

Ekologisk utvärdering av klonskogsbruk med gransticklingar

*Johan Sonesson, Richard Bradshaw,
Dag Lindgren & Per Ståhl*



Denna arbetsrapport finns också på engelska som "Ecological evaluation of clonal forestry with cutting-propagated Norway spruce". SkogForsk, Report No. 1, 2001.

Ämnesord: *Picea abies*, klon, genetisk variation, miljöpåverkan, genbevarande

SkogForsk – Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut

SkogForsk arbetar för ett långsiktigt, lönsamt skogsbruk på ekologisk grund. Bakom SkogForsk står skogsbolag, skogsägareföreningar, stift, gods, allmänningar, plantskolor, SkogsMaskinFöretagarna m.fl., som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

SkogForsk arbetar med forskning och utveckling med fokus på tre centrala frågeställningar: Skogsodlingsmaterial, Skogsskötsel samt Råvaruutnyttjande och produktionseffektivitet. På de områden där SkogForsk har särskild kompetens utförs även i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter. Serien **Arbetsrapport** dokumenterar långliggande försök samt inventeringar, studier m.m. och distribueras enbart efter särskild beställning.

Forsknings- och försöksresultat från SkogForsk publiceras i följande serier:

SkogForsk-Nytt. Nyheter, sammanfattningar, översikter.

Resultat. Slutsatser och rekommendationer i lättillgänglig form.

Redogörelse. Utförlig redovisning av genomfört forskningsarbete.

Report. Vetenskapligt inriktad serie (på engelska).

Handledningar. Anvisningar för hur olika arbeten lämpligen utförs.

Innehåll

Sammanfattning.....	5
Introduktion.....	6
Kloner i naturen	7
Den vegetativa förökningens evolutionära historia	7
Förekomst av kloner i dag.....	9
Klonernas roll i naturen	10
Klonskogsbruk – bakgrund	11
Historia.....	11
Klonskogsbruk i andra länder.....	12
Klonskogsbruk i Sverige	13
Lagregler för användning av klonat förnyngningsmaterial	14
Klonskogsbruk i framtiden.....	15
Skillnader mellan klonskogsbruk och konventionellt skogsbruk	16
Genetisk variation.....	16
Genbevarande	17
Genetisk variation i bestånd av fröplantor	18
Trädmorfologi och fysiologi.....	19
Produktion av förnyngningsmaterial.....	20
Beståndsanläggning.....	20
Beståndsbehandling.....	23
Produktion i blandade och monoklonbestånd	23
Risk för katastrofer	25
Ekologiska konsekvenser	25
Fenotypisk variation	26
Flora.....	28
Fauna	28
Mark och vatten	29
Genekologi.....	29
Fröproduktion i klonskogar.....	31
Naturlig förnygring i klonskogar	32
Fallstudier	33
Cryptomeria japonica i Japan	33
Popplar och Salix-arter i Europa	34
Radiatatal på Nya Zeeland.....	34
Eucalyptushybrider i Brasilien.....	35

Bedömning av ekologiska konsekvenser	35
Bakgrund	35
Grund för utvärdering av miljökonsekvenser.....	36
Svenskt scenario.....	36
Effekter av klonskogsbruk i relation till andra miljöproblem och samhällets mål med skogsbruk.....	37
Jämförelse av klonskogsbrukets effekter och alternativa sätt att uppnå samma mål	39
Alternativa metoder för snabbare tillväxt	40
Alternativa metoder för att öka överlevnaden	42
Alternativa sätt att få mer enhetliga produkter.....	42
Effekter på bestånds- och landskapsnivå	43
Aktuellt kunskapsbehov.....	44
Åtgärder för att minska negativa miljökonsekvenser.....	44
Möjliga åtgärder för minskning av negativa effekter	44
Möjliga ändringar i lagstiftningen	45
Litteratur.....	47
Personliga kontakter.....	50

Sammanfattning

Kloner är vanligt bland växter i naturen, och 3–15 genotyper hittas ofta växande tillsammans över områden som ibland täcker flera hektar. Barrträskloner är dock ovanliga i naturen. Klonskogsbruk är en relativt ny metod i Sverige trots att det i andra länder förekommit länge, speciellt i Japan. Sverige har en av de mest restriktiva lagstiftningarna i världen när det gäller användning av vegetativt förökat barrträdsmaterial. Användning av klonförökad gran skulle kunna öka produktiviteten markant i svenska skogar. Denna genomgång presenterar en utvärdering av troliga ekologiska effekter av klonskogsbruk, vid nuvarande och framtida tänkbara nivåer, av sticklingsförökad gran i Sverige.

De största ekologiska hoten som kan uppkomma av klonskogsbruk kan hänföras till en ökad homogenitet och resursutnyttjande hos bestånd bestående av bara en eller ett par kloner. Den långsiktiga bördigheten riskerar också eventuellt att minska. Ett dokumenterat samspel med herbivorer finns också. Dessa hot skiljer sig inte speciellt mycket från sådana som kan uppkomma genom andra metoder av intensiv skogsproduktion. Den begränsade tillgängliga dokumentationen ger inte anledning till någon större oro under förutsättning att klonskogsbruk med gran bedrivs i nuvarande eller trolig framtida omfattning i Sverige. Likväl är effekterna under jord, som kan tänkas uppkomma genom ökad rotsammanväxning och mikrobiologisk enhetlighet i jordmiljön, ett utforskat område, som kan behöva uppmärksammas i framtiden.

Vi bedömer att nuvarande lagstiftning är tillräcklig för att skydda de svenska skogarna och den svenska ekologin från en märkbar inverkan av klonskogsbruk, så länge som mindre än 10 % av nya granplantor förökas vegetativt. Om klonerna blandas, som lagstiftningen kräver, kan inte den fenotypiska variationen i sticklingbestånden på något sätt förväntas skilja sig från bestånd etablerade med fröplantor. Nuvarande krav gällande klonblandning är strängare än de som gäller för *Salix*-planteringar eller japanska *Cryptomeria*-planteringar, som inte rapporterats ha orsakat oförutsedda sjukdomar eller ekologiska problem.

Introduktion

Klonskogsbruk med gran har förekommit i varierande omfattning i Sverige sedan 1980, och totalt har 15–20 miljoner gransticklingar planterats.

Klonskogsbruk har analyserats ingående i Sverige av Gullberg et al., (1977) och senare av Lindgren et al., (1990). Efter den senaste utvärderingen har nya frågeställningar uppkommit, på grund av utökad kunskap om och växande oro över skogsbrukets inverkan på den biologiska mångfalden såväl som andra miljöeffekter. Ny kunskap om klonskogsbruk har också blivit tillgänglig, vilket skapat ett behov av en uppdatering av den senaste analysen (Lindgren et al., 1990). Sedan Lindgren et al. skrev sin rapport, har en standardmetod för analys av miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbruk utvecklats (Westling 1995) och utnyttjats i flera fall (Nohrstedt & Westling, 1995, Andersson et al., 1999). Denna utvärdering följer i stora drag denna standard.

Enligt skogsbrukslagen (SVL) § 32, kan ingen ny skogsbruksmetod godkännas utan att en MKB först utförts. Klonskogsbruk av gran anses emellertid inte vara en ny metod och den regleras redan i nuvarande lagstiftning. Detta gör att inget krav på att utföra en formell MKB föreligger, vilket begränsar syftet med denna rapport något. Å andra sidan måste all skogsbruksmetoder då och då ses över och konsekvenserna utsättas för förnyad utvärdering.

Denna utvärdering har initierats av det mellansvenska klonskogsbruksprojektet och finansieras av Föreningen för skogsträdförädling. Det mellansvenska klonskogsbruksprojektet drivs gemensamt av skogsföretagen StoraEnso, Korsnäs, AssiDomän och Holmen.

Målet med utvärderingen är att granska och analysera miljökonsekvenserna av klonskogsbruk och sticklingsförökning med gran baserat på befintlig kunskap som sammanställts från vetenskapliga publikationer, personliga kontakter och fältobservationer. Huvudvikten läggs på ny kunskap som förvärvats under de senaste tio åren, sedan undersökningen av Lindgren et al., (1990).

Studien omfattar följande:

- Effekterna av förändringar i genetiska variationsmönster orsakade av klonskogsbruk omfattas, men ej effekterna av pågående förädlingsprogram.
- Konsekvenserna av användning av ”genetiskt modifierade organismer” (GMO) diskuteras inte.
- Effekterna av ökad tillväxt och överlevnad orsakad av metoder som skulle kunna användas i klonskogar, som t.ex. gödsling och intensiva skogs-skötselmetoder, är också undantagna.
- Klonskogsbruk inbegriper inte bara användning av testade kloner i stor skala, utan allt skogsbruk där vegetativt förökade träd används.
- Rapporten tar i första hand upp förökning med hjälp av sticklingar och belyser skillnaderna mellan sticklingar och fröplantor.

Kloner i naturen

En klon definieras som en grupp av genetiskt identiska enheter, som existerar separat eller temporärt sitter ihop, men kan, och ofta existerar var för sig (Sebens & Thorne, 1985). Klonade plantor och djur har varit, och är fortfarande, vanligt förekommande i naturen. I växtriket förekommer kloner i alla kärlväxtgrupper. Kloner finns överallt i naturen men har trots det ansetts vara speciellt vanligt förekommande i vissa miljöer och floror, framför allt på höga latituder och altituder, i våtmarker och i tempererade och nordliga skogar, betesmarker och eldhärjade områden. I det tempererade Europa har 70 % av alla växtarter möjlighet att växa som kloner, även om vissa av dem bara gör så under speciella förhållanden. *Apomixis* är en speciell kategori av vegetativ förökning. Växter som t.ex. *Taraxacum* producerar avkommor utan sexuell rekombination och skapar kloner som sprids över en ansenlig yta, utan att individerna någonsin fysiskt sitter ihop.

Den vegetativa förökningens evolutionära historia

Tiffney & Niklas (1985) har sammanställt den vegetativa förökningens evolutionära historia och har tillhandahållit en värdefull bakgrund till förekomsten av vegetativ förökning och kloner i naturen i dag (figur 1). Följande avsnitt är en kort sammanfattning av deras undersökning.

De tidigaste landväxterna saknade kärlvävnad och hade ineffektiva metoder för sexuell fortplantning och spridning. Tillväxt genom kloning var fördelaktigt, eftersom växten då kunde spridas och därigenom snabbt dominera stora områden. Dominansen av klonade växter i de tidigaste landfossilerna var antagligen en konsekvens av den dåtida begränsade strukturella mångfalden, på vilken de evolutionära krafterna kunde verka.

Under senare delen av devonperioden minskade den klonade delen i floran, medan antalet vedartade fröbärande växter ökade. Under karbonperioden var både vegetativ och sexuell förökning vanligt hos vedartade växter. Däremot verkar det som om skogarnas underväxt till stor del dominerades av kloner av t.ex. lumnerarter och de då nyligen utvecklade ormbunkarna.

Perm- och triasperioderna karakteriserades av en synbart ökad miljömässig instabilitet, delvis som ett resultat av stora geografiska förändringar orsakade av kontinentaldrift. Dessa förändringar ledde till en större utrotning bland vegetativt förökade pteridofyter än bland sexuellt förökade gymnospermer. Växter utan förmåga till vegetativ förökning verkar ha varit vanligare i floran på det södra halvklotet än i Europas och Nordamerikas flora.

Instabiliteten i miljön under perm- och triasperioderna följdes av en period med jämnt klimat från trias till sen krita. Trädgymnospermer dominerade med klonade pteridofyter som underväxt. Många nya barrträdsfamiljer utvecklades och somliga kan ha haft förmågan att föröka sig med rotskott, vilket man fortfarande kan se hos vissa av dagens barrträdsarter.

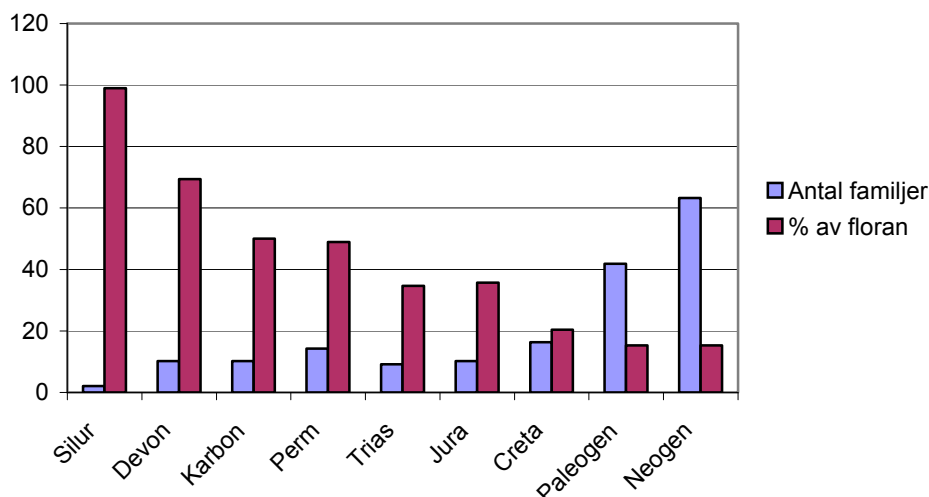
Ökningen av angiospermer i den tidiga kritaerioden inverkar kraftigt på sammansättningen av landväxter och deras mångfald. Deras ökade mångfald motsvarades av en svag minskning i mångfalden bland gymnospermerna. Framgången i början kan tillskrivas deras snabba allmänna tillväxt och korta

livscykel. Deras fortplantningen var primärt sexuell. Tyvärr tillhandahåller fos-silen bara några få ledtrådar om balansen mellan vegetativ och sexuell förök-ning, men en betydande del av de många nya träd- och buskarter som upp-trädde under den tidiga tertiärperioden kunde fortplanta sig med rotskott och avläggare. Allteftersom förhållandena i de subtropiska områdena på hög latitud under tidig tertiär förändrades och blev mer tempererade och eventuellt ned-isade, ökade betydelsen av tvåhjärtbladiga örter. Spridningen av enhjärtbladiga gräs, förökade med revor eller rhizom, ökade också. Denna trend har fortsatt fram till i dag där klontillväxt är vanligt i naturen, speciellt bland örter i tempe-rerade områden.

Endast 10 % av dagens tvåhjärtbladiga familjer har kapacitet att naturligt för-öka sig vegetativt. Dessa härstammar ofta ifrån arter som varit huvudsakligen sexuellt förökade under den globala nedkylningen under tidig tertiär och kvar-tär. De enhjärtbladiga arterna har däremot sannolikt behållit sin ursprungliga förmåga till vegetativ förökning och deras betydelse ökade markant under sen tertiär. Gräsväxterna utgör en av de största enhjärtbladiga familjerna med över 500 släkten och 8 000 arter, vilka har förmåga till vegetativ förökning.

Nedisningen under de senaste två miljoner åren hade en enorm inverkan på de genetiska resurserna i nordvästra Europa (Bradshaw, 1995). De artrika skogs- och gräsmarksekosystemen, som var vanliga under tertiärperioden, genomgick upprepade fragmenterings- och omorganisationscykler, vilket resulterade i om-fattande artutrotning och förändringar i ekosystemet. Följaktligen är inte eko-systemen i de svenska skogarna balanserade samhällen uppkomna efter miljon-er år av Darwinistisk evolution, utan snarare en samling hårdiga, flexibla överlevare anpassade till snabba klimatförändringar och stränga förhållanden.

Viktiga slutsatser kan dras från denna evolutionära sammanställning gällande effekterna av vegetativ förökning på långsiktig överlevnad och framgång i tider av påfrestande miljöförändringar (i synnerhet klimatiska). Tiffney & Niklas identifierade tre perioder av till synes stabila miljöförhållande då betydelsen av sexuellt förökade växter ökade. Under perioder av snabba förändringar och större påfrestningar, t.ex. under övergången mellan perm- och triasperioden och under senare delen av tertiärperioden och kvartärperioden, tenderade sexuellt förökade växter som även hade förmåga till vegetativ förökning att överleva och föröka sig bättre än andra. Denna reproduktiva strategi kombine-rar fördelarna med omkombination av gener med möjligheten att masspro-ducera de mest välanpassade genotyperna.



Figur 1.
Växtfamiljer genom tiderna med förmåga till vegetativ förökning.

Förekomst av kloner i dag

Många av de vanligaste klonförökade arterna är icke vedartade växter, men förmågan finns också bland vedartade växter över hela världen (Jenik, 1994). I tempererade lövskogar är rotskott en vanlig form av kloning och bra exempel finns hos *Populus* och *Prunus*. Skottskogsbruk är en naturlig metod som utnyttjats under århundraden i europeiska skogar och *Betula*, *Carpinus*, *Corylus*, *Quercus*, *Salix* och *Tilia* är alla släkten med riklig stubbskottsbildning. Kloningsförmågan har varit av speciell betydelse i tempererade skogar i nordvästra Europa. Efter den inledande etableringen av individer under första delen av holocen följde en lång period av relativ stabilitet i de lokala populationerna av många arter som t.ex. *Alnus glutinosa* och *Tilia cordata*. Denna stabila period avbröts till sist av störningar orsakade av människan och intensiv betning av tamdjur förhindrade stubbskottsbildningen och dödade enskilda kloner som kan ha varit flera tusen år gamla. I dessa skogar har antropogena störningar resulterat i ett ombyte från vegetativ förökning till sexuell förökning, till fördel för arter som *Fagus sylvatica* och *Picea abies*. Det är bara i de mest orörda skogarna i Europa man hittar tecken på gamla klonmönster, speciellt bland *Tilia cordata* (Rackham, 1980).

Gymnospermerna i de nordliga skogarna och taigan har sämre förmåga att föröka sig med stubb- eller rotskott. Enda sättet för dem att klona sig naturligt är med avläggare, d.v.s. kvistar och grenar som rotar sig, som t.ex. *Pinus pumila* i östra Sibirien, *Pinus mugo* i europeiska berg, *Picea mariana* i Kanada och *Picea abies* i norra Europa (Jenik, 1994).

I regnskogarna finns en mycket stor mångfald av angiosperma trädarter, vilka uppvisar alla vanliga former av vegetativ förökning. Många enhjärtbladiga träd (t.ex. arter av *Palmae*, *Streliziaceae*, *Zingiberaceae* och *Musaceae*), vissa tvåhjärtbladiga och t.o.m. två vedartade ormbunksarter (*Cyathea manniana* och *Alsophila microdonta*) utvecklar underjordiska stammar som skapar serier av genetiskt identiska individer (Jenik, 1994). Bambuarterna är en annan vitt spridd grupp, mest i varma bergiga områden, som skapar kloner och täcker

stora områden. Vegetativ förökning är vanligt i subtropiska skogstrakter på samma sätt som vegetativt spridda gräsarter dominerar på savannen.

Ingen systematisk undersökning av arealer som täcks av enskilda kloner i naturen har gjorts. En sammanställning av data från litteraturen har gjorts av Cook (1985) och ger viss information om arealer för olika arter. I tabellen uppskattas också åldern på dessa enskilda kloner (tabell 1). De största kända trädklonerna täcker tiotals hektar och kan vara flera tusen år gamla.

Tabell 1.
Några stora växtkloner (enligt Cook, 1985).

Art	Diameter (m)	Uppskattad ålder (år)
<i>Gaylussacia brachycerium</i>	1 980	13 000
<i>Holcus mollis</i>	880	1 000+
<i>Populus tremuloides</i>	510	10 000+
<i>Pteridium aquilinum</i>	489	1 400
<i>Lycopodium complanatum</i>	250	850
<i>Festuca rubra</i>	220	1 000+
<i>Convallaria majalis</i>	83	670+
<i>Calamagrostis epigeios</i>	50	400+
<i>Picea mariana</i>	14	300+
<i>Festuca ovina</i>	8	1 000+
<i>Larrea tridentata</i>	8	11 000+

Widén et al. (1994) har sammanfattat vad som finns skrivet om den rumsliga fördelningen av genotyper i klonpopulationer och bland annat observerat antalet genotyper per population och förekomsten av ovanliga och mer utbredda genotyper (tabell 2). Många genotyper var uppenbarligen begränsade till enstaka populationer. Bara i ovanliga fall fanns det mer än 25 genotyper per population.

Klonernas roll i naturen

Man har ansett att populationer av växtkloner kännetecknas av stor morfologisk likhet, men undersökningar visar att de har en markant plasticitet i sin morfologi i heterogena miljöer. Widéns undersökning beskriver hur naturliga populationer vanligtvis var sammansatta av ett antal kloner som växte tillsammans. En enskild klon täcker sällan mer än omkring 50 hektar i naturen.

Skogsbrukets metoder är nästan alltid, mer eller mindre, en modifiering av processer som kan förekomma i naturen. Med nuvarande intresse för långsiktigt hållbar produktion och bevarande av naturlig biologisk mångfald har det blivit vanligt att undersöka naturliga system för att utveckla riktlinjer för lämpliga skogsbruksmetoder. Vår undersökning av kloner i naturen ger utrymme för vissa allmänna slutsatser och visar också på luckor i vår kunskap.

- Kloner är vanliga och spridda i naturen och vegetativ förökning verkar vara en framgångsrik reproduktiv strategi i krävande tider i kombination med begränsad sexuell fortplantning.
- Enskilda kloner kan uppnå höga åldrar ($>10^3$ år) och kan täcka vidsträckta områden ($>10^2$ hektar) men kunskapen om detta är begränsad.
- Vi saknar detaljerad kunskap om graden av genetisk variation inom och mellan naturliga klonpopulationer.

- Naturlig kloning bland barrträd är ovanlig på grund av deras strukturella konstruktion.
- I de skandinaviska skogarnas ekosystem är kloner vanligast förekommande i markvegetationen, där vegetativt förökade örter, gräs och bärris ofta dominerar.
- Trädkloner var tidigare vanliga i nordliga tempererade skogar, men störningar orsakade av människan har verkat till förmån för arter med i huvudsak sexuell förökning, som t.ex. *Fagus sylvatica* och *Picea abies*.
- Kloner som växer i heterogena miljöer behöver inte vara morfologiskt identiska.
- 3–15 genotyper per klonpopulation utgör en typisk naturlig situation.

Tabell 2.

Genotypisk mångfald av vissa klonade arter i naturen (enligt Widén et al, 1994).

A – Antal undersökta populationer; B – Genomsnittligt antal genotyper per population och (spridning); C – Procent genotyper begränsade till en population;

D – Procent genotyper hittad i >75 % av populationen.

Art	A	B	C	D
<i>Alnus incana</i>	4	5	0	100
<i>Agrostis stolonifera</i>	6	7,5 (1–15)	98	0
<i>Antennaria rosea</i>	63	3,5 (1–11)	89	0
<i>Betula glandulosa</i>	9	3 (1–5)	53	0
<i>Erigeron annuus</i>	3	14 (13–15)	12	59
<i>Filipendula rubra</i>	25	5,5 (1–15)	99	0
<i>Glechoma hederacea</i>	4	34,8 (15–98)	100	0
<i>Oenothera biennis</i>	44	1,5 (1–5)	76	0
<i>Oenothera laciniata</i>	60	6,5 (1–16)	58	1
<i>Populus tremuloides</i>	7	31,7 (30–40)	100	0
<i>Pteridium aquilinum</i>	4	24,8	100	0
<i>Rubia peregrina</i>	3	39,3	71	2
<i>Rubus saxatilis</i>	2	9 (8–10)	100	0
<i>Solidago altissima</i>	4	10,3 (3–20)	100	0
<i>Taraxacum hollandicum</i>	7	1,4 (1–4)	75	25
<i>Taraxacum tortilobum</i>	20	3,3 (1–7)	53	13

Klonskogsbruk – bakgrund

Historia

Tillämpningen av vegetativ förökning av träd har en lång historia. Den användes först för att föröka önskvärda kloner av fruktträd och metoderna som användes har antagligen människor känt till i tusentals år. Det första kända användandet av vegetativ förökning i skogsbruk var i Japan med sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) under 1600-talet. Sedan dess har plantering med monokloner eller klonblandningar använts i stor skala i Japan.

Vegetativ förökning av popplar (*Populus sp.*) har en lång historia i Europa. Organiserat klonskogsbruk startade i början av 1900-talet. Plantering av monoklonplanteringar med poppel har blivit en vanlig syn, speciellt på låglänta flodstränder i södra Europa, i länder som Italien, Spanien och Frankrike. Några av de kommersiellt mest attraktiva poppelklonerna som fortfarande används valdes ut så tidigt som under den första halvan av 1900-talet.

Klonskogsbruk med gran (*Picea abies* L. Karst) påbörjades i Tyskland 1968, och ett klonskogsbrukssystem för arten beskrevs av Kleinschmit et al. (1973). Det tyska konceptet har använts i svenskt klonskogsbruk sedan 1975. Klonskogsbruk med gran har aldrig använts på större områden och klonerna har vanligtvis planterats i blandningar.

Klonskogsbruk med eukalyptusarter (*Eucalyptus* sp.) påbörjades runt 1965 i Brasilien och är i dag antagligen den vanligaste formen av klonskogsbruk i världen. Klonskogsbruk pågår också med en del andra arter som t.ex. radiatatall (*Pinus radiata* D. Don), gul ceder (*Chamaecyparis nootkatensis* D. Don Spach) och flera tropiska lövträd.

Klonskogsbruk i andra länder

Lövträd används oftare i klonskogsbruk än barrträd. Det mest framgångsrika exemplet är eukalyptusplanteringarna i olika tropiska och subtropiska länder och områden, inklusive Sydamerika, Sydafrika och Portugal. Det område som täcks av eukalyptusplantager i dag utgör totalt ungefär 30 miljoner hektar och omkring hälften av detta är planterat med klonat material. Gummiträdsplanteringar (*Hevea brasiliensis*) är också vanligtvis klonade, ofta monokloner. Dessa plantage täcker miljontals hektar i tropikerna. Stora områden planteras med kloner av gummiträd (*Hevea brasiliensis*) för både gummi- och virkesproduktion.

Klonskogsbruk med poppel är vanligt i länder med subtropiskt och tempererat klimat som Italien, Spanien, Frankrike, Belgien, Nederländerna, USA och Kanada. I tropiska länder användas flera olika *Acacia*-arter och även andra lövträd för klonskogsbruk.

Ett finskt skogsföretag har nyligen startat ett klonskogsbruksprogram med hybridasp (*Populus tremula* × *tremuloides*) för planteringar i Finland och Estland. Än så länge har några hundra hektar planterats med utvalda kloner som mikroförökats. Klonerna planteras i små monoklonblock på upp till en halv hektar i storlek. Målet med programmet är att plantera ca 1 000 hektar per år.

Den äldsta typen av storskaligt klonskogsbruk med barrträd är den japanska sugin där kloner planterats i flera århundraden. Klonskogsbruk med Radiatatall (*Pinus radiata* D. Don) expanderar i Nya Zeeland. Flera olika barrträdsarter har testats för att se om de passar för klonskogsbruk i USA och Kanada. Kloner av vitgran och interior-gran (hybridkomplexet mellan *P. glauca* och *P. engelmannii*) har planterats i mindre skala i British Columbia under de senaste åren. Sticklingar av olika arter av gran används för att vegetativt mångfaldiga utvalda helsyskonfamiljer (s.k. bulksticklingar). Denna metod används med Sitkagran (*P. sitchensis*) i Skottland (sex miljoner plantor per år) och Irland (en miljon plantor per år). I östra Kanada produceras bulksticklingar av svartgran (*P. mariana*) (3–4 miljoner per år) och mindre kvantiteter av vitgran (*P. glauca*) och gran.

I de flesta klonskogsbruksprogram runt om i världen planteras klonerna i monoklonblock. Storleken på blocken varierar mellan programmen, men det anses ofta viktigt att blockgränserna är markerade så att klonidentiteter kan bibehållas. Den huvudsakliga fördelen med monoklonblock, jämfört med klonblandningar,

är den enhetlighet som kan uppnås inom ett bestånd, speciellt när det gäller egenskaper med hög heritabilitet såsom vedegenskaper och grenkaraktärer.

Medvetenhet om risken för epidemiska patogener p.g.a. användning av ett litet antal kloner över stora arealer har resulterat i strategier där man använder ett större antal kloner, tillräckligt många för att minimera sådana hot på landskapsnivå. Nya kloner väljs regelbundet ut från klontestningsprogrammen i syfte att byta ut äldre och på så sätt skapa en mångfald bland de olika bestånden. De flesta företag som använder sig av klonskogsbruk har i dag utvecklat, eller håller på att utveckla, sådana strategier.

Klonskogsbruk i Sverige

Det första klonskogsbruksprogrammet med gran i Sverige startades 1975 av Hilleshög AB. Inspirationen kom huvudsakligen från det tyska programmet (Kleinschmit et al., 1973). Klonerna valdes ut i bra provenienser i plantskolan. Ungefär 6 000 av dessa kloner testades i fält inom de fem fröplantagezonerna i södra och mellersta Sverige (zon 5–9). Kommersiella klonblandningar såldes under 1980–90 och totalt omkring 15 miljoner sticklingar planterades, huvudsakligen i södra Sverige.

Samma år startades ett andra program, Sydsvenska klonskogsbruksprojektet, av Institutet för skogsförbättring (numera SkogForsk). Ett par år senare åtog sig Domänverket (AssiDomän Forestry AB) och Skogstyrelsen (Svenska Skogsplantor AB) finansiellt ansvar för programmet. Klonerna valdes ut i bra provenienser i plantskolan. Ungefär 9 000 av dessa kloner testades i fältförsök i södra och mellersta Sverige. Några få miljoner sticklingar producerades och planterades.

Sydsvenska- och Hilleshögprojekten avslutades i början av 1990-talet på grund av liten efterfrågan på sticklingar och den höga produktionskostnaden. Den höga produktionskostnaden berodde i första hand på det manuella arbete som krävs. De kostnader som tillkom för att uppfylla lagens krav och de psykologiska faktorerna knutna till bestämmelserna kan heller inte ignoreras i sammanhanget. En märkbar svängning mot ett mer ”naturligt” skogsbruk ägde vid den tiden också rum, vilket minskade intresset för högproduktiva skogar.

Ett tredje program, det mellansvenska klonskogsbruksprojektet, startade 1989 och pågår fortfarande. Testning och urval sköts av SkogForsk och finansieras av skogsföretag som verkar i mellersta Sverige: StoraEnso Skog AB, Korsnäs AB, AssiDomän AB och Holmen Skog AB. Klonerna väljs till största delen ut från hel- eller halvsyskonsfamiljer med plusträd valda i södra och mellersta Sverige som föräldrar. Omkring 5 000 kloner har planterats i fältförsök och testade kloner som godkänts för förökning har funnits tillgängliga sedan 1997. En viss produktion sker i några av intressentföretagens plantskolor. Mycket få sticklingar i förhållande till programmets potentiella produktionskapacitet (nio miljoner sticklingar per år) kommer att produceras. Omkring en halv miljon sticklingar producerades under 2001.

Lagregler för användning av klonat förnyngsmaterial

I Sverige, liksom i vissa andra länder, regleras användningen av vegetativt förökade barrträd, trots att ingen reglering finns av klonskogsbruk med lövträd. Sticklingar från barrträd delas in i två kategorier: testade kloner (där klonerna hålls åtskilda under produktionen och blandas innan plantering) och bulksticklingar (där klonidentiteten inte upprätthålls för de enskilda plantorna). De testade klonerna delas in i tre testnivåer beroende på de tester som utförts. (tabell 3).

Tabell 3.
Testnivåer för grankloner

Nivå	Testkrav	Minsta antal kloner i blandning	Max antal kopior per klon ^a
S0	Utvald i plantskola, inget fälttest	67	50 000
S1	Sex år i fält	40	300 000
S2	Nio år i fält	29	1 000 000

^a Inget krav vid plantering på mark som ägs av plantproducenten, endast vid överlåtelse.

Minsta antal tillåtna kloner i en blandning beror på testnivån. För att använda minimumantalet (tabell 1) måste varje klon i blandningen vara likvärdigt representerad. Vid överlåtelse av vegetativt förökade sticklingar får maximalt 20 % av plantorna ha en eller båda föräldrarna gemensam. Vid överlåtelse av testade kloner föreligger det också en begränsning av antal kopior från varje klon (tabell 3).

När det gäller bulksticklingar får maximalt 200 kopior från varje enskild planta (klon) användas. Vid överlåtelse får maximalt 20 % av plantorna ha en eller båda föräldrarna gemensam.

Sticklingsbestånd får ej överstiga 20 hektar. Sticklingar får inte planteras i områden med utrotningshotade arter.

Om antalet sticklingar som planteras per hektar är mindre än 300 finns ingen restriktion av antalet använda kloner. Det borde vara attraktivt i vissa situationer att utnyttja denna möjlighet vid t.ex. hjälpplantering eller som komplement till naturlig förnygring, och då endast använda några få kloner med speciellt önskvärda egenskaper.

Sticklingar får levereras klonvis från producenten om det är överenskommet att de skall blandas vid planteringen (en klon per rad är accepterat), eftersom blandning på plantskolan är komplicerat och kan orsaka biologiskt oönskade störningar. Detta är tillåtet av praktiska skäl, men det är önskvärt att ha plantorna väl blandade vid plantering.

Vad vi vet finns det endast fyra andra länder där användning av klonade skogs-träd är begränsad i lag. I de flesta länder där klonskogsbruk förekommer är det ej reglerat. De striktaste reglerna finns antagligen i Danmark, där lagen anger att kloner normalt inte får användas, med undantag för poppel. I Tyskland måste klonat material från vanliga arter som t.ex. gran överlätas i blandningar av 500 kloner, men på speciella platser kan blandningar av 100 kloner användas. För mindre allmänna arter är motsvarande siffror 100 respektive 30 kloner.

I Norge skiljer lagen på bulksticklingar och testade kloner. Reglerna för bulkföroökade sticklingar kräver att i varje plantering skall användas minst 10 obeläktade testade familjer (hel- eller halvsyskon och maximalt 100 fröplantor per familj). Testade kloner är tillåtna, förutsatt att det finns minst 30 kloner i blandningen, men huvudregeln är att bara 50 plantor av varje klon tillåts i varje bestånd, så mer än 30 kloner krävs för planteringar som är större än 1 hektar. Tester krävs enligt norsk lag för både testade kloner och bulksticklingar, men tillvägagångssättet för att utföra testerna är inte fastställt.

Även i Finland skiljer lagen mellan bulksticklingar och testade kloner, precis som i Norge och Sverige. Vid bulkföroökning är det minsta antalet moderfröplantor som krävs 200, och de måste härstamma från minst 20 obeläktade familjer. De finska reglerna för testade kloner delar upp dem i tre testnivåer, där testernas tid och omfattning skiljer sig åt. Den högsta nivån C1 kräver fälttestning på tre lokaler i 12 år, och en blandning av fyra kloner är då tillåten. Nivå C2 kräver fälttestning på två lokaler i 7 år, och en blandning av 11 kloner är då tillåten. För kloner som valts ut i plantskolan men utan fälttestning, tillåts en blandning med minst 33 kloner. Det maximala tillåtna antalet kopior av varje klon är två miljoner.

Länderna som nämns ovan ligger nära varandra och har liknande ekologiska förutsättningar. Lagarna stadfästs i en miljö där lagstiftare och skogsbrukare diskuterar frågor med varandra i syfte att nå ett samförstånd. De svenska lagarna stiftades också delvis efter önskemål från de plantskolor som startade de första klonskogsbruksprojekten. När det skedde anade de att klonskogsbruk kunde bli reglerat inom en snar framtid och de ville att lagarna skulle stiftas så snabbt som möjligt så att de kunde anpassa sin verksamhet till fastställda ramar. Som ett resultat av det uppställda lagstiftarna ganska strikta lagar, till största delen grundade på försiktighet och mindre på vetenskaplig kunskap. Lagstiftarna ville försäkra sig om att klonblandningarna användes på ett sätt som säkerställde mångfald och garanterade en rimlig spridning av sticklingar i landskapet.

Så vitt vi vet är inte användandet av kloner lagligen reglerat i resten av världen, men enskilda företag har ofta något sorts program för att garantera att en viss mångfald upprätthålls i produktionspopulationen, huvudsakligen för att minimera risken för ett storskaligt planteringsmisslyckande på grund av spridning av patogener specialiserade på enskilda kloner. Länder med stora skogsarealer som ägs av staten kan utfärda skötselinstruktioner i den statliga skogsorganisationen som har samma effekter som lagar över stora arealer.

Klonskogsbruk i framtiden

Utvecklingen av nya föroökningmetoder, som vävnadskultur och somatisk embryogenes, kanske med embryon inpackade i konstgjorda fröer, kommer antagligen att göra klonskogsbruk med barrträd mer effektivt på lång sikt. De nya metoderna kan öka föroökningstakten, reducera eller undvika effekterna av klonåldrande och kan göra produktionen av klonade plantor billigare. I framtiden kan klonade plantor (t.ex. föroökade med konstgjorda frön) vara lika billiga som traditionellt odlade och kan bli ett intressant alternativ även i mer extensiva former av skogsbruk, och ej enbart aktuellt för intensivare skogar. De nya metoderna kan till och med komma att göra förädlade plantor billigare eftersom kostsamma fröplantager kanske ej kommer att behövas. Ny teknik

kan komma att möjliggöra klonskogsbruk med arter som inte kan användas i dag. Det är möjligt att huvuddelen av de producerade plantorna kommer att vara klonade inom en närmare framtid än den återstående livslängden hos många träd som planteras i dag. I det sammanhanget kan den viktigaste uppgiften för ett småskaligt klonskogsbruk vara att samla erfarenhet för framtiden.

Utvecklingen av metoder som undviker klonåldrande, som kryolagring av somatiska embryon, kan göra det möjligt att utnyttja samma kloner en längre tid. Detta är inte möjligt för de flesta arter med den sticklingsteknik som används i dag. Klonåldrande förhindrar emellertid också överanvändning av enskilda kloner eftersom klonerna måste bytas ut efterhand som de åldras. Med metoder för "evig" ungdom kan det vara lockande att överanvända kloner med speciella och önskvärda egenskaper. Detta betonar behovet av goda strategier för riskhantering i framtiden. Risken för överanvändning av attraktiva kloner måste motverkas genom ett långsiktigt förädlingsprogram som fortlöpande producerar nya och bättre kloner, och därigenom bidrar till diversitet i kloner över tiden.

För vissa träddarter utvecklas metoder för att göra genöverföring möjlig eller för att styra organismens egna gener på mer grundläggande nivåer, med det slutliga syftet att skapa träd med önskade egenskaper. Ett välutvecklat klonskogsbruk är en nödvändig förutsättning för användning av genetiskt modifierade träd (GMO-träd). Vi tror inte att GMO-granar kommer att användas i praktiskt skogsbruk i Sverige på länge, och innan GMO används på det sättet kommer en ingående ekologisk debatt att hållas, så för närvarande tycks detta övervägande vara irrelevant. Om GMO används är en trolig konsekvens att färre kloner kommer att dominera i ett mer utbrett klonskogsbruk, en fråga som lämpligen diskuteras när en första tillämpning av storskalig kommersiell användning av GMO är nära förestående. Eftersom inte en enda ansökning inlämnats om att utföra fälttester av genetiskt modifierade barrträd i Sverige, tror vi att en sådan debatt hör till en avlägsen framtid.

Skillnader mellan klonskogsbruk och konventionellt skogsbruk

Genetisk variation

När man diskuterar genetisk variation i klonskogsbruk måste man betona att de flesta klonskogar är avsedda att vara "återvändsgränder", som inte skall ha någon inverkan på framtida skogar när de väl en gång avverkats. Det är osannolikt att klonskogarna kommer att inverka på arternas fortsatta evolution. Alltså är behovet av genetisk mångfald lägre i skogar avsedda enbart för produktion.

Det finns inga allmänt vedertagna definitioner för vad genetisk variation eller genetisk mångfald innebär i kvantitativ bemärkelse. Vilken exakt betydelse den genetiska variationen har är också oklart.

Genetisk variation är dock det råmaterial som evolutionen utnyttjar. I en värld utan genetisk variation skulle det inte finnas någon evolution, inga arter och inget liv. Genetisk variation är också en tillgång som människor vidareutvecklar

genom förädling av växter och husdjur. Det är därför av största betydelse att en stor genetisk mångfald bibehålls.

Det mest grundläggande beståndsdel i den genetiska variationens hierarki är förekomsten av enskilda gener i mer än en form. Olika kloner innehåller ett antal genvariationer (alleler). Avkomman kommer att ha samma gener som föräldrarna och inga andra. Ett sticklingbestånd med 30 kloner kommer att innehålla samma gener som ett fröplantsbestånd med dessa 30 kloner som föräldrar; de är identiska med avseende på det antal olika alleler som förekommer.

Genotypisk variation är en annan sak. Varje icke-klonat träd är vanligtvis genetiskt unikt, så det finns miljarder genetiskt unika granar i Sverige. Klonskogsbruk kommer att reducera antalet unika genotyper i skogen, men inom överskådlig framtid kommer detta antagligen att ha en mindre inverkan än andra naturliga och antropologiska förändringar av antal unika genotyper i en nationell skala. I de enskilda bestånden kommer dock klonskogsbruk att reducera antalet genotyper.

Den nuvarande nivån av genetisk variation i en naturlig population är följden av ett utdraget samspel mellan anpassning, variation och stokastiska faktorer, och kan ses som en ögonblicksbild av en pågående dynamisk process. Vi måste försöka lära av denna process, och att försöka efterlikna naturen kan tänkas öka säkerheten. Det finns emellertid inga starka skäl att se följderna av naturliga, i hög grad slumpartade processer som optimala och det kan ifrågasättas om de skall utgöra ett mål för skötsel av populationerna.

Genetisk mångfald kan betraktas i olika skalor i tid och över areal. I ett längre tidsperspektiv skapas genetisk variation genom mutationer, men när det gäller de närmast kommande generationerna skogsbruk verkar det vara rimligt att ignorera dessa mycket långsiktiga mekanismer. Molekylärgenetiska studier av gran i Sverige visar att den största delen av genetisk variation finns inom bestånd. Prover från ett större område innehåller dock totalt sett mer genetisk variation än de som tagits inom ett enda bestånd. Eftersom en fröplantage eller en klonblandning vanligtvis består av genotyper som tagits från ett större område, har de sannolikt större genetisk variation än en naturlig population. Men över ett större område kan skogsträdsförädling och klonskogsbruk leda till genetisk homogenisering, när samma genetiska material används inom större områden.

Genbevarande

För den totala genetiska variationen hos gran och den genetiska variation som kommer att överleva nästa istid, är antagligen de gener som finns i träd inom eller nära de tidigare och blivande refugierna viktigare än de gener som finns i Sverige i dag. Alltså borde vad som sker i Sverige ha en mycket liten långsiktig inverkan på granens genetiska variation. Den genetiska variation som finns i svenska träd är relativt oviktig eftersom de flesta alleler i gran i Sverige som finns i dag antagligen kommer att försvinna under nästa istid. Gran är en art med ett enormt utbredningsområde och inom större delen av detta är naturlig förnygring helt dominerande. Den är inte utrotningshotad som art betraktad, och om den genetiska variationen hotas så är det bara en lokal företeelse.

De möjliga konsekvenserna av att den genetiska sammansättningen i skogsbestånd förändras blir mindre allvarliga om det finns ett genbevarandeprogram för arten. Ett sådant program finns redan för gran i Sverige.

Det formella genbevarandet av gran i Sverige organiseras av Skogsstyrelsens genbank. Grundtanken är att skydda genresurserna från mänsklig påverkan. Genbanken fokuserar huvudsakligen på bevarande av lokala populationer i bestånd. De flesta av genbanksbestånden är unga, så det kommer att dröja länge innan en förnygring behövs. Avtal för skötsel av genbanksbestånd har ingåtts med markägarna. Begränsningar i skötseln är föreskrivna i avtalen för att säkerställa att genbankskaraktären bevaras.

I norra Sverige (norr om latitud 60°) finns det 67 planteringar med gran vilka härstammar från systematiskt insamlat lokalt frö. I södra Sverige, där pollenmolnet innehåller mycket utländskt granpollen, finns det sex stycken klonarkiv, där ett antal genotyper från åtta inhemska populationer finns bevarade. Dessa kommer att korsas med varandra för att undvika befruktning med främmande pollen och således bibehålla populationsstrukturen.

En viktig del av bevarandet sker inom skogsträdsförädlingen. I det svenska förädlingsprogrammet har man samlat in flera tusen plusträd av gran som nu finns som ympar i klonarkiv och fröplantager. Den framtida förädlingspopulationen av gran planeras bestå av minst 1 000 granar med kända föräldrar och kommer att skötas så att ackumuleringen av släktskap inom populationerna sker långsamt. Detta är antagligen tillräckligt för att bibehålla en evolutionär potential och genetisk variation för all framtid. Materialet är väldefinierat och grundligt dokumenterat. Förädlingsprogrammet är utformat som en ”multiple population”-strategi, en strategi som från början utformades av Namkoong (1980). Materialet är strukturerat inom ett antal delpopulationer, som hålls reproduktivt isolerade från varandra och, förutom att de testas för olika miljöer, kan ha olika förädlingsmål. Dessa inslag kommer att bidra till ett effektivt genbevarande i den svenska förädlingspopulationen.

Delar av den svenska skogsmarken är avsatta som olika typer av reservat. Det finns många träd i olika typer av genetiska experiment, arboreta och botaniska trädgårdar. Det finns också avsevärda landarealer med träd som inte kan användas för skogsproduktion (trädgårdar, impediment, lähäckar, etc.), som kan bidra till genbevarandet.

Genetisk variation i bestånd av fröplantor

Det är av intresse att diskutera de genetiska effekterna av andra typer av förnygring för att ge ett perspektiv på effekterna av klonskogsbruk.

Naturlig förnygring. Naturlig förnygring, i synnerhet om den utförs med fröträd, domineras av avkomma från en relativt liten del av populationen av träd som funnits i den slutavverkade beståndet. Det är inte ovanligt att några få närstående träd dominerar som pollenföräldrar. Pollen som sprids in i området under förnygringen spelar sin normala roll i breddandet av den genetiska variationen. Avkomman som produceras genom naturlig förnygring har teoretiskt förutsagts ha en förhållandevis låg genetisk variation, och dessa förväntningar stöds av experimentella undersökningar, senast av Adams (1998). Det är dock rimligt att förutsätta att den naturliga förnygringen över större områden sammantaget bibehåller mer genetisk mångfald än fröplantageavkommor, eftersom

den representerar ett mycket större antal föräldraträd som kommer från ett stort område.

Plantering av beståndsfröplantor. Denna form av förnygring skiljer sig från naturlig förnygring i det att det lokala släktskapet bryts, eftersom fröplantor från träd som växer en bit ifrån varandra blandas. Det finns ingen större skillnad mellan lokalt och importerat frö, när det gäller den genetiska variationen. De importerade generna kan skilja sig i karaktär från de lokala, t.ex. så har de vitryska plantorna en tendens till sen skottskjutning. Alltså måste all användning av icke-lokala plantor grundas på väl genomförd testning.

Plantering av fröplantageplantor. Generellt är den genetiska variationen och heterozygotgraden hos fröplantagematerial större eller åtminstone lika stor som den i en naturlig population från motsvarande område (El-Kassaby, 1995). Urvalet verkar inte minska den genetiska variationen (El-Kassaby & Ritland, 1996). Föräldraträden väljs ut över en hel region, så de förväntas skilja sig åt mer än beståndsfröplantor eller naturligt förnygrade plantor över ett begränsat område. Eftersom relativt få genotyper är föräldrar i en fröplantage, kan den genetiska variationen på regional nivå bli reducerad om många avkommor från en enda fröplantage används i regionen under långa tidsperioder.

Trädmorfologi och fysiologi

Kloner varierar i olika grad med avseende på hur lätta de är att föröka vegetativt. Så länge denna förmåga inte korrelerar med andra viktiga egenskaper är det inte viktigt ur genetiskt synpunkt. Det gör det emellertid dyrare att hitta passande genotyper eftersom de, förutom alla andra önskvärda egenskaper, måste vara lätta att föröka vegetativt.

Dessutom kan man inte förutsätta att rotningsegenskaperna är helt okorrelerade med andra viktiga egenskaper, eller att oönskade egenskaper inte förstärks när man väljer ut lättrotade kloner för sticklingsförökning. Till exempel går det snabbare att multiplicera genotyper som producerar mycket grenar som sticklingar, men skogsbrukare föredrar generellt genotyper som lägger hela sin biomassa i stammen.

Det är viktigt att tidigt kunna avgöra om genotypen lätt kan förökas vegetativt eller inte. Annars riskerar man att utföra kostsam klontestning av material som senare förkastas, eftersom de inte kan förökas effektivt.

Olika förökningsmetoder kan resultera i olika typer av plantor och träd trots att de producerats från samma genotyp. Detta är inga nyheter för skogsbrukare, planterade plantor och frösådda plantor har t.ex. något olika rotsystem. Vegetativt förökade material, speciellt sticklingar, är fysiologiskt äldre än fröplantor av samma storlek och har därmed också en del andra egenskaper än fröplantor. Ett antal faktorer kan orsaka icke-genetiska variation inom kloner, sticklingsmaterialet kan t.ex. komma från träd av olika åldrar eller från olika ställen på moderplantan och därmed utvecklas olika.

Det genetiska materialet kan förändras under lagring. Goda egenskaper hos utvalda testade kloner kan kanske inte reproduceras i ett senare skede, även om genotyperna arkivhållits i häckar för att bibehålla juvenilitet så länge som möjligt.

Vegetativ förökning *in vitro* kan göra materialet genetiskt ostabilt (Chen & Ahuja, 1993). Somatiska mutationer och kromosomavvikelser kan bli vanligare i denna typ av material än bland fröplantor. Eftersom denna undersökning behandlar sticklingar diskuterar vi dock inte detta potentiella problem i fortsättningen.

Bakterier, växtvirus och andra patogener kan överföras genom vegetativ förökning. Sådana problem har påvisats i vegetativt förökade jordbruksväxter, och sätt att försäkra sig om att växtmaterialet är fritt från sjukdomar etc. måste integreras i alla klonskogsbruksprogram.

Användning av sticklingar behöver inte bara motiveras av en önskan att öka tillväxten, eftersom andra egenskaper kan vara lika viktiga. Sticklingar från 4–6 år gamla radiatattallar har bättre stamform, har mindre kvistar och stormfälls inte lika lätt som fröplantor i samma storlek. Sådana sticklingar kostar mer att producera, men en del plantköpare i Nya Zeeland är beredda att betala ett avsevärt högre pris för dem.

Produktion av förnyngningsmaterial

I dag utförs den vegetativa förökningen av gran för storskalig kommersiell användning bara genom produktion av sticklingar. Somatisk embryogenes håller på att utvecklas, men kommer inte att finnas tillgängliga för massproduktion inom flera år.

Produktion av sticklingar är av olika orsaker betydligt dyrare än produktion av fröplantor, i vart fall med de metoder som sticklingar och fröplantor produceras i dag. Det krävs en lång och kostsam klontestning innan traditionellt klonskogsbruk kan tillämpas. Med den nuvarande svenska förädlingsstrategien skulle en stor del av den här testningen ändå utföras i framtiden, oberoende om sticklingar eller fröplantor används. Testningen skulle alltså inte innebära en tilläggskostnad. Men under den period som klonerna testas i fält måste klonerna hållas juvenila i häckar, och detta utförs ej inom det vanliga långsiktiga förädlingsprogrammet. Ett antal extra moment ingår i sticklingproduktionen, och många av dem (som klippning, sortering och märkning av sticklingarna) inbegriper kostsamma manuella insatser. Dessutom utnyttjas ej plantskolornas kapacitet fullt ut eftersom sticklingarnas rotningsprocent normalt är lägre än gröningsprocenten hos fröplantor. Å andra sidan är produktionstiden i plantskolan vanligtvis kortare för sticklingar än för fröplantor. Om dyra fröplantager dessutom inte behöver anläggas, kommer vissa besparingar att kunna göras.

Beståndsanläggning

Inledningsvis måste det betonas att både fröplantor och sticklingar påverkas kraftigt av behållarens typ och storlek eller, för barrotssticklingar, avståndet mellan plantorna i plantskolan. Alla dessa faktorer kan påverka storlek, form, biomassa-fördelning och allmänt utseende så mycket att det döljer variation orsakad av genetiska skillnader mellan materialen.

Sticklingar av gran liknar fröplantor av liknande ursprung till utseendet. Vissa skillnader har dock observerats. Till exempel har man sett att sticklingar har ett mindre antal primära grenar och ett högre antal sekundära grenar upp till en höjd av 40 cm (Kleinshmit & Schmidt, 1977). Sticklingar av gran har större

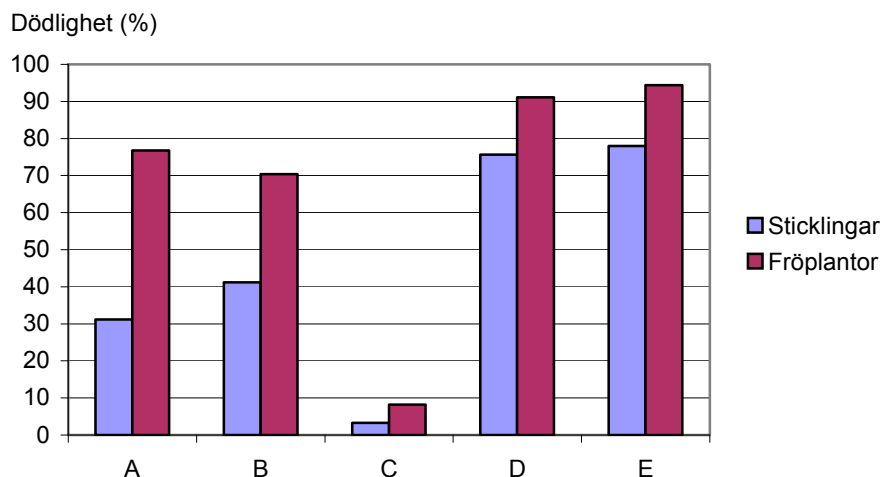
avsmalning än fröplantor (Roulund & Werner, 1985). Symmetrin på sticklingarna minskar i takt med ökad ontogenetisk ålder, rottingsförmågan minskar, stamformen försämras och plagiotropin ökar.

Rötter på sticklingar och fröplantor skiljer sig på ett tidigt stadium. Fröplantor utvecklar sitt rotsystem genom tillväxt från hypokotylen. Sticklingar utvecklar å andra sidan adventivrötter längst ner på sticklingen. En vanlig erfarenhet är att unga (ett år gamla) sticklingar har få men grova rötter, medan fröplantor i samma ålder har ett större antal finare rötter. Efter omskolning i plantskolan eller utplantering i fält kommer många av rötterna på fröplantan att ersättas av nya adventivrötter utvecklade vid rothalsen. De redan utvecklade adventivrötterna hos sticklingen kan i själva verket hjälpa dem att rota sig snabbare efter omplantering, vilket minskar den stampperiod som är vanligt förekommande på nyplanterad gran (Hannerz & Lindström, 1998). Skillnader mellan fröplantor och sticklingar tenderar att försvinna med tiden.

I praktiskt klonskogsbruk med gran, där testade kloner används, varierar den genetiska vinsten i volym från 10–15 % i jämförelse med fröplantor från rekommenderade härkomster enligt Högberg et al. (1995). Skillnaden i tillväxt är inte enbart genetisk. Sticklingar kan också uppvisa fysiologiska fördelar, t.ex. snabbare begynnelsestillväxt än fröplantor, vilket alltså minskar etableringsfasen. Gemmel et al. (1991) upptäckte att sticklingarna växt 15 % mer på höjden är fröplantor i åtta år gamla förnygringsplanteringar av sticklingar och fröplantor med samma genetiskt ursprung. De citerade författarna antydde att denna påverkan inte var bestående, eftersom de längsta sticklingarna på det åttonde året inte skiljde sig mellan de två grundstammarna.

Rotade sticklingar växer inte bara snabbare på ett tidigt stadium utan har också en benägenhet att överleva bättre än fröplantor (Gemmel et al., 1991). Det finns antagligen två anledningar till detta:

- Sticklingar är fysiologiskt äldre än andra fröplantor. Fysiologiskt mer utvecklat material skjuter senare på våren och invintrar tidigare på hösten än juvenilare material med samma genetiska ursprung. På grund av detta kan man förvänta sig mindre frost- och vinterskador på sticklingarna.
- Sticklingar har en lägre mortalitet orsakad av snytbagge (*Hylobius abietis*) än fröplantor med samma höjd (Mattsson & Thorsén, 1992) (figur 2.). En rad olika faktorer kan tänkas förklara detta. Sticklingar har, i jämförelse med fröplantor i samma storlek, grövre bark vid roten, större rothalsdiameter i förhållande till höjden och barr vid stammens bas, vilket kan göra stammen mindre åtkomlig för snytbaggen.



Figur 2.
Dödligheten hos sticklingar och fröplantor med samma diameter orsakat av snytbagge på fem platser i södra Sverige (Mattsson & Thorsén, 1992).

En nackdel med sticklingar är att de, speciellt från äldre kloner, kan uppvisa plagiotropisk växt. I värsta fall kan det omöjliggöra produktionen av sticklingar. Problemet ökar med tiden i olika grad för olika kloner. Den apikala dominansen kan vara dåligt utvecklad hos dessa kloner under det första året i fält, vilket gör dem mindre konkurrenskraftiga med annan vegetation. Konflikter kan uppstå mellan sticklingproducenterna (som vill sälja väl testade och godkända kloner där stora investeringar har gjorts i klonhäckar och klontestning) och köparna (som vill köpa fysiologiskt välutvecklade plantor). I många fall kan problemet lösas genom att hålla plantorna på plantskolan en längre tid, naturligtvis till en högre kostnad.

Sammanfattningsvis finns det, ur skogsbrukets synvinkel, många fördelar med sticklingar jämfört med fröplantor vid plantering, om bara produktionskostnaden för sticklingarna kan hållas tillräckligt låga.

Naturlig förnygring av bestånd som består av vegetativt förökade träd bör inte skilja sig nämnvärt från naturlig förnygring i andra bestånd, så länge som metoden inte används för förnygring av monoklonbestånd.

Om de planterade klonerna är utvalda för snabb tillväxt bör de, enligt skogsproduktionsteorin, planteras med något tätare förband för att på bästa sätt utnyttja ståndortens produktionskapacitet. Om klonerna också är utvalda för högre överlevnad kan ett något glesare mellanrum vara lämpligt. Den högre kostnaden för sticklingar jämfört med fröplantor talar för ett vidare planteringsförband. Ett alternativt sätt att erhålla några av de fördelar som utvalda kloner ger men till en lägre kostnad kan vara att blanda klonerna med vanliga fröplantor.

Det har ovan påpekats att det finns skillnader mellan fröplantor och sticklingar av samma genotyp. Det kan också finnas skillnader mellan olika fröplantor av olika orsaker, t.ex. variation i hanteringen på plantskolan, lagring eller planteringstidpunkten (Bentzer et al., 1988). Plantornas ålder och storlek kan också skilja sig åt, och variationer i miljön vid planteringen kan också medföra att plantorna utvecklas olika. Det verkar också som om betingelserna vid

fröproduktionen kan vara viktiga (t.ex. Lindgren & Wei, 1994). Vissa av dessa skillnader kan vara ekologiskt mer betydelsefulla än skillnaderna mellan fröplantor och sticklingar. Trots att de möjliga skillnaderna mellan fröplantor och sticklingar borde undersökas, och några skillnader troligen kan hittas, skall inte deras troliga ekologiska effekter överdrivas. De flesta skillnaderna har förmodligen bara betydelse i ett tidigt stadium av utvecklingen.

Beståndsbehandling

Med undantag av den naturliga föryngringen av monoklonbestånd ser vi ingen orsak att sköta klonbestånd på ett annat sätt än bestånd med fröplantor eller naturligt föryngrade bestånd. Om det klonade materialet utnyttjar ståndorten bättre än fröplantor, kan dess högre produktivitet återspeglas i en ökning av ståndortsindex, och beståndsbehandlingen bör då justeras för att matcha det ståndortsindex som indikeras av det växande beståndet.

Åsikterna går isär om huruvida det finns skillnader i stamform mellan sticklingar och fröplantor av gran. Vissa undersökningar har påvisat att sticklingar har en större diameter än fröplantor med samma höjd (Kleinschmit & Schmidt, 1977). I andra undersökningar har inte några sådana skillnader observerats (Hannerz & Wilhelmsson, 1998). Eventuella volymförluster som uppkommer genom sämre stamform kan mycket väl uppvägas av att sticklingar har tunnare bark än fröplantor av samma storlek vilket har observerats hos radiatataall (Fielding, 1970). Fler studier utförda på gran krävs innan definitiva slutsatser kan dras om dessa frågeställningar.

Produktion i blandade och monoklonbestånd

En trädbestånd med viss genetisk variation kan förväntas vara något mer produktivt än ett bestånd utan variation. Olika genotyper har olika behov vid olika tidpunkter och förväntas alltså fylla ut och använda en ekologisk nisch mer fullständigt än en likformig genotyp skulle göra.

Den mesta av värdeproduktionen i ett bestånd kommer från en liten andel av de planterade plantorna. Till exempel, efter att man planterat 2 000 plantor per hektar representeras det helt övervägande värdet av de 300–500 träd som finns kvar till slutavverkning. Dessa träd kan i medeltal representera ett annorlunda genetiskt urval än de 2 000 som ursprungligen planterats, ett urval som är bättre anpassat till ståndorten. Ett variationsrikt bestånd är mer stabilt mot kalamiteter och ger bättre möjligheter till marknadsanpassade beslut om skötselstrategier under slutet av omloppstiden. I ett bestånd med variation är det de träd som är bäst anpassade till den lokala miljön som kommer att växa bäst. Genetiskt variabelt plantmaterial förväntas också vara mer stabilt vid miljöförändringar.

Hypotesen att sortblandningar har fördelar stöds av det sammanlagda resultatet av ett stort antal experiment med jordbruksgrödor. I medeltal presterade blandningar på 4–10 % bättre än medeltalet för de ingående sorterna odlade var för sig. Blandningarna var dessutom mindre mottagliga för patogener och mer stabila än de sorterna odlade separat. Å andra sidan var produktionen i blandningen vanligtvis inte bättre än hos den bästa sorten odlad separat. Skadedjur och sjukdomar spreds generellt snabbare i en enhetlig gröda. Det måste understrykas att vissa försök har misslyckats med att påvisa någon överlägsenhet för

sortblandningar. Jordbrukare tycker vanligtvis att möjliga förluster i den vegetativa produktionen kompenseras av det kommersiella och skötseltekniska värdet av reducerad variation.

Multi-lines (blandningar av ett antal sorter) används ibland inom jordbruket för att reducera insekts- och patogenangrepp i odlingar där enhetligheten och förutsägbarheten av grödan ej är så viktig (t.ex. gröda som används som djurfoder).

Man kan ifrågasätta hur relevant erfarenheten från jordbruket är för skogsbruket. Få relevanta blandningsexperiment från skogsbruk har rapporterats. Indikationer av positiva effekter av blandningar har dock upptäckts vid jämförelse mellan grankloner som växer i blandningar och i monokultur (Wuelish et al., 1990). Det är svårt, eller till och med omöjligt, att ”se” eller mäta en produktionsskillnad i skogsbruksexperiment i samma omfattning som motsvarigheter inom jordbruket. Det är dock sannolikt att det hade förekommit fler rapporterade observationer från skogsbruksexperiment om beaktansvärda positiva produktionseffekter av blandningar föreligger.

Ett genetiskt variabelt material kan passa bättre för produktion under naturliga förhållanden än i plantageskogsbruk. Av de tusentals frön som produceras under trädets livslängd kommer bara ett fåtal att växa upp till nya träd. Vid naturlig förnying kan det hävdas att de individer, som är bäst anpassade till lokala förhållanden, överlever och ger upphov till nästa generation. Ambitionen vid plantering är att erhålla ett produktivt träd från varje planterad planta. Praktiskt skogsbruk kan alltså inte tillåta sig att använda ett material som är så variabelt att de flesta individer är dåligt anpassade. De egenskapsmässigt extrema delarna av ett sexuellt förökat och därför variabelt material kan vara mindre önskvärda för skogsbruk. Skogsskötselmetoder, som markberedning, tenderar också att reducera variationen i plantornas miljö. Vid plantering är man inte intresserad av att ha så stor genetisk variation att en stor del av plantorna dör eller ej förmår utvecklas till vuxna träd på grund av dålig anpassning.

Även om det finns goda skäl att tro att användning av monoklonbestånd ofta leder till en liten reduktion av vedproduktionen, så gör det inte alltid det. I en jämförelse med klonblandningar och rena kloner av gran, enligt Lundkvist et al. (1992) fanns det indikationer (inte nämnda av författarna) att blandningarna presterade lite bättre, och i en annan undersökning, av Wuelish et al. (1990) presterade blandningarna definitivt bättre.

Även om klonblandningar kan tendera att prestera bättre än monokloner, gäller detta inte nödvändigtvis med de metoder som klonskogar kommer att skötas i framtiden, eller under en hel omloppstid. Kloner som ser bra ut i småskaliga, kortsiktiga tester, som växer snabbt i början och i en ung ålder undertrycker andra kloner, kan ha sackat efter kloner med en senare men mer uthållig maximal växt vid slutet av omloppstiden. En klon kan dessutom skadas som ung och återhämta sig i en monoklon-miljö, medan den konkurreras ut i en blandning innan den har möjlighet att återhämta sig, trots att den har en god långsiktig tillväxt.

Rent hypotetiskt, eftersom de är förbjudna av den svenska lagstiftningen, skulle monoklonbestånd med kloner utvalda för bra grenkvalitet, snarare än för snabb tillväxt, kunna planteras med större förband än normalt. Normalt krävs

tidig konkurrens för att en acceptabel grenkvalitet skall utvecklas. Detta skulle reducera investeringskostnaderna för beståndet och skulle kunna ge större utrymme för andra organismer i ekosystemet. Innan ett sådant system kan implementeras skulle dock kostsamma tester vara nödvändiga.

Eftersom ett monoklonbestånd antagligen använder resurserna på platsen mindre effektivt än en klonblandning, kan ett monoklonbestånd också erbjuda mer plats för andra organismer, vilket kan tolkas som en miljöfördel till förmån för monoklonbestånd.

Risk för katastrofer

Risken för förlust av klonbestånd på grund av biotiska eller abiotiska katastrofer är ett ofta diskuterat ämne som legat till grund för många statistiska undersökningar, senast av Bishir & Roberds (1999). Lester & Libby (1998) beskriver samstämmigheten i många av dessa undersökningar i följande mening: *Genom att kombinera bra planering, övervakning och genetisk kontroll, kommer klonbestånd sannolikt att vara säkrare än fröplantsbestånd, och dessutom är sådana bestånd sannolikt säkrare än de flesta naturligt föryngrade skogar.*

Vad är ett säkert antal kloner? Det är omöjligt att ge ett generellt svar, men frågan har diskuterats i litteraturen (t.ex. i Ahuja & Libby, 1993 och i deras referenser). Naturen verkar ofta välja 3–15 kloner (tabell 2), vilket indikerar att även om det inte är gynnsamt att stora ytor täcks av monokloner, så behövs inte något stort antal. Om omkring 10 kloner används i ett bestånd, kommer plantor från samma klon sällan att bli nära grannar, vilket reducerar många av de möjliga nackdelarna förknippade med ett litet antal kloner i blandning. Gendiversiteten i ett slumpmässigt urval av 10 kloner är bara 5 % lägre än i ett oändligt antal kloner.

Om något oförutsett händer, t.ex. angrepp av en ny sjukdom, är det bra om klonerna i skogen kan identifieras, eftersom det då blir möjligt att sammankoppla problemet med bestämda kloner som då kan tas bort från skogen, medan kloner med bra egenskaper kan användas i fortsatt förädling. Här har monoklonbestånd, eller i alla fall blandningar av ett fåtal kloner, påtagliga fördelar.

Ekologiska konsekvenser

Denna ekologiska utvärdering, grundad på vetenskapliga publikationer, egna observationer och personliga kontakter, fokuserar primärt på information som uppkommit sedan den senaste uppdragsrapporten om klonskogsbruk (Lindgren et al., 1990). Den ekologiska delen av den citerade rapporten beskrev bristen på litteratur i ämnet och spekulerade i allmänna termer om möjliga konsekvenser av minskning i fortplantningsförmågan och antal genotyper i klonbestånden. Klonskogsbruk förväntades inte resultera i en snabb ekologisk försämring av de svenska skogarna utan sågs som bara ytterligare ett steg i en allmän intensifiering av skogsproduktionen. För varje steg förändras skogarna längre bort ifrån ett naturligt tillstånd och resulterar i en minskning av den biologiska mångfalden. Ekologisk övervakning av existerande och framtida klonskogar rekommenderades, men detta har inte resulterat i speciellt många nya publikationer i Sverige.

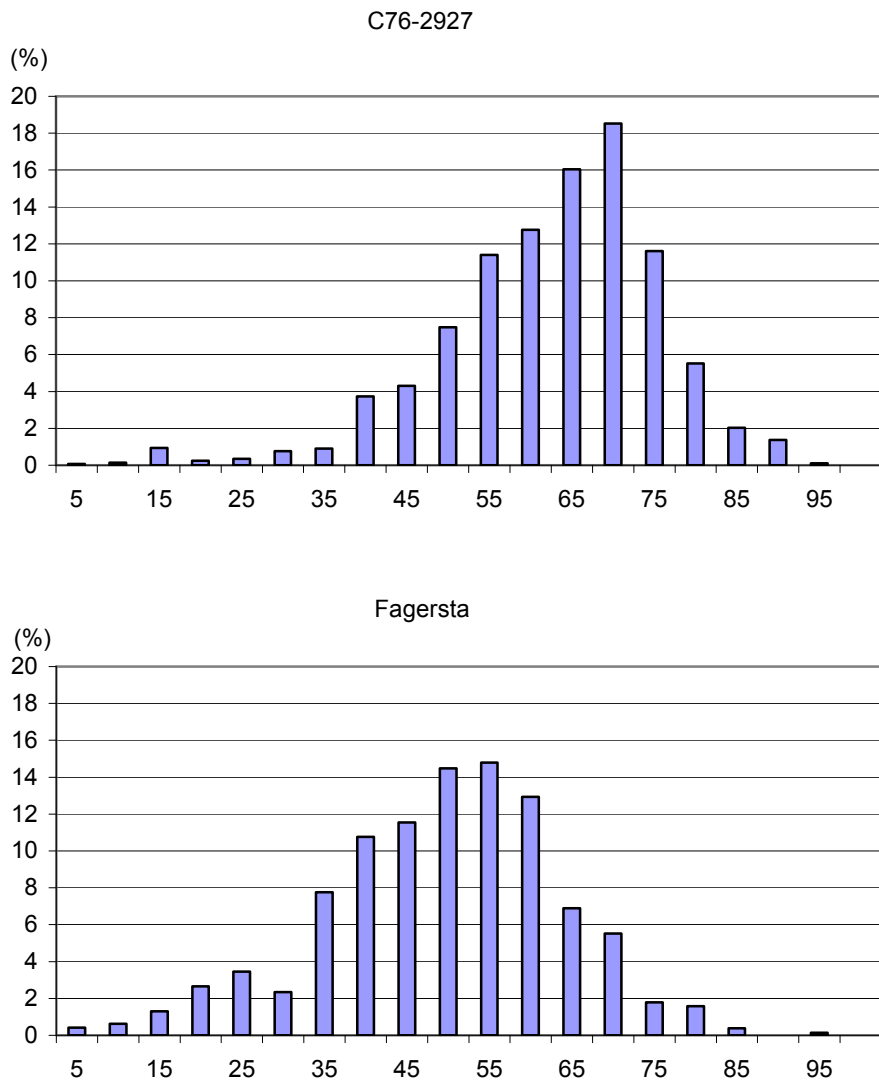
Det finns få publicerade undersökningar som belyser de ekologiska konsekvenserna av klonskogsbruk någonstans i världen. Klonskogsbruk har som nämnts praktiserats i över 500 år i Japan, i första hand med det inhemska trädet *Cryptomeria japonica* (se sid. 32). Lokala experter kan dock inte spåra upp några publikationer om effekterna av denna typ av skogsbruk på flora och fauna, trots ett stort nationellt intresse för bevarande av gener och ekosystem. En naturvårdssatsning syftar till att skydda genetisk mångfald *in situ* för kommersiellt viktiga inhemska arter (336 bestånd på ca 30 hektar har planterats, vart och ett med 106 olika trädarter). Dessutom finns det ett växande nät av reservat för genresurser (ca ett dussin, vart och ett täckande omkring 3 500 hektar) och ca 25 ekosystemsreservat av varierande i storlek mellan 1 400 och 36 000 hektar, med minimal tillåten mänsklig påverkan i kärnområdet. Dessa ansträngningar kompletterar ett mer traditionellt *ex situ* genbevarande med kommersiellt viktiga arter. Japanskt klonskogsbruk, som alltså baseras på inhemska arter, har riktat uppmärksamhet mot behovet av ett systematiskt bevarande av de genetiska resurserna, vilket har lett fram till en ökning av skyddad skog i landet och indirekt gynnat naturlig fauna och flora. Många nationella biologiska mångfaldsprogram riktar uppmärksamheten mot behovet av att bevara den genetiska mångfalden, men det är bara i Japan det finns områden som speciellt planterats med detta syfte. Grundandet av nätverket av reservat drevs fram av det omfattande klonskogsbruket.

Kloner har i hög grad och mycket länge använts inom jordbruk och trädgårdsodling. Konsekvenserna av detta, speciellt med hänsyn till hantering av skadedjur och sjukdomar, är relevant för denna utvärdering, så vi berör ämnet till viss del. Men den ekologiska effekten av att odla utländska, örtartade kortlivade arter i miljöer som avviker markant från ett naturligt tillstånd, skiljer sig så mycket från användning av grankloner på skogsmark att vi inte i detalj studerar sådana exempel. Användning av *Salix*-kloner för biobränsleproduktion behandlades i föregående rapport och ingen ny information har uppkommit som kan ändra slutsatserna som presenterats där (Lindgren et al., 1990). Rekommendationerna för klonskogsbruk i denna rapport var: att öka antalet kloner som används i planteringar (nuvarande antal är mindre än i typiska *Picea*-bestånd), att fokusera mer på introduktionen av nya kloner, att skydda planteringarna med buffertzoner av inhemsk vegetation; och att tolerera de oregelbundenheter i bestånden som uppkommer av avgångar eller skador.

Fenotypisk variation

Den fenotypiska variationen mellan träden i ett bestånd är en viktig aspekt för associerade arter. Det är denna variation som växter och djur som lever i skogen upplever och är beroende av. I ett monoklonbestånd är variationen mellan träden 80 % av den i ett fröplantsbestånd för en egenskap med heritabiliteten 0,2 (jämför figur 3), och i en blandning med ett urval av 10 kloner blir motsvarande siffra 98 %. Om heritabiliteten är 1 (för en kvantitativ egenskap), alltså ingen milöpåverkan, skulle 50 kloner (samma storleksordning som det antal som krävs av lagstiftningen) omfatta 98 % av den variation som finns mellan fröplantor. Heritabilitet för tillväxtegenskaper är i genomsnitt 0,2 för gran i SkogForsks fältförsök (Rosvall et al., 2001). Andra egenskaper som skottskjutningstidpunkt, mottaglighet för granbarrlus och grenvinkel har ofta högre heritabilitet (0,2 – 0,5). Heritabilitet nära 1,0 är mycket ovanligt, speciellt i under fältförhållanden. Dessa exempel gäller neutrala egenskaper som inte är

föremål för urval; nästan alla egenskaper är neutrala. För de egenskaper som urval görs för, kommer den fenotypiska variationen att vara lätt reducerad jämfört med tidigare exempel. Om vi skulle välja ut de mest högväxta 10 procenten träd ur en population, skulle den fenotypiska variationen i höjd reduceras med ytterligare 14 % vid en heritabilitet på 0,2 och mer om heritabiliteten var högre. I praktiken kommer urvalet att göras av en kombination av egenskaper och påverkan på den fenotypiska variationen inom var och en av egenskaperna kommer alltså att i motsvarande grad vara lägre. Vi drar slutsatsen att en fenotypisk variation i stort sett likvärdig med den i ett fröplantsbestånd erhålles för egenskaper med måttlig heritabilitet om 10 kloner blandas och för praktiskt taget alla tänkbara egenskaper om 50 kloner blandas.



Figur 3. Diameterfördelning (mm) i ett monoklonbestånd (C76-2927) och ett fröplantsbestånd med lokal härstamning (Fagersta). Uppmätt i två upprepningar av ett 14 år gammalt demonstrationsförsök med gran i mellersta Sverige (Eriksson, 1999).

Flora

De direkta effekterna av klonskogsbruk på floran är mer relaterade till typen och intensiteten av skogsskötselåtgärder än till den genetiska sammansättningen av beståndet. Undersökningar av ett granförsök som anlades 1964 vid Ekebo i Skåne, antydde att ingen betydelsefull variation i markvegetationen existerade mellan monoklonytor och ytor med genetisk variation. En viss variation observerades i svamp- och lavpopulationer på barken, som skulle kunnat relateras till de mer enhetliga förhållandena på de klonade ytorna. Svenska skogsekologer har fokuserat sina undersökningar på den biologiska mångfald som är beroende av stora, gamla träd och döda träd i skogar med lång historisk kontinuitet. Skogsbrukets metoder har speciellt skadat denna grupp av skogsorganismer, mest på grund av en hög grad av enhetlighet som införts på populationsstrukturer och att träd inte tillåtit avsluta sin naturliga livscykel. Vi bedömer att klonskogsbruk inte leder till någon direkt försämring av den nuvarande situationen. Klonplanteringar kommer sannolikt att ersätta nuvarande intensivt skötta bestånd där den naturliga biologiska mångfalden redan störts mer än i bestånd med lägre skötselintensitet.

Bristen på relevanta undersökningar av klonskogsbrukets inverkan på annan flora visar på behovet av forskning inom detta område, men den långtgående erfarenheten i Japan antyder att klonskogsbruk inte påverkar markfloran märkbart. Vi tror dock, på teoretiska grunder, att monoklonbestånd kan reducera arternas mångfald inom planteringen i någon grad. Framgångsrikt klonskogsbruk resulterar i en mer effektiv användning av resurserna än bestånd med fröplantor, vilket reducerar den konkurrerande vilda florans möjlighet att också utnyttja dem.

Fauna

Enskilda träd inom en art upplevs olika tilltalande av växtätande däggdjur och insekter. Vissa trädgenotyper kan t.o.m. vara skadliga, så det går ej att utesluta att storskalig plantering av monokloner kan komma att påverka den trädätande faunan. Många nyligen gjorda undersökningar har dokumenterat en genetisk variation hos trädarters resistens mot insekter och däggdjur. Mikroförökade *Betula pendula* och *B. pubescens* har till exempel uppvisat en markant klonvariation i sin känslighet för skador från harar, sorkar och vivlar i finska tester (Rousi et al., 1997). Dessutom har franska laboratorieundersökningar visat en skadlig effekt av vissa *Pinus sylvestris*-kloner på barrstekeln *Diprion pini*. Denna effekt kunde dock ej upprepas på ett övertygande sätt i naturliga förhållanden (Auger-Rozenberg et al., 1997). Man har även uttryckt oro över den reducerade fröproduktion som kan orsakas av ökad självpollinering i monoklonbestånd. Detta skulle kunna ha en inverkan på den fröätande faunan, men ingen litteratur finns om detta ämne. För att minimera lokala obalanser inom den inhemska insekts- och däggdjursfaunan drar vi slutsatsen att klonblandningar bör användas i första hand om klonskogsbruk ska praktiseras på en större andel av landskapet. Monoklonbestånd kan accepteras i en mindre skala i landskapet.

Mark och vatten

Det är möjligt att den största potentiella ekologiska effekten av klonskogsbruk är på underjordiska processer, inte heller här finns det mycket litteratur att tillgå. Man vet att rotsammanväxningar ofta förekommer hos gran. Det verkar sannolikt att detta underlättar överföring av sjukdomar. Monklonplanteringar har visat sig ha en högre procent rotsammanväxningar än hel- och halvsyskon i ett försök vid Ekebo i Skåne. En ökning av överlevande stubbar noterades också. Vi kan bara spekulera i konsekvenserna av detta för underjordiska mineraliserings- och nedbrytningsprocesser. Klonade individer kan genom rotsammanväxning utnyttja jorden mer effektivt och om en enskild stam skulle dö kanske det bara orsakar lite skada i den mikrobiologiska dynamiken, vilket minimerar möjligheterna för etablerandet av konkurrerande vegetation. Denna effekt på utformningen av ett sammanfogat rotsystem för klonen kan förväntas ha liknande effekter på överlevnaden, och leda till en högre skogsproduktivitet. Å andra sidan kan en monoklon ha mindre möjligheter att till fullo utnyttja den ekologiska nischen i beståndet, alltså kan ett skogsbruk med monoklonbestånd tillhandahålla mer utrymme för konkurrerande organismer. Det finns också möjligheter att rotsammanväxningen gör monoklonbestånd mer vindstabila. Vi rekommenderar att fler studier utförs på dessa outforskade ämnen. Vi har inte heller hittat någon litteratur om hur vattenkvaliteten påverkas av klonskogsbruk. Vi bedömer att eventuella effekter sannolikt kommer att vara små.

Genekologi

Effekterna av klonskogsbruk beror på om de betraktas på landskapsnivå eller beståndsnivå (Friedman & Foster, 1997). Naturliga system tenderar att innehålla stor variation på båda nivåerna, men skogsbruk tenderar att reducera icke genetisk variation på beståndsnivå. Klonskogsbruk reducerar även den genetiska variationen inom beståndet. Ju mindre antal kloner i blandning, desto större blir reduktionen. Om klonskogarna lämnas att självföryngra, kommer den genetiska variationen att öka i avkomman tack vare pollenspridningen. Ett normalt bestånd med fröplantor kommer alltså att reducera den totala variationen inom beståndet, men i något mindre utsträckning än hos ett klonbestånd.

Undersökningar gör troligt att omkring 20 procent av produktionen i planteringar i norra Sverige kommer från självföryngring och beståndsföryngring (Ackzell, 1994). Andra undersökningar (Hägglund, 1983) antyder en något högre siffra. Denna inblandning ökar den genetiska variationen i de planterade bestånden.

Med gällande svenska regler, som styr antalet kloner i bestånden, är risken för otillräcklig genetisk variation i planteringarna minimal. Riskerna är ännu mindre i ett landskapsperspektiv, eftersom sannolikheten att landskapet helt täcks av klonplanteringar är mycket liten inom en överskådlig framtid.

Vid klontestning testas samma individer i olika miljöer. Detta verkar gynna urvalet av genotyper som är mindre benägna att misslyckas och är mer stabila i olika miljöer än medelklonen. Om testade kloner används i stor grad kan olika planteringar utvecklas mer enhetligt än sådana etablerade med slumpartade genotyper. Detta kan bidra till reducerad mångfald på landskapsnivå. Den förutsagda effekten är liten och har aldrig bestyrkts experimentellt.

Det verkar som populationsstorleken och strukturen i svenska skogar är tillräckligt stark och stabil för att möjliggöra en fortsatt evolution, även om klonskogsbruk införs på vissa arealer.

Genetisk variation är en förutsättning för fortsatt evolution. En population med 500 individer betraktas i de flesta fall som stor nog för att bibehålla sin egen oberoende evolution. Om tillräckligt mycket tid ges i en population av den storleken kommer den kraft som skapar variation, mutation, att vara lika viktig som minskningen av den genetiska mångfalden orsakad av genetisk drift och urval. I naturliga skogar är den normala populationsstorleken otvivelaktigt mycket större.

Populationsstorleken som skogsträdsförädlare normalt hanterar är också med all sannolikhet stor nog för att möjliggöra evolution, till och med om alla skogar skulle härstamma ifrån fröplantager, vilket icke är att vänta inom en överskådlig framtid.

I mycket små populationer är inte det naturliga urvalet det enda som ändrar genfrekvensen. En liknande förändring orsakas av genetisk drift, vilka orsakar en slumpmässig fixering av vissa alleler i små populationer. Inflödet av gener från omgivande populationer kan också inverka starkt.

Utvecklingen av skogsträd är inte en process som finjusterar naturliga trädpopulationer till miljön där de växer. Evolutionen når aldrig en stabil jämvikt. Den är en dynamisk process och extra turbulens har säkerligen orsakats av de antropogena störningarna under det senaste millenniet. Träden som växer i dag på en specifik plats är resultat av historiska händelser, många av dem slumpmässiga, som inträffat på andra platser vid andra tidpunkter. Nuvarande förhållanden kan skilja sig från förhållandena som rådde när det mesta av evolutionen skedde. Den evolutionära processen är därför ej en kraft som förbereder träden för framtida förhållanden.

Många evolutionära krafter verkar samtidigt och vissa motarbetar varandra. Det naturliga urvalet förbättrar anpassningen, medan andra faktorer, t.ex. mutation och pollenspridning, ökar variationen. Många egenskaper bidrar till god anpassning och de är kopplade till varandra på olika sätt. På grund av detta kan det finnas en betydande variation i egenskaper som förknippas med god anpassning, och den evolutionära processen kan orsaka stora ändringar i sådana egenskaper utan att ändra populationens anpassningsnivå i sin helhet.

Miljöerna där träden växer skiftar. Det naturliga urvalet verkar alltså åt olika håll samtidigt och en perfekt anpassning kommer aldrig att uppnås. Den lokala anpassningen motverkas också av pollenspridningen.

En stor del av skogarna i Sverige har aldrig avsiktligt föryngrats av människor. På de avsiktligt föryngrade områdena, föryngras uppskattningsvis 30 procent genom naturlig föryngring i olika former, resten planteras. 80 procent av tallplanteringarna och 20 procent av granplanteringarna planteras med fröplantageavkommor. En stor del av fröna från fröplantager, upp till 70 % i en undersökning av Pakkanen et al., (2000), har oförädlade fäder i bestånd utanför plantagen som spritt sitt pollen in i fröplantagen. När plantering används, uppkommer omkring 20 % av skogsproduktionen från naturligt föryngrade träd. Om alla genetiskt förädlade planteringar av gran byttes ut mot klonskogar i dag, skulle mer än 90 % av skogsproduktionen fortfarande i alla fall komma

från oförädlad gran och antalet grangentyper i våra skogar skulle alltså minska med knappt 10 procent. Det verkar osannolikt att detta skulle utgöra ett hot mot den genetiska mångfalden på nationell nivå.

Fröproduktion i klonskogar

Klonskogsbruk skulle kunna leda till reducerad fruktsamhet bland träd (d.v.s. reducerad frö- och pollenproduktion), till största del på grund av att vegetativ förökning gör det möjligt, och kanske lockande, att välja ut kloner som använder det mesta av sin energi för att producera värdefull ved än för att ”slösa” den på reproduktiva organ. En reduktion i produktionen av blommor, frön, kottar och pollen skulle inte bara påverka de reproduktiva egenskaperna hos skogsträden utan också andra organismer, speciellt de som är beroende av dessa resurser. Arter som äter blommor och frön skulle t.ex. ha mindre att leva på.

Det är emellertid inte lätt att göra urval av kloner med låg blomning och kottsättning. Reproduktivitet kan först utvärderas på ett tillförlitligt sätt sent i omloppstiden. Vid denna tidpunkt är klonerna för länge sedan valda och för gamla att sticklingföröka. Det finns inga empiriska bevis när det gäller gran som tyder på att de kloner som valts ut för sin goda tillväxt är mindre fruktsamma. Å andra sidan verkar det finnas ett positivt fenotypiskt samband mellan kottsättning och vegetativ tillväxt (d.v.s. större träd tenderar att ha fler kottar), vilket sannolikt uppväger möjliga negativa genetiska korrelationer.

Reproduktiv framgång beror på många faktorer och alla träd har en obruten linje av reproduktivt framgångsrika förfäder bakom sig. Detta gör det tvivelaktigt att en markant reduktion av blomningen skulle uppstå bara genom att välja ut träd som vid tiden för urvalet har få blommor. En undersökning av Hannerz et al. (1999) stöder denna synpunkt. Deras resultat indikerar att blomningsförmågan och rotningsförmåga är oberoende åldersrelaterade processer, vilket innebär att ett urval för bra rotningsförmåga (ett nyckelkriterium för urval av kloner) inte skulle reducera blomningsförmågan.

Det verkar osannolikt att en märkbar reduktion av fruktbarhet i klonskogar skulle uppstå inom en överskådlig framtid. Gran har naturligt en väldigt stor årlig variation i blomningen. Årsvariationen är säkerligen av mycket större ekologisk betydelse än skillnaden mellan sexuellt och vegetativt förökade träd. Indirekta effekter på träden (t.ex. trädkronans struktur, spatialstrukturen och näringsstatusen) är också troligen viktigare.

Det kan också diskuteras om en eventuell reduktion av fruktsamheten av gran i klonbestånd skall betraktas som oönskad. Trädförökning baseras på urval och rekombination, och rekombinationen (parning, korsning) utförs när genotyperna är 15–20 år gamla. Intensiv forskning pågår för att reducera denna ålder ytterligare för att öka effektiviteten i förädlingsprogrammet. Genotyper som bara är 15–20 år kommer att sättas i fröplantager och de med tidiga fortplantningsframgångar kommer att vara värdefulla i fröplantagen och kommer alltså att gynnas. Efter ett antal förädlingsgenerationer skulle detta kunna skapa fröplantager, som domineras av genotyper som lägger sin energi på tidig blomning och fröproduktion. I skogsförhållanden kanske inte genotyper, som producerar mycket frön i tidig ålder av genetiska orsaker, är reproduktivt framgångsrika. De är kanske inte konkurrenskraftiga, blir borttagna vid gallring eller kan inte ge plantan tillräckligt med näring. Sådana svagheter kan vara svåra att upptäcka i fröplantagerna. Denna typ av förändringar i blomningen kan ha

en negativ inverkan på skogsproduktionen, och orsaka förändringar i det naturliga tillståndet i skogen. Detta är alltså oönskat både av miljö- och produktions-skäl.

Att inkludera senblommiga eller mindre blommande genotyper i planteringarna kan kanske göra medeltillståndet bland träd i planterade skogar mer likt de man finner i naturliga skogar.

Naturlig förnygring i klonskogar

Ett bestånd bestående av en enskild klon eller helsyskonfamilj som lämnats för naturlig förnygring kan föröka sig dåligt på grund av självpollinering och inavel. Det verkar dock inte som om detta är ett stort problem vid klonskogsbruk.

Granfröplantager har ett stort inflöde av pollen från omgivande skogar.

Pakkanen et al., (2000) fann att ca 70 % av allt pollen i granfröplantager kom från omgivande bestånd, trots att plantagerna ofta är anlagda långt från bestånd av samma art. Ett lika stort inflöde av pollen från omgivande bestånd kan förväntas i klonbestånd.

Självpollinering är mycket mindre effektivt än pollen från andra genotyper eftersom den leder till högre embryodödlighet. Mogna självpollinerade frön utvecklas till fröplantor med reducerad tillväxt och vitalitet, så efter ett par år kommer andelen plantor som härstammar från självpollinerade frön att vara lägre än andelen självpollinerade frön i fröfallet. Om det pollen som befruktar träden i ett bestånd som består av en klon, till 50 % kommer från externa träd, skulle den förväntade andelen vitala självpollinerade frön vara endast 20 %. Dessutom skulle reduktionen av fröproduktionen orsakad av självpollinering vara mycket mindre än de naturliga variationerna i fröproduktion över åren, och därför borde de ekologiska konsekvenserna i den reducerade näringsbasen för fröätare vara små.

Naturlig förnygring i monoklonbestånd skulle bestå av många syskon. Detta skulle orsaka inavel och minskad genetisk variation i framtiden, om den naturliga förnygringen tilläts fortsätta i flera generationer.

När det gäller vedproduktion motsvarar de negativa effekterna av naturlig förnygring från monoklonbestånd sannolikt den mertillväxt man erhållit genom att använda en utvald klon. Alltså kommer produktionen sannolikt att likna den som uppnås om naturlig förnygring använts från början. Ur en ekologisk synvinkel skulle den naturliga förnygring i ett monoklonbestånd fylla den ekologiska luckan lika effektivt som i en ”naturlig” (flera generationer gammal naturligt förnygrad) skog. Dessutom, vid naturlig förnygring av ett klonblandningsbestånd skulle inaveln vara nästan obefintlig (liknande den som man finner i nuvarande naturliga skogar och fröplantageavkommor).

Den värsta situationen uppstår antagligen om det självförnygrade beståndet består av en helsyskonfamilj. Graden av inavel är då för låg för att kunna reduceras av ökad embryodödlighet. Helsyskonkorsning i kontrollerade experiment reducerar tillväxten med omkring 25 %. Polleninflöde från träd utanför bestånden reducerar antagligen detta till 15 %, vilket motsvarar den troliga genetiska vinsten i tillväxt som erhållits genom användning av bra helsyskonfamiljer, så ingen förväntad nettoförlust kommer att uppstå. Effekter av naturligt förnygrade träd inblandade i klonbestånden tillkommer dessutom och bidrar till ökad variation.

De flesta klonskogar kan förutsägas ha möjligheten att självföryngras, och oro för deras föryngringskapacitet kan inte betraktas som ett allvarligt argument mot dem. Monoklonbestånd eller helsyskonsbestånd bör dock inte självföryngras om föryngringens syfte är att skapa en produktionsskog.

Klonskogar förväntas bara etableras på den mest produktiva skogsmarken, där intensivt skogsbruk är mest lönsamt. Dessa marker kommer ej att lämnas åt naturlig föryngring om inte ekonomin i skogsbruk blir så dålig att de tillväxtförluster som självföryngringen skulle medföra ej är av stor ekonomisk betydelse.

Fallstudier

***Cryptomeria japonica* i Japan**

Cryptomeria japonica (sugi) är den mest odlade trädarten i Japan, odlad på nästan hälften av Japans 10,2 miljoner hektar planterade skogar (1987 års siffror)(McKeand & Kurinobu, 1998). *Chamaecyparis obtusa* (hinoki) är en annan mycket använd art, men den är svår att föröka vegetativt och klonplanteringarna är begränsade till några få tusen hektar. Den totala skogsarealen i Japan uppgår till 25,3 miljoner hektar, täckandes omkring två tredjedelar av landet. Den naturliga skogen uppgår till 13,7 hektar. De flesta skogar finns i bergiga områden, men 70 % av landet består av berg. Av de tusen arter skogsträd som finns i Japan, har nästan 200 använts kommersiellt, inklusive 48 i planterings-skogsbruk. Det äldsta användandet av sticklingar av sugi kan spåras tillbaka till 1400-talet, men de flesta klonbestånden är mindre än 40 år gamla. Nästan alla planteringar är privatägda.

Ekologiska analyser av klonskogsbruk i Japan har till stor del begränsats till analyser av skador på själva träden. Andelen skador på grund av ogynnsamt klimat och skadedjur har ökat väsentligt under den senaste perioden av utökad klonskogsbruk. Klimatiska skador kan till största delen tillskrivas plantering av sugi-kloner på höga altituder, som där ersatt den naturliga lövskogen. Ett förädlingsprogram har utvecklats för att öka hårdigheten för frost, kalla vindar och snö, men klonskogarna på hög altitud förblir mer ömtåliga för klimatiska skador än andra typer av skog. Den avsevärda enhetligheten i bestånden har resulterat i större skador än normalt från tyfoner och kraftigt snöfall. Attacker från sugibarkborren och barkmyggan har ökat allvarligt i takt med att arealerna sugiplantering har växt, men det finns inga bevis för en förändrad sjukdoms- och insektsvirulens relaterat till klonskogsbruk, trots noggrann övervakning.

Planteringarna etableras med 3 000 – 4 000 sticklingar per hektar. Tre eller fyra gallringar ger ett slutligt antal på 600–800 träd per hektar. Omloppstiden varierar från 40–60 år. Klonskogsbruk är vanligast i den sydvästra delen av ön Kyushu där omkring 100 kultivarer används. En kultivar är en klon eller en blandning av ett fåtal likartade kloner. Många skogsbrukare använder bara 1–3 kultivarer av lokal härkomst i sina planteringar, så att en klon kan täcka så mycket som två hektar.

Allergi mot sugipollen är ett problem i Japan som helhet, men bara ett mindre problem på Kyushu med sin stora användning av kloner. Användning av sticklingar genom flera generationer verkar i sugi reducerat förekomsten av hanblommor, så att skogarna på ön producerar lite pollen.

Klonskogsbruk anses inte generellt orsaka ekologiska problem i Japan; ett väl-skött skogsland med en stor variation av skogstyper och ett vidsträckt nätverk av skogsreservat. Industrins insikt av behovet att bevara inhemsk genetisk mångfald i kommersiellt syfte har antagligen bidragit till det obetydliga motståndet från japanska ekologer mot klonskogsbruk.

Popplar och Salix-arter i Europa

Enstaka kloner av poppel har förökats i stor utsträckning. Det har förekommit sjukdomsproblem och överanvändning av kloner och användning av stora monoklonbestånd har ifrågasatts (se t.ex. Stelzer & Goldfarb, 1997 sidan 444). Popplar täcker mer än 1 miljon hektar i Europa. En klon kan ensamt utgöra en tredjedel av arealen i ett land. Ett mål har varit att utveckla sjukdomsresistens hos individuella kloner, men dessa kloner har visat sig vara mycket mottagliga för nya sjukdomsvarianter. Sjukdomsproblemet verkar öka och har gjort att Tyskland mer eller mindre tvingats sluta att odla popplar, och andra länder kan följa efter. Likväl har inte dessa incidenter fått poppelodlare att välja alternativ med större genetisk variation. Det är inte sannolikt att monoklonbestånd och den utbredda användningen av ett begränsat antal kloner är de enda förklaringarna till den ökade sjukdomsfrekvensen, men de är antagligen bidragande faktorer. Rättsliga och kommersiella skäl gynnar ofta användning av monokloner (t.ex. är förädlingsrätten (UPOV) billigare för enstaka kloner än för blandningar, och det föreligger en större risk att blandningarna ej motsvarar de kommersiella specifikationerna).

Även *Salix*-arter i den snabbväxande energiskogen i Sverige hotas av sjukdomar. Resistens bryts ned inom en enda omloppstid (tiotals år går mellan nyplantering, även om bestånden skördas i intervaller om några år). Två utvärderingar av det svenska förädlingsprogrammet för *Salix* har starkt rekommenderat att antalet kloner utvalda för användning borde ökas (d.v.s. att mer än en ny klon släpps per år). En orsak till varför man borde införa klonblandningar är att de kan behövas för att optimera bestånds- och patogendynamiken. Men odlarorganisationerna uppmuntrar inte användning av klonblandningar.

Radiatall på Nya Zeeland

Sticklingar svarar nu för omkring 60 % av den radiatall som planterats på Nya Zeeland. De flesta av sticklingarna är bulkförökade, ofta från kontrollerade korsningar av kända bra föräldrar och testade helsyskonfamiljer. En liten men sakta ökande proportion omfattas av testade kloner planterade i monoklonbestånd. Den dominerande strategin för utplacering av kloner och helsyskonfamiljer är att plantera hela bestånd med en klon eller familj.

När det gäller radiatall anser man att helsyskonsskogar kan utnyttja de genetiska vinsterna i förädlingen snabbare än klonskogsbruk. Den största fördelen med monoklonbestånd är enhetligheten, speciellt i vedegenskaper som är av största intresse i Nya Zeeland i dag. Den största nackdelen är att klonskogsbruk kräver ett dyrare föröknings- och testningsprogram. GxE-samspelet är större för kloner än för familjer och kräver alltså ett större hänsynstagande. De mest önskvärda genotyperna är ofta inte de som är mest ekonomiskt attraktiva att föröka, vilket betyder att ett urval för förökningsförmågan medför reducerade genetiska vinster i andra egenskaper.

Man har tagit begränsad hänsyn till inverkan på mångfalden av andra arter. Skogarna av radiatatal ses vanligtvis bara som en gröda bland många i landet. Den biologiska mångfalden bevaras i de inhemska skogarna som oftast är skyddade, eller i några fall, föremål för mycket försiktig avverkning. Detta sätt att skilja på produktion och biologisk mångfald stöds av förhållandet att radiatatalskogarna inte är ett inhemskt ekosystem och att de nya planteringarna under den senaste 10-årsperioden nästan enbart har anlagts på före detta betesmarker.

Eucalyptushybrider i Brasilien

I Brasilien täcker eukalyptusplantager ett område av omkring 3 miljoner hektar. En rad olika eukalyptusarter har provats i landet, med varierande framgång, mest på grund av sjukdomsproblem. Klonskogsbruk startade i slutet av sextio-talet och är i dag den dominerande formen av eukalyptusskogsbruk i landet. Avkomma från ett *Eucalyptus grandis*-moderträd (hansterilt), vilket växte i en botanisk trädgård, visade sig vara en naturlig hybrid som var resistent mot skadedjur och sjukdomar. Avkomman från detta träd tros vara *E. grandis* × *E. urophylla*-hybrider. Denna nya insikt utnyttjades snabbt av skogsindustrin, som valde ut kloner från den friavblommade avkomman från detta enda träd. De valde också ut kloner från kontrollerade korsningar av samma arter. Företagen var generösa när det gällde att dela med sig av kloner som var produktiva och resistent mot insekter och sjukdomar, så ett litet antal i huvudsak besläktade kloner växer över stora områden i Brasilien. Situationen håller nu på att förändras eftersom de flesta företag i dag har bra förädlingsprogram, vilka stöder deras klonskogsbruksprogram. Klonerna planteras i mycket stora monoklonblock. Ett typiskt exempel är företaget Veracel. Under 1998 täcktes 60 % av företagets plantageskogar (12 000 hektar) av endast tre kloner. Den situationen borde vara gynnsamt för patogener, men ingen skada har än så länge observerats, trots de uppenbara riskerna. I dag har företagen blivit mer riskmedvetna och utvecklar förädlings- och klontestningsprogram som inkluderar strategier för främjande av diversitet bland kloner över tid och över areal. Veracel använder nu omkring 20 kloner varje år och dessa kloner kommer att bytas ut när nya väljs ut. Nytt genetiskt material har importerats för att vidga den genetiska basen för förädling.

Bedömning av ekologiska konsekvenser

Bakgrund

Klonskogsbruk med gran är av intresse för skogsbruket på grund av tre huvudorsaker:

1. För att öka produktiviteten, genom att använda skogsodlingsmaterial med antingen högre överlevnad eller högre tillväxt (eller genom en kombination av båda) än vad som kan uppnås med andra metoder.
2. Att producera en mer enhetlig produkt genom att reducera den genetiska variationen i bestånden.
3. Att snabbt kunna föröka upp genetiskt högförädlade fröpartier till ett stort antal plantor.

I de tidigare kapitlen har beskrivits vad man vet om effekterna av klonskogsbruk, med betoning på sticklingar av gran. Dessa effekter betraktades från både

en miljö- och skogbrukssynpunkt, men i stort sett utan att värdera effekterna på virkesproduktionen. I detta kapitel kommer klonskogsbruk att jämföras med nuvarande skogsbruksmetoder och dagens tillgängliga alternativ, till vad klonskogsbruk kan erbjuda. Klonskogsbrukets inverkan kommer också att bli jämförd med andra mänskliga aktiviteter och naturliga processer som skulle kunna påverka skogsmiljön.

Vi har inte haft för avsikt att ge en heltäckande utvärdering av alla miljöeffekter av alternativen till klonskogsbruk. Jämförelserna görs på en mer allmän nivå. Heltäckande svenska miljökonsekvensbeskrivningar har tidigare publicerats för användning av contortatall (*Pinus contorta* var. *latifolia*), kvävegödsling och uttag av skogsbränsle.

Grund för utvärdering av miljökonsekvenser

Av speciell vikt för en utvärdering som denna är i vilken miljö och situation klonskogsbruket skall implementeras. Det finns inga naturliga opåverkade svenska skogar förutom inom vissa begränsade områden. De har nästan alla utsatts för betydande mänskliga ingrepp under lång tid. Människan har spelat en betydande roll i skogarnas ekologi på många olika sätt (som t.ex. jakt och bränning) så länge som skogar funnits i Skandinavien (ända sedan den sista istiden). Mänsklig aktivitet har haft en betydande inverkan över stora skogsområden under det senaste årtusendet. En utvärdering av miljökonsekvenser av skogsbruksmetoder på ett landskap med en lång historia av kraftig mänsklig exploatering inbegriper ofrånkomligen subjektiva överväganden. Detta gäller i synnerhet när vi utvärderar det estetiska värdet av skogar, skogslandskap och miljöer som till stora delar formats av mänsklig verksamhet, t.ex. lövängar, hagmarker eller skogsbete. Man kan generellt säga att skogens miljömässiga kvalitet kan påverkas negativt om de metoder som används gör att skogen fjärrar sig från det naturliga tillståndet. Detta förutsätter dock att det naturliga tillståndet kan definieras. Irreversibla effekter är givetvis av mycket större betydelse än reversibla. En utvärdering bör inte bara undersöka de problem en metod kan orsaka, utan också utvärdera de eventuella positiva effekterna på miljön, i vid bemärkelse.

Svenskt scenario

Mycket i denna undersökning avhandlar effekterna av plantering i monoklonbestånd eller klonblandningar med få kloner, eftersom det är under sådana förhållanden effekterna av klonskogsbruk blir mest påtagliga. Ur en svensk synvinkel är detta en rätt hypotetisk situation. Ett mer sannolikt scenario för den närmaste framtiden i Sverige är i korta drag detta:

År 2010 planteras omkring 10 miljoner sticklingar, huvudsakligen bulksticklingar med testade föräldrar utvalda för höga avelsvärden. Fröplantorna massförokas genom en eller två cykler av sticklingsförokning. Bulksticklingarna har normalt mindre än 200 kopior per klon, så antalet utplacerade kloner är väldigt stort (50 – 100 000). Resten av sticklingarna (ca 10 %) är testade kloner, till största del utvalda i förädlingspopulationer där plantorna har hållits juvenila i häckar. I experimentell skala produceras sticklingar från testade kloner, vilka härstammar ifrån embryokulturer, som har hållits unga genom kryolagring, medan fälttestning pågick. De utvalda klonerna förokas genom att ta sticklingar från plantor som utvecklats från somatiska embryon.

De frön som används till moderplantor för bulksticklingar kommer huvudsakligen från växthusfröplantager. Vissa av fröna är helsyskonfamiljer av elitkloner som korsas fram i fröplantager med hjälp av metoder för kontrollerad masspollinering. Friavblommade familjer som insamlats från elitkloner i fröplantager används som ett komplement under år med fröbrist.

Fler och fler sticklingar används för hjälpplantering i för yngningar med dålig tidig överlevnad. Sticklingar planteras huvudsakligen på bördig mark, till stor del på tidigare jordbruksmark. Planteringslokalerna väljs så att marker med höga miljö- och naturvärden undviks. Användning av klonskogsbruk är inte jämnt fördelat över landet, utan koncentrerat till vissa områden. I en eller två av dessa områden har det uppstått livliga diskussioner kring miljökonsekvenserna av klonskogsbruk.

Skogsbruket har anpassat sig till sig den lagföreskriften att ett klonskogsbestånd ej får vara större än 20 ha. Som en säkerhetsåtgärd i områden med omfattande klonskogsbruk undviker skogsföretagen att etablera stora områden med stort inslag av närbesläktade kloner.

I detta scenario dominerar tre typer av kloner:

1. Ett litet antal bestånd etableras med sticklingar från moderplantor med bara två föräldrar, d.v.s. helsyskonfamiljer. Huvudsakliga syften är att underlätta plantproduktion eller att undvika skadedjur och sjukdomar; huvudmotivet är inte att öka produktiviteten. Dessa bestånd bör inte tillåtas att självföryngra.
2. I andra bestånd är det effektiva antalet föräldrar till bulksticklingarna omkring fem, för att öka produktiviteten. Självföryngring kommer inte att ha betydande konsekvenser för den genetiska mångfalden, men rekommenderas inte.
3. Huvuddelen av bestånden anläggs med bulksticklingspartier med 10–25 föräldrar. Variationen i dessa bestånd är bara marginellt lägre än variationen i fröplantsbestånd med fröplantageavkommor. I fröplantagerna är antalet föräldrakloner omkring 40. Den genetiska variationen även på ett litet stycke mark (200 m²) kommer i båda fall att likna den som finns i naturen. Det kommer att finnas många individuella kloner/genotyper. Dessa klonplanteringar kommer att ha en liten inverkan på produktionsstabiliteten, den ekologiska stabiliteten och mångfalden i angränsande planteringar. De kan självföryngra utan risk.

Effekter av klonskogsbruk i relation till andra miljöproblem och samhällets mål med skogsbruk

Alla förändringar i skogsskötseln kan väcka starka känslor i ett land som domineras av skogsbruket, och där befolkningen intresserar sig för sina skogar, som Sverige. All ”inblandning” i naturen ses som icke önskvärd om inte motsatsen bevisats. Ett stort problem för klonskogsbruk är bristen på relevanta undersökningar och experiment. Även om vi skulle etablera nya försök skulle det ta många år innan slutsatser kan dras från dem. De flesta slutsatserna måste av denna orsak grundas på initierade spekulationer eller genom att dra slutsatser från andra arter eller miljöer. Det verkar emellertid som om det på många sätt

är möjligt att jämföra de ekologiska effekterna av klonskogsbruk med andra skogsbruksmetoder som använts under lång tid. Författarnas grundade mening är att klonskogsbruk generellt skulle ha mindre negativa effekter på de biologiska mångfalden i skogen än:

- Omställning av skogsmark, t.ex. för jordbruk
- Energiskog
- Skapande av enhetlig beståndsstruktur genom intensiv skogsskötsel
- Hållandet av täta klövviltstammar
- Användning av stora artmonokulturer
- Dikning/bevattning
- Markberedning
- Användning av herbicider
- Intensivskogsbruk
- Utbredd användning av främmande trädslag

Graden av klonskogsbrukets ekologiska konsekvenser är mer jämförbar med effekterna av följande skogsbruksmetoder:

- Plantering av genetiskt förädlade plantor
- Ungskogsröjning
- Småskalig användning av främmande trädslag

Alla åtgärder som nämns ovan har eller kan i vart fall bidra till en generell förlust av biologisk mångfald i skogen, men vi tror att klonskogsbruket i dagsläget, och med den förutsägbara omfattningen inom den närmaste framtiden i Sverige, tillhör den andra, mindre skadliga kategorin. De aspekter av den biologiska mångfalden som mest sannolikt kommer hotas är den genetiska mångfalden och förluster förknippade med ökad dominans av individuella arter. Fruktsamheten kan komma att reduceras i klonbestånd och det skulle kunna leda till en sämre tillgång av mat för fröätare.

Man kan hävda att hög skogsproduktion är miljömässigt neutral eller till och med positiv. Det är hållbart förutsatt att näringsämnescyklerna är slutna. Den kommersiella idén med skogsbruk är att cirkulera luft, näringsämnen och vatten med tillförsel av solenergi, för att ge oss en önskvärd råvara. Skogar har potential att förbättra jorden, stabilisera försämrade hydrologi, rena vatten och luft samt minska problemet med för höga koldioxidhalter. Ökad skogsproduktion kan bidra till möjligheten att ställa om till ett hållbart samhälle och minska vårt beroende av kärnkraft och fossila bränslen och råvaror. På så sätt kan allt som förbättrar skogsproduktionen sägas ha vissa positiva miljökonsekvenser. Dessa positiva värden är dock av en mer global karaktär, medan eventuellt oönskade effekter finns på en mer lokal nivå. Trots att det finns en risk att de globala fördelarna kommer att underskattas i rapporter om specifika företeelser som denna, kommer vi inte att vidare diskutera detta ämne här.

Flera faktorer gör att de svenska skogarna i dag avviker betydligt från ett helt och hållet naturligt tillstånd, som landskapsfragmentering, antropogena klimatförändringar, rationellt skogsbruk baserat på monokulturer, högt betestryck av klövvilt, luftföroreningar och användning av konstgödning och kemikalier. Många av dessa faktorer har mycket större inverkan på de svenska skogarna än klonskogsbruk har och kan förväntas få inom den närmaste framtiden. Klonskogsbruk kommer sannolikt att resultera i en ökad intensitet i skogsområden

som redan kraftigt förändrats av det nuvarande skogsbruket. Skogar med stora miljövärden kommer sannolikt inte att omvandlas till klonskogar. Den högre virkesproduktionen i klonskogarna kan reducera trycket på annan mark och främja skogsmiljön i sin helhet. Så länge klonskogsbruk begränsas till mark som redan är hårt exploaterad bedömer vi att det inte markant kommer att försämra de allmänna miljökonsekvenser som framkallas av nuvarande skogsbruksmetoder. Vissa former av klonskogsbruk behöver inte vara mer riskfyllda än skogsbruk med fröplantor som härstammar från plantskolor, oberoende av plats. Dessa allmänna bedömningar förutsätter dock att det inte finns några speciella miljörisker förknippat med klonskogsbruk. Vår översikt har varit ämnad att identifiera vilka eventuella risker som eventuellt kan uppstå. Vi kan identifiera följande möjliga problem:

- *Skadedjur och sjukdomar som uppkommer som ett resultat av förändrade mönster i den genetiska variationen.* En viktig variabel här är hur klonerna blandas i bestånden. Det är möjligt att sjukdomar och skadedjur inte bara hotar klonplanteringarna utan även att klonskogar kan öka risken för angränsande planteringar. Vi tror att denna risk är obetydlig.
- *Effekter på lokala växtätare.* Om osmakliga kloner används i stor skala eller kloner som är giftiga för växtätare, skulle det kunna uppstå större miljökonsekvenser än i ett konventionellt skogsbruk. En liknande situation skulle kunna uppstå för fröätare om fröproduktionen reduceras i klonbestånd.
- *Effekter på naturlig genetisk mångfald.* Pollenspridning från mono- eller fåklonsbestånd kan bidra till en reduktion av den genetiska mångfalden i angränsande bestånd.
- *Effekter på lokal flora och fauna.* Mono- eller fåklonsbestånd kan ha en mer enhetlig flora och fauna med större populationer av färre arter än andra skötta skogsbestånd. Biologisk mångfald är generellt lägre än i konventionellt skötta bestånd. Om klonblandningar med ett tillräckligt antal kloner används förväntas inga märkbara effekter på floran och faunan.
- *Underjordiska effekter.* Sparsam information finns tillgänglig men det ökande antalet rotsammanväxningar i mono- eller fåklonsbestånd tenderar att minska den underjordiska variationen och reducerar antagligen mångfalden i markflora- och fauna.

Jämförelse av klonskogsbrukets effekter och alternativa sätt att uppnå samma mål

Vi måste här ta hänsyn till vad klonskogsbruk jämförs med, nämligen normalt granskogsbruk med kalhuggning, markberedning och plantering med bästa tillgängliga förnygringsmaterial, normala skötselmetoder (gallring, normala omloppstider, normalt ingen gödsling), och den rådande förekomsten av skadegörare.

Klonskogsbruk kan ge en högre värdeproduktion genom att öka en eller flera av följande egenskaper: tillväxt, överlevnad, kvalitet och produkternas enhetlighet.

Alternativa metoder för snabbare tillväxt

Andra typer av skogsodlingsmaterial. Andra material kan väljas för att öka tillväxten i stället för utvalda snabbväxande kloner, förutsatt att det alternativa materialet har en liknande produktivitet, d.v.s. använder sig av tillgängliga resurser i samma grad.

- Att byta trädslag kommer vanligtvis att ha en större effekt på miljön än klonskogsbruk, även om monoklonbestånd används. Att byta till ett introducerat trädslag ökar ytterligare risken för negativa miljöeffekter (t.ex. risk för införsel av patogener, risk för okontrollerad spridning och begränsad erfarenhet om hur den introducerade arten samspelar med den nya miljön).
- Att använda förflyttade provenienser av samma art, i stället för utvalda kloner, kommer att förändra den genetiska strukturen i landskapet men innebär också att betydligt fler separata genotyper används än vid klonskogsbruk. Vad som har störst effekt på miljön är omöjligt att säga, men vi har mer praktisk erfarenhet av proveniensförflyttning. Proveniensförflyttning leder inte till samma produktionsökning som klonskogsbruk.
- Att använda förädlade fröplantor från fröplantager liknar, ur en miljö-mässig synpunkt, användning av lokalt beståndsfrö med hänsyn till den genetiska variationen. Genfrekvenser har förändrats i viss grad, men den genetiska strukturen är ungefär detsamma. Fröplantagematerial ger dock normalt lägre tillväxt än klonskogsbruk.
- Att använda sticklingar som bulkförökats från goda fröpartier t.ex. korsningar av utvalda kloner liknar användning av fröplantageplantor vad avser genetisk diversitet.

Gödsling. En väl anpassad gödsling framför allt med kväve ger på de flesta ståndorter i landet en ökad tillväxt. Metoden användes i stor utsträckning i skogsbruket fram till för ca 10 år sedan, men har sedan dess minskat av olika orsaker. Omfattande kvävenedfall, både som torr- och våtdeposition, speciellt i den södra delen av landet, ses som ett miljöproblem. På grund av detta har skogsbruket beslutat att inte fortsätta med kvävegödsling i de delar av landet där kvävenedfallet är stort.

Gödsling har i dag fått förnyat intresse efter upptäckten att gödsling med en optimerad giva av olika näringsämnen, speciellt i kombination med konstbevattning, dramatiskt kan öka tillväxten (Bergh et al., 1999).

De miljömässiga effekterna av klonskogsbruk och gödsling är svåra att jämföra. Effekterna av klonskogsbruk är nästan helt begränsade till området som planterats med kloner. Om en klonblandning används, kommer effekterna knappast att kunna urskiljas från de i en konventionell plantering. I monoklonbestånd kan effekterna förväntas vara större, men ändå begränsat till det planterade beståndet. En möjlig negativ påverkan utanför beståndet är att patogener och insekter skulle kunna bygga upp stora populationer i monoklonbestånd av en särskilt mottaglig genotyp och sedan sprida sig till andra bestånd.

En jämförelse av effekterna av klonskogsbruk med aktiviteter som gödsling, konstbevattning och uppvärmning kompliceras av att förädlade träd tenderar till att utnyttja en större andel av ståndortens resurser på bekostnad av andra organismer i ekosystemet. De andra metoderna, vars gemensamma princip är att öka de tillgängliga resurserna, ger oftast utökade resurser även till andra

organismer än träden. En ökad skogstillväxt kan dock också innebära utökade resurser för vissa delar av ekosystemet, t.ex. produceras mer förna i bestånd med hög tillväxt.

Gödsling påverkar naturligtvis det gödslade området. Artsammansättningen förändras som ett resultat av förändringar i näringsutbudet. Till exempel tenderar blåbär och andra *Vaccinium spp.* att ersättas av gräs och svampfloran förändras. Effekterna är normalt inte långvariga och efter några år kommer vegetationen att återgå till något som liknar situationen före gödsling.

Gödslingen kan också påverka områden utanför dem som direkt behandlas. Några av de tillförda näringsämnen kan föras bort från platsen med vatten som rinner från området, och under speciella omständigheter kan vissa också avdunsta i gasform. Eventuella negativa effekter av detta kommer huvudsakligen att bero på vilken typ av miljö de utlakade näringsämnen transporteras till. I många delar av landet står det klart att de extra näringsämnen är oönskade. En miljökonsekvensbeskrivning av kvävegödsling i svenskt skogsbruk har gjorts av Nohrstedt & Westling (1995).

Plantering av snabbväxande kloner kan faktiskt vara ett sätt att reducera näringsläckage från skogsmark, eftersom bestånd med hög tillväxt sannolikt förbrukar mer näringsämnen än bestånd med lägre tillväxt.

Dikning/konstbevattning. För mycket eller för litet vatten reducerar tillväxten hos de flesta växter och så även träd.

Dikning för att avlägsna överskottsvatten förändrar miljön dramatiskt och ofta irreversibelt. Ett ekosystem ersätter ett annat som en följd av utdikningen. Effekterna inverkar också ofta på områden som inte är dikade, eftersom vatten som rinner från dikade områden förändras både i kemisk sammansättning och i flödesmönster.

Bevattning är ovanligt i skogsbruket. I Sverige förekommer det ej eftersom det är för dyrt. Fältförsök har visat att det kan ha öka trädens tillväxt mycket kraftiga i vissa delar av landet. Inom det bevattnade beståndet kan miljöförändringarna vara markanta. Effekter utanför området är ofta begränsade, så länge vatten inte tas från källor där vattentillgången är begränsad. De flesta effekterna av bevattning är relativt kortsiktiga. Om bevattningen upphör kommer ståndorten att återgå till de förhållanden som rådde innan bevattningen påbörjades.

Miljöeffekterna av dikning såväl som bevattning är större än effekterna av klonskogsbruk.

Alternativa metoder för att öka överlevnaden

Annat skogsodlingsmaterial. Om en högre överlevnad uppnås genom att välja andra arter eller andra provenienser av samma art är de eventuella effekterna desamma som de som diskuterats ovan. Användning av större, och därmed som regel äldre, plantor kan förbättra överlevnaden på bekostnad av mer tid, energi, gödsel och bekämpningsmedel i plantskolan.

Intensivare markbehandling. Markberedningsmetoder som skapar större fläckar, större högar eller liknande, kommer att minska arealen opåverkad markvegetation och öka risken för näringsläckage. Vissa effekter av markberedning är irreversibla eller har i alla fall mycket långsiktiga konsekvenser. Detta måste betraktas som ett sämre sätt att förbättra överlevnaden, från en miljösynpunkt, än att använda klonskogsbruk. Ett speciellt problem med maskinell markberedning är de skador som kan uppkomma på fornlämningar.

Insekticider för att bekämpa snytbagge. Permetrinpreparat används i dag på en stor andel av de planterade plantorna. Planer finns på att förbjuda användningen på grund av de negativa effekterna på miljön och plantörernas hälsa som preparaten anses ha. Sticklingar är mindre känsliga för snytbaggens angrepp och kan, i kombination med mekaniska skydd eller andra åtgärder, vara ett miljömässigt bättre alternativ.

Tätare planteringsförband. Tätare planteringsförband ökar ej överlevnaden utan kompenserar i förväg för förväntade avgångar. Förbandet mellan träden kommer att bli mer oregelbundet om man på detta sätt erhåller samma antal plantor per hektar genom att plantera fler och acceptera en högre påföljande dödlighet. Om oregelbundna bestånd är önskvärt ur en ekologisk synvinkel, kan sådana bestånd lättare erhållas genom att införa oregelbundna mönster vid plantering av plantmaterial med högre överlevnad (skapa planerade luckor i bestånden).

Alternativa sätt att få mer enhetliga produkter

Klonförökning av utvalda genotyper möjliggör teoretiskt produktion av stora kvantiteter av en mer enhetlig vedråvara. Detta kan förbättra lönsamheten inom nästan all slags träindustri. Det finns i dag inget jämförbart sätt att uppnå detta.

Man måste dock komma ihåg att tiden mellan urval och skörd är mycket lång för gran. Urval för t.ex. ved- och fiberegenskaper har högre potential vid användning av snabbväxande trädslag. Det är tveksamt om någon betydande effekt uppnås med våra heterogena ståndorter och långa omloppstider. Trä är till sin natur ett ganska heterogent material med stor variation inom trädet. Det finns därför en begränsning i hur enhetlig råvara som kan uppnås genom att använda monoklonbestånd. Det kan vara möjligt att producera stora mängder av en ganska enhetlig råvara genom klonskogsbruk, men tiden mellan beslut och leverans är antagligen för lång för att detta skulle vara ett kommersiellt gångbart alternativ. Det verkar vara ett osannolikt (och för närvarande olagligt) scenario att denna anledning driver fram plantering av stora mono- och fåklonsbestånd.

Sortering i olika sortiment i samband med avverkning eller senare i kedjan skog-industri kan vara ett alternativt sätt att uppnå en enhetlig råvara. Metoder för detta kommer säkert att utvecklas. Eftersom trä är heterogent, även inom det enskilda trädet, kommer viss sortering ändå att behövas.

Viss ökad enhetlighet kan erhållas genom andra skogsskötselåtgärder, som gallring till en viss diameter eller familjeskogsbruk, här med betydelsen plantering av helsyskonsfamiljer. Dessa metoder kan till någon del reducera variationen i den producerade veden, men kan inte uppnå den enhetlighet som klonskogsbruk med monoklonbestånd teoretiskt kan erbjuda.

Effekter på bestånds- och landskapsnivå

Negativa miljökonsekvenser på beståndsnivå av klonskogsbruk kan vara försumbara på landskapsnivå om bara en liten del av landskapet består av klonbestånd. I ett långsiktigt ekologiskt perspektiv är effekter på landskapsnivå mer intressanta än effekter som begränsas till ett fåtal bestånd. Naturlig dynamik ger utrymme för lokala förändringar, så länge man undviker storskaliga förändringar. Man kan till och med hävda att vad som händer i ett bestånd i huvudsak berör markägarna, medan förändringar i landskapet, på regional och nationell nivå berör allmänheten. Detta illustreras i tabell 4, nedan.

Studier av landskapsfragmenteringars effekt på ekosystemen har ofta indikerat att djur- och växtarter i området inte påverkas av förändrad markanvändning i en mindre del av landskapet. Effekten förblir försumbar när fragmenteringen ökar, tills en tröskel nås där effekten snabbt växlar från obetydlig till mer betydelsefull. Tröskelvärdet, uttryckt i andel av landskapet som förändrats, varierar kraftigt beroende på vilka arter och landskap som betraktas. En liknande tröskeleffekt kan förväntas för skogslevande arter i ett skogslandskap som är ”fragmenterat” med klonbestånd. Tröskelvärdet för de flesta arter torde vara betydligt högre för fragmentering med klonbestånd än för fragmentering med jordbruksmark, kalhyggen eller bebyggelse.

Tabell 4.
Negativa miljöeffekter i skogslandskap med olika andelar klonskogsbestånd.

Andel av landskapet planterat med klonbestånd	Klonbestånden	Negativ effekt på: Kommande träd-generationer	Skogslevande arter
Liten	Liten risk för skador av insekter, sjukdomar och klimat	Mycket liten	Mycket liten
			Tröskelvärde X %
↓			
Stor	Risken ökar med andel av landskapet	Risk för lägre reproduktionskapacitet och en viss minskning av den genetiska variationen vid självföryngring av monoklonbestånd	Hög

Klonskogsbruk på en större andel av landskapet kan accepteras om:

- Effekterna på beståndsnivå är små
- Kloner planteras i blandningar i stället för monoklonbestånd.
- Kloner kontinuerligt ersätts av nya med tiden.
- Klonskogar etableras på redan störda marker med låg mångfald som t.ex. nedlagd åkermark.
- Landskapet domineras av skog och ej är fragmenterat med jordbruksmark eller annan markanvändning.

Aktuellt kunskapsbehov

De kunskapsluckor som vi har identifierat är:

- Effekter på markförhållanden av klonskogsbruk
- Omfattning av minskad artmångfald i mono- och fåklonsbestånd
- Praktisk erfarenhet av storskaligt klonskogsbruk med gran

Åtgärder för att minska negativa miljökonsekvenser

Möjliga åtgärder för minskning av negativa effekter

Det finns många olika sätt att minska de negativa miljökonsekvenserna klonskogsbruk.

- *Begränsa andelen klonskogar i landskapet*
Detta kan vara nödvändigt av olika orsaker, inklusive behovet att säkerställa att tillräckliga habitat för arter med speciella behov bevaras. Den högsta acceptabla andelen klonskogar i landskapet kan inte uppskattas eftersom vi har mycket begränsad kunskap om deras inverkan på de olika associerade arterna. Den högsta acceptabla andelen är dessutom beroende av antalet kloner som används och hur de fördelas i landskapet.
- *Användning av klonblandningar i stället för monoklonbestånd*
Detta är antagligen önskvärt av olika anledningar men leder till en mindre homogen produktion än monoklonbestånd. Om blandningar med fler än 40 kloner används kommer den fenotypiska variationen i de flesta egenskaper att vara likvärdig med den i ett bestånd av fröplantor. En större andel klonskogar i landskapet kan accepteras om klonerna blandas än om monoklonbestånd används. Monoklonbestånd av barrträd är ej tillåtna i Sverige i dag.
- *Minimigräns för antalet kloner som används på landskapsnivå*
Att öka antalet kloner på landskapsnivå kan förväntas reducera de negativa effekterna.

- *Se till att klonerna ersätts med tiden*
Med nuvarande metoder för sticklingförökning och för att bibehålla juvenila egenskaper kan man ej undvika att klonerna åldras och deras rottningsförmåga att minska. Detta skapar automatiskt garantier för att kloner successivt ersätts med nya. Om nya och bättre tekniker för juvenilhållning utvecklas kan detta förhållande förändras. Om de använda klonerna väljs ur ett långsiktigt förädlingsprogram, kommer de att ersättas när nya och bättre kloner testats fram. Den långsiktiga förädlingen kommer alltså att garantera att mångfalden bevaras.
- *Klontestning*
Normalt testas klonerna inom ett klonskogsbruksprogram innan de används i större skala. Huvudmålet är att utvärdera tillväxtkapaciteten och kvaliteten på klonerna för att kunna göra ett urval av de bästa klonerna. Med hänsyn till risk för kalamiteter, är klontestning viktigt för att undvika kloner som är mottagliga för sjukdomar och insekter.
- *Etablera klonfria zoner*
Sådana zoner kan användas som referens för att i framtiden kunna följa upp miljökonsekvenserna av klonskogsbruk. Det kan dock vara svårt att finna landskapsområden som är tillräckligt representativa för att möjliggöra en meningsfull jämförelse med landskap där klonskogsbruk bedrivs.
- *Systematisk dokumentation av klonskogar*
Detta är av stor betydelse för att i framtiden ha möjlighet att utvärdera effekterna av klonskogsbruk, likväl som för den ekologiska landskapsplaneringen som utförs av många svenska markägare. Dessutom är det önskvärt att förhindra självföryngring och frötäkt i vissa klonskogar.
- *Förvaltning av genresurser*
Om det finns ett tillfredsställande genbevarandeprogram kommer de negativa effekterna av förändrad gensammansättning i bestånden att reduceras och bli mer reversibla. Det finns, som beskrivits ovan, tre parallella genbevarandeprogram för gran i Sverige: Genbanken som organiseras av Skogsstyrelsen, förädlingsprogrammet som sköts av SkogForsk och nätverket av nationalparker och naturreservat. Genbevarandet av gran i Sverige måste därför anses vara väl tillgodosett.

Möjliga ändringar i lagstiftningen

Den svenska lagstiftningen för klonskogsbruk med barrträd är strikt. Detta tillsammans med höga kostnader för att producera sticklingar har bidragit till att klonskogar med gran fortfarande är ovanliga. Som en följd av det finns det få bestånd och en begränsad variation av olika typer av klonbestånd där miljöeffekter kan studeras i dag. En måttlig uppmjukning av reglerna skulle innebära en mycket begränsad miljörisk, men samtidigt göra det mer attraktivt för skogsbruket att etablera olika typer av klonbestånd. Ett antal klonbestånd av olika typer och landskap med varierande andel klonskogar skulle då kunna etableras och i framtiden ge värdefulla möjligheter att utvärdera konsekvenserna av olika strategier för klonskogsbruk.

- *En volym av fem miljoner sticklingar per år*
Vi förslår att användning av sticklingar av gran, upp till 5 miljoner sticklingar om året, inte regleras i Sverige. Denna volym motsvarar 2–3 % av det totala antalet granar som planteras varje år och omkring 1 % av den

totala skogsmarksareal som förnygras varje år. Den enda restriktionen som skulle vara nödvändig är att klonskogsbruk inte får praktiseras på lokaler med höga naturvärden. I stället för restriktioner föreslår vi ett krav på dokumentation av varje klonbestånd. Denna dokumentation skulle hållas tillgänglig för forskare och andra parter med intresse för att övervaka användningen av klonade träd och de effekter som de kan ha, inklusive miljöpåverkan. Vi hoppas att med denna strategi få möjlighet att samla erfarenhet och kunskap om effekterna av praktiskt klonskogsbruk genom att använda olika typer av klonblandningar och monoklonbestånd i olika områden. Vetenskapliga fältstudier av miljöeffekter bör dessutom uppmuntras. Vi tror att den föreslagna gränsen på 5 miljoner sticklingar utan restriktioner lätt skulle kunna introduceras genom att ändra reglerna för vad som godkänns som ”försöksverksamhet”.

- *Upp till 20 miljoner sticklingar om året*
Vi föreslår att gällande lagstiftning skall behållas för de kvantiteter sticklingar som överstiger 5 miljoner per år. Även om det skulle finnas goda skäl att göra mindre förändringar i lagstiftningen är det inte värt tiden, ansträngningen och diskussionen att genomföra detta.
- *Över 20 miljoner sticklingar om året*
Denna mängd motsvarar omkring 10 % av det totala antalet granplantor som planteras varje år i Sverige. Om eller när antalet planterade sticklingar per år överstiger denna gräns rekommenderar vi att en förnyad ekologisk utvärdering påbörjas. Även om antalet använda sticklingar inte uppnår denna gräns kommer det antagligen att behövas en ny utvärdering om ca 15 år, om intresse för klonskogsbruk fortfarande finns. Vid den tidpunkten kommer det att finnas en större erfarenhet av klonskogsbruk än det gör i dag, såväl experimentellt som praktiskt. Förhoppningsvis kommer nya vetenskapliga undersökningar att ge större klarhet i de frågor som identifieras i vår undersökning.

De flesta klonbestånd som kommer att etableras under de närmaste åren kommer att följa gällande lagregler. Detta borde begränsa eventuella effekter av reducerad kontroll över de första 5 miljoner sticklingarna som föreslagits ovan. Den övre gränsen på 20 miljoner är också ungefärlig, men om och när gransticklingar har planterats i denna omfattning under några år borde det initiera en ny utvärdering. Om klonskogsbruk medför några större negativa miljöeffekter borde dessa sannolikt ha observerats i de etablerade bestånden vid denna tidpunkt.

Vi rekommenderar att fokus borde ändras från miljöeffekter på beståndsnivå till effekter på landskapsnivå.

Litteratur

- Ackzell, L. 1994. Forest regeneration by nature and man – studies in boreal Sweden emphasizing genetic aspects. Thesis. Department of Forest Genetics and Plant Physiology. Swedish University of Agricultural Sciences. Umeå Sweden.
- 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.
- Adams, W.T., Zuo, J.H., Shimizu, J.Y. & Tappeiner, J.C. 1998. Impact of alternative regeneration methods on genetic diversity in coastal Douglas-fir *Forest Science* 44: (3) 390–396.
- Ahuja, M.R. & Libby, W.J. (Eds.). 1993. Clonal Forestry I: Genetics and biotechnology, Clonal Forestry II: Conservation and application. Springer – Verlag. Berlin.
- Andersson, B., Engelmark, O. Rosvall, O. & Sjöberg, K. 1999. Environmental impact analysis (EIA) concerning lodgepole-pine forestry in Sweden. The Forestry Research Institute of Sweden. Report 3.
- Auger-Rozenberg, M.A., Géri, C. & Goussard, F. 1997. Variations clonales de l'aptitude du pin sylvestre à assurer le développement de *Diprion pini* L (Hym, Diprionidae) en milieu naturel. *Ann. Sci. For.* 54, 705–713.
- Bentzer, B. et al. 1988. Rooting and early shoot characteristics of *Picea abies* (L). Karst. cuttings originating from shoots with enforced vertical growth. *Scand. J. For. Res.* 3, 481–491.
- Bergh, J., Linder, S., Lundmark, T. & Elfving, B. 1999. The effect of water and nutrient availability on the productivity of Norway spruce in northern and southern Sweden. *For. Ecol. Manage.* 119: 51–62.
- Bishir, J. & Roberds, J.H. 1999. On number of clones needed for managing risks in clonal forestry. *Forest Genetics* 6:149–155.
- Bradshaw, R.H.W. 1995. The origins and dynamics of native forest ecosystems: background to the use of exotic species in forestry. *Búvísindi*, 9: 7–15.
- Chen, Z. & Ahuja, M.R. 1993. Regeneration and genetic variation in plant tissue cultures. In Ahuja, M.R. & Libby, W.J. (Eds.). 1993. Clonal Forestry I: Genetics and biotechnology. p87–100.
- Cook, R.E. 1985. Growth and development in clonal plant populations. In Population Biology and Evolution of Clonal Organisms. (Eds. Jackson, J.B.C., Buss, L.W. & Cook, R.E.). Yale University Press. pp. 259–296.
- DeBell, D.S. & Harrington, C.A. 1997. Productivity of *Populus* in monoclonal and polyclonal blocks at three spacings. *Can. J. For. Res.* 1997, 27: 7, 978–985;
- De Kroon, Stuefer, J.F., Dong, M. & During, H.J. 1994. On plastic and non-plastic variation in clonal plant morphology and its ecological significance. *Folia Geobot. Phytotax.*, Praha, 29, 123–138.
- El-Kassaby, Y.A. 1995. Evaluation of the tree-improvement delivery system – factors affecting genetic potential. *Tree Physiology*. 15: (7–8). 545–550.

- El-Kassaby, Y.A. & Ritland, K. 1996. Impact of selection and breeding on the genetic diversity in Douglas-fir. *Biodiversity and Conservation*. 5: (6). 795–813.
- Eriksson, J. 1999. Norway spruce clonal trial 8702 Bubbarsbo – Differences in growth, stratification and blanks between monoclonal and seedling plots. SkogForsk. Arbetsrapport 442. 39 pp.
- Fielding, J.M. 1970. Trees grown from cuttings compared with trees grown from seed (*Pinus radiata* D. Don). *Silvae Genet.* 19, 54–63.
- Friedman, S.T. & Foster, G.S. 1997. Forest genetics on federal lands in the United States: Public concerns and policy responses. *Can. J. For. Res.* 27: 401–408.
- Gemmel, P., Örlander, G. & Högberg, K.-A. 1991. Norway spruce cuttings perform better than seedlings of the same genetic origin. *Silvae Genetica* 40:198–202
- Gullberg, U., Aldén, T., Bucht, S., Linder, S. & Simak, M. 1977. Klonskogsbruk och vegetativ förökning – rapport angående framtida forskningsinsatser inom området. Skogshögskolan. Stockholm.
- Hannerz, M., Almqvist, C. & Ekberg, I. 1999. Rooting success of cuttings from young *Picea abies* in transition to flowering competent phase. *Scand. J. For. Res.* 14: 498–504.
- Hannerz, M & Wilhemsson, L. 1998. Field performance during 14 years' growth of *Picea abies* cuttings and seedlings propagated in containers of varying size. *Forestry*, vol. 71, No 4, 373–380.
- Hannerz, M. & Lindström, A. 1998. Rotutformning hos sticklingar och fröplantor av gran. Redogörelse nr 7, 1998, SkogForsk. Uppsala. pp.92–96.
- 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. Vegetative propagation and clonal forestry: focus on Norway spruce. The Forestry Research Institute of Sweden. Redogörelse nr 2.
- Jenik, J. 1994. Clonal growth in woody plants: a review. *Folia Geobot. Phytotax.*, Praha, 29, 291–306.
- Kirschner, J. & Stepanek, J. 1994. Clonality as a part of the evolution process in *Taraxacum*. *Folia Geobot. Phytotax.*, Praha, 29, 265–275.
- Kleinschmit, J., Müller, W., Schmidt, J. & Racz, J. 1973. Entwicklung der Stecklingsvermehrung von Fichte (*Picea abies* L. Karst.) zur Praxisreife. *Silvae Genetica* Bd. 22 (1–2): 4–15.
- Kleinschmit, J. & Schmidt, J. 1977. Experiences with *Picea abies* cuttings propagation in Germany and problems connected with large scale application. *Silvae Genet.* 26, 197–203.
- Lester, D.T. & Libby, W.J. 1998. External evaluation of somatic embryogenesis. Report to Forest Genetics Council of British Columbia, Canada.
- Libby, W.J. 1998. Genetic diversity for clonal forest plantations. Proc of 26 meeting of the Canadian tree improvement association. p21–36.

- Lindgren, D., Gustafsson, L., Hulthén, H. & Lundkvist, K. 1990. Klonskogsbruk. SLU. Skogsvetenskapliga fakulteten. Rapport nr 9. Umeå.
- Lindgren, D. & Wei, R.-P. 1994. Effects of maternal environment on mortality and growth in young *Pinus sylvestris* field trials. *Tree Physiology* 14: 323–327.
- Lundkvist, K., Eriksson, G. & Norell, L. 1992. Performance of clonal mixtures and single-clone plots in young *Picea abies* trials
Scandinavian Journal of Forest Research (7) pp. 53–62
- Mattsson, S. & Thorsén, Å. 1992. Föryngring and its inherent problems. In The Rationalisation Conference 1992. G. Frumerie (ed). Redogörelse No 1. The Forest Research Institute of Sweden, Stockholm, pp. 35–48.
- McKeand, S. & Kurinobu, S. 1998. Japanese tree improvement and forest genetics. *Journal of Forestry* 96, 12–17.
- Namkoong, G., Barnes, R.D. & Burley. 1980. A philosophy of breeding strategy for tropical forests. Tropical Forestry Papers No. 16. University of Oxford, Oxford. 67 pp.
- Nohrstedt, H.Ö. & Westling, O. 1995. Miljökonsekvensbeskrivning av Stora Skogs gödslingsprogram. Del 1 och 2. IVL B 1218 och 1219.
- Pakkanen, A., Nikkanen, T. Pulkkinen, P. 2000. Annual variation in pollen contamination and outcrossing in a *Picea abies* seed orchard. *Scand. J. For. Res.* 15: 399–404.
- Park, Y.S., Bonga, J. M. & Mullin, T.J. 1998. Clonal forestry/ Forest Genetics and Tree Breeding/edited by A.K. Mandal and G.L. Gibson. 1998, 268 p. ISBN 81-239-0571-8. pp. 143–167.
- Rackham, O. 1980. Ancient woodland. Its history, vegetation and uses in England. Edward Arnold. London
- Ritchie, G.A. 1991. The commercial use of conifer rooted cuttings in forestry: a world overview. *New Forests* 5, 247–275.
- 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 – Beslutsunderlag för förnyelse av fröplantager och klonblandningar i Sverige. SkogForsk. Redogörelse nr 1.
- Roulund, H. 1979. Stem form of cuttings related to age and position of scions. (*Picea abies* L. Karst). Forest Tree Improvement No 13. Arboretet Hørsholm. Akademisk Forlag, Copenhagen, 24 pp.
- Roulund, H. Wellendorff, H. & Werner, M. 1985. A clonal experiment in Norway spruce (*Picea abies* (L). Karst). 15 years results. Forest Tree Improvement No 17. Arboretet Hørsholm. Akademisk Forlag, Copenhagen, 33 pp.
- Rousi, M., Tahvanainen, J., Henttonen, H., Herms, D.A. & Uotila, I. 1997. Clonal variation in susceptibility of white birches (*Betula* spp.) to mammalian and insect herbivores. *Forest Science* 43, 396–402.

- Sebens, K.P. & Thorne, B.L. 1985. Coexistence of clones, clonal diversity and the effects of disturbance. In *Population Biology and Evolution of Clonal Organisms*. (Eds. Jackson, J.B.C., Buss, L.W. & Cook, R.E.). Yale University Press. pp.357–398.
- Stelzer, H.E. 1997. Evaluating genetic diversity concerns in clonal deployments. *Can. J. For. Res.* 27:438–441
- Stelzer, H.E. & Goldfarb, B. 1997. Implementing clonal forestry in south eastern United States. *Can. J. For. Res.* 27:442–446
- Tiffney, B.H. & Niklas, K.J. 1985. Clonal growth in land plants: a palaeobotanical perspective. In *Population Biology and Evolution of Clonal Organisms*. (Eds. Jackson, J.B.C., Buss, L.W. & Cook, R.E.). Yale University Press. pp.35–66.
- Westling, O. 1995. Metodik för miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbruksmetoder. Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning. IVL B 1220.
- Widén, B., Cronberg, N. & Widén, M. 1994. Genotypic diversity, molecular markers and spatial distribution of genets in clonal plants, a literature survey. *Folia Geobot. Phytotax.*, Praha, 29, 245–263.
- Wuelish, G., Muhs, H. & Geburek, T. 1990. Competitive behaviour of clones of *Picea abies* in monoclonal mosaice vs. intimate clone mixtures. A pilot study. *Scand. J. For. Res.* 5:397–401.

Personliga kontakter

- Adam, Dieter. Rayonier New Zealand Ltd. New Zealand
- Beuker, Egbert. Metla. Finland
- Burdon, Rowland, Forest Research Ltd. New Zealand
- Burger, Fred. Carter Holt Harvey Forests Ltd. New Zealand
- Eriksson, Gösta. Sveriges lantbruksuniversitet
- Gea, Luigi. Forest Research Ltd. New Zealand
- Gullberg, Urban. Sveriges lantbruksuniversitet
- Karlsson, Bo. Skogsbrukets forskningsinstitut
- Kleinschmit, Jochen. Lower Saxony Forestry Research Institute. Germany.
- Kurinobu, Susumu. Kyushu Regional Breeding Centre, Japan
- Lee, Steven. Forestry Commission, Great Britain
- MacRae, Sharmane. StoraEnso Cell AB
- Napola, Marja-Leena. Metla. Finland
- Peterken, George. Forestry consultant. Great Britain
- Roulund, Hans. Royal Veterinary and Agricultural University. Denmark.
- Skrøppa, Tore. Norwegian Forest Research Institute. Norway
- Sorensson, Charles. Fletcher Challenge Forests Ltd. New Zealand
- Stuefer, Josef. Utrecht University.
- Ståhl, Erik. Högskolan Dalarna
- Sugita, Shinya. Ehime University, Japan
- Widén, Björn. Lunds universitet
- Örlander, Göran. Skogsstyrelsen