸ Kang, K.S. 2001. Genetic gain and gene diversity of seed orchard crops. Acta Universitatis agriculturae Sueciae, *Silvestria* 187.

⁶⁹ Rosvall, O., m fl. 2001. Genetiska vinster i nuvarande och framtida fröplantager och klonblandningar. Skogforsk, *Redogörelse* 1, 2001, 41 s.

⁷⁰ Se *Skogsskötselserien* nr 10, Skötsel av ädellövskog. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

⁷¹ Hannerz, M., Hajek, J., Stener, L.-G. & Werner, M. 1993. Lärkfröplantager i Sverige. Skogforsk, *Resultat* 8, 1993, 4 s.

Användning av förädlade plantor

av Karl-Anders Högberg och Lars-Göran Stener

Inför en plantering eller sådd av ett nytt bestånd ställs man inför olika val. Exempel på frågor som dyker upp är: Vilket är syftet med skogsbruket? Hur passar odlingsmaterialet klimatiskt och vilket är dess lämplighet för ståndorten? Vilken förädlingsgrad är önskvärd och ska materialet vara nord-, syd- eller inte förflyttat alls? Friheten för användning av skogsodlingsmaterial är stor, men begränsningar finns och dessa behandlas i föreskrifterna till skogsvårdslagen.⁷²

Vad gäller skogsodlingsmaterial anger skogsvårdslagen att: ”För skogsodling får endast användas skogsodlingsmaterial som kan ge skogsbestånd som har goda förutsättningar att utvecklas väl och som kan utnyttja marken för tillfredsställande virkesproduktion”. Lagen är ganska generös och det är mycket som är tillåtet vid val av skogsodlingsmaterial, men allt är inte lämpligt (figur SF15).

Vid förnyring på egen mark får man använda frö från egna bestånd. Ska man däremot sälja eller köpa frö, ollon eller plantor, måste materialet komma från bestånd eller fröplantager som Skogsstyrelsen godkänt.⁷³ En förteckning över dessa fröplantager och bestånd finns i den så kallade rikslängden.⁷⁴ Några andra föreskrifter finns inte när det gäller plantor som förökats från frö.

För vegetativt förökat skogsodlingsmaterial gäller en arealrestriktion för användning. Maximalt 5 % av arealen på en brukningsenhet får planteras med vegetativt förökade plantor, dock får alltid 20 ha planteras. Dessutom finns regler för förflyttning av bok och ek, ”som av europeisk härkomst endast får användas för skogsodling om skogsodlingsmaterialets härkomst antingen är nordligare än latitud 51 °N eller ostligare än longitud 20 °O”.⁷⁵

När man väljer frö eller plantor binder man sig för både möjligheter och begränsningar för åtminstone en omloppstid framöver. Det finns därför all anledning att göra ett aktivt val av skogsodlingsmaterial, med hänsyn tagen till information om materialets ärftliga egenskaper.

⁷² Skogsvårdslagen § 7. *Skogsvårdslagstiftningen*. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (länk: Lagen). Alternativt *Skogsvårdslagen – Handbok*. 2009. Skogsstyrelsens förlag.

⁷³ SKSFS 2002:2, Produktion och saluföring av skogsodlingsmaterial. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (länk: Lagen / Författningar).

⁷⁴ Se: Rikslängd för godkänt skogsodlingsmaterial. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (länk: Fakta om skog / Skogsodlingsmaterial / Rikslängd).

⁷⁵ *Skogsvårdslagstiftningen*. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (länk: Lagen). Alternativt *Skogsvårdslagen – Handbok*. 2009. Skogsstyrelsens förlag.



Figur SF15 Det är viktigt att välja material som passar ortens klimat. Bilden visar en ekstam med stamspricka. Det är en holländsk ekproveniens som är planterad vid sjön Roxen i Östergötland. Sprickan beror sannolikt på dålig klimatanpassning. Foto Martin Werner.

I detta sammanhang kan det vara viktigt att definiera begreppet proveniens som ofta används inom skogsbruket. Ett odlingsmaterials *proveniens* är ett geografiskt avgränsat område som fröet hämtats från. Detta ska inte förväxlas med *ursprung* som betecknar den plats eller område som föräldrträden hämtats från.

Till exempel har ett frö skördat från ett självföryngrat bestånd samma proveniens och ursprung, medan frö från ett bestånd i Sverige som planterats med vitryskt material har svensk proveniens men vitryskt ursprung. Frö från fröplantager, där föräldrträden hämtats från flera bestånd inom samma geografiska område, ska då betecknas som en proveniens enligt definitionen ovan. Det är emellertid mer praktiskt att använda beteckningen *plantagefrö* eller *plantagematerial* för att visa att det skett ett urval av föräldrträdet.

I praktiskt språkbruk har därför beteckningen proveniens snävats in till att gälla oförädlad *beståndsmaterial*. Observera att en proveniens kan utgöras av ett stort område (10-tals km²) med ett flertal bestånd där kott kan skördas. Det innebär att frökällan för en viss proveniens aldrig är densamma mellan olika årsskördar, vilket i sin tur betyder att plantornas egenskaper kan variera kraftigt mellan olika fröpartier med samma proveniens. Materialet från en fröplantage är betydligt mer homogent år från år.

Plantor från granplantager

Det finns för närvarande (2010) 33 fröproducerande granplantager i Sverige med varierande ålder och förädlingsnivåer. Första omgångens plantager anlades under 1950- och 1960-talen med ympar av otestade plusträd, dvs bra träd som valts i skogen. De ger ca 10 % högre produktion och oförändrad stamkvalitet jämfört med skogar som anläggs med beståndsförädlingsmaterial av lämplig lokal proveniens.⁷⁶

Under 1980- och 1990-talen etablerades en andra omgång plantager. En del av den andra omgångens plantager utgörs också av otestade plusträd men

⁷⁶ Rosvall, O., m fl. 2001. Genetiska vinster i nuvarande och framtida fröplantager och klonblandningar. Skogforsk, Redogörelse 1, 2001, 41 s.

det finns också plantager som baseras på en blandning av otestade och testade plusträd. Förädlingsvinsten för andra omgångens granplantager är 12–25 % (ju större andel testade plusträd desto högre vinst).

Första omgångens plantager kommer på sikt att fasa ut och den andra och så småningom även den tredje omgångens plantager kommer successivt att ta över. Tredje omgångens plantager är under etablering och kommer att ge förädlat frö om 15–20 år. De baseras helt på fälttestade plusträd och förädlingsvinsten kommer då att bli ca 25 %.

Uppgifter om vilka fröplantager som kan användas på en viss lokal och nivån på förädlingsvinsten hittar man i webb-programmet *Plantval*.⁷⁷

Tyvär är tillgången på plantagefrö av gran inte lika stor som efterfrågan. I Götaland är ca 60 % av fröbehovet täckt, i Svealand ca 90 % och i Norrland ca 70 %. Ett alternativ till förädlade plantor i Götaland är provenienser från Nordosteuropa (t ex provenienserna Vitebsk, Minsk och Grodno från Vitryssland och Rezekne från Lettland). Dessa har en vinstnivå som motsvarar den första omgångens fröplantager, ca 10 %. Svenska provenienser bör inte användas i Götaland eftersom de börjar växa tidigt på våren vilket ökar risken för frostsador. Dessutom invintrar de tidigt i förhållande till det milda sydsvenska höstklimatet, vilket medför förkortad växtperiod och därmed lägre produktion.

Alternativet till förädlat granfrö i Svealand är sydsvenska provenienser men också här kan i många fall nordosteuropiska provenienser användas.⁷⁸

Alternativet till förädlad svensk gran i Norrland är förädlad finsk gran, om det finns att tillgå, eller svenska provenienser hämtade 2–3 breddgrader söder om den tänkta odlingslokalen. I gynnsamma klimatlägen i södra Norrland fungerar även baltiska och vitryska provenienser väl. På höglägen eller på klimatiskt kärva lokaler i Norrland bör man eftersträva provenienser med mer lokalt ursprung, dvs 0–2 breddgrader söder om den tänkta odlingslokalen. Provenienser med ursprung norr om den tänkta odlingslokalen bör undvikas i hela Norrland eftersom de invintrar tidigt, vilket ger låg produktion.

Vegetativt förökade plantor alternativ för gran

För gran finns också ett annat alternativ till förädlade fröplantor, nämligen vegetativt förökade plantor från bra familjer. Familjerna framställs genom att de genetiskt bästa plusträden korsas med varandra. Den begränsade mängd frö som erhålls kan sedan massförökas vegetativt så att man från varje frö erhåller ett antal genetiska kopior. Den vegetativa förökningen kan ske genom sticklingförökning eller somatisk embryogenes (se avsnittet *Massförökning*).

Endast små mängder sticklingförökade plantmaterial från bra familjer har fram till idag producerats. Med vegetativ förökning av utvalda familjer kan man nå en förädlingsvinst på ca 35 % med ungefär samma genetiska variation som frö från en fröplantage. Plantpriset är dock 50–100 % högre för sticklingar jämfört med fröplantor.

Somatisk embryogenes är betydligt snabbare i förökningstakten än sticklingar men hittills har ingen kostnadseffektiv förökningsteknik utvecklats.

⁷⁷ Se: www.skogforsk.se (länk: KunskapDirekt / Verktyg / Plantval).

⁷⁸ Hannerz, M. & Almäng, A. 1997. Utländska gran- och tallprovenienser i svenskt skogsbruk. Skogforsk, *Resultat 7*, 1997, 4 s.

Plantor från tallplantager

Det finns mer än 60 fröplantager av tall av olika ålder och förädlingsgrad i Sverige. Den första omgångens plantager anlades under 1950- och 1960-talen, och innehåller otestade plusträd. Liksom för gran ger de ungefär 10 % förädlingsvinst i tillväxt jämfört med oförädlad material. Den andra omgångens plantager har mer variabelt innehåll. I många fall ingår testade plusträd, och förädlingsvinsten varierar mellan 10 och 15 %. Tredje omgångens plantager är under anläggning och här har urvalet kunnat göras starkare efter att alla plusträd testats. Den tredje omgångens plantager kan beräknas ge frö om ca 10–15 år och förädlingsvinsten ökar då till över 20 %.⁷⁹

Tallens nedärvda reaktion på ljus- och temperaturmiljö bestämmer växtförmåga och hårdighet, och skillnaden är tydlig mellan träd från olika landsändar. Träd som flyttas norrut slutar växa senare och träd som flyttas söderut slutar växa tidigare på hösten jämfört med ortsegna träd. Detta kan utnyttjas för ökad hårdighet i norra Sverige genom sydflyttning, men det sker på bekostnad av tillväxten.⁸⁰

Egenskaperna tillväxt och hårdighet får olika vikt då klimat- och produktionsförutsättningar varierar. I ett kallt läge har klimathårdigheten stor betydelse, men på en mild lokal kan man satsa på hög tillväxt utan särskilda krav på hårdighet. Med denna baskunskap kan användningen av plantagefröet optimeras av skogsodlaren, som kan välja den tall som bäst kombinerar hårdighet och tillväxt för en given odlingslokal.

Förflyttningseffekterna avtar söderut, varför skogsodlaren kan välja material med större frihet i södra Sverige. I Götaland finns också en klimatgradient från torrt kontinentalt i öster till maritimt fuktigt i väster, men den har inte visat någon inverkan på tall. Träd som är genetiskt bra i öster är även bra i väster.⁸¹ Från norra Svealand och norrut blir materialvalet viktigare i och med att höstfroster och vinterkyla skadar tallar med ett för sydligt beteende och ofullständig invintring.

Förutom för de allra kärvaste lägena i Norrland finns ett överskott på plantagefrö av tall. Oförädlad tall används därför i mycket liten utsträckning. I vissa plantager kan kotten skördas med så kallad särplockning av de genetiskt allra bästa plusträden (se avsnittet *Egenskaper hos förädlade plantor*). Därmed ökas förädlingsvinsten ytterligare med några procent. Det särplockade fröet används till plantproduktion och fröet från de resterande plusträden kan till exempel användas vid skogsådd.

Liksom för gran finns information att hämta om tallplantager och deras användningsområde i webb-programmet *Plantval*.⁸²

⁷⁹ Rosvall, O., m fl. 2001. Genetiska vinster i nuvarande och framtida fröplantager och klonblandningar. Skogforsk, *Redogörelse 1*, 2001, 41 s.

⁸⁰ Rosvall, O., Andersson, B. & Ericsson, T. 1998. Beslutsunderlag för val av skogsodlingsmaterial i norra Sverige med trädslagsvisa guider. Skogforsk, *Redogörelse 1*, 1998, 66 s.

⁸¹ Hannrup, B., Jansson, G., & Danell, Ö. 2008. Genotype by environment interaction in *Pinus sylvestris* (L.). *Silvae Genetica* 57(6), 306–311.

⁸² Se: www.skogforsk.se (länk: KunskapDirekt / Verktyg / Plantval).

Nya plantager med contortatall anläggs

För odling i Sverige har contortatall (*Pinus contorta* var. *latifolia*) hämtats i västra Kanada med ursprung i det vidsträckta British Columbias inland och södra delen av Yukon-territoriet. Ca 100 ha contortaförplantager ger frö för alla delar av Sverige där odling är tänkbar, även om erfarenheterna från Mellansverige och söderut hittills är begränsade på grund av lagstiftningens användningsrestriktioner.

Nya förplantager håller på att anläggas av Skogforsk på uppdrag av skogsbruket efter att contortaförädlingen sedan ca 2005 har återupptagits. Förädlingen inriktas på urval av nästa trädgeneration genom i huvudsak klontestning av korsningar mellan plusträd, vilka valts i avkommeförsök och praktiska svenska contortatallodlingar.

Vid odling av contortatall är materialvalet inte lika kritiskt som för vanlig tall. Provenienser som växer bra i norra Norrland växer påfallande bra också i södra Norrland. För att contortatallskogen ska utvecklas väl ska man undvika alltför bördiga och/eller finjordsrika marker – contortatallen är en tall och bör användas enbart på typiska tallmarker.⁸³

Redan för oförädlad material är i allmänhet överlevnaden bättre och merproduktionen 30–40 % jämfört med tall.⁸⁴ Erfarenheter från skogsodling med contortatall är att älgen ofta skadar contortatallen i mindre utsträckning än tallen. Den är också resistent mot knäcksjuka och därför lämpad för tallmarker med mycket asp.⁸⁵

Råd om plantage-/provenienser för contortatall finns på Skogforsks hemsida.⁸⁶

Lärk

Vid plantering av lärk i södra Sverige rekommenderas i första hand hybridlärk (*Larix eurolepis*) som är en korsning mellan japansk lärk (*Larix kaempferi*) och europeisk lärk (*Larix decidua*).⁸⁷ Japansk lärk kan vara ett alternativ på milda lokaler där risken för höstfrost är liten. Anledningen till att ren europeisk lärk inte bör användas är dess känslighet för lärkräfta. Vad beträffar sibirisk lärk så saknas i dag bra underlag för att rekommendera dess användning i Götaland.

Det finns fem svenska förplantager med hybridlärk: Hjälmskult, Klev, Maglehem, Lagan och Trolleholm. De tre första utgörs av ympar från utvalda plusträd i skogen (otestade plusträd) medan de två sistnämnda är relativt nya plantager och består av ympar från testade plusträd och rekommenderas därför i första hand.

⁸³ Witzell, J. & Karlman, M. 2000. Importance of site type and tree species on disease incidence of *Gremmeniella abietina* in areas with a harsh climate in northern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 15, 202–209.

⁸⁴ Elfving, B. & Norgren, O. 1993. Volume yield superiority of lodgepole pine compared to Scots pine in Sweden. I: Lindgren, D. (redaktör), *Pinus contorta* from untamed forests to domesticated crop, Proceedings of the IUFRO meeting and Frans Kempe Symposium 1992 on *P. c.* provenances and breeding. SLU, inst. för genetik och växtfysiologi. *Rapport* 11, s 69–80.

⁸⁵ Se *Skogsskötselserien* nr 12, Skador på skog. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

⁸⁶ Se: www.skogforsk.se (länk: KunskapDirekt / Verktyg / Plantval).

⁸⁷ Stener, L.-G. 2005. Hybridlärk – ett bra komplement till gran i södra Sverige. *Skogforsk, Resultat* 16, 2005, 4 s.

Hybridlärk från danska fröplantager är bra alternativ till de svenska där i första hand Sorö, Holbaek och Fårefolden rekommenderas. I några yngre svenska fältförsök ingår både hybridlärk från Maglehem och Holbaek. Resultaten tyder på en bättre tillväxt men sämre rakhet för Maglehem jämfört med Holbaek.⁸⁸

Nya resultat har visat att frö från hybridlärkfröplantager inte alltid är hybrider.⁸⁹ Troligen beror detta på dålig synkronisering av blomningen mellan de två arterna. Man bör därför alltid begära uppgifter av plantskolan om andelen hybrider i det plantparti man avser köpa.

Kunskapen om hur långt norrut hybridlärk kan användas är dålig. Milda lokaler i södra Svealand borde dock vara lämpliga. Ju längre norrut man kommer desto hårdigare material behövs, vilket gör rysk lärk (*L. sukaczewii*) eller sibirisk lärk (*L. sibirica*) till ett naturligt val. Exempel på svenska sibiriska lärkplantager är Östteg, Domsjöänget och Dammsjön. Dessa har dock inte skördats på länge på grund av dålig kottsättning.

Hybriden mellan sibirisk och japansk lärk kan vara ett bra alternativ i mellersta Sverige. Erfarenheten av denna hybrid är dock liten och endast begränsade mängder plantagefrö har skördats. Aktuella fröplantager listas i Rikslängd för godkänt skogsodlingsmaterial.⁹⁰

Sitkagran och douglasgran

Sitkagran (*Picea sitchensis*) kan ge mycket hög produktion i humida områden i södra Sverige och kan vara ett alternativ till gran. Douglasgran (*Pseudotsuga menziesii*), som ger ett värdefullt virke, är ofta problematisk vid etableringen (på grund av frost- och viltskador) och är främst ett alternativ på milda lokaler i Götaland.⁹¹ Erfarenheten av skogsodling i Sverige med dessa trädslag är liten och därför bör de användas med viss försiktighet. Man kan reducera risken genom att blanda med något annat mer beprövat trädslag, till exempel lärk.

Svenska fröplantager av sitkagran och douglasgran är under uppbyggnad och förväntas ge skörd om 10–15 år. I dagsläget rekommenderas i första hand danska fröplantager och i andra hand frötäcksbestånd från Sverige.⁹²

Lövträd

Lövträdsplantor är ett mycket litet sortiment jämfört med barrträdsplantor. Man kan därför inte förvänta sig att just den proveniens och planttyp som man helst vill ha alltid finns att köpa. Plantor bör därför beställas i god tid från plantskolan, helst minst två år innan plantering.

Björk

Vårtbjörk (*Betula pendula*) är det enda lövträdsdrag som förädlas i ett löpande program. Totalt har ca 1100 plusträd valts i svenska, finska, baltiska och

⁸⁸ Stener, L.-G. 2007. Tidig utvärdering av fyra sydsvenska försök med olika lärkarter av olika genetiska ursprung. Skogforsk. *Arbetsrapport* 650, 21 s.

⁸⁹ Ditlevsen, B. 2003. Produktion af hybridlaerk fro. *Skoven* 11, 529–531.

⁹⁰ Se: www.skogsstyrelsen.se (länk: Fakta om skog / Skogsodlingsmaterial).

⁹¹ Karlsson, B. 2007. Sitka- och Douglasgran – alternativ för ett nytt klimat. Skogforsk, *Resultat* 17, 2007, 4 s.

⁹² Se: www.skovognatur.dk (länk: Skov / Produkter / Froe / Froekildebeskrivelse).

tyska bestånd. Plusträden testas i fält och i södra Sverige har de genetiskt bästa ympats upp för produktion av frö i fröplantager.

Vårtbjörk är relativt tålig vid förflyttning. Något förenklat är effekterna av en förflyttning inom ± 2 °C från ursprungslokalen liten och någon effekt av förflyttning i öst-västlig riktning har inte kunna påvisats.⁹³

Upp till Mälardalen rekommenderas i första hand förädlad material från växthusfröplantagerna i Ekebo, vilka bedöms öka värdeproduktionen med ca 15 % jämfört med oförädlade plantor. Frilandsfröplantagerna i Asarum i Blekinge och Lilla Istad på Öland (under uppbyggnad) används i andra hand. Norr om Mälardalen rekommenderas förädlade plantor från Finland avsedda för motsvarande klimatområde. I sista hand bör frö från frötäktsbestånd inom två breddgraders avstånd från odlingslokalen användas.⁹⁴

För glasbjörk (*Betula pubescens*) saknas svenskt förädlad frö, varför man i södra Sverige är hänvisad till frö från frötäktsbestånd som godkänts av Skogsstyrelsen.⁹⁵ För mellersta Sverige rekommenderas i första hand finskt förädlad frö och längre norrut svenskt eller finskt beståndsfrö.⁹⁶

Asp

Vanlig asp (*Populus tremula*) rekommenderas inte vid skogsodling utan det är hybridasp som bör användas. Hybrid Aspen har ungefär dubbelt så hög virkesproduktion som den vanliga aspen.⁹⁷

Hybridasp

Hybridasp (*Populus tremula* x *P. tremuloides*), dvs korsningen mellan vår vanliga asp och nordamerikansk asp, kan ge en mycket hög produktion på god mark. Det finns 280 kloner av hybridasp i fälttester på tidigare åkermark. På basis av volymtillväxt och vitalitet har de 15 genetiskt bästa klonerna valts ut till kommersiell förökning.⁹⁸ Med detta selekterade material kan produktionen på bördig före detta åkermark i södra Sverige uppgå till 25 m³sk per ha och år med en omloppstid på 20–25 år.

I första hand rekommenderas en klonblandning av de 15 selekterade klonerna som i rikslängden går under beteckningen Ekebo-Hybridasp. Materialet är avsett att användas upp till Mälardalen. De finska kloner som förekommer på marknaden finns ingen erfarenhet av, men är sannolikt att föredra i Svealand (latitud 60–62).

Vi har ännu mycket liten erfarenhet av hybridaspodling på skogsmark och av odling på frostlänta lokaler. Sannolikt kan en hög produktion uppnås även på skogsmark med SI G32 eller bättre. Hybridasp bör dock användas med försiktighet på dessa lokaler.

⁹³ Stener, L.-G. 1997. Förflyttning av björkprovenienser i Sverige. Skogforsk, *Redogörelse* 3, 1997, 30 s.

⁹⁴ Se: Rikslängd för godkänt skogsodlingsmaterial. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (länk: Fakta om skog / Skogsodlingsmaterial / Rikslängd).

⁹⁵ Se: Rikslängd för godkänt skogsodlingsmaterial. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (länk: Fakta om skog / Skogsodlingsmaterial / Rikslängd).

⁹⁶ Stener, L.-G. 2005. Förädlad björk och hybridasp, snabbt växande alternativ för södra Sverige. Skogforsk, *Resultat* 7, 2005, 4 s.

⁹⁷ Se *Skogsskötselserien* nr 9, Skötsel av björk, al och asp. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

⁹⁸ Stener, L.-G. 2005. Förädlad björk och hybridasp, snabbt växande alternativ för södra Sverige. Skogforsk, *Resultat* 7, 2005, 4 s.

Poppel

Enskilda kloner ur poppelarterna *Populus trichocarpa*, *P. deltoides*, *P. balsamifera*, *P. maximowiczii* och hybrider dem emellan, har i tester visat en högre tillväxt än hybridasp, dvs minst 25 m³sk per ha och år på bördiga marker.⁹⁹ Idag är det främst klonen OP42 som används i södra Sverige. Att använda en och samma klon år efter år är dock ett risktagande. Ett urval av 15 poppelkloner har nyligen gjorts, baserat på totalt 140 fälttestade kloner i Götaland. Detta selekterade material kommer att saluföras som en klonblandning från och med år 2010 under namnet Ekebo-Poppel. Poppel är mer känslig för klimatskador än hybridasp och bör därför endast användas på milda lokaler i Götaland.

Klibbal och gråal

Totalt finns 140 plusträd av klibbal (*Alnus glutinosa*) i fälttester i Götaland. Resultat vid 9 års totalålder tyder på att klibbal från sydligaste Sverige kan användas upp till Mälardalen.¹⁰⁰ Resultaten gör det möjligt att etablera bättre fröplantager än de som finns tillgängliga idag. I första hand rekommenderas material från fröplantagerna i Kulleberga och Trolleholm. I andra hand används material från av Skogsstyrelsen godkända frötäktsbestånd nära odlingsplatsen.

Eftersom förädlat frö saknas för gråal (*Alnus incana*) så är man hänvisad till godkända frötäktsbestånd nära odlingsplatsen.¹⁰¹

Ädla lövträd

Förädlingsarbetet med ek (*Quercus robur*) och bok (*Fagus sylvatica*) är av begränsad och oregelbunden omfattning. Tidigare aktiviteter (under 1940- och 1950-talen) har resulterat i två mindre fröplantager för respektive trädslag, som var och en innehåller otestade plusträd från Götaland.

Rödek (*Q. rubra*) är på grund av sin högre tillväxt och därmed kortare rotationstid ett intressant alternativ till vanlig ek. Det har valts ut 60 plusträd av rödek i bra bestånd i Götaland och Danmark. Ympar av dessa kommer att etableras i en fröplantage år 2010 och fröskörd kan förväntas efter ca 15–20 år.

Förädlingsarbetet med ask (*Fraxinus excelsior*), fågelbär (*Prunus avium*), lind (*Tilia cordata*), lönn (*Acer platanoides*) och rönn (*Sorbus acuaparia*) är också av mycket begränsad omfattning. Det råder dock brist på bra inhemskt skogsodlingsmaterial, varför en mindre satsning på att bygga upp fröplantager gjordes i början på 1990-talet. I Skåne finns således 3–5 ha stora plantager av respektive trädslag, där varje plantage innehåller ympar från 100 plusträd utvalda i Götaland.¹⁰²

⁹⁹ Stener, L.-G. 2004. Resultat från sydsvenska klontester med poppel. Skogforsk, Arbetsrapport 571, 28 s.

¹⁰⁰ Stener, L.-G. 2007. Utvärdering av sydsvenska avkommeförsök med klibbal. Skogforsk, Arbetsrapport 649, 43 s.

¹⁰¹ Se: Rikslängd för godkänt skogsodlingsmaterial. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (länk: Fakta om skog / Skogsodlingsmaterial / Rikslängd).

¹⁰² Stener, L.-G. & Werner, M. 1997. Bättre frökällor för odling av ädellöv. Skogforsk, Resultat 11, 1997, 4 s.

Det saknas kunskap om proveniensförflyttning av ädla lövträd i Sverige.¹⁰³ Allra viktigast är, att skogsodlingsmaterialet är anpassat till klimat och ståndort. Att välja material som flyttats långt är ett risktagande. Så lokalt material som möjligt bör därför användas. För ädellövträd gäller generellt att man i första hand bör välja förädlat material från fröplantager som rekommenderas inom det aktuella området. I andra hand bör man välja skogsodlingsmaterial från det frötäktsbestånd som ligger närmast den aktuella föryngringsplatsen. Finns inte sådant material väljs material från ett frötäktsbestånd som ligger inom ett område med liknande klimat som på föryngringsytan. Lind anses vara flyttningstålig och kan tolerera en viss nordförflyttning. Detsamma gäller ask med dess sena knoppsprickning och tidiga invintring. För lind och ask kan nordligt polskt och tyskt material vara ett alternativ i allra sydligaste Sverige.

Askskottsjukan, *Chalara fraxinea*, är nu spridd inom hela askens utbredningsområde i Sverige.¹⁰⁴ Den försämrar vitaliteten kraftigt och kan leda till att träden dör, såväl unga som äldre. Genetiska skillnader har påvisats mellan olika kloner, vilket indikerar att man via förädling kan reducera skadorna.¹⁰⁵ Tills vidare bör dock inte ask användas vid skogsodling. Sedan länge befinner sig alm (*Ulmus glabra*) i en liknande situation på grund av den holländska almsjukan.¹⁰⁶

¹⁰³ Se *Skogsskötselserien* nr 10, Skötsel av ädellövskog. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

¹⁰⁴ Se *Skogsskötselserien* nr 12, Skador på skog. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

¹⁰⁵ Stener, L.-G. 2007. Studie av klonskillnader i känslighet för askskottsjuka. Skogforsk, *Arbetsrapport* 648, 4 s.

¹⁰⁶ Se *Skogsskötselserien* nr 12, Skador på skog. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

Hur går skogsträdsförädling till?

av Gunnar Jansson

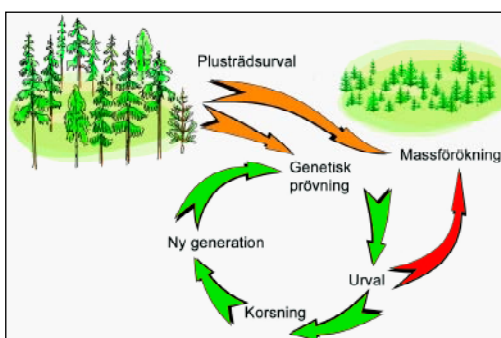
Skogsträdsförädling är en praktisk verksamhet med målet att ständigt förbättra viktiga egenskaper hos förädlingsmaterialet som sedan kan utnyttjas i massförökning. Men skogsträdsförädling är inte bara en serie praktiska operationer utan det krävs också teoretisk underbyggnad för att den ska leda till resultat så säkert och effektivt som möjligt.

Skogsträdsförädling börjar med ett urval av *plusträd* i bestånd med bra proveniens (figur SF16). De första plusträden i Sverige valdes under 1940- och 1950-talen i äldre bestånd med god kvalitet. De utvalda träden bedömdes utifrån ett antal uppställda kriterier och detta innebar att man valde träd som hade bra tillväxt, var friska och hade god kvalitet. En nackdel med detta urval var att kvistar och stamskador övervallats och var inte längre synliga.

Från plusträden samlades ympris för anläggning av fröplantager. En andra omgång plusträd valdes på 1970- och 1980-talen för att öka den genetiska basen. Detta urval skedde i likåldriga planterade bestånd i åldern 30–40 år. Man kunde då bättre ta hänsyn till egenskaper som grenvinkel och grendiameter. Avkommor från de valda plusträden planterades sedan ut i genetiska tester. Förädlingen fortsätter sedan i återkommande moment: urval, korsning, testning, osv – generation efter generation (figur SF17).



Figur SF16 Ett förädlingsprogram börjar vanligen med urval av plusträd i skogen. Foto Nils Jerling.



Figur SF17 Förädling i syfte att förbättra egenskaper börjar med urval av plusträd i skogen och bedrivs sedan i de återkommande stegen testning, urval och korsning. Vid det första plusträdsurvalet samlades även ympris in för att anlägga första omgångens fröplantager. I varje generation väljs träd ut för fortsatt förädling och för massförökning.

Förädlingsteori

Många av de egenskaper vi mäter hos träd såsom höjd, diameter och volym bestäms av flera gener där varje gen har en liten effekt på egenskapen. Studiet av dessa egenskaper kallas kvantitativ genetik och inkluderar uppdelning av den *fenotypiska variationen* i olika genetiska och miljömässiga komponenter. Fenotypen, dvs det vi ser och kan mäta av trädets egenskaper brukar beskrivas med modellen:

$$P = G + E$$

där P är fenotypvärde, G är det underliggande värdet för genotypen och E är miljöeffekter.

Dessa båda effekter, G och E, är sammanblandade och går inte att skilja från varandra hos en enskild trädindivid. För att kunna separera effekterna från varandra måste förädlaren anlägga genetiska tester i form av *avkommeprövningar* eller *klontester*. Genom avancerade statistiska analyser kan man sedan dela upp den totala variationen på olika komponenter, så kallade *varianskomponenter*. Dessa varianskomponenter används sedan för att skatta viktiga genetiska parametrar.

Genetiska parametrar

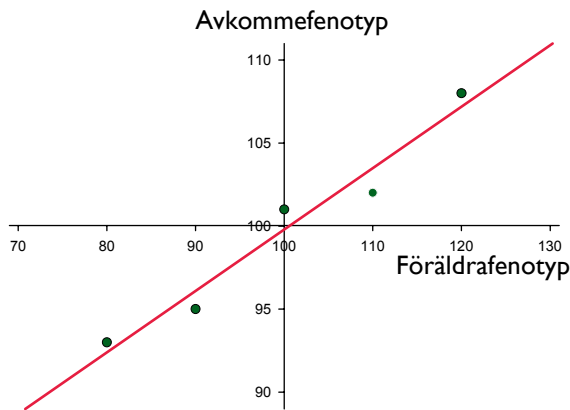
Heritabilitet, *arvbarhet*, är en grundläggande genetisk parameter och ett viktigt begrepp inom förädlingen. Det anger hur stor andel av den totala variationen för en egenskap som har genetisk bakgrund, dvs hur stor andel som ärvs. Heritabiliteten är därmed ett mått på överensstämmelsen mellan besläktade individer och kan anta värden mellan 0 och 1. Heritabiliteten kan skattas på flera olika sätt. Det vanligaste är att man bildar en kvot mellan den genetiska variansen och den fenotypiska (totala) variansen:

$$h^2 = \frac{V_A}{V_P}$$

där h^2 är heritabiliteten, V_A den genetiska variansen och V_P den fenotypiska variansen.

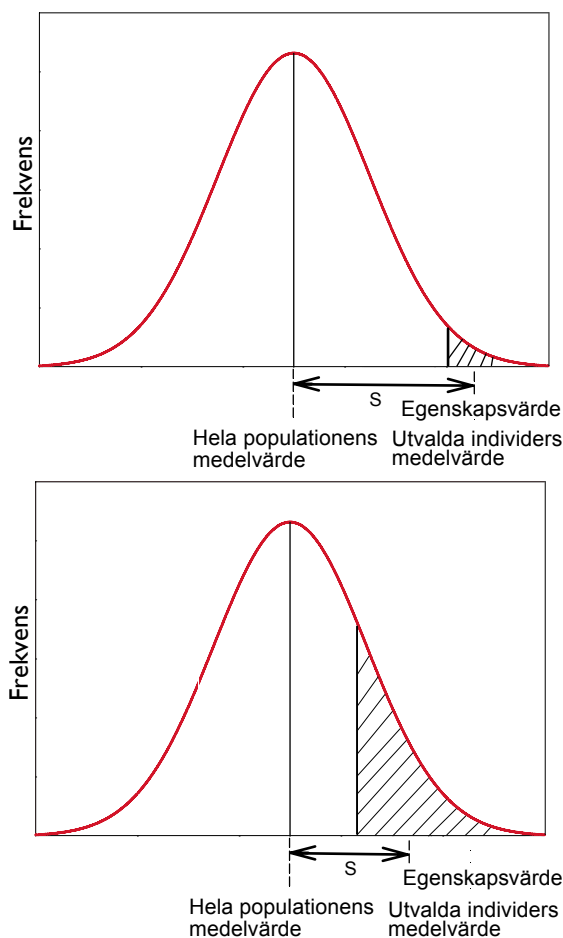
Om heritabiliteten är hög är det lätt att göra genetiska framsteg från en generation till nästa generation. Vi kan påverka heritabiliteten genom att anlägga försöken på ståndorter med liten variation, vilket bidrar till att minska den miljömässiga variationen som ofta utgör den största delen av den fenotypiska variansen.

Ett annat sätt att skatta heritabiliteten är att studera sambandet mellan föräldrar och avkomma. Grafiskt illustreras detta i figur SF18. Om sambandet mellan till exempel föräldraträdens grenvinkel och deras avkommors grenvinkel är starkt säger vi att heritabiliteten för denna egenskap är hög.



Figur SF18 Sambandet mellan föräldrarnas medelvärde och avkommornas medelvärde, där totalmedelvärdena i båda fallen satts till 100. Observera att det är fenotypvärden där både genetik och miljö spelat roll. Vid hög heritabilitet blir överensstämmelsen mellan förälder och avkomma hög, såsom i diagrammet.

*Selektionsintensiteten*¹⁰⁷ är kopplad till hur stor andel av populationen som väljs (figur SF19). Ju mindre andel som väljs, dvs desto högre selektionsintensitet, och därmed också möjlighet till större vinst.



Figur SF19 Ju mindre andel av träden i en population vi väljer desto större blir vinsten. Den skuggade delen illustrerar de utvalda individerna i populationen. S (selektionsdifferensen) betecknar skillnaden mellan de valda individernas medelvärde för en egenskap och hela populationens medelvärde. Diagrammen visar selektionsdifferensen vid svagt (övre diagrammet) och starkt urval (nedre diagrammet).

¹⁰⁷ Selektionsintensiteten definieras som selektionsdifferensen dividerad med den fenotypiska standardavvikelsen, där selektionsdifferensen är skillnaden mellan medelvärdet för de utvalda individerna och medelvärdet för hela populationen.

Genetisk vinst

En förutsättning för att göra genetiska framsteg är att det finns genetisk variation för egenskapen och att den är arvbar, eller med andra ord att det finns en heritabilitet. Vinsten från en generation till nästa illustreras i figur SF20. Den *genetiska urvalsvinsten* kan bestämmas med formeln:

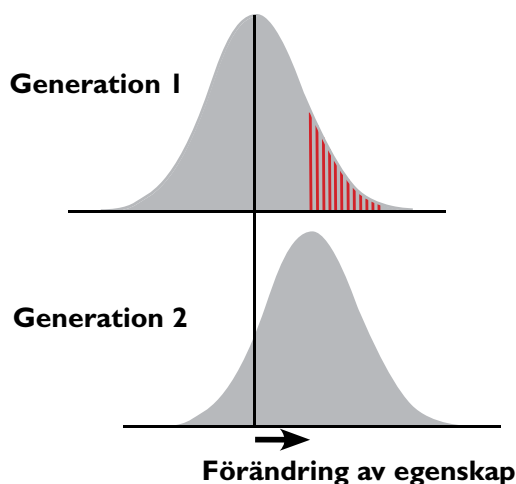
$$\Delta G = \sigma_A r_{AI} i$$

där ΔG är den genetiska urvalsvinsten, σ_A är den genetiska variationen, r_{AI} är säkerheten i skattningarna och i är selektionsintensiteten.

Den genetiska variationen bestäms med hjälp av data från genetiska tester. Skattningarnas säkerhet beror på hur många avkommor (eller antalet kopior av kloner) som testas och heritabilitetens storlek. Som nämnts ovan är selektionsintensiteten ett mått på hur stor andel av populationen som väljs.

Man kan då fråga sig hur man som förädlare kan påverka vinsten. Den naturgivna genetiska variationen kan vi inte påverka. Säkerheten påverkas av heritabilitet och antal upprepningar av plantor inom en familj eller inom en klon. Man kan påverka säkerheten genom att öka antalet upprepningar och genom att välja bra försökslokaler. Urvalsintensiteten kan man också påverka genom att bestämma hur stor andel man väljer. Om man testar många individer och sedan väljer endast en liten del av dessa ökar vinsten.

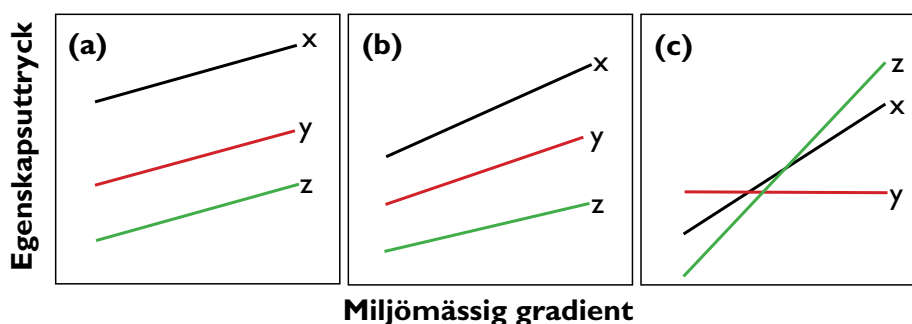
När man väljer individer för fortsatt förädling eller för fröproduktion i fröplantager tar man hänsyn till flera egenskaper samtidigt. Olika individers värden vägs då ihop till ett index med hjälp av egenskapernas ekonomiska värde.



Figur SF20 Genom förädling vill vi förbättra en egenskap från en generation till nästa generation. Klockkurvorna representerar fördelningen av trädindivider i generation 1 respektive 2, från låga till höga värden för en egenskap, till exempel trädhöjd. Den rödmarkerade delen i den övre figuren anger hur stor andel i generation 1 som väljs som föräldrar till generation 2. Den nedre figuren visar hur trädindividerna i generation 2 fördelar sig.

Genotyp-miljösamspel

När vi väljer material för praktisk skogsodling vill vi att det ska producera bra under olika ståndortsförhållanden. Man brukar uttrycka detta som att genotyp-miljösamspelen ska vara litet (figur SF21). Detta innebär att rangordningen av olika sorter ska vara ungefär densamma på olika ståndorter. Om vi har ett stort genotyp-miljösamspel innebär detta att vi bör använda olika genetiska material på olika ståndorter, och därmed också bedriva förädling för olika ståndorter. Om samspelen bara beror på att skillnaderna mellan sorter ökar med till exempel ökad bonitet (så kallade skaleffekter) men att rangordningen av sorter är densamma är det inget som vi behöver bekymra oss om.

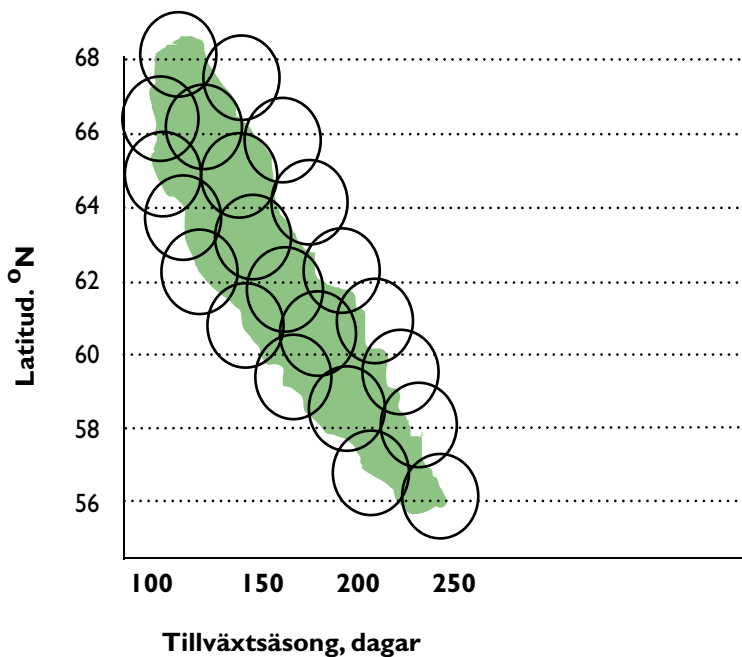


Figur SF21 Egenskapsvärden hos tre olika genetiska material plottade mot en miljömässig gradient, (a) inget genotyp-miljösamspel, (b) samspel beroende på skaleffekter, och (c) samspel orsakade av rangordningsskillnader i olika miljöer.

Metodik i den svenska förädlingsstrategin

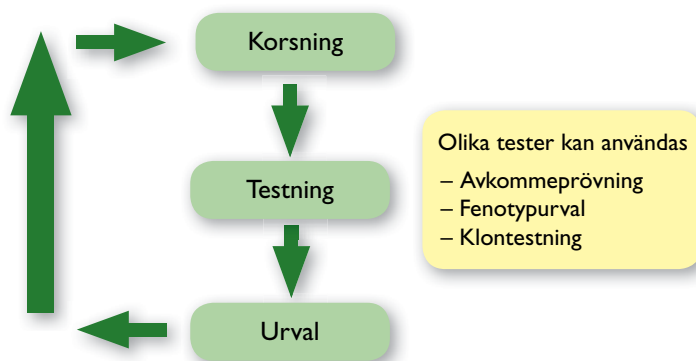
Den svenska förädlingsstrategin bygger på att förädlingsmaterialet delas upp i ett antal delpopulationer för varje trädslag (figur SF22). Varje population har ett målområde med avseende på temperaturklimat (som bestämmer vegetationsperioden) och fotoperiod (som avgör när träden invintrar). Fotoperioden är beroende av latituden.

Populationerna anpassas även till förhållanden som ligger utanför de klimatförhållanden vi har idag med syftet att anpassa skogsodlingsmaterialet till framtida klimatförändringar. På detta sätt skapas lämpliga skogsodlingsmaterial för framtiden oavsett om klimatet blir varmare eller kallare. För våra huvudträdslag gran och tall innehåller förädlingspopulationen drygt 1000 individer fördelade på ett 20-tal delpopulationer med minst 50 individer i varje population. De olika delpopulationerna hålls skilda från varandra i förädlingen och blir därmed obesläktade.



Figur SF22 Schematisk fördelning av förädlingspopulationerna. Varje delpopulation har ett målområde med avseende på latitud (fotoperiod) och tillväxtsäsongens längd. Det färgade området motsvarar nuvarande variation i fotoperiod och tillväxtsäsong i Sverige.

Plusträden är utgångspunkten för förädling, där långsiktig förädling bedrivs i var och en av delpopulationerna. Den långsiktiga förädlingen bygger på en upprepning av de tre momenten: testning, urval och korsning (figur SF17 och SF23). För varje generation får vi träd med bättre egenskaper. All förädling bygger på den genetiska variation som finns inom arten. För att förädlingen ska bli effektiv koncentreras den till egenskaper som har högt ekonomiskt värde, samt uppvisar genetisk variation och arvbarhet. Strategierna kan variera för olika träslag beroende på till exempel de biologiska förutsättningarna.



Figur SF23 Förädling bedrivs i de återkommande stegen korsning, testning och urval. För gran och tall tar en förädlingsgeneration 20–25 år.

Testning

Testning börjar med att planter från de utvalda kandidaterna testas i fältförsök (figur SF24). Gran går att föröka vegetativt och kandidaterna testas därför som kloner vid urval till nästa generation. Tall är svårare att föröka vegetativt och som huvudalternativ används därför tillsvidare kandidaternas avkommor i form av fröplanter för att testa vilka de bästa är (figur SF25). Varje material testas på fyra till fem olika lokaler för att träden ska utsättas för olika ståndortsförhållanden. Vid 10–15 års ålder mäts ett antal egenskaper på träden.



Figur SF24 Efter korsning planteras träden ut i fälttester i olika miljöer. Efter ett antal år mäts olika egenskaper hos träden. Foto Skogforsk.

Urval

Data från mätningarna i fältförsöken bearbetas för att beräkna avelsvärden, dvs värden som anger hur bra avkomma trädet får med avseende på olika egenskaper. Baserat på dessa värden kan man sedan göra urval dels för fortsatt förädling, dels för massförökning.

Korsning

Genom korsningar mellan föräldrarna i en delpopulation skapas en ny förädlingsgeneration (figur SF25). Vid korsningen får varje individ en unik slumpmässig variation av sina föräldrars gener, vilket i varje generationsskifte återskapar en betydande genetisk variation. För varje föräldraträd skapas upp till 100 avkommor som sedan testas i fältförsök. För varje population genererar korsningsarbetet därmed upp till 5000 kandidatträd.



Figur SF25 Träd som väljs till förädlingspopulationen korsas med varandra och blir kandidater till nästa generation. Foto Skogforsk.

Genetisk variation

Genetisk variation behövs för att kunna bedriva långsiktig förädling men också för att möjliggöra artens naturliga utveckling. Detta innebär dock inte att de planterade skogarna måste innehålla alla genvarianter. Ett begränsat antal träd används som föräldrar till framtida skogar, men den genetiska variationen bland träden kan hanteras utan att man för den skull måste bevara alla sällsynta gener.¹⁰⁸

Grunden för den genetiska variationen är de olika varianter som finns av en gen. Dessa genvarianter, som kallas *alleler*, styr olika biokemiska processer i trädet. Genetisk variation kan beskrivas på flera olika sätt till exempel i form av:

- Allelrikedom mätt med biokemiska metoder på träd i en population och beskrivet som andelen gener som har mer än en allel och frekvensen för dessa alleler. Variation i mätbara egenskaper som uppskattas med statistisk variansanalys av försöksdata från träd i en population.
- Effektiv populationsstorlek baserat på släktskap mellan träden i en population.

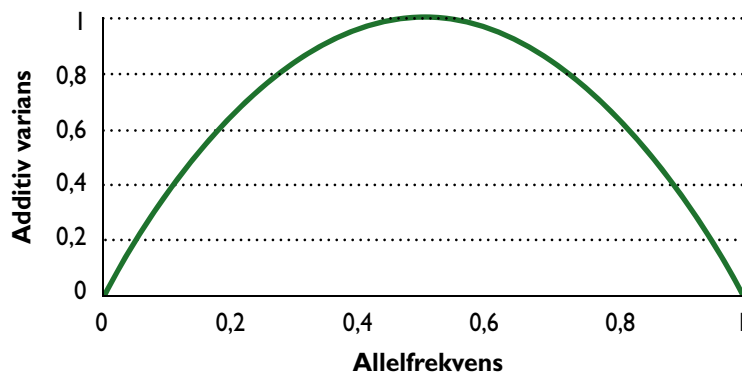
Vi ska här kortfattat gå igenom betydelsen av var och en av dessa.

Allelfrekvensernas betydelse för variationen

Figur SF26 beskriver den genetiska variationen för en gen som förekommer i två varianter (alleler) i en trädpopulation. Genetisk variation uttrycks ofta som additiv varians som är ett användbart statistiskt mått. Störst variation uppkommer när de båda varianterna är ungefär lika vanliga, dvs frekven-

¹⁰⁸ Danell Ö. 1992. Genetisk variation på olika sätt. *Skog & Forskning* 1/92, s 29–45.

sen är 50 %. Det är alltså de relativt sett vanliga allelerna som bidrar mest till den genetiska variationen. Alleler som förekommer i mycket liten eller mycket hög frekvens bidrar inte särskilt mycket till variationen. Det tar många generationer av selektion i förädlingen, eller naturligt urval, för att förändra frekvensen av dessa. Alleler som är verkligen sällsynta måste bli vanligare genom slumpen eller genom selektion innan de påverkar den genetiska variationen.



Figur SF26 Sambandet mellan allelfrekvensen och den mätbara variationen i en trädegenskap uttryckt som additiv varians.

Allelrikedomen i förädlingspopulationen bestäms av på vilket sätt och hur många plusträd som valts att ingå i förädlingsprogrammen samt i vad mån dessa plusträd får föra sina gener vidare i nya generationer. Med plusträden fångas ett stickprov av alla genvarianter i skogen – ju större stickprov ju fler mindre vanliga alleler kommer att ingå.

Det finns ingen möjlighet och ingen nytta med att fånga och bevara alla genvarianter utan det gäller att dimensionera förädlingsprogrammen så att de alleler som påverkar variationen bevaras. Tabell SF5 visar minimiantalet individer som behövs för att med viss sannolikhet bevara alleler. För att med stor sannolikhet bevara alleler som finns i frekvenser på 1 % behövs omkring 1000 individer. För gran och tall består den svenska förädlingspopulationen av mer än 1000 träd för respektive trädslag fördelade på ett antal delpopulationer med minst 50 individer i varje. Förädlingsprogrammen är därmed dimensionerade för att med stor sannolikhet bevara de alleler som påverkar variationen. Dessutom är korsnings- och urvalsprogrammet upplagt för att förlusterna av mindre vanliga alleler skall bli så små som möjligt vid varje generationsskifte.

Tabell SF5 Det minsta antalet individer som måste ingå i populationen för att med viss sannolikhet bevara en allel i nästa generation.¹⁰⁹

Allelfrekvens (%)	Sannolikhet för att bevara sällsynta alleler		
	95 %	99 %	99,9 %
20	21	28	39
10	51	66	88
5	117	149	194
1	754	916	1146

¹⁰⁹ Gregorius, H.-R. 1980. The probability of losing an allele when diploid genotypes are sampled. *Biometrics* 36, 643–652.

Ny variation skapas genom mutationer som kan beskrivas som en slumpmässig förändring av DNA-strängen med ändrad funktion hos genen som följd. Det uppkommer en ny allel. De flesta mutationer är skadliga och kommer därför att försvinna. Ibland ger en mutation en förbättrad överlevnad eller annan förbättrad egenskap som ger individen en fördel. Även de flesta sådana mutationer kommer genom slumpen att försvinna. När de 50 utvalda föräldraträden i varje population i det svenska programmet korsas genereras 10 000-tals nya individer. Sammantaget för tall och gran betyder det 100 000-tals träd. Det ger möjlighet för mutationer att uppkomma och att kompensera för förluster av sällsynta alleler och därmed bidra med ny variation.

Additiv varians som mått på genetisk variation

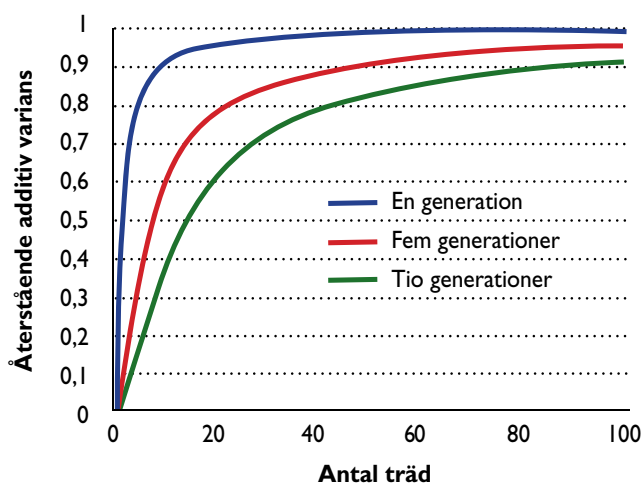
Additiv genetisk variation i en trädegenskap avser variationen i de genetiska effekter som nedärvs till avkomman oavsett med vilka andra träd ett visst träd korsas. Det är alltså trädens genomsnittliga effekt på en trädegenskap i kommande generationer som är basen för den additiva variationen. Denna uppskattas genom det statistiska måttet *additiv varians*. Man bortser då från att vissa korsningspar kan ge speciella effekter hos avkomman, vilket ger upphov till *icke additiv variation*.

För långsiktig förädling är det den additiva variationen som är av intresse och det är mer relevant att studera hur den additiva variationen utvecklas vid olika storlek på populationen än att studera allelfrekvenser.

Den andel av den ursprungliga additiva genetiska variationen som återstår efter ett generationsskifte kan beräknas som:

$$V_A(t) = \left(1 - \frac{1}{N_e}\right)^t V_A(0)$$

Där $V_A(t)$ är den återstående additiva variansen efter t generationer, N_e är ett mått på populationsstorleken och $V_A(0)$ är den ursprungliga additiva variansen. Grafiskt illustreras detta i figur SF27 för en, fem och tio generationer vid olika populationsstorlekar.



Figur SF27 Reduktionen av den additiva variansen efter en, fem och tio generationer vid olika storlek på populationen.

På kort sikt och upp till tio generationer (200 år eller mer för våra barrträd) är minskningen av variationen liten om populationsstorleken överstiger 40–50 individer.¹¹⁰ Genom hårt urval för en önskvärd egenskap kommer variationen för denna egenskap att minska. Men större delen av den ursprungliga variationen återskapas genom att generna kombineras om när förädlarna korsar träden med varandra.

De flesta trädegenskaperna är förädlarna inte intresserade av och urvalet kommer varken att påverka deras medelvärde eller variation. Några egenskaper hänger ihop med dem som förädlarna väljer för. De kommer att påverkas mer eller mindre beroende på hur starkt egenskaperna är sammankopplade. Datorsimuleringar för att analysera utvecklingen av den genetiska variationen i de svenska förädlingsprogrammen visar att programmet är uthålligt och robust.¹¹¹

Effektiv populationsstorlek, släktskap och inavel

Genom att hålla reda på släktskapet i en population kan man mäta hur mycket olika träd bidrar till kommande generationer. Om alla träd bidrar med lika med många avkommor bevaras både alleler och mätbar genetisk variation i så hög grad som möjligt. Om fler avkommor från några träd och färre från andra blir föräldrar till kommande generation ökar det genomsnittliga släktskapet. Allelfrekvenserna ändras och sannolikheten att mindre vanliga alleler förloras ökar. Den effektiva populationsstorleken har blivit mindre. Man använder alltså släktskapsrelationerna i en population för att mäta hur mycket den effektiva populationsstorleken avviker från den faktiska populationsstorleken.

En annan aspekt på uthållig förädling är att ökat släktskap med tiden ger upphov till viss inavel. Inavel beror på korsning mellan besläktade individer. Släktskapet mellan två individer ökar sannolikheten för att en avkomma ska få en allel i dubbel uppsättning. (Eftersom föräldrarna är släkt kan båda bära samma allel som kan gå i arv till en avkomma.) Ökningen av inavelsgraden blir då ett mått på minskningen av den genetiska variationen inom en individ.

Inavel kan också leda till inavelsdepression. Barrträd har en relativt stor andel ogynnsamma eller skadliga gener som döljs av att de förekommer tillsammans med en funktionsduglig genvariant hos ett träd. Om ett nytt träd får dessa i dubbel uppsättning kan de vara direkt skadliga eller minska överlevnaden hos träden. Med en populationsstorlek på 50 individer blir lägsta möjliga inavelsökningen 0,5 % per generation. En halvering av populationen leder till en fördubbling av inavelsökningen. Som jämförelse kan nämnas att många avelsprogram med husdjur har inavelsökningar på mer än 1 % utan påtagliga negativa effekter trots att programmen pågått under många generationer.¹¹²

¹¹⁰ Danell Ö. 1992. Genetisk variation på olika sätt. *Skog & Forskning* 1/92, s 29–45.

¹¹¹ Rosvall, O., Andersson, B. & Ericsson, T. 1998. Beslutsunderlag för val av skogsodlingsmaterial i norra Sverige med trädslagsvisa guider. Skogforsk, *Redogörelse* 1, 1998, 66 s.

¹¹² Danell Ö. 1992. Genetisk variation på olika sätt. *Skog & Forskning* 1/92, s 29–45.

Hur sker massförökning?

av Curt Almqvist och Karl-Anders Högberg

För att skogsträdsförädlingens vinster praktiskt ska kunna tas tillvara måste träd med önskade egenskaper kunna massförökas. Det kan ske generativt genom produktion av frö i fröplantager eller vegetativt, främst med sticklingar eller genom mikroförökning, dit somatisk embr-yogenes hör.

Generativ förökning

Fröplantager har under hela skogsträdsförädlingens historia varit det helt dominerande sättet att omsätta förädlingens vinster till skogsodlingsmaterial. Detta gäller såväl i Sverige som i övriga världen. Fröplantager kommer under överskådlig tid att vara det dominerande sättet att producera skogsodlingsmaterial för det svenska skogsbruket.

År 2007 kom 48 % av alla granplantor som såldes i Sverige från svenska fröplantager. För tall var andelen 80 %.¹¹³ Andelen plantor som kommer från plantagefrö har ökat med tiden och kan förväntas fortsätta öka ytterligare i takt med att nyare plantager med bättre genetiskt material kommer in i produktion.

Idén att använda speciella planteringar med vegetativt förökat material för produktion av skogsfrö går ända tillbaka till 1787 då den framfördes av en tysk vid namn Burgsdorf.¹¹⁴ Den första dokumenterade fröplantagen anlades runt 1880 av holländare på Java. Trädslaget var *Cihchona ledgeriana* och ur dess bark utvanns kinin, ett ämne som används i malariamediciner. I Europa anlades den första fröplantagen i Skottland år 1931, en hybridlärkplantage. Sveriges första fröplantage anlades 1949 i Drögsnäs vid Brunsberg i Värmland och var en tallplantage.¹¹⁵

Tre omgångar svenska fröplantager

Tallplantagen i Drögsnäs var starten på ett omfattande program för tall- och granfröplantager och fram till mitten av 1970-talet hade 574 hektar tall- och 234 hektar granfröplantager anlagts.

Första omgången – EttO

Plusträdsurvalet till den första omgången plantager gjordes företrädesvis i gamla naturbestånd. De egenskaper som urvalet baserades på var volymproduktion, sundhet och kvalitetsegenskaper, men även veddensiteten vägdes in i begränsad omfattning.

Urvalet av plusträd ansågs dock för litet för att vara bas för ett långsiktigt förädlingsprogram, och ett ytterligare plusträdsurval genomfördes under 1980-talet. Även denna gång var urvalskriterierna volymproduktion, sundhet, kvalitetsegenskaper och veddensitet.

¹¹³ Se: www.skogsstyrelsen.se (länk: Fakta om skog / Statistik / Skogsvård / Återväxt).

¹¹⁴ Feilberg, L. & Söegaard, B. 1975. Historical review of seed orchards. I: Faulkner, R. Seed Orchards. *Forestry Commission Bulletin* 54.

¹¹⁵ Anon. 1962. Förteckning över fröplantagerna. Föreningen skogsträdförädling. *Årsbok 1962*. Appelbergs Boktryckeri, Uppsala, s 6–16.

Andra omgången – TvåO

Under 1980-talet påbörjades anläggningen av en andra omgång fröplantager. Dessa baserades på de nyutvalda plusträden, men även till viss del på plusträd från det tidigare urvalet som hunnit bli avkommeprövade. I Norrland valdes också en del härdiga plusträd ut med hjälp av frystester av avkommor från plusträden.

Totalt hade det fram till 1999 anlagts 350 hektar tall- och 230 hektar granfröplantager i den andra omgången.

Tredje omgången – TreO

Avkommebedömningen av plusträden från de två urvalsomgångarna var i stort sett klar i början av 2000-talet. Baserat på denna kunskap om plusträdens genetiska värde påbörjade skogsbruket den tredje omgångens fröplantager, det så kallade TreO-programmet.¹¹⁶ I dessa plantager ingår plusträd som i avkommeprövningarna visat sig vara allra bäst. I TreO-programmet kommer enligt nu gällande operativa planer (februari 2010) omkring 220 hektar tall- och 370 hektar granfröplantager att anläggas, och alla plantager i programmet beräknas vara anlagda omkring 2015.

Plantbehovet styr fröbehovet som styr plantagebehovet

Enligt Skogsstyrelsens statistik har plantproduktionen under perioden 1998–2007 i medeltal varit 123 milj. tall- och 189 milj. granplantor per år, dvs totalt 312 milj. plantor per år.¹¹⁷

Ett annat sätt att beräkna plantbehovet är att utgå från avverkad areal och antaganden om plantantal per hektar och andel självföryngring. Det har Skogforsk gjort och använt i beräkningar med Hugin i SKA-VB -08¹¹⁸ och kommit fram till ett årligt plantbehov på 196 milj. tall- och 217 milj. granplantor per år, dvs. totalt 413 milj. plantor per år.¹¹⁹

Som tumregel kan man använda följande omräkning: Ett kilogram planta-gefrö ger cirka 100 000 plantor. Använder man denna tumregel så blir det årliga behovet cirka 1230 kg tallfrö och 1890 kg granfrö enligt Skogsstyrelsens plantproduktionsstatistik och cirka 1960 kg tallfrö och 2170 kg granfrö enligt beräkningarna i SKA-VB -08.

För att gå från fröbehov till plantageareal behövs uppgifter över vad fröplantagerna producerar i medeltal per år och ytenhet. I beräkningarna inför starten av TreO-programmet användes två nivåer varav den lägre ansågs mest realistisk då man beaktar dagens skötselintensitet i fröplantagerna.¹²⁰ Denna produktionsnivå är för tallplantager cirka 10 kg frö per ha och år och för granplantager cirka 6 kg frö per ha och år.¹²¹ Baserat på ovan presente-

¹¹⁶ Rosvall, O. 2003. Zon- och ägarvisa plantagearealer för tredje omgången fröplantager i Sverige. Skogforsk, *Arbetsrapport* 549.

¹¹⁷ Se även *Skogsskötselserien* nr 2 och 16, Produktion av frö och plantor, respektive Produktionshöjande åtgärder, www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

¹¹⁸ Skogliga konsekvensanalyser 2008 (SKA-VB -08). 2008. Skogsstyrelsen. *Rapport* 25, 2008. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (Länk: Bokhandeln / Rapporter.)

¹¹⁹ Rosvall, O., m fl. 2007. Tillväxthöjande skogsskötselåtgärder i privatskogsbruket – underlag för lönsamhetsberäkningar. Skogforsk, *Arbetsrapport* 640, 59 s.

¹²⁰ Almqvist, C., Wennström, U. & Karlsson, B. 2009. Hur öka tillgången på förädlat skogsodlingsmaterial. Skogforsk, *Stencil*.

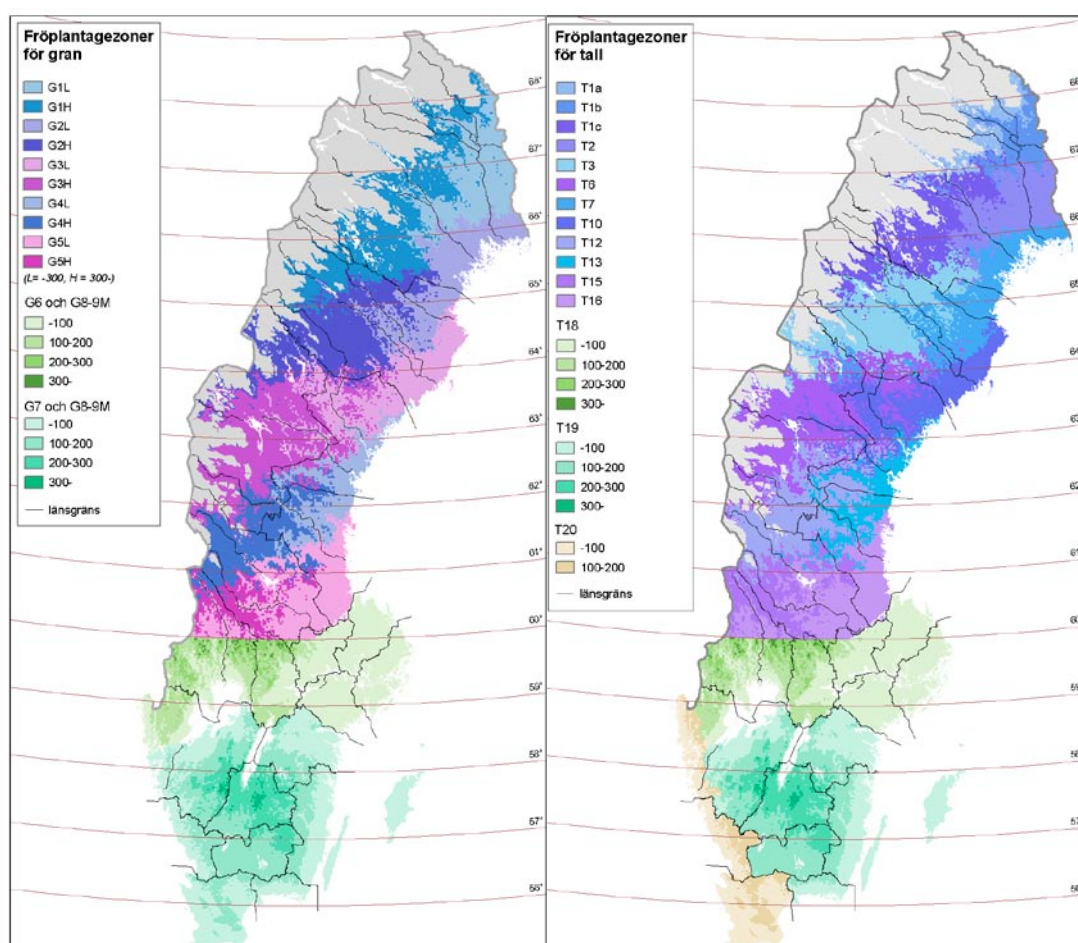
¹²¹ För tall 9,5 och 11,0 kg per ha och år för norra respektive södra Sverige, och för gran 5,6 och 6,7 kg per ha och år för norra respektive södra Sverige.

rade behovs- och produktionsdata blir plantagebehovet 123–196 hektar tall- och 315–362 ha granplantager som årligen är i aktiv produktion för att nå full behovstäckning av plantagefrö för plantproduktion.

Om man även avser att täcka fröbehovet för skogssådd med plantagefrö så måste framförallt arealen tallplantager för norra Sverige utökas.

Klonurval till fröplantager

En fröplantage ska förse ett visst geografiskt område med lämpligt frö. För att kunna uppskatta plantagebehovet har Sverige delats in i ett antal fröplantagezoner. Inom en plantagezon är de klimatiska förhållandena så likartade att samma frömaterial med lämplig klimatanpassning kan användas. Det finns 15 plantagezoner för tall och 14 för gran (figur SF28).



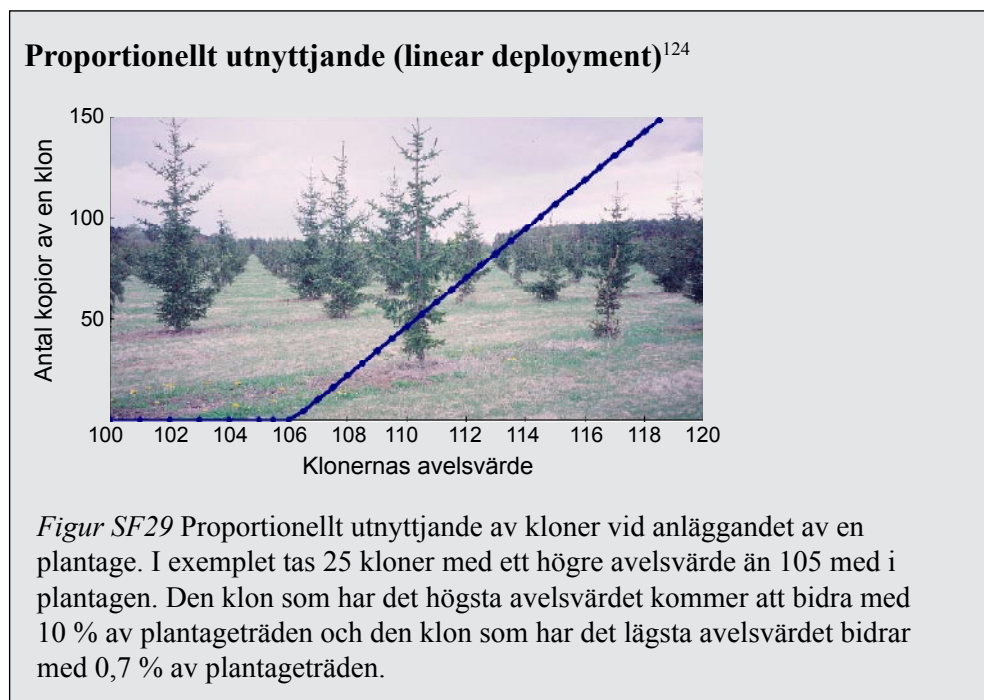
FigurSF28 Plantagezoner för gran och tall. Källa: Rosvall (2003).¹²²

Vid anläggandet av en ny fröplantage väljer plantageintressenterna i samarbete med förädlarna vid Skogforsk ut ett lämpligt klonmaterial för plantagen. Klonerna väljs ur förädlingspopulationerna som har sitt målområde i och i nära anslutning till det geografiska område där plantagens frö skall användas. Klonerna väljs ut baserat på information från genetiska fälttester.

¹²² Rosvall, O. 2003. Zon- och ägarvisa plantagearealer för tredje omgången fröplantager i Sverige. Skogforsk, Arbetsrapport 549.

Genetisk vinst och diversitet

Inom TreO-programmet planeras plantagerna att anläggas med omkring 25 kloner per plantage och dessa kloner får ingå i plantagen i proportion till sitt avelsvärde. Beräkningar visar att detta ger en lika stor genetisk vinst som en plantage med cirka 15 kloner, där klonerna ingår i lika proportioner.¹²³ Den effektiva populationsstorleken i fröet blir dock så hög som 22. Ett sätt att uttrycka det på är att den genetiska diversiteten i en plantage med 25 kloner som ingår proportionellt mot sitt avelsvärde är lika stor som i en plantage med 22 kloner där alla klonerna ingår i lika proportioner (se faktaruta).



Lokalisering och anläggning av fröplantager

Markvalet är mycket viktigt för att plantagen skall ge stora och regelbundna skördar. Fröplantager anläggs vanligtvis på jordbruksmark, men det är även möjligt att anlägga dem på skogsmark av lämplig beskaffenhet.

Det är många faktorer som påverkar en lokals lämplighet som plantage-
 mark (figur SF30).¹²⁵ De viktigaste är:

Arrondering. Marken bör vara sammanhängande och ha en kompakt form.

Klimat. Klimatet sätter i stor utsträckning gränsen för hur produktiv plantagen kan bli. Allmänklimatet i det aktuella området bör vara gynnsamt. Lokalklimatet har stor betydelse för fröproduktionen. Ett bra lokalklimat karaktäriseras av avsaknad av kalluftsströmmar, upphöjt läge, skydd för kalla och fuktiga vindar samt solexponering.

¹²³ Rosvall, O., m fl. 2001. Genetiska vinster i nuvarande och framtida fröplantager och klonblandningar. Skogforsk, *Redogörelse* 1, 2001, 41 s.

¹²⁴ Lindgren, D., m fl. 2008. Unequal deployment of clones to seed orchards by considering genetic gain, relatedness and gene diversity. *Forestry* 82(1), 17–28.

¹²⁵ Almqvist, C., Rosvall, O. & Wennström, U. 2007. *Fröplantager – anläggning och skötsel*. Skogforsk, Handledning, 97 s.

Markfaktorer. Jordart, textur, jorddjup och dränering påverkar plantageträdens vitalitet, tillväxt och blomningsvillighet. Bäst är jordar av sandigt till sandigt-moigt material med viss finjordsandel. Jorddjupet bör vara mer än en halvmeter och dräneringen god.

Tidigare markanvändning. Marken bör vara fri från kemikalier och inte kompakterad.

Övriga faktorer. Det är många andra faktorer som påverkar valet, till exempel isolering från pollen utifrån, förekomst av hägg¹²⁶, bevattningsmöjligheter och konfliktrisker.



Figur SF30 Tallplantage 620 Gnarp är väl arronderad vilket gör att trädraderna blir långa och lättskötta. Marken är väl dränerad och den svaga sluttningen gör att risken för frostsador under blomningen på våren minskar. Foto Lars Klingström.

När markfrågan är löst vidtar anläggandet av fröplantagen. Då plantagen ska planeras är det viktigt att dess funktionalitet under hela livslängden är i fokus. Hur plantagen utformas med vägar, vändtegar, lastplats, dränering, personalutrymmen, förvaringsutrymmen för maskiner och kott m m avgör till stor del hur lättarbetad plantagen kommer att bli. I TreO-programmet är det rekommenderade avståndet mellan trädraderna i plantagen 7 m, vilket är tillräckligt för att ge plats för arbetsmaskiner mellan raderna även då plantageträden är uppvuxna.

För att minska risken för självbefruktning ska varje plantageträd av en klon vara omgivet av plantageträd av andra kloner. Detta uppnås genom att man med så kallad randomisering ser till att plantageträden av en viss klon blir väl utspridda i plantagen.

¹²⁶ Skadesvampen *grankottrost* värdväxlar mellan hägg och grankottar.

Kott- och fröproduktion i plantager

Användning av tidiga skördar

Väntetiden från anläggning till dess att plantagen börjar producera frö varierar avsevärt mellan olika plantager och mellan trädslag. En väl anlagd tallplantage kan börja producera kott efter 5–10 år, medan en granplantage normalt tar minst 10 år på sig innan kottproduktionen börjar.

Hos barrträd startar honblomning och kottproduktion flera år tidigare än hanblomning och pollenproduktion. De första skördarna kommer därför att vara pollinerade av utifrån kommande pollen i en omfattning på upp till 100 %. Pollinering med sådant utifrån kommande, oförädlat pollen kallas *inkorsning*. Den höga inkorsningen gör att unga plantager med svag hanblomning inte kommer upp i sin fulla genetiska kapacitet vad gäller egenskaper som tillväxt, hårdighet och kvalitet. I en plantage utan egen pollenproduktion går man miste om fadereffekten och därmed halva den genetiska vinsten. Den höga inkorsningen innebär inte att fröet inte kan användas, men att man måste vara medveten om vad det innebär för fröets användbarhet.

Det går att minska inkorsningen genom att tillföra i förväg insamlat pollen, antingen utan att isolera honblommorna, vilket kallas *tilläggspollinering*, eller efter att honblommorna isolerats.¹²⁷ Hur stor påverkan inkorsningen har beror på plantagens lokalisering i förhållande till användningsområdet. Detta gäller även de senare skördarna då plantagens pollenproduktion nått full kapacitet.

För plantager lokaliserade inom eller norr om sitt användningsområde påverkas inte hårdigheten negativt av inkorsningen. Är plantagen lokaliserad söder om sitt användningsområde kommer bakgrundspollenet att vara både ”oförädlat” och av ett sydligare ursprung än vad som är lämpligt för plantagens tänkta användningsområde. Detta kan göra att användningsområdet för plantagefröet inte blir detsamma som plantagen ursprungligen var tänkt för. För att bestämma lämpligt användningsområde bör därför varje årsskörd plantagefrö frystestas.^{128, 129}

Frystest av plantagefröpartier

Omfattande undersökningar har visat att det finns ett starkt samband mellan hårdigheten mätt i frystest och överlevnad i fält på kärva lokaler. Skogforsk har erfarenhet från långvarig testverksamhet av plantagefröpartier som visar att en enskild årsskördens hårdighet kan variera motsvarande $\pm 1,5$ breddgrader från plantagens genomsnittliga hårdighet. Det är därför viktigt att testa varje årsskörd från plantager vars material är avsedda för områden med hårdhetsproblem.

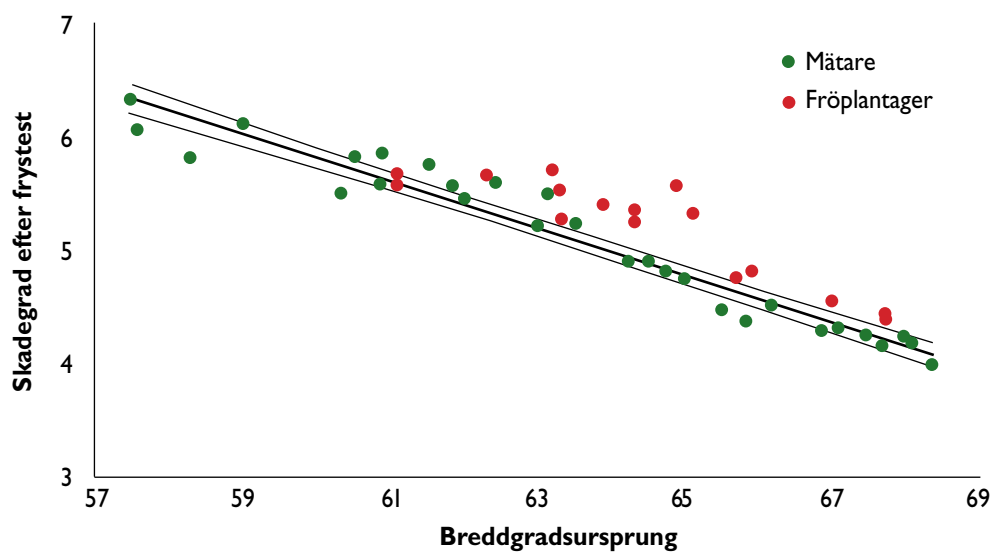
¹²⁷ Eriksson, U., Jansson, G., Yazdani, R. & Wilhelmsson, L. 1995. Effects of supplemental mass pollination (SMP) in a young and a mature seed orchard of *Pinus sylvestris*. *Tree Physiology* 15, 519–526.

¹²⁸ Andersson, B. 1992. Autumn frost hardiness of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seed orchard crops. I: Lindgren, D. (redaktör). Provenance and forest tree breeding for high altitudes. Proceedings of the Frans Kempe Symposium in Umeå June 10–11, 1986. SLU, inst. för skoglig genetik och växtfysiologi, *Rapport* 6, s 99–111.

¹²⁹ Nilsson, J.-E. & Andersson, B. 1987. Performance in freezing tests and field experiments of full-sib families of *Pinus sylvestris* (L.). *Can. J. For. Res.* 17, 1340–1347.

Vid en frystest odlas först plantor i växthus i en kontrollerad odlingsregim i cirka 10 veckor. Därefter får plantorna invintra genom att en konstgjord höst skapas med sänkt temperatur och lång natt. Plantorna utsätts sedan för låg temperatur, mellan minus 10 och 20 °C, i en fryskammare. Efter frysningen får plantorna stå i växthus några veckor innan deras skador bedöms.

I varje testomgång ingår plantor från naturbestånd med en geografisk spridning från söder till norr. Varje naturbestånd har ett känt ursprung och naturbeståndens fältöverlevnad är känd från en stor mängd äldre fältförsök. Vid utvärderingen jämförs skadorna på plantageplantorna med skadorna på naturbeståndsplantorna. Plantagefröets härdighet beskrivs då som jämförbar med ett naturbestånd från en viss latitud och därmed fås också ett mått på förväntad fältöverlevnad (figur SF31).



Figur SF31 Exempel på ett resultat från en frystest av plantagefröpartier. Plantagefröpartierna jämförs med fröpartier från naturbestånd (så kallade mätare) med känd härkomst. Ju längre norrifrån ett material är hämtat desto mindre blir skadorna i frystest. Fröplantagematerialet har gett något mer skador än mätarna vilket indikerar att inkorsning med lokalt pollen har skett. Källa: Skogforsk.

Beskärning av tallplantager

Det finns i grunden två principiellt olika sätt att sköta plantageträäd:

- Plantageträäden får växa fritt och plantageskötaren gallrar successivt bort träd för att ge kvarstående träd tillräckligt med plats, ljus och näring för att de ska producera bra med kott.
- Plantageträäden beskärs regelbundet så att tillväxten bromsas och alla träd kan behållas. Med beskärning formas trädens kronor så att hela trädkronan solbelyses och kan delta i produktionen av frö och pollen.

I Sverige tillämpas i praktiken endast den andra modellen med beskärning av plantageträäden. Ett av de viktigaste skälen till detta är att obeskurna plantageträäd blir för höga och gör kottinsamling från stora plattformar kostsam,

bland annat på grund av de bestämmelser för arbetarskydd som gäller vid arbete på höga höjder.

Ett plantageträds svar på en beskärning är att kompensera förlusten av barrmassa. En rätt utförd beskärning skapar därigenom fler skottspetsar vilka i sin tur är platser där blommor kan bildas (figur SF32). En beskuren träd-krona kan därför ha fler skottspetsar som kan bära blommor än en obeskuren träd-krona av samma storlek.



Figur SF32 Vid beskärning bildas flera skottspetsar där blommor kan bildas. Foto Curt Almqvist.

Genom att beskärningen håller tillbaka plantageträdens höjdtillväxt, tar det längre tid innan träden i ett viss förband börjar beskugga varandra. Detta gör att en beskuren plantage kan ha fler produktiva plantage träd per hektar än en obeskuren, där träd successivt måste gallras bort för att inte träden skall beskugga varandra för mycket.

Sammantaget gör detta att produktionen i en beskuren plantage kan vara lika hög eller högre per arealenhet som i en obeskuren plantage (figur SF33). Utöver det finns många praktiska fördelar med att begränsa plantage trädens storlek:

- Det är lättare och billigare att samla in kottarna från plantage träderna.
- Det gör det möjligt att sätta in åtgärder mot t ex insektsangrepp.
- Intensivare skötselåtgärder, som t ex tilläggs pollinering kan bara utföras effektivt på små plantage träd.



Figur SF33 Beskärning i tallfröplantage 610 Hade hösten 2004. Foto Curt Almqvist.

Beskärning av granplantager

Granplantagerna blommar senare än tallplantagerna och träden i många av de äldre plantagerna var ganska stora innan de började ge skördar av praktisk betydelse. Problemet med för höga träd vid kottplockning är samma för gran som för tall, men granens mer koncentrerade kottsättning tillåter plockning på lite högre träd. Problemet blev till slut så stort att man började prova att även på granar kapa toppen, dvs toppa dem.

Granens honblommor anläggs i grenarnas skottspetsar. Årlig beskärning av ledande skott medför därför att det inte bildas några honblommor alls. Toppning av stammen minskar kottproduktionen momentant, men grenar i de översta kvarvarande grenvarven bildar efter några år nya toppar som återställer blomningsförmågan.

Vid toppning vrider sig de övre grenarna uppåt och bildar en korg (figur SF34). Det är på dessa nya toppar fortsatt kottsättning sker. På träd där toppningen bara tar bort toppen och några av de översta grenvarven bildas dubbel eller trippeltoppar som växer tätt ihop. Det kan ofta vara svårt att se att dessa träd är toppade. På äldre grova träd med vida kronor kan det ta längre tid för nya toppar att komma upp, då dessa ofta bildas genom att nya skott växer ut från de övre grenarna.

Granen blommar inte rikligt varje år. Även hos normalt växande granar, som inte utsätts för beskärning, är det glest mellan rikliga blomningsår. Toppade granar hinner därför oftast bilda nya toppar som kan producera blommor vid nästa bra blomningsår. Granplantager kan därför skötas med skörd av kottbärande toppar.



Figur SF34 Beskärning i granfröplantage 504 Ålbrunna hösten 2009.
Foto Curt Almquist.

Åtgärder för att öka fröproduktionen

Intensivare skötsel

Vid anläggning av en ny plantage är det viktigt att plantageträden får en bra start och snabbt etablerar sig på lokalen. Då fröplantager normalt anläggs på jordbruksmark utsätts plantorna för en stark vegetationskonkurrens om inte lämpliga åtgärder för att motverka detta sätts in. Gödsling ger en ökad tillväxt på plantageträden. En högre intensitet i skötseln under etableringsfasen än den normalnivå som nu gäller skulle förkorta tiden till att plantageträden har vuxit sig tillräckligt stora för att börja blomma och producera kottar och frön. Det är realistiskt att med en ökad intensitet förkorta etableringsfasen med 5–6 år i en enskild plantage.

Skötsel under produktionsfasen syftar till att hålla plantageträden i en god vitalitet och näringsstatus så att de orkar med en regelbunden och hög kott-sättning. Beskärning av trädens grönkronor gör att grenarkitekturen ändras så att grenarna får fler skottspetsar där blommor och kottar kan bildas. Åtgärder som utförs är att hålla efter konkurrerande vegetation, gödsla så att en god näringsstatus upprätthålls, beskära för att forma trädskronor och begränsa höjdtillväxten, etc.

Det är realistiskt att med en ökad intensitet i skötseln under produktionsfasen öka fröproduktionen med 15–20 % i en enskild plantage. Eftersom intensitetsökningen ger högst båtнад (nytta) i plantager med hög genetisk nivå ska insatserna i första hand sättas in i dessa plantager. Även i zoner med betryggande totalförsörjning kan det vara lönsamt att öka skötselintensiteten i de bästa plantagerna och ”pensionera” de gamla med låg förädlingsvinst.

Blomningsstimulering

Den dominerande metoden för att stimulera blomning är att behandla plantageträden med hormonet *gibberellin*. Det är ett av trädets naturliga blomningshormon och det tillförs genom ett borrhål i stammen. Därifrån transporteras det ut i trädets ledningsbanor till skottspetsarna där blomknopparna bildas. Effekten av en gibberellinbehandling varierar beroende på de naturliga förutsättningarna för blomning. Hos gran kan effekten förstärkas med rotbeskärning, strangulering, partiell ringbarkning och gödsling med höga kvävegivor.

Rotbeskärning är en enkel metod med god effekt och minimala biverkningar. Ett 20–30 cm djupt ”spår” skärs upp längs trädraden. Syftet är att minska plantageträdens förmåga att ta upp vatten. De blir då torkstressade, vilket har visat sig öka blomningen.¹³⁰

Effekten av en blomningsstimulerande behandling varierar beroende på de naturliga förutsättningarna för blomning. Generellt kan man säga att effekten av en behandling är säkrare på tall än på gran. När en behandling av gran ger effekt så är dock oftast responsen betydligt kraftigare än hos tall.

Erfarenheterna från Skogforsks försök med blomningsstimulering i granplantager är att man vid en lyckad behandling av en granplantage kan få en

¹³⁰ Almqvist, C. & Eriksson, M. 2008. Ökad produktion i plantage 501 Bredinge – försök med rotbeskärning och gibberellinbehandling. Skogforsk, *Arbetsrapport* 658, 14 s.

produktionsökning på 70 procent eller mer. Det lyckas dock inte varje år. Vår bedömning är att man kan lyckas vid ungefär vartannat försök. För att försöka bör de vädermässiga förutsättningarna vara gynnsamma, vilket gör att en ytterligare reduktion är nödvändig. Ekonomiska beräkningar baserade på försök i praktisk skala visar att det för plantageägaren är mycket god ekonomi att blomningsstimulera gran.¹³¹

Tallen har en mer förutsägbar reaktion på blomningsstimulering än gran, varför sannolikheten att lyckas med en behandling är större. Effekten av en lyckad behandling är dock lägre, i storleksordningen 30–40 % högre skörd.¹³²

Insektskontroll

Insektskontroll är aktuellt endast för granfröplantager då tall normalt inte har problem med kott- och fröförstörande insekter. I genomsnitt förstörs cirka 40 % av granfröproduktionen i en plantage av insekter. Granens kottar och frö kan angripas av ett flertal arter, de allvarligaste är *grankottmott*, *grankottmätare*, *grankottvecklare* och *grankottflugan*.¹³³

Det är insekternas larver som orsakar skadorna och eftersom de lever hela larvstadiet inne i kotten är de svåra att bekämpa. Det enda preparat som i dag är tillåtet att använda i fröplantager är *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai* x *kurstaki* (Btk). Det är ett biologiskt preparat som säljs under produktnamnet Turex® 50 WP. Det är aktivt mot fjärilslarver och har visat sig vara effektivt mot skador av grankottmott och grankottmätare. Bekämpningen sker med en traktordragen fläktspruta (figur SF35).



Figur SF35 Besprutning i en granfröplantage mot kottinsekter. Preparatet Turex sprutas med fläktspruta. Foto Olle Rosenberg.

¹³¹ Almqvist, C. 2007. Practical use of GA4/7 to stimulate flower production in *Picea abies* seed orchards in Sweden. I: Lindgren, D. (redaktör). *Proceedings of a Seed Orchard Conference, Umeå, 26–28 September, 2007*, s 16–24.

¹³² Almqvist, C., Rosvall, O. & Wennström, U. 2007. *Fröplantager – anläggning och skötsel*. Skogforsk,Handledning, 97 s.

¹³³ Se även: *Skogsskötselserien* nr 2, Produktion av frö och plantor, www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

Erfarenheter från Skogforsks försök med Btk är att behandlingen kan minska insektskadorna med omkring 60 %. Behandlingen ökar också kottarnas klängbarhet (möjligheten att få ut fröet ur kottarna) och fröutbytet eftersom kottarna inte producerar lika mycket kåda för att skydda sig mot angreppen.

En minskning av skadeangrepp med 60 % då skadenivån är 40 % innebär att skadenivån minskar till 16 %. Kalkyler över kostnader för insektskontroll visar att det för plantageägarna är mycket god ekonomi i insektskontroll i granfröplantager.¹³⁴

Vegetativ förökning

Vegetativ förökning innebär att delar av en växt behandlas så att delarna växer ut till kompletta plantor. På så sätt skapas nya, genetiskt identiska individer från en ursprungsindivid. En grupp individer med samma arvsanlag kallas för en klon. Klombegreppet är centralt i all genetik och gäller för alla organismer. Metoderna för vegetativ förökning är många, med varierande grad av komplexitet.

Användning av vegetativ förökning i skogsbruket har många fördelar, såväl i förädling som vid massförökning. I förädlingen är tidsvinsten och ökad urvalsstyrka de största fördelarna. Vegetativ massförökning är attraktiv eftersom ett mindre antal kloner med mycket goda egenskaper ger större genetiska vinster jämfört med fröförökat material. Vid fröförökning i fröplantager används vegetativ förökning indirekt i och med att föräldraträden klonas genom ympning för att en större mängd frö ska kunna skördas. En ytterligare fördel är i situationer där det är brist på lämpligt frö. Vegetativ förökning kan då helt eller delvis avhjälpa detta.

Det är en stor variation mellan trädslag vad gäller förmågan att förökas vegetativt. I svenskt skogsbruk tillämpas vegetativ förökning endast i liten skala och då med poppel (*Populus sp.*), hybridasp (*Populus tremula x tremuloides*) och gran. Tall och många ädla lövträd hör till de svåraste trädslagen att föröka vegetativt.

Metoder för vegetativ förökning

Avläggare

Genom att böja ner lågt sittande kvistar och täcka med jord kan rötter bildas på kvisten och om kvisten skiljs från moderplantan eller trädet bildar den nu rotade kvisten en ny planta. Denna metod tillämpas i en del fall i trädgårdsnäringen men är alltför omständlig och dyr att använda i skogsbruk. Som kuriosas kan nämnas att gran naturligt kan föröka sig på detta sätt i vissa speciella miljöer, till exempel nära trädgränsen i fjällen och i skärgårdar. Granen klonar sig alltså själv i vissa situationer.

Ympning

Ympning innebär att en del av en växt sammanfogas med en annan och efter sammanväxning fungerar som en planta eller ett träd. I normalfallet tas kvistar från det träd man vill föröka. Kvisten (dvs *ympen*) skärs av och sätts

¹³⁴ Almqvist, C., m fl. 2008. Granfröplantagerna – en guldgruva för skogsbruket. Skogforsk, Resultat 3, 2008, 4 s.

sedan på ett skott på en annan planta (som kallas *grundstam*) (figur SF36). Ympen fixeras vid ympstället och ympen och grundstammen kan sedan växa samman så att ledningsbanorna fungerar också upp till ympen. Efterhand som ympen växer till, beskärs grundstammen så att det till slut bara finns växande skott från ympen och grundstammen enbart tjänstgör med nedersta delen av stam och rot.



Figur SF36 En kvist av tall som ska ympas på en grundstam. Foto Skogforsk.

Ympningstekniken är mycket gammal och bland annat vin har ympats sedan antiken. De allra flesta trädslag går att ympa även om en del kan vara besvärliga och ympkvisten stöts bort efter en tid. I regel är fröplantager i Sverige anlagda med träd som klonats genom ympning.

Ympkvisten kan reduceras till att endast omfatta knopp och lite omkringliggande ved. Denna lilla ymp kan sedan ersätta motsvarande knopp och ved som tas bort från ett skott på en grundstam. Denna metod brukar kallas okulering och är vanlig för fruktträd men har också provats för framställning av kloner till fröplantager.

Ympning i olika former är dock för dyr för användning i massförökning.

Sticklingförökning

Förökning med sticklingar är liksom ympning en metod som använts länge för många växter. Den går till så att skott klipps från en moderplanta, skotten rotas, och de rotade sticklingarna bildar en klon. Sticklingförökning av skogsträd omnämns i kinesiska skrifter från medeltiden, det rörde sig då om kinesisk gran (*Cunninghamia lanceolata*). Av större betydelse skogligt sett är den sticklingförökning som skett av sugi (*Cryptomeria japonica*) i Japan sedan 500 år tillbaka.

I övriga världen är sticklingförökning i skogsbruket en yngre företeelse och det är framför allt poppel och en del barrträd som nått nivåer i något så när stor skala. Vissa poppelarter är mycket lättrotade och kan stickas direkt på förnyngningsobjektet. För de flesta arter avtar förmågan hos skotten att rota sig med stigande ålder. Dessutom ökar risken för att de rotade plantorna för-

lorar sin *apikala dominans*.¹³⁵ Hur snabbt rotningsförmågan avtar och växtsättet försämras varierar mellan trädslag. Denna åldersbegränsning är avgörande för möjligheten till och utformningen av en storskalig sticklingförökning.

Rotningsmiljön för sticklingar skiljer sig en hel del från vanlig fröplantsodling eftersom det krävs en hög luftfuktighet under de första veckorna av rotningsprocessen. Detta ställer krav på ett genomsläppligt substrat som klarar en fuktigare miljö utan att det blir syrebrist i substratet. Likaså gynnas rotningen av att rotningsbädden kan värmas underifrån. Utgångsmaterialet, sticklingarna, är känsligare än frö och det är viktigt att moderplantorna är vitala och friska och befinner sig i rätt fysiologisk fas.

Intresset för sticklingförökning av gran blev mycket stort efter publicerandet av en tysk artikel som beskrev hur en storskalig sticklingförökning kunde läggas upp.¹³⁶ Idén var att tillämpa seriell förökning, dvs rotade sticklingplantor fungerade som nya moderplantor i tre- till fyraårsintervall och på detta sätt kunde en ursprungsplanta ge upphov till uppåt tusen plantor efter några förökningscykler. Intervallet sattes till maximalt fyra år som är den kritiska åldern för god rotningsförmåga hos gran.

De tyska studierna har visat att man erhåller godtagbara resultat i förökningen upp till och med sju förökningscykler med seriell förökning och intervall på högst fyra år.¹³⁷

Ett alternativ till seriell förökning är den så kallade häckmetoden.¹³⁸ Här beskär moderplantan årligen och för gran strävar man efter att inte låta moderplantan bli högre än 50 cm, samtidigt som målet är att plantan ska bli buskig och producera ett stort antal skott. Genom den återkommande beskärningen behålls rotningsförmågan under en längre tid än fyra år och var gränsen går med denna metod är inte klarlagt. Om massförökning är målet måste även häckmetoden inkludera några cykler av seriell förökning för att få upp antalet moderplantor per ursprungsplanta.

I Sverige startades på 1970-talet två parallella projekt med sticklingförökning av gran, vid Skogsstyrelsen och vid dåvarande Hillehö AB. Båda inriktade sig på klonskogsbruk med testade kloner. I Skogsstyrelsens projekt tillämpades seriell förökning medan Hillehö AB använde häckmetoden. Under den ekonomiska nedgången i början av 1990-talet vek marknaden så kraftigt att båda projekten lades ner och något säkert svar på uthålligheten med de båda metoderna kan därför inte ges.

Sticklingförökning har inte mekaniserats utan innehåller flera manuella moment. Detta betyder att kostnaden för en sticklingplanta blir högre än för en fröplanta, uppskattningsvis 50–100 % högre, ibland ännu mer.

För hybridasp finns en alternativ metod som i egentlig mening inte är sticklingförökning. Genom att ta rotsegment från moderplantan och lägga

¹³⁵ Apikal dominans: Benägenheten att växa upprätt.

¹³⁶ Kleinschmit, J., Müller, W., Schmidt, J. & Racz, J. 1973. Entwicklung der Stecklingvermehrung von Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) zur Praxisreife. *Silvae Genetica* 26, 197–203.

¹³⁷ Dekker-Robertson, D.L. & Kleinschmit, J. 1991. Serial propagation in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Silvae Genetica* 40, 202–214.

¹³⁸ Bentzer, B. 1981. Large scale propagation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) by cuttings. I: Symposium on clonal forestry, Uppsala, April 8–9, 1981. SLU, inst. för skogsgenetik, *Research notes* 32, 33–42.

i lämpligt substrat kan plantor utvecklas från respektive segment. Metoden kallas förökning med *rotsticklingar* och tillämpas i mycket blygsam omfattning i Sverige och Finland.

Mikroförökning

Under 1900-talets andra hälft utvecklades nya metoder för vegetativ förökning som till stora delar sker i laboratorier. Gemensamt för dessa är att vävnadskulturer initieras och stimuleras att bilda skott eller fortsätta att växa genom behandling med växthormoner. Man skiljer på två typer av mikroförökning, *organogenes* och *somatisk embryogenes*.

Organogenes

Organogenes är en samlingsbeteckning för metoder där skott och rot bildas under skilda tidsperioder under förökningen. Olika vävnader eller organ kan fås att bilda skott genom behandling med cytokinin (ett växthormon som stimulerar celledelning). Skotten rotas sedan genom behandling med auxin (ett växthormon som stimulerar cellsträckning och rotbildning). Flera olika former av organogenes finns men för skogsbruket är det främst *meristemförökning* som har nått tillämpning om än blygsam.

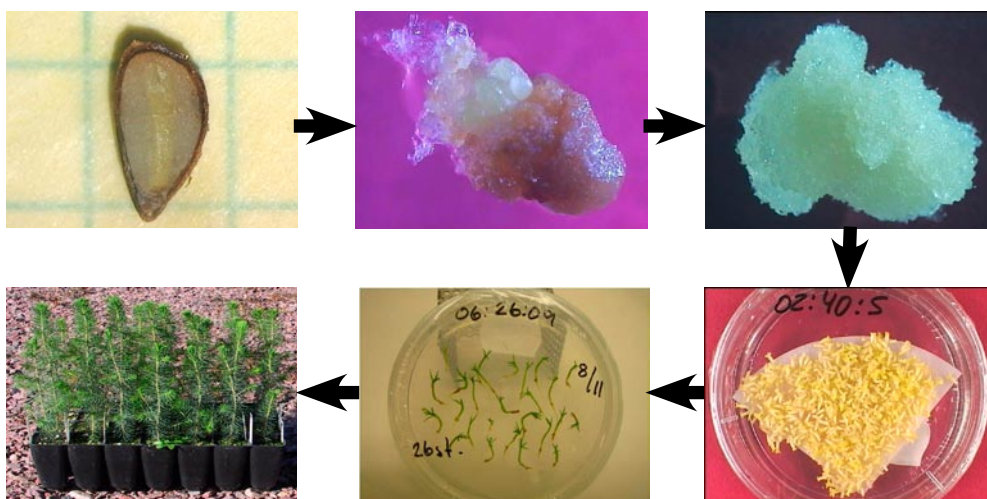
Meristemförökning startar med att *meristem* (tillväxtzoner) i aktiva knoppar stimuleras att växa genom behandling med cytokinin och att utveckla flera skott per ursprungsmeristem. Knopparna kan vara såväl befintliga som inducerade *adventivknoppar*. De bildade skotten kan sedan fortsätta att förökas genom upprepad delning. Två till tre nya skott kan bildas från ett skördat skott. Skotten rotas med hjälp av auxin och acklimatiseras sedan successivt till normal odlingsmiljö med lägre luftfuktighet och osterila förhållanden.

Metoden har nackdelen att innehålla många manuella moment och blir därför dyr. Många lövträd kan förökas genom meristemförökning och även knoppar från äldre träd är möjliga att använda även om förökningsförmågan avtar med åldern. Kommersiell förökning har skett med björk i Finland och hybridaspplantor på den svenska marknaden är oftast förökade med denna metod.

Somatisk embryogenes

Utgångsmaterial är i detta fall ett fröembryo som med hjälp av växthormoner (ofta både cytokinin och auxin) stimuleras att bilda en *vävnadskultur*. Fortsatt behandling med växthormoner gör att kulturen växer och när man har en tillräcklig mängd vävnad stimuleras nya embryon att mogna genom att behandla med abskissinsyra (ett tillväxthämmande växthormon). Embryona får sedan gro, groddplantorna acklimatiseras till växthusmiljö och odlingen fortsätter som vanligt.¹³⁹ Forskning och utveckling har i Sverige koncentrerats till gran och under överskådlig tid är det gran som är aktuell att förökas med denna metod. Se bildserien i figur SF38.

¹³⁹ von Arnold, S., m fl. 2005. Propagation of Norway spruce via somatic embryogenesis. *Plant cell, tissue and organ culture* 81, 323–329.



Figur SF37 Somatisk embryogenes är en förökningsmetod som följer ett schema med olika moment. Den startar med att ett fröembryo prepareras fram som initieras att bilda en vävnadskultur. Kulturen får sedan växa (*proliferera*) tills man har lämplig mängd vävnad, då mognadsmomentet tar vid. De mogna somatiska embryona får sedan gro till småplantor som acklimatiseras till växthusförhållanden och därefter odlas på vanligt sätt. Bilder Skogforsk.

Under tillväxtfasen kan vävnadskulturen frysas ner och lagras i flytande kväve ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$), så kallad *kryopreservering* eller *kryolagring*. Detta ger möjlighet att behålla förökningsförmågan under en lång tid. Jämfört med sticklingförökning där ett modermaterial måste hållas *juvenilt*¹⁴⁰ med antingen seriell förökning eller återkommande beskärning är det en stor fördel.

En annan fördel är att förökningen är mycket snabb. Vissa kloner fördubblar mängden vävnad på två veckor och teoretiskt skulle man kunna producera en miljon plantor av en sådan klon två år efter att kulturen startas.

Den stora nackdelen för somatisk embryogenes är densamma som för andra mikroförökningsmetoder. De många manuella moment där skott, embryon och plantor hanteras en och en gör att kostnaden blir hög. Framför allt i Nordamerika, men också på andra håll i världen, har stora resurser satsats på utveckling av metoder där embryon hanteras automatiskt. Hittills (2010) har dock ingen kommersiell produkt presenterats.

Trots att någon automatisk metod ännu inte utvecklats finns exempel på tillämpningar av somatisk embryogenes, till exempel för loblollytall (*Pinus taeda*) i sydöstra USA, några olika granarter i östra Kanada, sitkagran (*Picea sitchensis*) på Irland och radiatall (*Pinus radiata*) på Nya Zeeland. I vissa fall går somatiska plantor direkt ut till skogsbruket, i andra fall tillämpas sticklingförökning med moderplantor som producerats med somatisk embryogenes. Totalt rör det sig i dagsläget om ca 10 milj. plantor per år som produceras genom somatisk embryogenes.

¹⁴⁰ Juvenil är en beteckning för ungdomligt beteende (t ex god rottningsförmåga) och används för att klassificera en individ åldersmässigt. Motsatsen betecknas adult.

Genetisk vinst med vegetativ förökning – olika modeller

Vegetativ massförökning i skogsbruket kan tillämpa två huvudlinjer för att tillgodogöra sig genetisk vinst, förökning av otestade eller testade kloner. I dagsläget är det endast gran, hybridasp och poppel som är aktuella för svenskt skogsbruk.

Förökning av otestade kloner

Förökning av otestade kloner innebär att klonerna förökas från ett fröparti utan att man har information om de enskilda klonernas prestation i fält. Den genetiska vinsten vid förökning av otestade kloner kan beräknas via kunskap om det fröparti klonerna hämtas från. När man förökar ett fröparti utan kännedom om de enskilda föräldrarna bakom fröpartiet brukar man kalla det *bulkförökning*, med innebörden att enskilda kloner inte hålls isär under förökningen.¹⁴¹

På senare tid har ett nytt begrepp införts vid förökning av otestade kloner, *familjeskogsbruk*. Innebörden är att man har information om föräldrarna i fröpartiet som ska förökas och därmed kan skatta den förväntade genetiska vinsten bättre. Genom att välja frö från *elitföräldrar* kan man öka vinsten jämfört med bulkförökning av ett frö från känd proveniens men okända föräldrar.

Mängden frö från bra familjer är begränsad och om sticklingförökning tillämpas måste ett relativt stort antal familjer ingå och mer än en förökningscykel måste till för att nå upp till en plantproduktion i praktisk skala. Man kan också välja att föröka genom att beskära moderplantor och skörda kvistar från samma moderplantor under några år.

Somatisk embryogenes har öppnat möjligheter för ytterligare en variant av familjeskogsbruk med otestade kloner. I och med att förökningshastigheten är betydligt större kan material i praktisk skala framställas från ett relativt litet antal kloner från ett litet antal familjer. Med ett mindre antal familjer kan urvalet göras snävare och den genetiska vinsten höjas ytterligare jämfört med sticklingförökning. Genom att man känner släktskapet mellan familjerna och därmed klonerna kan den genetiska variationen i ett förökat material kontrolleras.

Vid urvalet krävs en avvägning av hur skarpt man kan göra urvalet utan att riskera att plantmaterialet avviker från förväntad prestation beräknad på föräldrarna och utan att ta för stora risker vad gäller odlingssäkerhet. Observera att man med denna ansats håller isär klonidentiteter under förökningen, men utan att känna till klonernas enskilda prestationsförmåga.

Även om förökning med somatisk embryogenes ännu ger dyra plantor (automatiska metoder ännu inte utvecklade) kan en somatisk planta användas som moderplanta i sticklingförökning och ge upphov till många plantor, vilket minskar förökningskostnaden per planta.

¹⁴¹ Högberg, K.-A., Eriksson, U. & Werner, M. 1995. Vegetativ förökning av skogsträd – med tonvikt på gran. Skogforsk, *Redogörelse* 1,1995.

Förökning av testade kloner

Med testade kloner kan man gå ytterligare ett steg längre i urvalsstyrka och välja de bästa klonerna inom de bästa familjerna. Denna variant av vegetativ massförökning brukar kallas *klonskogsbruk*. Här krävs en fälttestning för att bestämma enskilda kloners prestation och till följd av detta måste också kloner odlas och lagras på ett sådant sätt att förökningsförmågan behålls. Klonskogsbruk ger den högsta genetiska vinsten genom det snäva urvalet och om man hittar kloner som kombinerar egenskaper på ett bra sätt ökar vinsten ytterligare. Nackdelen är att man får vänta på resultat från fälttester.

Problemen med åldrandeffekter vid sticklingförökning^{142, 143} gör att klonskogsbruk är svårt för att inte säga orealistiskt med sticklingar. Med somatisk embryogenes däremot kan klonerna kryolagras och testtiden väljas fritt. Liksom med otestade kloner kan en dyr somatisk planta fungera som moderplanta i sticklingförökning och därmed minska förökningskostnaden per planta.

Vegetativ förökning i förädlingen

Den grundläggande positiva effekten med vegetativ förökning i förädlingen är att kandidater i nästa förädlingsgeneration kan testas genom kopior av sig själva i stället för att testas genom sina avkommor. Denna möjlighet ger två fördelar.

Den ena fördelen är att man gör en avsevärd tidsvinst, eftersom man inte behöver invänta blomning hos kandidaterna. Den andra fördelen är att man för samma kostnad kan testa fler kandidater och därmed öka urvalsintensiteten.

Vegetativ förökning genom sticklingförökning tillämpas i dag i förädlingsprogrammen med gran, contortatall och björk. Försök med tall pågår men ännu har inte en tillräckligt bra metod utvecklats för rutinmässig tillämpning i förädling.

Vegetativ förökning i skogsbruket

När det gäller vegetativ massförökning i svenskt skogsbruk är det i dagsläget tre trädslag som är aktuella: poppel, hybridasp och gran.

Poppel och hybridasp produceras i blygsam omfattning, ca 100 000 respektive 400 000 plantor per år. Plantproduktionen har varierat kraftigt historiskt beroende på att etableringskostnaden är hög (dyrare plantor och behov av hägn), vilket har medfört att produktionen ökat i situationer då bidrag utgått. Under perioder utan bidrag har produktionen legat kring 50 000 plantor per år.

Alla plantor av poppel och hybridasp som planteras i Sverige är vegetativt förökade. Poppelplantorna utgörs av *rotade sticklingar*, medan plantorna av hybridasp är *meristemförökade*. En liten del hybridaspplantor är förökade genom *rotsticklingar*. Flertalet hybridaspplantor utgörs av kloner som är testade och utvalda i Sverige. Om några år är situationen densamma för poppel.

¹⁴² Borchert, R. 1976. The concept of juvenility in woody plants. *Acta Horticulturae* 56, 21–36.

¹⁴³ Dekker-Robertson, D.L. & Kleinschmit, J. 1991. Serial propagation in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Silvae Genetica* 40, 202–214.

Gran är det trädslag i Sverige som har störst plantproduktion och är helt dominerande i södra Sverige. Ungefär 2/3 av de ca 300 milj. plantor som årligen planteras i Sverige är granplantor. En sådan efterfrågenivå är realistisk också på längre sikt. Ungefär hälften av granplantorna är förädlade, dvs fröet kommer från en fröplantage. Endast en mycket liten del av plantorna är i dagsläget (2010) vegetativt förökade, ungefär 100 000 sticklingar per år, och produktionen sker efter order. Dessa sticklingar är producerade enligt familjeskogsbruksmodellen och ligger på en vinstnivå motsvarande en TreO-plantage eller högre.

Med en mer utbyggd produktion av gransticklingar skulle andelen förädlade granplantor kunna utökas avsevärt. På lång sikt borde det vara möjligt att kunna försörja marknaden helt med förädlad material om den vegetativa förökningen (somatisk embryogenes och sticklingar) utvecklas mer. Den dyrare förökningen kommer att bli allt mindre avgörande i takt med att material med allt högre genetisk vinst finns att erbjuda.

Skogsträdsförädling för ett förändrat klimat

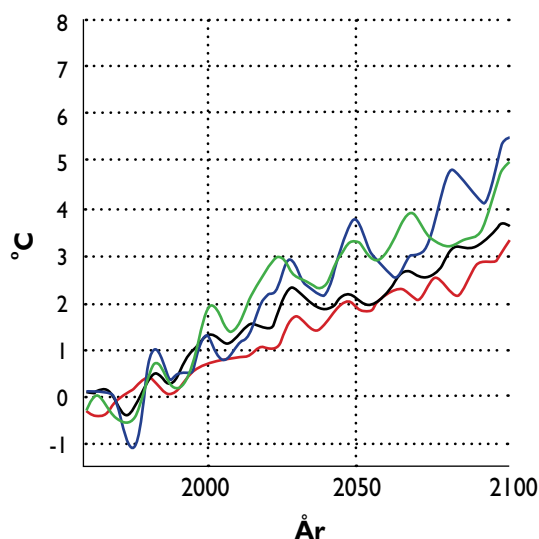
av Bengt Andersson

Klimatet påverkar skogens produktion och vitalitet. När klimatet förändras ställs nya krav på skogsodlingsmaterialen. Med förädling har vi möjlighet att ligga steget före och ta fram material som passar i ett framtida klimat. Vi kan också direkt genom ändrad användning av dagens frökällor möta en pågående klimatförändring.

Vad vet vi om det framtida klimatet?

Den dominerande uppfattningen bland klimatforskare är att vi befinner oss i en period med global uppvärmning och att den kommer att fortsätta åtminstone de närmsta århundradena.¹⁴⁴ För Sveriges del räknar man med en ökning av årsmedeltemperaturen på 4–5 grader från 1961 till 2100,¹⁴⁵ vilket är 2–3 grader mer än medeltalet för den globala ökningen. Det här är stora förändringar och kan liknas vid att Östersund får ett temperaturklimat jämförbart med det som vi idag har i Mälardalen.

Den beräknade temperaturökningen är något större under vintern än under sommaren (figur SF38), speciellt längs Norrlandskusten och i Svealand.



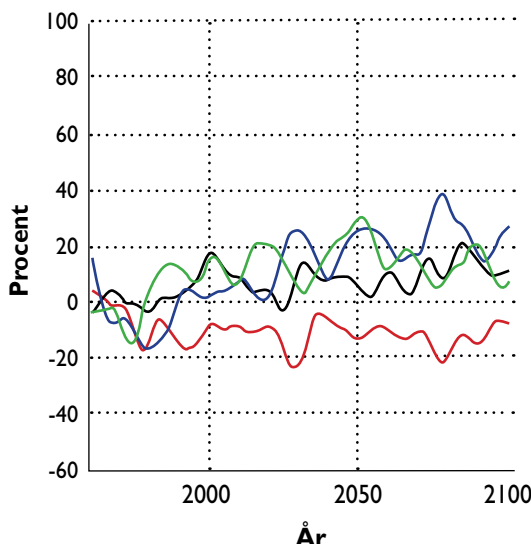
Figur SF38 Beräknad temperaturförändring för östra Svealand 1961–2100 jämfört med medelvärdet 1961–1990 för scenario B2 (vinter-blå graf, vår-grön, sommar-röd, höst-svart). Källa: Rossby Centre, SMHI (2007).¹⁴⁶

Årsnederbörden förändras också och beräknas öka med i medeltal 10–20 % över landet. Nederbördsökningen sker framförallt under vintern. Under sommaren blir nederbörden ganska oförändrad i norra Sverige, och lägre än idag i Götaland och Svealand (figur SF39). Mindre nederbörd i kombination med högre temperatur innebär ökad risk för torka. Beträffande vindhastigheter är framtidsprognoserna osäkrare och man räknar inte med någon påtaglig förändring.

¹⁴⁴ Se: www.ipcc.ch

¹⁴⁵ Se: www.smhi.se

¹⁴⁶ Se: www.smhi.se/forskning/forskningsomraden/klimatforskning



Figur SF39 Beräknad nederbördsförändring för nordöstra Götaland 1961–2100 jämfört med medelvärdet 1961–1990 för scenario B2 (vinter-blå graf, vår-grön, sommar-röd, höst-svart). Källa: Rossby Centre, SMHI (2007).¹⁴⁷

Vädret förväntas också bli extremare med risk för mer ihållande perioder med till exempel hög nederbörd eller torka.

Förutsättningar för skogsproduktion om 100 år

För plantor och träd är temperatursumman under vegetationsperioden eller vegetationsperiodens längd de variabler som bäst förklarar överlevnad och produktion. Det är därför mer lämpligt att utgå från förändringar i dessa än i årsmedeltemperatur för att förutspå trädens reaktion på klimatförändringar.

Klimatforskarnas scenarier pekar på en betydligt förlängd vegetationsperiod om 100 år. Av figur SF40 framgår att vegetationsperioden beräknas bli 30–40 dagar längre i norra Sverige och upp mot 100 dagar längre i södra Sverige. Det innebär att det i södra Sverige kan komma att saknas sammanhängande perioder med dygnsmedeltemperatur under +5 °C, dvs ingen vinter i vanlig bemärkelse.

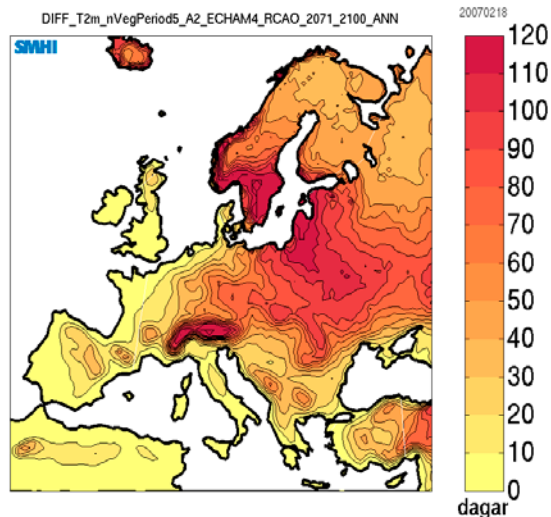
Den förlängda vegetationsperioden, tillsammans med snabbare näringsomsättning i marken till följd av högre temperatur, är viktiga faktorer som gör att skogsproduktionen kommer att öka. Forskarna räknar med i genomsnitt 20–40 % högre produktion om 100 år jämfört med idag, den högre delen av intervallet gäller i norr och den lägre delen i söder.¹⁴⁸

Ett mildare klimat med högre temperatur innebär inte enbart produktionsmässiga fördelar. Risken för skador av vår- och försommarfrost beräknas öka i södra Sverige.¹⁴⁹ Eftersom skottskjutningen startar vid ett tidigare datum i det varmare klimatet, är också nätterna längre och därmed ökar utstrålnings-effekten under natten som kan leda till frosttemperaturer. Andra faktorer som kan påverka produktionen negativt är att risken för skador från svampar och insekter förväntas öka.

¹⁴⁷ www.smhi.se/forskning/forskningsomraden/klimatforskning

¹⁴⁸ Bergh, J., Nilsson, U., Kjartansson, B. & Karlsson, M. 2010. Impact of climate change on the productivity of Silver birch, Norway spruce and Scots pine stands in Sweden with economic implications for timber production. *Ecological Bulletins* 53 (under utgivning).

¹⁴⁹ Ola Langvall, SLU, Asa försökspark och fältforskningsstation. Muntlig uppgift.



Figur SF40 Beräknad förlängning av vegetationsperioden (beräknad med tröskelvärde +5 °C) mellan perioden 1961–1990 och perioden 2071–100. Källa: Rossby Centre, SMHI (2007).¹⁵⁰

Behöver vi plantor med nya egenskaper?

Träd är arter med lång livslängd och därmed anpassade till att klara varierande förhållanden. Under en omloppstid möter träd såväl ovanligt kalla och korta somrar som ovanligt långa och varma. Denna inbyggda anpassning gör att träden också klarar en viss klimatförändring. På lång sikt anpassar sig träden till ett förändrat klimat genom det naturliga urvalet. Men denna anpassning sker i efterhand, dvs när en klimatförändring väl inträffat kommer det naturliga urvalet att gynna trädindivider som är bättre anpassade till de nya klimatförhållandena. Det innebär att det naturliga urvalet för anpassning till en förlängd vegetationsperiod kommer att släpa efter betydligt.¹⁵¹ Efter en klimatförändring som pågått i 100 år, kunde tall och björk enligt beräkningarna i den refererade undersökningen utnyttja mindre än hälften av den förlängda vegetationsperioden. Avståndet mellan faktisk och utnyttjad vegetationsperiod kommer sedan att öka i takt med att klimatförändringen fortgår.

Ur ett evolutionärt perspektiv är det naturliga urvalet tillräckligt för att trädarterna ska kunna anpassa sig och fortleva men fördröjningen innebär risk för skador och produktionsförluster. Genom växtförädling finns möjlighet att ta fram sorter som passar i ett nytt klimat redan innan förändringen skett. Vi kan på detta sätt skapa en beredskap för framtida klimatförändringar och bättre ta tillvara den högre produktionspotentialen och samtidigt minska risken för skador.¹⁵²

¹⁵⁰ www.smhi.se/forskning/forskningsomraden/klimatforskning

¹⁵¹ Kuparinen, A., Savolainen, O., & Schurr, F.M. 2010. Increased mortality can promote evolutionary adaptation of forest trees to climate change. *Forest Ecology and Management* 259, 1003–1008.

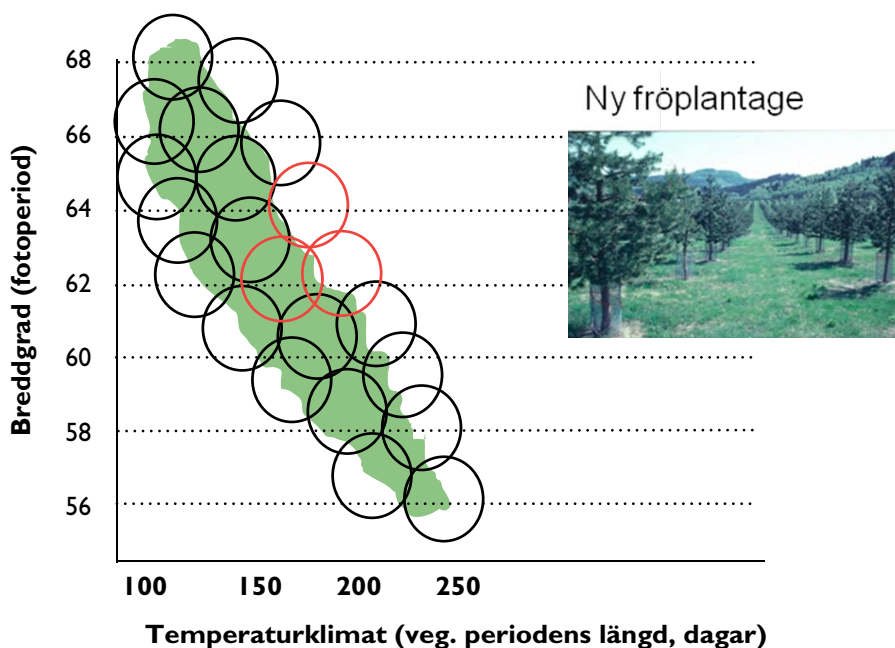
¹⁵² Andersson, B. 2010. Helgardera mot klimatförändringarna. I *UKONF10*, Skogforsks Utvecklingskonferens 2010.

Anpassning på lång sikt ...

Den långsiktiga förädlingsstrategin är upplagd för att skapa en beredskap för framtida klimatförändringar. Det görs genom att utveckla förädlingspopulationerna (grupper av avelsträd) så att de passar för ett framtida klimat, dvs har en annorlunda klimatprofil än den som passar för dagens förhållanden (se avsnittet *Metodik i den svenska förädlingsstrategin* i kapitlet *Hur går skogsträdsförädling till?*). För varje breddgrad finns förädlingspopulationer som är anpassade både till nuvarande temperaturklimat och till kallare respektive varmare klimat. Tekniskt görs detta genom att avelsträden testas på många lokaler med stor variation i temperaturklimat. De träd som presterar bäst (vitalitet, tillväxt, kvalitet) på till exempel de mildaste lokalerna väljs som bas för en population anpassad för ett framtida mildare klimat.

Men hänsyn tas också till hur träden presterar på olika testlokaler. Bara de träd som utvecklas väl på alla lokaler (torra – fuktiga, bördiga – magra, etc) går vidare i förädlingsprogrammen, dvs generalister prioriteras före specialister. Urvalskriterierna gör att de förädlade träden blir mer robusta – de är mer anpassningsbara och klarar förändringar bättre.

Träd till fröplantager kan väljas från populationer med klimatprofil som ligger utanför dagens, och sedan producera frö som passar i ett framtida klimat (figur SF41). På så sätt kan anpassningen ligga parallellt med klimatförändringen istället för att släpa efter som den naturliga anpassningen.



Figur SF41 Fröplantage anpassad för ett framtida klimat med längre vegetationsperiod än dagens. Källa: Andersson (2010).¹⁵³

¹⁵³ Andersson, B. 2010. Helgardera mot klimatförändringarna. I *UKONF10*, Skogforsk's Utvecklingskonferens 2010.

... och modifierad användning på kort sikt

Att ta fram en ny förädlingspopulation med ny klimatprofil tar tid – ca 25 år. Det arbetet pågår och har kommit olika långt för olika områden och trädslag. För varje ny förädlingsgeneration kommer avelsträden att successivt anpassas till nya förhållanden. Efter till exempel fyra generationer finns avelsträd som passar för klimatsituationen år 2100.

Just nu anläggs fröplantager som passar för ett något varmare klimat än dagens. Men det tar ca 15 år innan de börjar producera frö i tillräcklig skala för praktisk användning.

Eftersom klimatet redan nu är i förändring är det viktigt att direkt ta fram en strategi för hur dagens frökällor kan användas i delvis nya områden och därmed anpassa skogen successivt till ett klimat i förändring. I takt med att klimatet blir varmare kan en viss frökälla användas allt längre norrut och på allt högre höjd över havet. Men trots en varmare framtid är det dagens klimat som är avgörande för hur återbeskogningen lyckas. Därför måste vi kompromissa mellan etableringssäkerhet idag och produktion i framtiden.

Första steget i en användningsstrategi är att ta fram en välgrundad modell över hur klimatet utvecklas över tiden. Klimatforskarnas resultat visar att årsmedeltemperaturen sannolikt kommer att öka med 4–5 grader mellan 1961 och 2100.¹⁵⁴ Det motsvaras av en årlig ökning av temperaturen på 0,03 grader, vilket är vår bästa kunskap om hur framtidens klimat kommer att se ut. Med utgångspunkt från denna årliga temperaturökning modifierar vi modellen så att den överensstämmer bättre med förhållandena för skogsodling och skogsproduktion. Modifieringen innebär att vi halverar den beräknade temperaturökningen – alltså 0,015 grader per år istället för 0,03. Reduceringen motiveras av att:

- uppvärmningseffekten är mindre på sommaren (figur SF38) och därmed påverkas temperatursumman under vegetationsperioden och vegetationsperiodens längd mindre än vad som avspeglas i årsmedeltemperaturen,
- även om klimatmodellerna uttrycker den bästa kunskapen om klimatet finns en osäkerhet i modellerna,
- det medför mindre negativa effekter på föryngring och skogsproduktion av att underskatta än överskatta uppvärmningseffekten, dvs riskhänsyn.

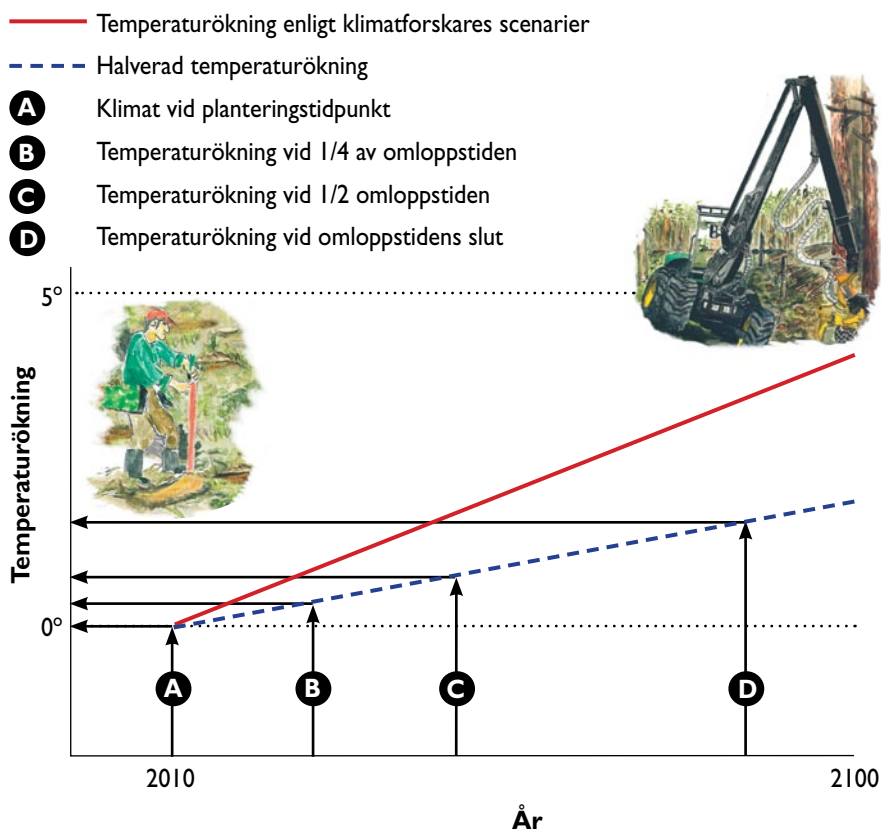
I nästa steg behöver en avvägning göras mellan:

- föryngring i dagens klimat och,
- tillväxt/produktion i ett framtida klimat.

Ett bestånd som etableras idag kommer i genomsnitt att växa i ett klimat som ligger mitt i den kommande omloppstiden. För tall i norra Sverige kan det exempelvis vara efter 40 år (omloppstid 80 år) medan det för gran i södra Sverige kan vara efter 30 år (omloppstid 60 år). Genom att låta överlevnad vid etablering väga lika tungt som produktion under kommande omloppstid, fås en lämplig kompromiss som avspeglar arealproduktionen. Konsekvensen

¹⁵⁴ Se: www.smhi.se

blir att för skogsodling idag välja plantmaterial som passar i ett klimat som ligger ¼ in i den kommande omloppstiden, till exempel 20 år framåt för tall i norr och 15 år framåt för gran i söder (figur SF42). Genom att välja plantmaterial som passar för en något mildare lokal än den faktiska vinner vi produktion i framtiden.



Figur SF42 Modell för klimatförändring och lämpligt val av förnygringsklimat. Skogsodlingsmaterial som passar för klimat B väljs vid plantering 2010.

Slutligen gör vi en beräkning av hur årsmedeltemperaturens förändring påverkar temperatursumman under vegetationssäsongen, för att kunna karaktärisera en lokal ur skogsodlingssynpunkt. En höjning av årsmedeltemperaturen med 0,6 grader motsvarar klimatet på 100 m lägre altitud i terrängen, 155 och 100 m förändring av altituden förändrar temperatursumman med 83,7 dygnsgrader oberoende av latitud.¹⁵⁶ Den årliga temperaturökningen på 0,015 grader innebär således att temperatursumman ökar med 2,1 dygnsgrader. I exemplet med tall i norra Sverige bör vi då välja plantmaterial som passar för en lokal med ca 40 dygnsgraders högre temperatursumma än dagens, och för exemplet gran i södra Sverige blir motsvarande ökning ca 30 dygnsgrader.

Rekommendationerna för plantval på KunskapDirekt^{157, 158} håller på att uppdaterats för att gälla för plantering år 2010, där hänsyn också tas till det

¹⁵⁵ Ångström, A. 1974. *Sveriges klimat*. Generalstabens Litografiska Anstalts Förlag.

¹⁵⁶ Morén, A-S., Perttu, K. L. 1994. Regional temperature and radiation indices and their adjustment to horizontal and inclined forest land. *Studia Forestalia Suecica* 194. 19 s.

¹⁵⁷ Se: www.skogforsk.se (länk: KunskapDirekt / Verktyg / Plantval).

¹⁵⁸ Andersson, B. 2010. Uppgradering av "Plantval". Skogforsk. *Manuskript*.

framtida produktionsklimatet. Rekommendationerna uppgraderas sedan kontinuerligt i takt med klimatförändringen och klimatforskningens senaste kunskap om framtidens klimat.

Nya trädslag

Mycket talar för att tall och gran kommer att vara våra huvudträdslag i skogsbruket även i framtiden. Vi har lång praktisk erfarenhet av odling med tall och gran, och kunskap om hur de reagerar på långa förflyttningar till vitt skilda miljöer. Båda trädslagen är generalister, tåliga och anpassningsbara.

Men ett förändrat klimat innebär att växtbetingelserna för nya trädslag, som inte tidigare funnits i odlingsområdet, kan bli tillräckligt fördelaktiga för skogsodling. Nya trädslag kan vara ett effektivt alternativ i jämförelse med att anpassa de redan befintliga trädslagen. Trädslag som idag finns enbart i Sydsverige kan användas längre norrut om klimatet blir varmare (till exempel ädla lövträd), och helt nya trädslag kan komma att passa i södra Sverige. Trädslag med kort omloppstid som till exempel hybridlärk, hybridasp och poppel ger möjlighet till trädslagsbyte redan efter 20–30 år och därmed bättre möjlighet att möta ett förändrat klimat.

Nya trädslag med potential att växa i Sverige testas kontinuerligt i forskningen som en option för framtiden, och till exempel sitkagran utgör redan ett lämpligt alternativ till inhemsk gran i delar av Sydvästsverige. Men innan nya trädslag används i praktisk skala krävs miljökonsekvensanalyser, politiska beslut och en allmän acceptans genom till exempel certifiering.

Förädlade träd i skogslandskapet

av Johan Westin

Människan har ekologiskt påverkat en betydande del av jordens landareal sedan lång tid. För 10 000 år sedan kunde domesticeringen av växter och djur samt ny teknik göra att befolkningen ökade, vilket medförde en mer direkt påverkan av landskapet. I Sverige har människan inverkat på den ekologiska utvecklingen sedan inlandsisen drog sig tillbaka. Det har knappast funnits plats för en rent ”naturlig” utveckling.

Med eld, jakt och extensivt skogsbete kunde ett ganska litet antal människor sätta sin prägel på skogslandskapet även i glest befolkade delar. En successivt växande befolkning medförde allt hårdare tryck på skogsresurserna genom ökat behov av boskapsbete och olika typer av råvara från träd. Under den snabba befolkningsökningen från 1700-talets första hälft och fram till mitten av 1900-talet tog jordbruket omfattande skogsområden i anspråk. Dagens landskap är således starkt påverkat av människan och skulle annars sett mycket annorlunda ut.

I takt med ökad urbanisering och nya brukningsmetoder inom jordbruket, t ex ökad användning av konstgödsel och minskat ängsbete, har trycket på skogen avtagit och jordbruksmark har återgått till skogsmark vilket ofta inneburit etablering av barrskog.

Skogsodling har påverkat skogslandskapet

Minskande skogsresurser ökade efterhand behovet av skogsodling, dvs skogar anlagda genom sådd eller plantering. Skogsodlingen tog sin början i liten skala i västra Sverige redan i början på 1800-talet då efterfrågan på sågat virke ökade.¹⁵⁹ En omfattande sågverksutbyggnad som inleddes vid mitten av 1800-talet nådde norra Sverige. Minskande arealer med naturligt uppkommen skog kombinerat med en successivt ökad skogsodlad areal har under senare delen av 1900-talet bidragit till en snabb förändring av den svenska skogen.

Förändringarna har varit störst i delar av södra Sverige där påverkan varit starkast och varat längst. Jordbrukets framväxt gjorde att nya arter kunde vandra in från andra regioner samtidigt som det fortfarande fanns plats för de flesta av de ursprungliga skogsarterna. Detta påverkar florans och faunans artsammansättning, men det handlar om relativt långsamma processer som påverkar den biologiska mångfalden med fördröjning. Den totala mängden arter ökade till följd av den större variationen av miljöer med eller utan träd. Både mängden livsmiljöer och antalet arter i landskapet var antagligen som störst högst just före den storskaliga industrialiseringen som startade för ungefär 200 år sedan.¹⁶⁰

¹⁵⁹ Ekelund, H. & Hamilton, G. 2001. Skogspolitisk historia. Skogsstyrelsen, *Rapport 8A*, 2001, 256 s.

¹⁶⁰ Ekelund, H. & Hamilton, G. 2001. Skogspolitisk historia. Skogsstyrelsen, *Rapport 8A*, 2001, 256 s.

Från bestandsfrö till plantagefrö

Skogsodling innebar till en början främst sådd. Med de såddmetoder som användes under 1800-talets slut krävdes mycket frö per hektar. Insamling av frö för skogsodling kom igång tidigt och fröet samlades troligtvis in så lokalt som möjligt. Efterhand samlades frö in i geografiskt avgränsade områden, *frötäktsområden*. Fröets egenskaper blev därmed i genomsnitt mer förutsägbara och likartade.

Det ökande behovet av skogsfrö under 1800-talets slut medförde att frö började importeras från utlandet. Utgående från praktiska erfarenheter förstod man tidigt betydelsen av frökällans *härkomst* eller *proveniens*, dvs det område eller den plats varifrån en planta eller ett frö är hämtat.

Genom den organiserade proveniensforskningen som påbörjades under början av 1900-talet ökade kunskapen om proveniensens betydelse för tillväxt och överlevnad. Det debatterades om variationen mellan populationer (provenienser) inom en art var ett uttryck för en anpassning till specifika typer av habitat, så kallade *ekotyper*, eller om det var ett uttryck för en *klinal variation* som bäst kunde beskrivas av populationernas geografiska ursprungs breddgrad och höjd över havet. Resultat från experiment med tall gav ett starkt stöd för en klinal variation i tillväxt och överlevnad.¹⁶¹

Under 1950- och 60-talen började fröplantager anläggas för tall och gran. Jämfört med oförädlade provenienser blev plantagefröets egenskaper mer förutsägbara och likformiga.

Tall och gran hämtades från kontinentala Europa

Redan på 1840-talet uppmärksammades att tall av mellaneuropeisk proveniens inte passade i Sverige. Bestånd i södra Sverige var av mycket låg kvalitet och de flesta tallar dog redan efter 15-20 år – uttrycket *tysktall* myntades. De negativa erfarenheterna med ”tysktallen” gjorde att gran med ursprung från Tyskland också fick dåligt rykte. Emellertid uppvisade granbestånd av utländsk proveniens i södra Sverige inte några uppenbara defekter och ”tyskgranen” betraktades vid 1900-talets början som fullt härdig i Götaland och i stora delar av Svealand.

Med stöd av positiva resultat från proveniensförsök fortsatte en omfattande import av granfrö från centrala Europa till södra Sverige. Under 1900-talets slut kom rapporter om en större frekvens topp- och grentorka på granar från centrala och sydöstra Europa och en större frekvens stamsprickor på provenienser från Slovakien och Rumänien.¹⁶² De uppkomna skadorna har lett till att dessa provenienser inte används i Sverige idag. Under de senaste decennierna har frö från Vitryssland dominerat vid framställning av granplantor för södra Sverige och under de senaste åren har fröanvändningen förskjutits mot områden av Baltikum, delvis av politiska skäl.

¹⁶¹ Eiche, V. 1966. Cold damage and plant mortality in experimental plantations with Scots pine in northern Sweden. *Studia Forestalia Suecica* 36, 219 s.

¹⁶² Skråppa, T. & Dietrichson, J. 1986. Winter damage in the IUFRO 1964/68 provenance experiment with Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Communications of the Norwegian Forest Research Institute* 39.10

Skogsodlingens betydelse på kort sikt

Skogsodlingens betydelse för genresursen av tall och gran är på några decenniers sikt måttlig i stora delar av deras utbredningsområde i Sverige. En orsak är att merparten av trädslagens genresurser delas med våra nära grannländer och genom pollentransporter sker en utjämnande effekt på generna. Den svenska genresursen av huvudträdslagen är därför inte särskilt unik för Sverige. Vidare spelade skogsodlingen arealmässigt en ganska liten roll i en stor del av landet fram till mitten av 1900-talet och ännu är det betydande delar av skogsmarksarealen som inte skogsodlats.

I södra Sverige är idag ursprunget för beståndsfrö av gran idag osäkert på grund av den omfattande importen av kontinental europeisk gran under de senaste dryga hundra åren. Där påverkar pollen från de importerade granprovenienser sannolikt skogen redan idag. I norra Sverige är ursprunget för en granfröskörd däremot relativt oförändrat, även om rekommendationerna under de senaste 30–40 åren varit inriktad på en generell nordförflyttning av inhemsk gran.

För tall i norra Sverige har rekommendationerna under lång tid varit inriktade på sydförflyttning av tall för att öka överlevnaden, speciellt i de kärvarområdena av Norrland. Sammantaget bör effekter i norra Sverige av pollen från förflyttade material vara försumbara på kort sikt.¹⁶³

Skogsodling har stor ekologisk påverkan, till exempel minskar mängden död ved i kulturskogen vilket påverkar ekosystemet. I kulturskogen är också bredden av skogsmiljöer av olika typ mindre och skogar saknas som fått växa utan mänsklig påverkan under lång tid.

Skogsodling med oförädlad material i form av trakthyggesbruk har förmodligen i sig betydligt större ekologisk påverkan än den ytterligare påverkan som skogsodling med förädlad material skulle ha. Trakthyggesbruket har sedan mitten av 1800-talet ansetts som det lämpligaste skogsbrukssättet för svenska skogsförhållanden. Under 1900-talet har både skogstillståndet och skogslagstiftningens uppbyggnad medverkat till att skapa förutsättningar för trakthyggesbrukets genomslag.¹⁶⁴

Exempel på ytterligare faktorer som gör att de svenska skogarna idag avviker betydligt från ett naturligt tillstånd är ökad landskapsfragmentering, av människan orsakade klimatförändringar, högt betestryck av klövvilt samt luftföroreningar. Också dessa faktorer har mycket större inverkan på de svenska skogarna än vad användning av förädlad skogsodlingsmaterial har och kan förväntas få inom den närmaste framtiden.

Skogsodlingsmaterialens betydelse på lång sikt

Ändrad skötsel med förädlad material

Användning av förädlad skogsodlingsmaterial kan i stort sett ses som ekvivalent med en bonitetshöjning, dvs en ökning av markens produktionsförmåga. Genom att förädlade träd är mer motståndskraftiga, har bättre överlev-

¹⁶³ Lindgren, D. 2008. Frötäkt och frötäktsområden av gran och tall i Sverige.

Skogsstyrelsen, *Rapport 8*, 2008.

¹⁶⁴ Ekelund, H. & Hamilton, G. 2001. Skogspolitisk historia. Skogsstyrelsen, *Rapport 8A*, 2001, 256 s.

nadsförmåga och bättre kvalitet kan föryngring och skogsskötsel modifieras på olika sätt. Skogen växer fortare, gallringarna kommer tidigare och omloppstiden blir kortare.

Ökad överlevnad kan innebära att beståndstätheten ökar vilket påverkar florans och faunans artsammansättning.¹⁶⁵ Samtidigt kan ökad överlevnad innebära att färre plantor planteras, vilket i viss mån motverkar den ökade tätheten. En ökad användning av förädlad material påverkar hela landskapets biologiska mångfald, men det är en långsam process.

Hybridisering mellan svensk gran och importerad gran

I södra Sverige har den omfattande användningen av kontinental europeisk gran pågått under lång tid. Hybridisering mellan granar med utländsk härkomst och granar med svensk härkomst förekommer antagligen i betydande omfattning redan idag. De resultat som rapporterats pekar mot en intermediär nedärvning, dvs att hybridernas egenskaper motsvarar föräldrarnas genomsnitt.¹⁶⁶

Mindre släktskap i förädlade skogar än i naturskogar

I en naturligt föryngrad skog står besläktade träd nära varandra och befruktar varandra, vilket ger upphov till viss inavel.^{167, 168} I en fröplantage kommer träden inte från samma bestånd och träden är därför inte nära besläktade. På längre sikt kommer pollen från förädlade och förflyttade provenienser att påverka även naturligt föryngrad skog. Det tar dock lång tid innan denna påverkan får nämnvärd nationell betydelse med undantag för gran i Götaland, där vi har denna situation redan idag.

Kulturskog kan föryngras naturligt

När man anlägger en kulturskog är förväntan vanligtvis att nästa generation också skall vara kulturskog. Men det kan snarast ses som ett etiskt krav att skogsbruket inte i någon nämnvärd grad lämnar kulturer efter sig som inte har förmåga att föryngra sig själva.

I kulturskogar som anlagts med fröplantageplantor fungerar en fröträdsställning bra för självföryngring. Att det går bra att ställa fröträd vid föryngringsavverkning i en kultiverad förädlad skog beror på att släktskapet mellan fröträden är lågt och att mängden utifrån kommande pollen är stor. Ett visst släktskap kommer att finnas i en förädlad skog med ursprung från fröplantager men jämfört med naturlig föryngring i naturbestånd är släktskapet lägre. Inflytandet av utifrån kommande pollen är stort, i storleksordningen 50 % av alla pollineringar i en fröplantage sker med sådant pollen.

¹⁶⁵ Weslien, J., Finér, L., Jónsson, J. Á., Koivusalo, H., Laurén, A., Ranius, T. & Sigurdsson, B.D. 2009. Effects of increased forest productivity and warmer climates on carbon sequestration, run-off water quality and accumulation of dead wood in a boreal landscape: A modeling study. *Scand. J. For. Res.* 24, 333–347.

¹⁶⁶ Eriksson G., Ekberg I., Dormling I., & Matern B. 1978. Inheritance of bud-set and bud-flushing in *Picea abies* (L.) Karst. *Theor. Appl. Genet.* 52, 3–19.

¹⁶⁷ Lindgren, D. 2008. Frötakt och frötaäktomsråden av gran och tall i Sverige. Skogsstyrelsen, Rapport 8, 2008. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (länk: Bokhandeln / Rapporter).

¹⁶⁸ Garcia-Gil, M. R. Olivier, F. Kamruzzahan, S. Waldmann, P. 2009. Joint analysis of spatial genetic structure and inbreeding in a managed population of Scots pine. *Heredity* 103, 90-96.

Vid klonskogsbruk med ett fåtal kloner ökar risken för släktskap då man ställer fröträd. Om de valda fröträden i stor utsträckning tillhör samma klon kommer fröträden att vara genetiskt identiska. I den mån dessa träd pollinerar varandra leder detta till den högsta graden av inavel, *självpollinering*. Emellertid resulterar självpollineringen i första hand i att embryona dör vilket minskar fröproduktionen. Bildas fröplantor konkurreras de snart ut. Påverkan på det vuxna beståndet blir liten och det blir huvudsakligen något glesare mellan träden.

Under förutsättning att det finns mycket annat pollen i luften skulle det fungera med en enda klon i beståndet. En klonskog med en blandning av många obesläktade kloner fungerar ungefär som en fröplantage.

Skogsodlingens effekt på genbevarande och evolution

Genbevarande på eller utanför den naturliga växtplatsen

Skogsodlingens ökande betydelse i skogslandskapet leder till ett ökat behov av genbevarande. En metod kan vara att lämna områden att utvecklas fritt utan medveten påverkan av människan, till exempel nationalparker och naturreservat, eller att vissa skötselåtgärder i sådana områden är accepterade eller rent av önskvärda. Även skogar under fri utveckling påverkas indirekt av människan genom till exempel brandfrekvens, fragmentering, vilttryck, nedfall och atmosfärens sammansättning.

Polleninflöde från omgivningen är också en viktig faktor för våra vanligaste arter, som gör det omöjligt att helt isolera ett reservat från förändringarna i resten av skogarna.

En annan metod för genbevarande kan vara att bevara gener utanför den naturliga växtplatsen, till exempel i form av klonarkiv, i fryslager med frö eller som pollen. I fryslager kan man lagra stora kvantiteter väl definierade fröpartier i små volymer. Ibland måste resursen förnyngas, men tiden mellan generationsväxlingar kan förlängas avsevärt om materialet lagras lång tid som frö. Lagring av frö under svala förhållanden ökar säkerheten för att genresurserna verkligen bevaras. Det är billigare och enklare än i klonarkiv eller i bestånd speciellt avsatta för genbevarande.¹⁶⁹ Botaniska trädgårdar, proveniensförsök, arboreta och andra odlingar utanför utbredningsområdet kan också ha en viss betydelse för genbevarandet.

Skogsträdsförädling innebär genbevarande

Långsiktig skogsträdsförädling kan ses som ett genbevarande i sig. Genetisk variation är en förutsättning för förädling och det är av fundamentalt intresse för den långsiktiga förädlingen att den genetiska variationen upprätthålls i förädlingspopulationen. Det är också av intresse att det genetiska materialet är väl anpassat till svenska förhållanden. Skogsträdsförädling som bedrivs på ett långsiktigt och uthålligt sätt innebär att de genetiska resurserna både utnyttjas och bevaras.

¹⁶⁹ White, T.L., Adams, W.T. & Neale, D.B. 2007. *Forest Genetics*. CAB International. 682 s.

Svensk skogsträdsförädling arbetar med flera tusen existerande kloner av tall och gran. Förädlingsmaterialen för tall och gran delas in i en stor mängd underpopulationer som vardera bygger på ca 50 individer. I var och en av dessa populationer bedrivs ett balanserat förädlingsarbete efter ungefär samma riktlinjer.¹⁷⁰ Nya generationer skapas med kontrollerade korsningar som eliminerar inflytandet av utifrån kommande pollen. Underpopulationerna hålls genetiskt isolerade från varandra vilket bidrar till bevarandet av genresurserna.

De olika underpopulationerna har olika geografiska målområden i termer av ljus- och temperaturklimat vilket ökar förädlingens flexibilitet inför framtida miljöförändringar. Simuleringar av en planerad svensk granförädling tio generationer framåt i en sluten delpopulation med 50 startträd ledde till en blygsam minskning (6,2 %) av den genetiska variationen över 10 förädlingsgenerationer.¹⁷¹

Genresurserna kommer i ett längre tidsperspektiv att ändras avsevärt genom skogsträdsförädlingens selektiva urval. Det kan därför på sikt bli stor skillnad i egenskaper mellan träd som selekterats i förädlingsurval och evolutionens naturliga selektion av träd även om den genetiska variationen är ungefär densamma. Förädlingen innebär att urvalet baseras på många försöksplantor som växer i olika miljöer. Det är troligt att de förädlade träden är mer flexibla och robusta och klarar av varierande förhållanden bättre än de oförädlade träden. En möjlighet att behålla relativt opåverkade populationer är att bygga upp underpopulationer av liknande storlek som förädlingspopulationerna och tillåta att urval och korsningar sker slumpmässigt.

En förädlingspopulation bör ge utrymme för mutationer

Genom evolutionens gång kommer trädens egenskaper successivt att ändras genom naturliga urval och mutationer. Mutationer är plötsliga ärftliga förändringar beroende på strukturella kromosomförändringar eller kemiska förändringar i DNA.

De flesta mutationer är skadliga och sådana alleler blir aldrig vanliga. Men ibland ger en mutation en genförändring som gör att individerna i genomsnitt överlever bättre och förväntas få fler avkommor. De flesta sådana mutationer kommer trots detta att försvinna, men blir mutationen tillräckligt vanlig för att inte försvinna av slumpen kommer den att finnas hos fler och fler individer för varje generation. När de svenska förädlingspopulationerna uppförkas i varje generationsskifte blir antalet träd i populationerna så stort att det skapar möjlighet för att fånga nya mutationer, som kan vara till nytta på lång sikt.

¹⁷⁰ Namkoong, G., Barnes, R.D., & Burley, J. 1980. A philosophy of breeding strategy for tropical forests. *Tropical forestry papers* 16, University of Oxford.

¹⁷¹ Rosvall, O., Lindgren, D. & Mullin, T. 1998. Sustainability robustness and efficiency of a multigeneration breeding strategy based on within-family clonal selection. *Silvae Genetica* 47, 307-321.

Skogsodlingens effekt på genetisk variation

Mätbar variation och genetisk variation

Naturskogar påverkas i högre grad av miljön, till exempel beståndets historik, skötsel och ståndort, än av genetiken – även om genetiken har betydelse. Kulturskogar har mer enhetlig historik och skötsel men kan genetiskt sett vara mer olika jämfört med naturskogar. Den odlade skogens anläggningssätt med samtidig plantering av plantor på ett hygge kan öka upplevelsen av likformighet på beståndsnivå jämfört med upplevelsen av en naturskog uppkommen efter naturlig förnyring. Även i en odlad skog beror storleksskillnader mellan träd framför allt på miljöeffekter och skogsskötsel.

Man kan förvänta sig ungefär samma mätbara variation i trädhöjd eller träd-diameter i en skog med förädlade träd som i skogar med oförädlade träd. För egenskaper som höjd och diameter gäller samma sak även för en skog med ett litet antal kloner. Det är först i extremfallet med en enda klon på en homogen mark som man kan förvänta minskad mätbar variation i höjd och diameter.

Större genurs med importerad gran i södra Sverige?

Det anses i många sammanhang bra att bryta en genetisk ”isolering” och att ”röra om i genpoolerna”. Är det något som är dåligt eller ger dålig anpassning tenderar det då att rensas bort av det naturliga urvalet. Som exempel borde den genetiska variationen i den sydsvenska granen snarast öka när genmaterial från inte bara Vitryssland utan även från andra platser i Europa tillåts att blandas.

Även om gran av svensk eller utländsk härkomst skulle vara utarmad på någon sällsynt genvariant så kommer denna genvariant att finnas hos de framtida granarna men i lägre frekvens. Genvarianterna förs i naturen vidare av miljontals träd och detta gäller även med dagens skogsodling. Sällsynta genvarianter kommer att finnas kvar i södra Sverige de närmaste seklerna.¹⁷²

Diversiteten i skogen från en fröplantage

Genom plusträdsurval förväntas den genetiska variationen (egentligen variationen) för urvalsegenskaper att tillfälligt minska med 5–10 % jämfört med de skogar där urvalet ägde rum.¹⁷³ I fröplantagerna omkombineras sedan generna genom sexuell förökning och cirka hälften av den minskade genetiska variationen återbildas. Skulle urvalet upphöra återbildas hela den mätbara variationen efter några generationer.

Vilka egenskaper som urvalet baseras på och i vilken utsträckning som dessa egenskaper nedärvs är viktig för hur mycket variation som kan gå förlorad. För tillväxtegenskaper som till exempel höjd och diameter, med relativt låg arvbarhet, är den genetiska variationen som förloras vid plusträdsurval marginell. Vid urval för egenskaper som bestäms av ett begränsat antal gener kan minskningen i genetisk variation däremot bli betydande.¹⁷⁴ De flesta trädegenskaper är dock komplexa och förefaller vara kontrollerade av många gener.

¹⁷² White, T.L., Adams, W.T., & Neale, D.B. 2007. *Forest Genetics*. CAB International. 682 s.

¹⁷³ Lindgren, D. 2009. *Effekten av urval på kvantitativ genetisk varians*. Opublicerat dokument.

¹⁷⁴ Bouffier, L., Raffin, A. & Kremer, A. 2008. Evolution of genetic variation for selected traits in successive breeding populations of maritime pine. *Heredity* 101, 156–165.

Självpollinering i fröplantager kontra i naturbestånd

Självpollinering förekommer i fröplantager, men inte i högre utsträckning än i frö från naturbestånd. Självpollinering är den mest extrema formen av inavel och leder ofta till inavelsdepression och en lägre livskraft hos avkomman. Självpollinering ökar sannolikheten för att avkommorna får skadliga mutationer i dubbel upplaga och att den skadliga effekten därmed kommer till uttryck i plantan.

Självpollinering har liten kvantitativ betydelse i den skog som härrör från en plantage, den berör vanligen bara några procent av träden och en stor del av dessa konkurreras ut. Skogsproduktionen minskar någon procent till följd av ökad inavel, i såväl den förädlade skogen som den naturliga skogen, vilket kan ses som ett ganska marginellt problem.¹⁷⁵

Utifrån kommande pollen och självföryngring ökar den genetiska variationen

Omkring hälften av pollenet i en fröplantage kommer från bestånd utanför fröplantagen och ökar den genetiska variationen väsentligt. Detta faktum medför att de allra flesta genvarianter i den naturliga skogen också finns i fröplantageavkomman. Det är troligt att omkring 20 % av produktionen i planteringar i norra Sverige kommer från självföryngring och beståndsföryngring.¹⁷⁶ Andra undersökningar antyder en något högre siffra.¹⁷⁷

Självföryngringsinslaget ökar den genetiska variationen i de planterade bestånden.

Klonantalets betydelse i fröplantager

Det finns inga tecken i verkligheten och heller inga teoretiska överväganden som gör det troligt att den genetiska variationen i dagens planteringar med fröplantagematerial blir något problem på beståndsnivå om fröplantagen innehåller 20 kloner.¹⁷⁸ Klonerna i en fröplantage varierar i ursprung med några breddgrader. Fröet kan därför förväntas vara bättre anpassat över ett något större intervall av odlingslokaler än beståndsför. Planter med härstamning från fröplantage kan därför förväntas vara något mer robusta gentemot klimatändringar än planter i självföryngringar.

¹⁷⁵ Lindgren, D. 2008. Se: www-genfys.slu.se/staff/dagl/Frotakt/FrötäktGranNorr.doc.

¹⁷⁶ Ackzell, L., Elfving, B. & Lindgren, D. 1994. Occurrence of naturally regenerated and planted main crop plants in plantations in boreal Sweden. *For. Ecol. Manage.* 65, 105–113.

¹⁷⁷ Hägglund, B. 1983. Breeding for Future production. Forest tree breeding – potential and limitations. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 81 (3), 1-112.

¹⁷⁸ Lindgren, D. & Prescher, F. 2005. Optimal clone number for seed orchards with tested clones. *Silvae Genetica* 54, 80–92.

Genetisk variation i enskilda egenskaper

Variation i klimatanpassning viktig för överlevnad

För våra barrträdsarter är anpassningen mellan fenologi och temperaturklimat på odlingsplatsen avgörande för den långsiktiga överlevnaden.¹⁷⁹ Speciellt för tall ökar plantavgångarna med ökad klimatisk kärvhet på odlingslokalen¹⁸⁰ och avgångarna är ofta ett resultat av upprepade skador under en följd av år^{181, 182}. Egenskaper som är relaterade till klimatisk anpassning till exempel knoppsprickning, uppvisar ofta större genetisk variation än tillväxtegenskaper.¹⁸³ Den genetiska variationen i de egenskaper som är viktiga för överlevnad gör att det finns goda förutsättningar för genetiska urval för ökad överlevnad.¹⁸⁴ Det naturliga urvalet gynnar ofta överlevnad mer än till exempel virkesproduktion.

Välanpassade träd tenderar att överleva i större utsträckning och kan lämna fler avkommor till nästa generation¹⁸⁵ men det är en långsam process. Lokala populationer kan vara anpassade till extrema klimathändelser som inträffar mycket sällan, vilket kan vara en förklaring till att flera nordliga arter inte förefaller utnyttja hela den möjliga tillväxtperioden för tillväxt.¹⁸⁶ I förädlingsprogram där urval för tillväxt och produktion ges relativt sett högre vikt än vid naturligt urval kan hög överlevnad och hög tillväxt kombineras genom aktiva urval.

Tillväxtegenskaper varierar tillräckligt för genetiskt urval

Tillväxtegenskaper står i jämförelse med till exempel vissa kvalitetsegenskaper under ett relativt starkt inflytande av miljö och skogsskötsel. Andelen genetisk variation av den totala mätbara variationen är relativt låg och arvbarheten ligger därför på en relativt sett låg nivå. På förhållandevis homogena marker minskar vanligtvis miljövariationen och sålunda ökar arvbarheten, såvida inte andra miljöeffekter tillkommer som påverkar tillväxten. Upprepade froster som ofta påverkar tillväxten för vissa familjer mer än andra kan innebära ökad arvbarhet och komplicerar tolkningen av vilken egenskap som egentligen mätts.

Den genetiska variationen för tillväxtegenskaper är tillräckligt stor för att skapa goda möjligheter för genetiska urval och förädling. I Sverige finns emel-

¹⁷⁹ Junttila, O. 1996. Plant adaptation to temperature and photoperiod. *Agricultural and Food Science in Finland* 5, 251–260.

¹⁸⁰ Eriksson, G., Andersson, S., Eiche, V., Ifver, J. & Persson, A. 1980. Severity index and transfer effects on survival and volume production of *Pinus sylvestris* in northern Sweden. Bestämning av ett hårdhetsindex för norra Sverige med hjälp av proveniensförsök med tall. *Studia Forestalia Suecica* 156.

¹⁸¹ Eiche, V. 1966. Cold damage and plant mortality in experimental plantations with Scots pine in northern Sweden. *Studia Forestalia Suecica* 36, 219 s.

¹⁸² Stefansson, E. & Sinko, M. 1967. Experiments with provenances of Scots Pine, with special regard to high ground in N. Sweden. *Studia Forestalia Suecica* 47, 108 s.

¹⁸³ Ekberg, I., Eriksson, G. & Weng, Y. 1985. Between- and within-population variation in growth rhythm and plant height in four *Picea abies* populations. *Studia Forestalia Suecica* 167.

¹⁸⁴ Eriksson, G., 1998. Evolutionary forces influencing variation among populations of *Pinus sylvestris*. *Silva Fennica* 32(2), 173–184.

¹⁸⁵ White, T.L., Adams, W.T. & Neale, D.B. 2007. *Forest Genetics*. CAB International. 682 s.

¹⁸⁶ Morgenstern, E.K. 1996. *Geographic Variation in Forest Trees*. UBC Press, Vancouver, B.C.

lertid få försök som vuxit närmare en omloppstid, men det finns inga indikationer på att den genetiska vinsten avtar med tilltagande ålder. För trädslag med kortare omloppstid (till exempel radiatatal (*Pinus radiata*) och loblollytall (*Pinus taeda*)) har förädlingsvinsterna stått sig över omloppstiden.¹⁸⁷

Kvalitetsgenskaper har relativt hög arvbarhet

Det finns egenskaper där arvet verkar starkare och miljön har mindre inflytande. Dit hör en del kvalitetsegenskaper som till exempel grenvinkel. Även om förädlingen ökat den genomsnittliga grenvinkeln något, dvs grenar som förhållandevis går mer vinkelrätt ut från stammen, så är fortfarande synintrycket att den genomsnittliga variationen i grenvinkel är relativt oförändrad i en förädlad skog från fröplantager eller klonblandningar.

Veddensitet är en viktig egenskap för biomassatillväxt, massautbyte och virkets hållfasthet. Om urval görs endast för tillväxt är det inte osannolikt att man på lång sikt minskar den genetiskt betingade densiteten, varför sambandet mellan tillväxt och densitet studeras extra noga.

Den genetiska variationen har begränsad betydelse för skadegörare

Den genetiska variationen har begränsad betydelse för anpassning av parasiter och deras spridning i skogsbruket. Om en klon över tiden planteras över tillräckligt stora arealer kan den efter hand bli mer mottaglig om parasiten anpassar sig. Det kan finnas gränser för hur stor arealen ska vara för att utgöra en ökad risk för kloner.

I praktiken har ekonomiskt betydelsefulla skadegörare ofta ekologiska nischer som är större än en art. Till exempel kan nämnas de för gran viktiga svamparna honungsskivling och rotticka samt de viktiga skadeinsekterna snytbagge, större granbarkborre, ädelgranbladlus och barrskogsnunna. Inga av dessa arter är begränsad till en enskild barrträdsart som värd.

Allvarliga angrepp av svampsjukdomar (till exempel knäckesjuka och *Gremmeniella*) är ofta diagnostiserade som direkta skadegörare, fast den verkliga orsaken kan vara en proveniens med ett för syddigt tillväxtmönster för att passa förhållandena där den planterats. Urval för att minska skador kan alltså snarare vara urval för anpassning och då hade det varit effektivare att använda information om ursprunget vid urvalet. Beroende på skadegörare och skademekanism förekommer både positiva och negativa samband mellan tillväxt och motståndskraft.

Klonskogsbruk kan ge hög produktion men har risker

Klonskogsbruk innebär att genetiska kopior av ett antal utvalda träd odlas praktiskt i stor skala. Klonskogsbruk ger förutsättningar för en snabb användning av genetiskt högvärdiga kloner. Det kan ge en mer likformig gröda som kan bli enklare och lönsammare att sköta och skörda och ger en för slutanvändaren mer värdefull produkt.

¹⁸⁷ Carson, S.D., Garcia, O. & Hayes, J.D. 1999. Realized Gain and Prediction of Yield with Genetically Improved *Pinus radiata* in New Zealand. *Forest Science* 45(2), 186–200.

Ett stort problem för klonskogsbruk är bristen på relevanta undersökningar om dess miljöeffekter. Slutsatser måste därför grundas på slutsatser från studier av andra arter eller miljöer. Storskaliga landsomfattande satsningar på klonskogsbruk kan få effekter på pollenmolnets sammansättning.

Minskad genetisk diversitet inom klonskogsbruket kan även uppfattas som ett produktionsproblem, då diversitet kan vara önskvärd för biomassaproduktion. En blandning av kloner kan använda den ekologiska ytan mer effektivt. Om en klon misslyckas kan en annan ta över det frigjorda ekologiska utrymmet i ett bestånd anlagt med en klonblandning.

En sjukdom eller svamp kan anpassa sig och sprida sig snabbare i ett genetiskt likartat bestånd, vilket motverkas av en klonblandning.¹⁸⁸ En gröda som genetiskt sett är mer diversifierad kan troligtvis uppvisa en mer stabil produktion över en lång rad av miljöer och skörden är mer ”upprepningsbar” och misslyckas mer sällan.

Familjeskogsbruk – de bästa klonerna korsas

Med familjeskogsbruk avses ett skogsbruk baserad på förökning av de bästa familjerna efter korsningar av de bästa avelsvärderade träden. Efterhand som nya framsteg görs i förädlingen byts korsningarna ut mot nya. Den högre vinsten med familjeskogsbruk jämfört med till exempel fröplantager innebär en lägre diversitet i de skogar som anläggs. En lägre diversitet kan accepteras med tanke på familjeskogsbrukets karaktär av ”spjutspets” och den marginella omfattning på nationell nivå som den kan tänkas få under överskådlig tid.

Det finns behov av att successivt bygga upp ökad praktisk erfarenhet av skogar med lägre diversitet, såväl klonskogsbruk som familjeskogsbruk, för att kunna göra bra och välgrundade bedömningar av vinster och risker i framtiden.

Med somatisk embryogenes har förutsättningarna för vegetativ massförökning förbättrats de sista åren genom att det tekniskt går att framställa obegränsade kvantiteter av klonat frö från korsningar mellan de bästa avelsvärderade granklonerna. Det återstår dock att se om detta kan utnyttjas till ett fungerande system för skogsbruket. Det är först då som klonskogsbruk och familjeskogsbruk kan få en sådan omfattning att diversitet och mångfald påverkas på nationell nivå.

¹⁸⁸ White, T.L., Adams, W.T. & Neale, D.B. 2007. *Forest Genetics*. CAB International. 682 s.

Litteratur

- Ackzell, L., Elfving, B. & Lindgren, D. 1994. Occurrence of naturally regenerated and planted main crop plants in plantations in boreal Sweden. *For. Ecol. Manage.* 65, 105–113.
- Almqvist, C. 2007. Practical use of GA4/7 to stimulate flower production in *Picea abies* seed orchards in Sweden. I: Lindgren, D. (redaktör). *Proceedings of a Seed Orchard Conference, Umeå, 26–28 September, 2007*, s 16–24.
- Almqvist, C. & Eriksson, M. 2008. Ökad produktion i plantage 501 Brelinge – försök med rotbeskäring och gibberellinbehandling. Skogforsk, *Arbetsrapport 658*, 14 s.
- Almqvist, C., Rosvall, O. & Wennström, U. 2007. *Fröplantager – anläggning och skötsel*. Skogforsk,Handledning, 97 s.
- Almqvist, C., Wennström, U. & Karlsson, B. 2009. Hur öka tillgången på förädlad skogsodlingsmaterial. Skogforsk, *Stencil*.
- Almqvist, C., Simonsen, R., Wennström, U. & Rosenberg, O. 2008. Granfröplantagerna – en guldgruva för skogsbruket. Skogforsk, *Resultat 3*, 2008, 4 s.
- Andersson, B. 1992. Autumn frost hardiness of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seed orchard crops. I: Lindgren, D. (redaktör). Provenance and forest tree breeding for high altitudes. Proceedings of the Frans Kempe Symposium in Umeå June 10–11, 1986. SLU, inst. för skoglig genetik och växtfysiologi, *Rapport 6*, s 99–111.
- Andersson, B. 2010. Helgardera mot klimatförändringarna. I *UKONF10*, Skogforsks Utvecklingskonferens 2010.
- Andersson, B. 2010. Uppgradering av ”Plantval”. Skogforsk. *Manuskript*.
- Andersson, B. & Bäckström, I. 1993. *Plusträdskloner i tallfröplantage 10 Östteg. Avelsvärden nr 14*. Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut. Uppsala. 12 s.
- Andersson, B., Engelmark, O., Rosvall, O. & Sjöberg, K. 1999. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbruk med contortatall i Sverige. Skogforsk, *Redogörelse 1*, 1999.
- Andersson, B., Elfving, B., Persson, T., Ericsson T. & Kroon, J. 2007. Characteristics and development of improved *Pinus sylvestris* in northern Sweden. *Can. J. For. Res.* 37, 84–92.
- Anon. 1962. Förteckning över fröplantagerna. Föreningen skogsträdförädling. *Årsbok 1962*. Appelbergs Boktryckeri, Uppsala, s 6–16.
- Anon. 2010. *The Heureka Research Programme. Final report for phase 2, October 2005 – September 2009*. SLU, inst. för skoglig resurshushållning. Under färdigställande.
- 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.
- Bentzer, B. 1981. Large scale propagation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) by cuttings. I: Symposium on clonal forestry, Uppsala, April 8–9, 1981. SLU, inst. för skogsgenetik, *Research notes 32*, 33–42.
- Bergh, J., Nilsson, U., Kjartansson, B. & Karlsson, M. 2010. Impact of climate change on the productivity of Silver birch, Norway spruce and Scots pine stands in Sweden with economic implications for timber production. *Ecological Bulletins* 53 (15), 000–000.
- Berlin, M., Jansson, G., Danell, Ö., Andersson, B., Elfving, B. & Ericsson, T. 2009. Economic weight of tree survival relative to volume production in tree breeding: A case study with *Pinus sylvestris* in northern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 24, 288–297.
- Borchert, R. 1976. The concept of juvenility in woody plants. *Acta Horticulturae* 56, 21–36.
- Bouffier, L., Raffin, A. & Kremer, A. 2008. Evolution of genetic variation for selected traits in successive breeding populations of maritime pine. *Heredity* 101, 156–165.

- Bullock, B., Nyström, K. & Rosvall, O. 2010. Mixed stand establishment with genetically improved and unimproved plant material for Norway spruce. Simulations of future yields and impacts on forest management. *Working paper*, March, 2010. 7 s.
- Carson, S.D., Garcia, O. & Hayes, J.D. 1999. Realized Gain and Prediction of Yield with Genetically Improved *Pinus radiata* in New Zealand. *Forest Science* 45(2), 186–200.
- Coley, P.D., Bryant, J.P. & Chapin, F.S., III. 1985. Resource availability and plant antiherbivore defence. *Science* 230, 895–899.
- Danell Ö. 1992. Genetisk variation på olika sätt. *Skog & Forskning* 1/92, s 29–45.
- Dekker-Robertson, D.L. & Kleinschmit, J. 1991. Serial propagation in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Silvae Genetica* 40, 202–214.
- Dickman, D.I. 1985. The Ideotype Concept Applied to Forest Trees. I: *Attributes of Trees as Crop Plants*. Cannell, M.G.R. & Jackson, J.E. (redaktörer), s 89–101.
- Ditlevsen, B. 2003. Produktion af hybridlaerk fro. *Skoven* 11, 529–531.
- Eiche, V. 1966. Cold damage and plant mortality in experimental plantations with Scots pine in northern Sweden. *Studia Forestalia Suecica* 36, 219 s.
- Ekberg, I., Eriksson, G. & Weng, Y. 1985. Between- and within-population variation in growth rhythm and plant height in four *Picea abies* populations. *Studia Forestalia Suecica* 167.
- Ekelund, H. & Hamilton, G. 2001. Skogspolitisk historia. Skogsstyrelsen, *Rapport* 8A, 2001, 256 s.
- Elfving, B. & Norgren, O. 1993. Volume yield superiority of lodgepole pine compared to Scots pine in Sweden. I: Lindgren, D. (redaktör), *Pinus contorta* from untamed forests to domesticated crop, Proceedings of the IUFRO meeting and Frans Kempe Symposium 1992 on *P. c.* provenances and breeding. SLU, inst. för genetik och växtfysiologi. *Rapport* 11, s 69–80.
- Eriksson, G., 1998. Evolutionary forces influencing variation among populations of *Pinus sylvestris*. *Silva Fennica* 32(2), 173–184.
- Eriksson, G., Andersson, S., Eiche, V., Ifver, J. & Persson, A. 1980. Severity index and transfer effects on survival and volume production of *Pinus sylvestris* in northern Sweden. Bestämning av ett hårdhetsindex för norra Sverige med hjälp av proveniensförsök med tall. *Studia Forestalia Suecica* 156.
- Eriksson, G., Ekberg, I. & Clapham, D. 2006. *An introduction to Forest Genetics*. SLU, inst. för växtbiologi och genetik. 185 s.
- Eriksson G., Ekberg I., Dormling I., & Matern B. 1978. Inheritance of bud-set and bud-flushing in *Picea abies* (L.) Karst. *Theor. Appl. Genet.* 52, 3–19.
- Eriksson, H. 2007. Svenskt skogsbruk möter klimatförändringar. Skogsstyrelsen, *Rapport* 8, 2007. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (länk: Bokhandeln / Rapporter).
- Ericsson, T. 2007. Parameter estimates of genetic variation and correlation in growth of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. Skogforsk, *manuskript*, 20 s.
- Eriksson, U., Jansson, G., Yazdani, R. & Wilhelmsson, L. 1995. Effects of supplemental mass pollination (SMP) in a young and a mature seed orchard of *Pinus sylvestris*. *Tree Physiology* 15, 519–526.
- Falconer, D.S. & Mackay, T.F.C. 1996. *Introduction to quantitative genetics*, 4th Edition. Longman. London and New York. 464 s.
- Feilberg, L. & Söegaard, B. 1975. Historical review of seed orchards. I: Faulkner, R. Seed Orchards. *Forestry Commission Bulletin* 54.
- García-Gil, M.R., Olivier, F., Kamruzzahan, S. & Waldmann, P. 2009. Joint analysis of spatial genetic structure and inbreeding in a managed population of Scots pine. *Heredity* 103, 90–96.

- Godt, M.J.W., Hamrick, J.L., Edwards-Burke, M.A., & Williams, J.H. 2001. Comparisons of genetic diversity in white spruce (*Picea glauca*) and jack pine (*Pinus banksiana*) seed orchards with natural populations. *Can. J. For. Res.* 31, 943–949.
- Gregorius, H.-R. 1980. The probability of losing an allele when diploid genotypes are sampled. *Biometrics* 36, 643–652.
- Hagner, S. 1969. Styrmedel för val av ekonomiskt optimal insatsnivå i olika skogsvårdsarbeten samt några nya hjälpmedel för beslutsfattandet. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 8.
- Hagner, S. 2005. *Skog i förändring – vägen mot ett rationellt och hållbart skogsbruk i Norrland 1940–1990*. Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien, Stockholm, 398 s.
- Hannerz, M. & Almäng, A. 1997. Utländska gran- och tallprovenienser i svenskt skogsbruk. Skogforsk, *Resultat* 7, 1997, 4 s.
- Hannerz, M., Hajek, J., Stener, L.-G. & Werner, M. 1993. Lärkfröplantager i Sverige. Skogforsk, *Resultat* 8, 1993, 4 s.
- Hannrup, B., Jansson, G., & Danell, Ö. 2008. Genotype by environment interaction in *Pinus sylvestris* (L.). *Silvae Genetica* 57(6), 306–311.
- Hegan, R. L. & Luckert, M. K. 2000. An economic assessment of using the allowable cut effect for enhanced forest management policies: an Alberta case study. *Can. J. For. Res.* 30, 1591–1600.
- Hägglund, B. 1983. Breeding for Future production. Forest tree breeding – potential and limitations. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 81 (3), 1-112.
- Högberg, K.-A., Eriksson, U. & Werner, M. 1995. Vegetativ förökning av skogsträd – med tonvikt på gran. Skogforsk, *Redogörelse* 1, 1995.
- Jacobsson, J. 1986. Optimization and Data Requirements. A Forest Management Problem. SLU, inst. för biometri och skogsindelning. Doktorsavhandling. 143 s.
- Jonsson, B. Jacobsson, J., & Kallur, H. 1993. The Forest Management Planning Package. Theory and application. *Studia Forestalia Suecia* 189, 26 s.
- Junttila, O. 1996. Plant adaptation to temperature and photoperiod. *Agricultural and Food Science in Finland* 5, 251–260.
- Jäghagen, K. & Albrektson, A. 1996. Induced competition among Scots pine seedlings and its effect on future timber quality. *New Forests* 12, 163–174.
- Kang, K.S. 2001. Genetic gain and gene diversity of seed orchard crops. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae, Silvestria* 187.
- Karlsson, B. 2007. Sitka- och Douglasgran – alternativ för ett nytt klimat. Skogforsk, *Resultat* 17, 2007, 4 s.
- Kleinschmit, J., Müller, W., Schmidt, J. & Racz, J. 1973. Entwicklung der Stecklingvermehrung von Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) zur Praxisreife. *Silvae Genetica* 26, 197–203.
- Kuparinen, A., Savolainen, O., & Schurr, F.M. 2010. Increased mortality can promote evolutionary adaptation of forest trees to climate change. *Forest Ecology and Management* 259, 1003–1008.
- Langlet, O. 1971. Two hundred years of gene ecology. *Taxon* 20, 653–722.
- Larsson, S., Lundmark, T. & Ståhl, G. 2009. *Möjligheter till intensivodling av skog*. Slutrapport regeringsuppdrag JO 2008/1885. SLU, 136 s.
- Lindgren, D. 2008. Frötäkt och frötäktsområden av gran och tall i Sverige. Skogsstyrelsen, *Rapport* 8, 2008. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (länk: Bokhandeln / Rapporter).
- Lindgren, D. 2008. Se: www-genfys.slu.se/staff/dagl/Frotakt/FrotaktGranNorr.doc.
- Lindgren, D. 2009. *Effekten av urval på kvantitativ genetisk varians*. Opublicerat dokument.

- Lindgren, D. 2009. *Global warming and seed orchards with special reference to Sweden*. Abstract. IUFRO WP 2.09.01 Seed Orchards conference from September 8 to 11, 2009, Jeju Island, Republic of Korea.
- Lindgren, D. & Prescher, F. 2005. Optimal clone number for seed orchards with tested clones. *Silvae Genetica* 54, 80–92.
- Lindgren, D., m fl. 2008. Unequal deployment of clones to seed orchards by considering genetic gain, relatedness and gene diversity. *Forestry* 82(1), 17–28.
- Löfgren K. G. 1988. On the Economic Value of Genetic Progress in Forestry. *Forest Science* 34, 708–723.
- Morén, A-S., Perttu, K. L. 1994. Regional temperature and radiation indices and their adjustment to horizontal and inclined forest land. *Studia Forestalia Suecica* 194, 19 s.
- Morgenstern, E.K. 1996. *Geographic Variation in Forest Trees*. UBC Press, Vancouver, B.C.
- Namkoong, G., Barnes, R.D., & Burley, J. 1980. A philosophy of breeding strategy for tropical forests. *Tropical forestry papers* 16, University of Oxford.
- Nilsson, J.-E. & Andersson, B. 1987. Performance in freezing tests and field experiments of full-sib families of *Pinus sylvestris* (L.). *Can. J. For. Res.* 17, 1340–1347.
- Persson, A. & Persson, B. 1992. Survival, rowth and quality of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) provenances at the three Swedish sites of the IUFRO 1964/68 provenance experiment. SLU, inst. för skogsproduktion, *Rapport* 29, 67 s.
- Persson, B. 1994. Effects of climate and provenance transfer on survival, production and stem quality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in northern Sweden. SLU, inst. för skogsproduktion, *Rapport* 37, 43 s.
- Rosvall, O. 2003. Zon- och ägarvisa plantagearealer för tredje omgången fröplantager i Sverige. Skogforsk, *Arbetsrapport* 549.
- Rosvall, O. 2007. Produktionspotentialen är betydligt högre än dagens tillväxt. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademins Tidskrift* nr 4, 2007, s 13–30.
- Rosvall, O. (redaktör). 2002. ”Rätt” proveniens skadas mindre av Gremmeniella – och det går att förädla för ökad motståndskraft. Skogforsk, *Resultat* 5, 2002, 4 s.
- Rosvall, O., Andersson, B. & Ericsson, T. 1998. Beslutsunderlag för val av skogsodlingsmaterial i norra Sverige med trädslagsvisa guider. Skogforsk, *Redogörelse* 1, 1998, 66 s.
- Rosvall, O., Lindgren, D. & Mullin, T. 1998. Sustainability robustness and efficiency of a multigeneration breeding strategy based on within-family clonal selection. *Silvae Genetica* 47, 307-321.
- Rosvall, O., Jansson, G., Andersson, B., Ericsson, T., Karlsson, B., Sonesson, J. & Stener, L-G. 2001. Genetiska vinster i nuvarande och framtida fröplantager och klonblandningar. Skogforsk, *Redogörelse* 1, 2001, 41 s.
- Rosvall, O. & Eriksson, B. 2002. Nya fröplantager i Sverige – underlag för strategiska beslut. Skogforsk, *Arbetsrapport* 499, 27 s.
- Rosvall, O., Bergström, R., Jacobson, S., Pettersson, F., Rosén, K., Thor, M. & Weslien, J. 2004. Ökad produktion i familjeskogsbruket – analys av tillväxthöjande och skadeförebyggande åtgärder. Skogforsk, *Arbetsrapport* 574, 97 s.
- Rosvall, O., Peichen, G. & Simonsen, R. 2006. Den gamla skogen står i vägen för den nya. I: Utvecklingskonferens 2006. Skogforsk, *Redogörelse* 2, 2006, s 94–104.
- Rosvall, O., Peichen, G. & Simonsen, R. 2006. Framtida tillväxtökning kan tas ut redan i dagens skog. Skogforsk, *Resultat* 4, 2006, 4 s.
- Rosvall, O., m fl. 2007. Tillväxthöjande skogsskötselåtgärder i privatskogsbruket – underlag för lönsamhetsberäkningar. Skogforsk, *Arbetsrapport* 640, 59 s.
- Rosvall, O. & Wennström, U. 2008. Förädlingseffekter för simulering med Hugin i SKA 08. Skogforsk, *Arbetsrapport* 665, 38 s.

- Rytter, L., Hannerz, M., Högbon, L., Ring, E. & Weslien J.-O. 2009. Ökad produktion i Svenska kyrkans skogar med hänsyn till miljö och sociala värden. Skogforsk, *Arbetsrapport* 684, 94 s.
- Schweitzer, D.L., Sassaman, R.W., & Schallau, C.H. 1972. Allowable cut effect: some physical and economic implications. *J. For.* 70, 415–418.
- Simonsen, R., Rosvall, O. & Gong P. 2007. Ökad skogsproduktion i Holmens skogar – en lönsamhetskalkyl. Skogforsk, *Resultat* 8, 2007, 4 s.
- Simonsen, R., Rosvall, O. & Gong P. 2007. Lönsamhet för produktionshöjande skogsskötselåtgärder hos Holmen Skog – en fallstudie. Skogforsk, *Redogörelse* 5, 2007, 34 s.
- Skogliga konsekvensanalyser 2008 (SKA-VB -08). 2008. Skogsstyrelsen. *Rapport* 25, 2008. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (Länk: Bokhandeln / Rapporter.)
- Skogsvårdslagen – Handbok*. 2009. Skogsstyrelsens förlag.
- Skrøppa, T. & Dietrichson, J. 1986. Winter damage in the IUFRO 1964/68 provenance experiment with Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Communications of the Norwegian Forest Research Institute* 39.10
- Sonesson, J., Bradshaw, R., Lindgren D. & Ståhl, P. 2001. Ecological evaluation of clonal forestry with cutting-propagated Norway spruce. Skogforsk, *Redogörelse* 1, 2001, 59 s.
- Sonesson, J., Swedjemark, G., Almqvist, C., Jansson, G., Hannrup, B., Rosvall, O. och Kroon, J. 2007. Genetic variation in responses of *Pinus sylvestris* trees to natural infection by *Gremmeniella abietina*. *Scand. J. For. Res.* 22, 290–298.
- Stefansson, E. & Sinko, M. 1967. Experiments with provenances of Scots Pine, with special regard to high ground in N. Sweden. *Studia Forestalia Suecica* 47, 108 s.
- Stener, L.-G. 1997. Förflyttning av björkprovenienser i Sverige. Skogforsk, *Redogörelse* 3, 1997, 30 s.
- Stener, L.-G. 2004. Resultat från sydsvenska klontester med poppel. Skogforsk, *Arbetsrapport* 571, 28 s.
- Stener, L.-G. 2005. Förädlad björk och hybridasp, snabbt växande alternativ för södra Sverige. Skogforsk, *Resultat* 7, 2005, 4 s.
- Stener, L.-G. 2005. Hybridlärk – ett bra komplement till gran i södra Sverige. Skogforsk, *Resultat* 16, 2005, 4 s.
- Stener, L.-G. 2007. Studie av klonskillnader i känslighet för askskottsjuka. Skogforsk, *Arbetsrapport* 648, 4 s.
- Stener, L.-G. 2007. Tidig utvärdering av fyra sydsvenska försök med olika lärkarter av olika genetiska ursprung. Skogforsk, *Arbetsrapport* 650, 21 s.
- Stener, L.-G. 2007. Utvärdering av sydsvenska avkommeförsök med klibbal. Skogforsk, *Arbetsrapport* 649, 43 s.
- Stener, L.-G. & Werner, M. 1997. Bättre frökällor för odling av ädellöv. Skogforsk, *Resultat* 11, 1997, 4 s.
- Wennström, U. 2001. Direct seeding of *Pinus sylvestris* (L.) in boreal forest using orchard or stand seed. SLU, Acta Universitatis agriculturae Sueciae, *Silvestria* 204.
- Wennström, U. 2002. Som du sår får du skörda. Skogssådd med inblandning av plantagefrö ger bättre återväxt. Skogforsk, *Resultat* 20, 2002, 4 s.
- Weslien, J., Finér, L., Jónsson, J. Á., Koivusalo, H., Laurén, A., Ranius, T. & Sigurdsson, B.D. 2009. Effects of increased forest productivity and warmer climates on carbon sequestration, run-off water quality and accumulation of dead wood in a boreal landscape: A modeling study. *Scand. J. For. Res.* 24, 333–347.
- White, T.L., Adams, W.T. & Neale, D.B. 2007. *Forest Genetics*. CAB International. 682 s.
- Wikström, P., Klintebäck, F. & Westling, J. 2008. BeståndsVis, en simulator för analys av skogsskötsel. SLU, *Fakta Skog* 4, 2008. Även tillgänglig på: <http://heureka.slu.se/wiki>.

- Witzell, J. & Karlman, M. 2000. Importance of site type and tree species on disease incidence of *Gremmeniella abietina* in areas with a harsh climate in northern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 15, 202–209.
- Ångström, A. 1974. *Sveriges klimat*. Generalstabens Litografiska Anstalts Förlag.

Litteratur för fördjupning

- Danell, Ö. 1993. Breeding programmes in Sweden. 1. General approach. I: *Progeny testing and breeding strategies, Proceedings from a Meeting with the Nordic Group of Tree Breeding, October 1993*. Editerad av Lee, S.J., Forestry Commission, Edinburgh.
- White, T.L., Adams, W.T. & Neal, D. 2007. *Forest genetics*. CABI Publishing, Oxfordshire, UK.
- Zobel, B. & Talbert, J. 1984. *Applied forest tree improvement*. John Wiley & Sons, New York.