

Skogsskötsel för ökad tillväxt

Nils Fahlvik, Institutionen för Sydsvensk Skogsvetenskap, SLU

Ulf Johansson, Enheten för skoglig fältforskning, SLU

Urban Nilsson, Institutionen för Sydsvensk Skogsvetenskap, SLU

Fahlvik, N., Johansson, U., Nilsson, U. 2009. *Skogsskötsel för ökad tillväxt. Faktaunderlag till MINT-utredningen*. SLU, Rapport. ISBN 978-91-86197-43-8.

Nedladdningsbar PDF

www.slu.se

Sammanfattning

Det finns ett stort antal möjliga skogsskötselmetoder som kan höja de svenska skogarnas produktion. Syftet med detta arbete var (i) att sammanställa kunskaper om produktionshöjande skötselmetoder för intensivodling av skog på nedlagd jordbruksmark och skogsmark med låga naturvärden, (ii) att analysera produktionspotentialen för dessa skogsskötselmetoder och (iii) att analysera den ekonomiska lönsamheten av skötselmetoderna på beståndsnivå.

Kunskapssammanställningen om de aktuella skötselmetoderna bygger på faktaunderlag som utarbetats av ledande experter inom respektive ämnesområde. Beräkning av skötselmetodernas produktionspotential baseras på provytor från riksskogstaxeringen åren 2002-2006. Utfallet av beräkningar jämfördes med referensscenariet i de senaste nationella avverkningsberäkningarna SKA-VB 2008. I beräkningarna togs 15% av skogsmarksarealen i bruk för intensivodling. Därutöver omfördes 400 000 ha jordbruksmark till intensivodling. Fyra scenarier analyserades: basscenario, ingen behovsanpassad gödsling, storskogsbruk och snabbast möjliga införande. Den ekonomiska lönsamheten studerades genom att nettonu värden för relevanta skötselmetoder beräknades med användning av kalkylränta 2%, 2,5% och 3%.

Sammanställningen av kunskaper om skötselmetoder för intensivodling omfattar följande beprövade metoder för storskalig tillämpning: fastmarksgödsling av tall och gran, ungskogsgödsling av gran, klonskogsbruk med gran, odling av contortatall, odling av hybridasp, *Salix*-odling på jordbruksmark samt dikesrensning och gödsling av torvmark. Vidare beskrivs mindre prövade skötselmetoder som efter FoU-insatser kan starta i begränsad skala: odling av lärk och sitkagran samt gödsling av contortatall. Slutligen behandlas oprövade skötselmetoder som kräver mera omfattande FoU-insatser före storskalig tillämpning: odling av poppel på åker- och skogsmark samt gödsling av lövskog.

Den totala arealen som togs i anspråk för intensivodling dominerades av skötselmetoderna ungskogsgödsling med gran, klonskogsbruk med gran och odling av contortatall. De största intensivodlingsarealerna återfanns i Norrland och sett över hela landet var de jämnt fördelade mellan enskilda och övriga markägare.

Den totala volymproduktionen om intensivodling under en 50-årsperiod införs på 3,5 milj hektar (15%) skogsmark beräknas under en 100-årsperiod bli ca 90% högre än referensalternativet. Effekten på den totala volymproduktionen påverkas endast i begränsad omfattning av om ungskogsgödsling inte utförs, om intensivodling i ökad omfattning utförs på storskogsbrukets marker eller om snabbaste möjliga införande tillämpas. De största produktionseffekterna erhålls av skötselmetoderna ungskogsgödsling med gran och klonskogsbruk med gran samt av odling med contortatall. Odling av hybridasp och gran på nedlagd jordbruksmark beräknas höja den totala produktionen med knappt 15% ytterligare. Ett införande av intensivodling kan höja den totala årliga avverkningsnivån i landet med ca 30 milj m³ om ca 70 år.

De ekonomiska beräkningarna på beståndsnivå visar att lönsamheten är god för odling av contortatall och klonskogsbruk med gran. Huvudanledning till detta är att den potentiella produktionsökning för dessa metoder är hög medan investeringskostnaderna i förnygringsstadiet är låga. Lönsamheten för behovsanpassad gödsling är lägre och beroende av vilken kalkylränta som används. Den svaga lönsamheten gör sannolikt privata skogsägare mindre benägna att investera i ungskogsgödsling med gran.

Innehåll

Sammanfattning	1
Innehåll.....	2
1. Inledning.....	6
2. Utredningsarbetets uppläggning och genomförande	10
2.1 Forskarseminarier.....	10
2.2 Sammanställning av produktionshöjande skötselmetoder.....	10
2.3 Material och metoder för beräkning av produktionspotentialen hos olika skogsskötselmetoder	11
2.3.1 Översiktig beskrivning av beräkningssystemet.....	11
2.3.2 Beskrivning av data	11
2.3.3 Referensalternativ.....	12
2.3.4 Naturvärdesbedömningar	12
2.3.5 Produktionsmodell och skötselprogram	12
2.3.6 Nationella scenarier för intensivodling	14
3. Kunskapssammanställning – skötselmetoder vid intensivodling av skog.....	17
3.1 Tillräckligt beprövade skötselmodeller för storskalig tillämpning.....	18
3.1.1 Fastmarksgödning av medelålders och äldre tall- och granskog	18
3.1.2 Behovsanpassad gödning av unga granbestånd	21
3.1.3 Klonskogsbruk med gran.....	32
3.1.4 Odling av contortatall på fastmark	34
3.1.5 Odling av hybridasp på åker- och skogsmark	38
3.1.6 Salix-odling på jordbruksmark	41
3.1.7 Dikning och dikesrensning av åker- och skogsmark samt gödning av torvmark med låga naturvärde.....	43
3.2 Skötselmodeller som kräver forsknings-/utvecklingsinsatser men som ändå kan startas i begränsad skala.....	46
3.2.1 Lärk	46
3.2.2 Sitkagran.....	49

3.2.3 Övriga utländska trädslag	51
3.2.4 Gödsling av contortaskog på fastmark	51
3.3 Skötselmodeller som bedöms kräva mera omfattande forsknings-/utvecklingsarbete före framtida storskalig tillämpning.....	52
3.3.1 Poppelodling på åker- och skogsmark.....	52
3.3.2 Gödsling av lövskog (björk, al, asp, hybridasp och poppel)	54
3.4 Effekter av intensivodling på vedegenskaper och råvarans användning för barr- och lövträd....	55
3.5 Skador av insekter, svamp och vilt vid intensivodling av barr- och lövträd	59
3.5.1 Insekter	59
3.5.2 Svamp exkl. rotröta	61
3.5.3 Rotröta	64
3.5.4 Vilt.....	66
4. Arealer och produktionspotential för intensivodling med identifierade skötselmetoder – utvärdering av scenarier.....	69
4.1 Avgränsning av arealer för intensivodling med identifierade skötselmetoder	69
4.2 Produktionspotential för olika skogsskötselmetoder.....	76
5. Ekonomisk lönsamhet av olika skogsskötselmetoder på beståndsnivå	84
5.1 Syfte och kriterier.....	84
5.2 Jämförelse av olika skötselprogram	85
5.3 Kalkylränta	87
5.4 Ekonomiska beräkningar	87
5.5 Resultat av ekonomiska beräkningar.....	88
6. Diskussion	91
6.1 Skötselmetoder	91
6.1.1 Tillräckligt beprövade skötselmodeller för storskalig tillämpning.....	91
6.1.2 Skötselmodeller som kräver forsknings-/utvecklingsinsatser men som ändå kan startas i begränsad skala.....	93
6.1.3 Skötselmodeller som bedöms kräva mera omfattande forsknings-/utvecklingsarbete före framtida storskalig tillämpning.....	94
6.2 Tillgänglig areal för respektive skötselmetod	94

6.3 Beräkningar av produktionspotentialen.....	95
6.4 Ekonomisk lönsamhet av olika skötselmetoder.....	97
6.5 Nationell scenarier för intensivskogsbruk	98
6.5.1 Arealer	98
6.5.2 Naturvårdspoäng	98
6.5.3 Produktionspotential.....	99
6.5.4 Val och utformning av scenarier	100
6.6 Skador och virkeskvalitet	100
Tänkbar användning av den producerade biomassan	101
7. Slutsatser	103
Referenser.....	104

- Bilaga 1. Skogsgödsling i Sverige (Folke Pettersson, Staffan Jacobson, Ulf Sikström, Skogforsk)
- Bilaga 2. Behovsanpassad gödsling av unga granbestånd (Sune Linder, Johan Bergh, SLU)
- Bilaga 3. Förädlad material och kloner (Bo Karlsson, Skogforsk)
- Bilaga 4. Möjlighet till höjning av skogsproduktionen i Sverige genom dikesrensning, dikning och gödsling av torvmarker (Björn Hånell, SLU)
- Bilaga 5. Contortatall (*Pinus contorta*) (Eric Agestam, Christer Karlsson, SLU)
- Bilaga 6. Lärk (Per Magnus Ekö, SLU)
- Bilaga 7. Sitkagran (Bo Karlsson, Skogforsk)
- Bilaga 8. Snabbväxande lövträd: Hybridasp, hybridpoppel, poppel och al (Lars Rytter, Skogforsk, Theo Verwijst, SLU)
- Bilaga 9. Snabbväxande lövträd: *Salix* på jordbruksmark (Theo Verwijst, Nils-Erik Nordh, SLU)
- Bilaga 10. Effekter på vedegenskaper och råvarans användning vid intensivodling av barr- och lövträd (Erik G. Ståhl, Mats Nylinder, SLU)
- Bilaga 11. Risker för insektsskador på trädskiktet (Åke Lindelöw, SLU)
- Bilaga 12. Skötselmetoder och svampangrepp på träd (Jan Stenlid, SLU)
- Bilaga 13. Risken för angrepp av rotröta (Jonas Rönnberg, SLU)
- Bilaga 14. Skötselmetoder och viltskador (Roger Bergström, Skogforsk)

Bilaga 15. Beskrivning av produktionsmodell och skötselprogram (Urban Nilsson, Nils Fahlvik, Ulf Johansson, SLU)

Bilaga 16. Trädslagsförsök med inhemska och utländska barr- och lövträd (Ulf Johansson, Nils Fahlvik, Urban Nilsson, SLU)

Bilaga 17. Forskarseminarier (Ulf Johansson, Nils Fahlvik, Urban Nilsson, SLU)

Bilaga 18. Erfarenheter av skötselmetoder för plantageskogsbruk med tall i sydöstra USA (Ulf Johansson, Nils Fahlvik, Urban Nilsson, SLU)

1. Inledning

Det är sedan lång tid väl känt att val av skogsskötselmetoder och trädslag är av avgörande betydelse för produktionspotential och lönsamhet i ett ekonomiskt skogsbruk (Wahlgren 1914).

Intresset för att öka skogarnas produktion och avkastning har sedan lång tid tillbaka varit en drivkraft till att pröva nya skogsskötselmetoder bland svenska skogsägare. Exempel på detta är att man i Sverige redan under 1700-talet införde och testade utländska trädslag för att utröna om de producerade mer än de inhemska (Kardell 2003). Andra tidiga exempel är skogsdikning, beskogning av ljunghedar, näringstillförsel t ex i form av vedaska och förflyttning av skogsodlingsmaterial i syfte att hitta mer snabbväxande alternativ än ortens provenienser (Kardell 2004).

Skälen till att överväga andra skötselmetoder och trädslag än de ”konventionella” är bl a att markens produktionsförmåga (boniteten) inte är konstant över tiden utan kan påverkas dels genom förändringar i omgivningsförhållanden (Eriksson & Johansson 1993), dels genom val av skogsbrukssätt och trädslag.

Val av produktionshöjande skötselmetoder är en komplicerad frågeställning som påverkas av en mängd biologiska, tekniska och ekonomiska faktorer. Biologiska förutsättningar gör att alla skötselmetoder inte är möjliga på alla typer av ståndorter. Vissa snabbväxande trädslag kan t ex inte odlas i kärva klimatlägen. Biologiska lagar styr också på vilken tidshorisont olika metoder resulterar i ökad produktion. Konventionell gödning och dikning är exempel på åtgärder som ger kortsiktiga tillväxteffekter medan trädslagsbyte och skogsträdsförädling kan ge mera långsiktiga produktionseffekter. Tekniska begränsningar kan innebära att skötselmetoder som trots att de ger hög produktion inte blir intressanta eftersom produktionen inte kan tillvaratas och/eller finna någon industriell användning. Ekonomiska faktorer såsom höga kostnader kan göra att vissa produktionshöjande skötselmetoder inte blir lönsamma för enskilda markägare trots att de kan medföra vinster från nationalekonomisk synpunkt genom gynnsamma effekter på t ex exportinkomster och sysselsättning. Så är ofta fallet med skötselmetoder som ger långsiktiga produktionshöjande effekter vilka samtidigt också i hög grad påverkas av vilket räntekrav som ställs.

Många forsknings- och utvecklingsinsatser har sedan lång tid arbetat med produktionshöjande skötselmetoder. Klassiska sådana exempel är:

Odling av utländska trädslag, där exempelvis lärk och silvergran tidigt introducerades i Sverige i syfte att hitta trädslag som växer bättre än de inhemska eller i något annat avseende innebär andra fördelar. Den utan jämförelse mest omfattande introduktionen av ett utländskt trädslag som hittills genomförts i Sverige är emellertid den satsning på contortatall som startades av några större mellansvenska skogsbolag under 1960-talet.

Den praktiska skogsgödningens introduktion i svenskt skogsbruk på 1960-talet hade sin grund den skogliga växtnäringsforskning som tidigt startade inom den svenska skogsbiologiska forskningen (Enander 2007). Vägledande resultat om kvävetvets betydelsefulla roll som växtnäringsämne i de boreala skogarna ledde till intensifierade forskningsinsatser om såväl gödningens produktionseffekter som dess ekologiska effekter (Tamm 1991).

1973 års skogsutredning (Anon. 1978) utredde ett antal alternativa skogsproduktionsprogram och kom att bilda grunden för den skogspolitik som lades fast år 1979. Det alternativ för framtidens skogsbruk som utredningen föreslog innebar en förhöjd ambitionsnivå med förbättrad beståndsanläggning, ökad användning av förädlat skogsodlingsmaterial, en trefaldig ökning av arealen skogsmarksgödning och ett ambitiöst program för dikning och gödning av skogliga våtmarker. Utredningen beräknade att de

föreslagna åtgärdsprogrammen sammantaget skulle innebära en ökning av den årliga bruttoavverkningen i de svenska skogarna från 75 milj. m³sk till 89 milj. m³sk om 100 år.

På senare tid har önskemål om ökad produktion gjort att skogsskötselmetoder med detta syfte återkommit i fokus. Några sentida exempel på arbeten som behandlar skötselmetoder för produktionshöjning är:

I en serie utredningar har SkogForsk belyst effekterna på tillväxt och avverkning av produktionshöjande åtgärder i skogsbruket. Inledande utredningar (Rosvall *et al.* 2004a, b) gjordes för att undersöka möjligheterna att öka intensiteten i traditionella metoder i Västernorrlands och Jönköpings län, jämfört med 1990-talets nivåer för skogsskötsel och naturvård. Då Hugin-systemet användes var det möjligt att studera förändringar över tiden. Åtgärder som att förbättra föryngringarna, använda förädlad skogsodlingsmaterial, plantering av contortatall och skogsgödsling studerades.

Utredningen ”*Ökad produktion i familjeskogsbruket*” (Rosvall *et al.* 2004) belyste möjligheter till produktionsökningar inom skogsägarrörelsen med fokus på 1) ökad produktion genom föryngring, förädling, röjning och gödsling; 2) minskade produktionsförluster genom åtgärder för en friskare skog; 3) långsiktiga effekter på mark, vatten och uthållig produktionsförmåga. Bättre återväxter beräknas kunna öka avverkningarna med 10 %, användning av förädlade plantor ytterligare 10 % och skogsgödsling 2 %. Åtgärder för att minska avgång och skador beräknas att ge nästan samma potential för ökad avverkning som tillväxthöjande åtgärder.

I en utredning för Holmen Skogs marker (Rosvall & Normark 2006) belystes tillväxteffekter när olika insatser skalades upp till behandlingsarealer. Utredningen tog bl a upp dikesrensning, plantering med vegetativt förökad gran (somatisk embryogenes) och även effekterna av en tänkt klimatförändring. I en efterföljande utredning ”*Lönsamheten för produktionshöjande skogsskötselåtgärd hos Holmen Skog AB*” (Simonsen *et al.* 2006) presenterade lönsamhetsanalyser för en lång rad produktionshöjande skogsskötselåtgärder. Plantering av contortatall eller användning av selektivt insamlat frö från fröplantager kan öka tillväxten och lönsamheten högst påtagligt till en mycket låg extra kostnad. Klonskogsbruk med SE-plantor (somatisk embryogenes) ger hög förädlingsvinst och högt plantpris men är trots detta en lönsam metod. Behovsanpassad gödsling i gran och dikesrensning är metoder med höga investeringskostnader men var trots detta lönsamma.

Utredningen ”*Produktionspotentialen är betydligt högre än dagens tillväxt*” (Rosvall 2007) syftade till att redovisa hur mycket tillväxten kan ökas i Sveriges skogar med olika skogsskötselåtgärder. Sammantaget bedöms att en rimlig tillväxtökning är cirka 20 procent, varav 17 procentenheter kommer från traditionella metoder som förbättrade föryngringar, förädlade plantor, contortatall och gödsling och 3 procentenheter från klonskogsbruk, åkerplantering, dikesrensning och askgödsling av myr. Huvudbudskapet är att traditionella skogsskötselåtgärder som till exempel förbättrat föryngringsarbete och användning av förädlade plantor har störst betydelse för ökad tillväxt eftersom de verkar på stora arealer och kräver små beslut och liten investering i det enskilda fallet. Mer spektakulära åtgärder med större tillväxteffekt är ofta mer kostsamma och krävande för beslutsfattaren samtidigt som de ändå bara kan tillämpas i mindre skala. Några högintensiva skötselmetoder, till exempel behovsanpassad gödsling av gran, och klonskogsbruk med är inte helt utvecklade och de kräver dessutom stora investeringar när de genomförs, varför deras omfattning är osäker.

”*Skogsbruksmetoder för privatskogsbrukaren*” (Eriksson *et al.* 2008) analyserar lönsamheten i ett skogsbruk men tyngdpunkten på virkesproduktion. Analyser av behovsanpassad gödsling visar att metoden inte har någon lönsamhet vid avkastningsnivåerna 2,0, 2,5 och 3,0 %, givet att dagens priser och kostnader kommer att råda i framtiden. Anledningen är att metoden innebär tidiga och kostnadskrävande investeringar i beståndet medan möjligheten att realisera effekten av insatserna kommer långt fram i tiden. Företagsekonomiskt lönsam balanserad gödsling kräver att en eller flera av följande förhållanden uppfylls: ökade reala virkespriser, högre effektivitet av gödslingen än vi idag

kan räkna med eller inverkan av andra förhållanden, t.ex. kombination med förädlat växtmaterial, mer gynnsamt klimat och liknande.

Skogsstyrelsen presenterade i december 2008 ”*Skogliga konsekvensanalyser 2008*” SKA-VB 08 (Anon. 2008). Där beskrivs tillväxten på nationell nivå för fyra scenarier (Referens, Miljö, Produktion och Produktion + Miljö) under en beräkningsperiod fram till år 2110. Tillväxtnivåerna varierar från 141 till 180 milj. m³sk per år vid beräkningsperiodens slut och gäller virkesproduktionsmark, dvs. ej reservat och skogsbrukets frivilliga avsättningar. Skillnaderna mellan scenarierna beror på en större omfattning av produktionshöjande åtgärder i produktionsscenarioerna än i referens- och miljöscenarierna, både avseende vilka åtgärder som formar scenarierna och deras areella omfattning. I SKA-VB 08 har man för första gången i nationella skogliga konsekvensanalyser lagt in uppskattade tillväxteffekter av en klimatförändring och effekterna av en kontinuerlig förbättring av skogsodlingsmaterialet genom förädling. Klimateffekten i SKA-VB 08 ger i referensscenariot en ökad tillväxt på 32 % om hundra år. Förädlingseffekten är på motsvarande sätt 8 %.

Skogsskötselserien (Ståhl 2009) beskriver produktionshöjande åtgärder i skogsbruket. Bland sådana åtgärder som redan idag utförs inom ”normal skogsskötsel” behandlas bättre föryngringar, trädslagsval, skogsträdsförädling, skogsgödsling och dikesrensning. Därutöver behandlas även ett antal produktionshöjande åtgärder som hittills inte tillämpats i praktisk skala såsom vegetativ förökning, nya trädslag, balanserad näringstillförsel, nydikning och askgödsling av torvmark. Dessutom tar man upp möjligheter till produktionshöjning genom att begränsa effekter av skadegörare och att ta utnyttjade marker i anspråk för skogsproduktion, t ex nedlagda åkermarker.

Det övergripande syftet med föreliggande rapport var:

- att sammanställa kunskaper om produktionshöjande skogsskötselmetoder för intensivodling av skog på nedlagda jordbruksmarker och skogsmarker med låga naturvärden i Sverige,
- att analysera produktionspotentialen i termer av tillväxt, virkesförråd, avverkning och införandehastighet under en kommande 100 års period för dessa skogsskötselmetoder, om de tillämpas på 15 % av den svenska skogsmarksarealen,
- att analysera den ekonomiska lönsamheten av dessa skötselmetoder på beståndsnivå.

Mera specifika målsättningar för föreliggande rapport var att:

- Utvärdera möjligheten att höja produktionen i barr- och lövskog genom ungskogsgödsling och konventionell gödsling samt genom skogsträdsförädling. Dels som separata åtgärder och dels som en kombinerade metoder.
- Utvärdera möjligheten att öka produktionen genom odling av utländska trädslag.
- Utvärdera möjligheterna att höja produktionen genom kompletterande dikning och dikesrensning samt gödsling av torvmark med låga naturvärden.
- Undersöka risker på beståndsnivå förknippade med ovanstående metoder.
- Utvärdera hur intensivodling påverkar vedegenskaper och råvarans användning.
- Uppskatta kostnader och intäkter för ovanstående metoder och göra ekonomiska jämförelser på beståndsnivå.

Avgränsningarna för föreliggande rapport var:

Endast skötselmetoder som på grund av gällande lagstiftning, allmänna rekommendationer eller av andra hindrande skäl idag inte är storskaligt tillåtna skulle behandlas (jämför regeringsuppdraget). Detta innebar att allmänt accepterade och idag praktiserade skötselmetoder (s k ”traditionell” skogsskötsel) uteslöts, trots att de i sig kan ha en betydande potential att öka produktionen. Exempel på sådana metoder kan vara bättre förnygringskvalitet, ungsogsröjning, trädslagsval (tall-gran-björk), m fl.

Endast skötselmetoder som idag eller i en förhållandevis nära framtid (<10-20 år) bedöms vara möjliga att tillämpa i stor skala behandlades. Exempel på metoder med förmodad hög produktionspotential som inte behandlades är användning av genmodifierade skogsodlingsmaterial (GMO).

Endast skötselmetoder som är relevanta för nedlagda jordbruksmarker eller skogsmarker med låga naturvärden behandlades. Detta innebar att vissa skötselmetoder uteslöts trots att de kan ha stor potential för produktionsökning. Exempel på detta är storskalig nydikning av våtmarker som ofta anses ha höga naturvärden.

Endast skötselmetoder som med dagens kunskaper och förutsättningar kan bedömas vara företagsekonomiskt försvarbara behandlades.

2. Utredningsarbetets uppläggning och genomförande

Detta arbete ingår som ett av sex delprojekt i SLUs utredning av möjligheter till intensivodling av skog på nedlagd jordbruksmark samt skogsmark med låga naturvärden (MINT).

Arbetet inom delprojekt 2 har bestått av följande delar:

- Öppna forskarseminarier 2008-12-10 i Uppsala och 2008-12-15 i Umeå.
- Inventering och beskrivning av skötselmetoder för intensivodling genom utlagda uppdrag till experter inom olika ämnesområden.
- Avgränsning av arealer för intensivodling med identifierade skötselmetoder i samverkan med delprojekt 1.
- Beräkning av produktionspotentialen för identifierade skötselmetoder och deras effekter på tillväxt och naturvård vid storskalig tillämpning i Sverige.
- Ekonomiska kalkyler över lönsamheten hos olika skogsskötselmetoder på bestånds- och fastighetsnivå.
- Revision och sammanställning av ett trädslagsförsök med inhemska och utländska barr- och lövträd.

2.1 Forskarseminarier

Öppna seminarier för forskare från främst SLU och SkogForsk arrangerades 2008-12-10 i Uppsala och 2008-12-15 i Umeå. Vid det förstnämnda tillfället medverkade 18 deltagare och vid det andra 15 deltagare. Syftet med seminarierna var att insamla synpunkter på vilka skötselmetoder som bör ingå i ett framtida svenskt intensivskogsbruk. Vid seminarierna redovisades och diskuterades olika skötselmetoder som kan vara aktuella vid intensivodling av skog. En viktig övergripande fråga vid båda tillfällena var hur olika skötselmetoder bör rangordnas vad avser kunskapsunderlaget för bedömning av deras potential för storskalig tillämpning.

2.2 Sammanställning av produktionshöjande skötselmetoder

En inventering och beskrivning av skötselmetoder för intensivodling har genomförts genom utlagda uppdrag till experter inom olika ämnesområden (Bilaga 1-14). För varje utlagt uppdrag har en forskare haft huvudansvaret. Uppdragen har omfattat följande delar:

- Principerna för metoden.
- Tidigare forskning. Genomgång av forskning inom området med relevans för svenska förhållanden. Redovisning av resultat vad avser volymproduktion och produktion av biomassa.
- Praktisk tillämpning. Rekommenderad skötselmodell för metoden. Bedömd produktionsnivå och vad som påverkar denna. Ståndortskrav för metoden. Problem och möjligheter för praktisk

tillämpning. Vilka praktiska hinder som finns idag. När skulle metoden kunna användas i full skala

- Risken för skador.
- Behov av framtida forsknings- och utvecklingsinsatser.

I uppdragen har även ingått att fortlöpande bidra med uppgifter som var nödvändiga för att utföra en företagsekonomisk analys, avgränsa lämplig mark på nationell nivå och leverera data till avverkningsberäkningar på nationell nivå.

Arbetet med uppdragen har i huvudsak genomförts under perioden december 2008 till mars 2009. En videokonferens med medverkande forskare i de utlagda uppdragen inom delprojektet 2 genomfördes 2009-02-12. Syftet med konferensen var att koordinera arbetet och utbyta erfarenheter.

Uppdragen redovisas i separata rapporter som publiceras som bilagor till denna utredning. Den beskrivning av skötselmetoder för intensivodling som redovisas i kapitel 3 bygger på de faktaunderlag som finns i bilagorna.

Peichen Gong vid institutionen för skogsekonomi, SLU, har författat kapitlen 5.1 Syfte och kriterier, 5.2 Jämförelse av olika skötselprogram och 5.3 Kalkylränta.

2.3 Material och metoder för beräkning av produktionspotentialen hos olika skogsskötselmetoder

2.3.1 Översiktlig beskrivning av beräkningssystemet

Materialet för beräkningarna utgjordes av riksskogstaxeringens provytor och är i allt väsentligt detsamma som användes för de senaste nationella avverkningsberäkningarna SKA-VB 2008 (Anon 2008). De provytor som var tillgängliga för intensivodling valdes ut med ledning av det system för naturvärdesbedömning av tagits fram inom delprojekt 1. Beroende på provytornas aktuella utvecklingsfas (ålder och huggningsklass) togs de i anspråk för olika metoder för intensivodling. Metodvalet baserades på specifika ståndortskrav som avgränsats för respektive metod. Metoder som var aktuella först efter en generationsväxling (t ex klonskogsbruk eller contortaplantering), startade först när skogen på provytan blev tillgänglig efter slutavverkning. I basscenariot förutsattes att introduktionen av intensivodlingen skulle genomföras inom en period av 50 år. För provytorna simulerades utvecklingen vad avser tillväxt och avverkning under en period av 100 år. Utfallet av simuleringarna jämfördes med det referensscenario som beräknats för SKA-VB 2008.

2.3.2 Beskrivning av data

Materialet utgjordes av riksskogstaxeringens provytor och var samma material som använts för nationella avverkningsberäkningarna i SKA-VB 2008 (Anon. 2008). Materialet bestod i utgångsläget av drygt 31000 provytor som mättes in under åren 2002-2006. Dessa ytor representerade den totala produktiva skogsmarksarealen. Beräkningsarealen var densamma under hela den 100 åriga beräkningsperioden. Därmed tog inte beräkningarna hänsyn till eventuell ökad eller minskad areal produktiv skogsmark, t.ex. på grund av att skogsmark tas i anspråk för andra ändamål. För varje yta finns allmänna uppgifter, ståndortsdata och beståndsdata. Materialet beskrivs närmare i en rapport från delprojekt 1.

2.3.3 Referensalternativ

Simuleringarna av intensivskogsbruk jämfördes med det referensscenario som beräknats för SKA-VB 2008. Referensen beskriver hur skogen utvecklas under perioden 2010-2109, förutsatt nuvarande ambitioner i skogsskötsel samt att beslutad miljöpolitik efterföljs. Dessutom simulerades effekten av ett förändrat klimat som en gradvis ökning av tillväxten. Referensscenariot beskrivs närmare i en rapport från delprojekt 1.

2.3.4 Naturvärdesbedömningar

Intensivodlingen skulle främst utföras på skogsmark med låga naturvärden. Dessa marker avgränsades i två steg. I steg 1 reducerades totalarealen med de arealer som aldrig kunde komma ifråga för intensivodling. Avgränsningen gjordes både med avseende på variabler kopplade till trädskiktet och till markvariabler. I steg 2 användes ett antal variabler som poängsattes, och som sedan utgjorde grund för urval av lämpliga arealer. Detta gällde både markvariabler (beroende på krav för skötselssystem) och beståndsvariabler med olika grad av naturvärde. Systemet beskrivs närmare i rapporten från delprojekt 1.

2.3.5 Produktionsmodell och skötselprogram

I det följande ges en kort beskrivning av produktionsmodeller och skötselprogram. För en utförligare beskrivning inklusive regressionsfunktioner och korrektionsfaktorer se Bilaga 15.

Gran- och tallbestånds utveckling simulerades med hjälp av produktionsverktyget DT (Nilsson & Fahlvik 2006). För simuleringarna skattades utgångslägen vid övre höjden 11 m med hjälp av data från förbands- och röjningsförsök (Ulvcroona opubl) och med data från gallrings och gödslingsförsök (Eriksson & Karlsson 1997). Alla bestånd hade i utgångsläget 2000 stammar ha⁻¹. Grundytan i utgångsläget varierade för olika ståndortsindex (SI) och beräknades med hjälp av funktioner som tagits fram med hjälp av data från förbands-, röjnings- och gallringsförsök. Beståndens utveckling skattades med ett gallringsprogram innehållande två gallringar, varav den första gjordes vid ca 13 m övre höjd och den andra vid ca 16 m övre höjd. Båda gallringarna hade karaktär av låggallring. Den andra gallringen hade gallringskvot 0.8 medan gallringskvoten i den första gallringen var 0.9-0.95 på grund av stickvägsupptagning. Beståndens täthet efter gallring var något högre än vad som rekommenderas i Skogsstyrelsens gallringsmallar för att beståndens täthet inte väsentligt skulle påverka totalproduktionen. Efter den andra gallringen simulerades beståndets utveckling till medeltillväxtens kulmination, vilken härnäst betecknas produktionsnivå (P).

Regressionsfunktioner med P som beroende variabel och SI som oberoende variabel skattades för gran och tall. Dessutom skattades regressionsfunktioner med SI som beroende och P som oberoende variabler. Slutligen skattades separata regressionsfunktioner för total produktion vid totalåldrarna 15-95år med 10 års intervall.

Grankloner, contorta, sitka och lärk

Produktionen för planteringar med grankloner samt sitka- och contortaplanteringar beräknas på liknande sätt som ovan. Planteringar med grankloner och sitka antogs ge samma produktionsvinst jämfört med plantering av fröförökad gran. Produktionsvinsten för kloner beräknades genom att ansätta förädlingsvinster som tagits fram av Rosvall & Wennström (2008) och produktionen för sitkaplanteringar beräknades på samma sätt. Produktionen för contortaplanteringar antogs vara 40% högre än för tallplanteringar utan förädlingsvinst. Till det ansattes en förädlingsvinst enligt Rosvall & Wennström (2008). Med hjälp av denna korrigerade produktionsnivå beräknades ett nya justerade SI med hjälp av regressionsfunktioner som beskrivs ovan. Därefter beräknas totalproduktion efter

totalåldern 15-95 år i steg på tio år med regressionsfunktioner med det korrigerade SI som oberoende variabel.

Produktion för lärkplanteringar skattades med hjälp av produktionstabeller som upprättats med hjälp av data från experiment och praktiska planteringar i södra Sverige.

Produktionen för tall och granplanteringar justerades för förädlingsvinster (Roswall & Wennström 2008) på liknande sätt som för grankloner.

Konventionell gödsling och askgödsling på torvmark

Produktionseffekten av konventionell gödsling i mogna tall- och granbestånd beräknades med hjälp av gödslingsreaktionsfunktioner (Pettersson 1984 a,b). Produktion för bestånd där gödsling kombinerades med antingen grankloner eller contorta beräknades genom att först beräkna ett justerat SI för granklon respektive contorta enligt ovan och därefter lägga på gödslingsreaktionen. Gödsling av contorta antas ge samma produktionseffekt som gödsling av tall. De gödslingsreaktionsfunktioner som används vid gödsling för tall används därför också för gödsling av contorta men med justerat ståndortsindex. Askgödsling på torvmark antogs ge en produktionsökning om $25 \text{ m}^3 \text{sk ha}^{-1}$ under en tioårsperiod.

Behovsanpassad gödsling (BAG)

För simulering av effekten av behovsanpassad gödsling användes data från näringsoptimeringsexperimenten i Flakaliden och Asa (Bergh *et al.* 1999; Bergh *et al.* 2005). För respektive försöksområde anpassades ett utgångsläge och SI så att DT på ett riktigt sätt skattade tillväxten för de fastgödslade ytorna. Därefter användes detta utgångsläge för att skatta totalproduktion vid totalåldern 25, 35, 45, 55 och 65 år för dessa provytor med samma gallringsprogram som beskrivits ovan. Den skattade totalproduktionen reducerades med 10% för att kompensera att gödsling skedde vart annat år istället för varje år som i experimenten, och för att gödslingen i praktiken inte får samma jämna spridning som i kontrollerade försök. För kontrollytorna i Flakaliden var SI G22 medan SI för de ogödslade ytorna i Asa var G32. Produktionsnivån vid BAG i bestånd med SI mellan Flakalidens och Asas SI antogs vara linjärt beroende av SI. Då plantering av grankloner kombinerades med BAG beräknades först ett justerat SI för granklon enligt beräkningsgången som beskrivits tidigare. Med det justerade SI-värdet beräknades sedan produktion för BAG.

Omloppstid

Beståndens omloppstid sattes till den tidpunkt när medeltillväxten uppgick till 95% av medeltillväxtens kulmination för gran, sitkagran och lärk medan tall och contorta slutavverkades vid den tidpunkt när medeltillväxten kulminerade (Tabell 2.3.4:3). Den tidigare slutavverknings-tidpunkten för gran, sitka och lärk motiveras av hänsyn till risk för storm- och rotröteskador.

Justering av tillväxt på grund av förändrat klimat

Tillväxten justerades med hänsyn till framtida klimatförändringar genom att använda de tillväxtkvoter som tagits fram i SKA-VB 08. För varje period beräknades en ojusterad tillväxt som sedan justerades med period- och regionspecifika korrektionsfaktorer för gran respektive tall. För contorta användes korrektionsfaktorer för tall medan korrektionsfaktorer för gran användes för sitka och lärk. Totalproduktionen beräknades sedan genom att addera denna justerade tillväxt till totalproduktionen vid föregående period.

2.3.6 Nationella scenarier för intensivodling

Ett antal scenarier definierades för att spegla skillnader i val av skötselmetoder, införandehastighet och fördelning på olika markägarkategorier. De scenarier som analyserades var:

- *Bassscenario*. Syftet med scenariot var att minimera påverkan på naturvärdena vid intensivskogsbruk. Valet av mark för intensivodling gjordes helt utifrån naturvårdspoäng och inriktades hela tiden på tillgänglig mark med så låg naturvårdspoäng som möjligt.
- *Snabbast införande*. Scenariot avsåg att illustrera ett produktionsalternativ där intensivodling införs under en kortare tidsperiod för att snabbt ge produktionseffekter. Ingen hänsyn togs till naturvårdspoäng vid val av mark för intensivodling. Det har dock inte heller funnits någon ambition i detta alternativ att styra intensivodlingen mot marker med högre tillväxteffekter.
- *Ingen BAG*. Scenariot syftade till att visa på effekterna av ett intensivskogsbruk utan behovsanpassad gödsling av gran (BAG). I övrigt valdes ytor enligt samma princip som i basscenariot.
- *Storskogsbruk*. Scenariot syftade till att analysera effekterna av ett intensivskogsbruk där ambitioner och satsningar är mera uttalade hos storskogsbruket jämfört med de enskilda skogsägarna. Här förlades 70 % av den totalt intensivodlade arealen till storskogsbrukets marker samtidigt som BAG enbart används på dessa marker. I övrigt användes samma princip för val av ytor med hänsyn till naturvårdspoäng som angivits ovan för basscenariot.

I samtliga scenarier togs 15 % av den produktiva skogsmarken i bruk för intensivodling. För utvärderingen av de olika scenarierna användes riksskogstaxeringens ytor. Efter att den totala skogsmarksarealen justerats för areal som på grund av höga naturvärden inte är tillgänglig för intensivodling av skog enligt de kriterier som anges i avsnitt 2.3.4, gjordes ett urval av lämplig areal för respektive skötselmetod som ingick i aktuellt scenario. De kriterier som satts upp för respektive skötselmetod presenteras i Tabell 2.3.5:1. Baserat på dessa kriterier, tillsammans med uppgifter som ståndort och beståndskaraktär för riksskogstaxeringens ytor, identifierades potentiell areal för respektive metod. Enbart areal som blev tillgängliga inom en 50-årsperiod inkluderades. Ytorna ansågs vara tillgängliga för intensivodling om befintligt bestånd motsvarade kraven för aktuell metod eller om det befintliga beståndet avverkades.

På ytor som var lämpliga för mer än en skötselmetod gjordes följande prioritering:

- Hybridlärk och sitkagran valdes före övriga metoder. Den areal som var lämplig för båda trädslagen delades lika.
- Contorta valdes före BAG och klonskogsbruk av gran om SI för gran var mindre än 22 m. Vid högre SI prioriterades BAG och klonskogsbruk framför contorta.

Askgödsling förekom enbart på torvmark och överlappade således inte med övriga metoder. Ingen areal avgränsades specifikt för fastmarksgödsling. Fastmarksgödsling tillämpades i bestånd av gran och tall där så var lämpligt fram till dess att arealen togs i bruk för någon av de övriga skötselmetoderna. Fastmarksgödsling förekom också i kombination med klonskogsbruk av gran samt contortaodling. Då BAG tillämpades användes alltid vegetativt förökad föryngringsmaterial av gran.

När den potentiella arealen för respektive skötselmetod identifierats gjordes urvalet enligt de olika scenarierna. Följande gällde:

- *Bassscenario*. Givet de potentiella arealer som valts ut för de olika skötselmetoderna, så valdes ytor för intensivodling helt utifrån naturvårdspoäng, där valet skedde med början på de ytor

som har de lägsta poängen. En vald yta togs i anspråk för den skötselmetod som med hänsyn till ståndortsförhållandena var lämpligast. Fördelningen av intensivodlingsarealen på olika skötselmetoder bestämdes således av ytornas fördelning på naturvårdspoäng och deras ståndortsegenskaper.

- *Snabbast start.* Givet de potentiella arealer som valts ut för de olika skötselmetoderna, så valdes de ytor som först blev tillgängliga för intensivodling. En vald yta togs i anspråk för den skötselmetod som med hänsyn till ståndortsförhållandena var lämpligast. Fördelningen av intensivodlingsarealen på olika skötselmetoder bestämdes således av när ytorna blev tillgängliga samt deras ståndortsegenskaper.
- *Ingen BAG.* BAG ingick inte som skötselmetod. I övrigt som för basscenariot.
- *Storskogsbruk.* BAG ingick inte som skötselmetod på privat mark. Andelen privat mark begränsades till 30 % av den totala intensivskogsarealen. I övrigt som för basscenariot.

Utöver skogsmarken tillkom nedlagd jordbruksmark i samtliga scenarior. Här användes genomgående samma scenario för utnyttjande av nedlagd jordbruksmark som i referensscenariot i SKA-VB 08.

En separat studie gjordes för att se hur olika omfattning av intensivodling påverkade arealens fördelning på skötselmetoder och naturvårdspoäng, då urvalet gjordes i enlighet med basscenariot. Den omfattning av intensivodling som testades var 5, 10 och 20 % av den produktiva skogsmarken samt all potentiell intensivodlingsareal under etableringsperioden.

Tabell 2.3.5:1. Kriterier för ståndort och bestånd för olika intensivodlingsmetoder

	Behovsanpassad gödsling av gran	Klonskogsbruk med gran	Contorta	Lärk	Sitkagran	Askgödsling på torvmark	Fastmarks-gödsling
Latitud	-	-	-	<58°	<59°	-	-
Longitud	-	-	-	>13°30' om latitud >57°	>13°30' om latitud >57°	-	-
Höjd över havet	-	-	-	<300 m	<300 m	-	-
Textur	Sandig-moig morän och finare	Sandig morän och finare	Sandig-moig morän och grövre	Sandig-moig morän och grövre	Sandig-moig morän och grövre	-	Sandig-moig morän och finare
Jorddjup	Mäktigt till tämligen grunt jorddjup	Mäktigt till tämligen grunt jorddjup	Mäktigt till tämligen grunt jorddjup	Mäktigt till tämligen grunt jorddjup	Mäktigt till tämligen grunt jorddjup	-	Mäktigt till tämligen grunt jorddjup
Fuktighet	Frisk mark	Frisk till frisk-fuktig mark	Torr till frisk mark	Frisk mark	Frisk mark	-	-
Torvmark	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Ja	Nej
Fältskikt	-	-	Blåbär och sämre	Ej högört	-	Ej örttyper och ej fattigris	-
Bottenskikt	Ej lavtyp						
SI	G20-G30	>G26	-	>G28	>G28	-	16-30
Övrigt	Grandominerad ungskog	-	H.ö.h < 600 m om lat >62°	-	-	Förstagallrings-skog och äldre på tidigare dikad mark	Barrdominerad förstagallrings-skog eller äldre

SI=Ståndortsindex (H100) (m)

3. Kunskapssammanställning – skötselmetoder vid intensivodling av skog

Baserat på den samlade kunskap som kommit fram i projektet och inledningsvis genomförda översiktliga produktionsberäkningar, delades skötselmetoder inom delprojekt 2 in i tre grupper där gruppindelningen bygger på en bedömning av möjligheterna för en storskalig tillämpning av de enskilda skötselmetoderna.

Grupp 1. Tillräckligt beprövade skötselmodeller för storskalig tillämpning

- Fastmarksgödsling av medelålders och äldre tall- och granskog.
- Behovsanpassad gödsling av unga granbestånd (BAG), med och utan användning av förädlat material.
- Klonskogsbruk med gran.
- Odling av contortatall på fastmark.
- Odling av hybridasp på åker- och skogsmark.
- Odling av *Salix* på jordbruksmark.
- Dikning, dikesrensning och gödsling av nedlagd jordbruksmark och torvmark med låga naturvärden.

Grupp 2. Skötselmodeller som kräver forsknings-/utvecklingsinsatser men som ändå kan startas i begränsad skala

- Odling av lärk och sitkagran på åker- och skogsmark.
- Gödsling av contortaskog på fastmark.

Grupp 3. Skötselmodeller som bedöms kräva mera omfattande forsknings-/utvecklingsarbete före framtida storskalig tillämpning

- Poppelodling på åker- och skogsmark.
- Gödsling av lövskog (björk-, asp- och alskog) med eller utan användning av förädlat material.

Där inget annat anges, förutsätts det som redovisas i nedanstående genomgång och beskrivning av de enskilda skötselmetoderna gälla för både skogsmark och nedlagda jordbruksmarker. Redovisning av skötselmetoder som enbart har relevans för något av markslagen anges i särskild ordning. Detta gäller t ex för *Salix*-odling som i praktisk tillämpning bara kan rekommenderas på jordbruksmark.

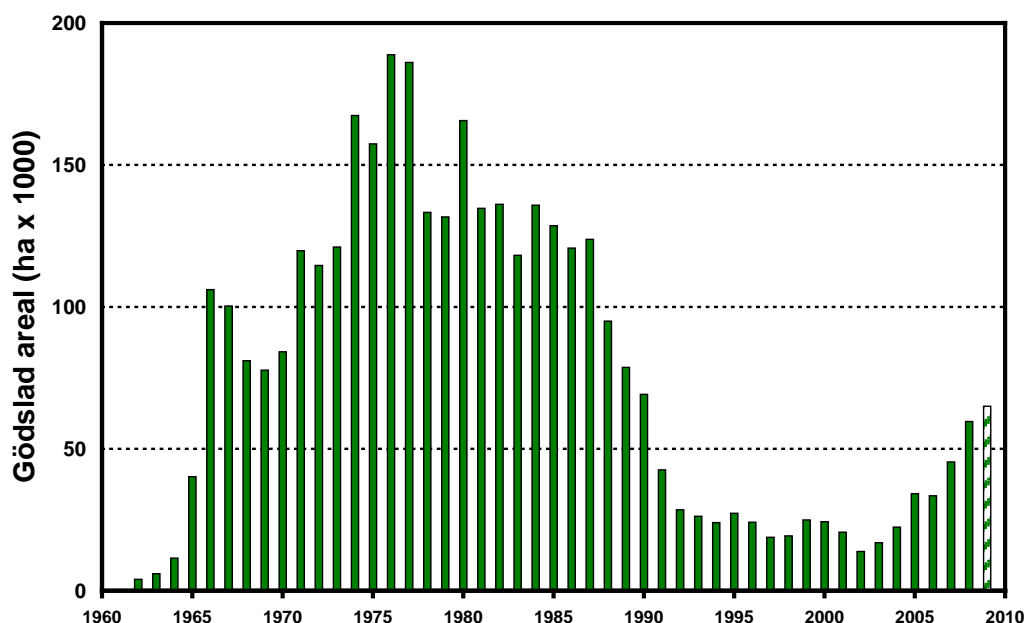
3.1 Tillräckligt beprövade skötselmodeller för storskalig tillämpning

3.1.1 Fastmarksgödsling av medelålders och äldre tall- och granskog

Gödsling av fastmark är en produktionshöjande åtgärd som snabbt kan öka skogens tillväxt. Skogsgödsling syftar till att genom tillförsel av oorganiskt kväve öka den ekonomiska avkastningen från ett skogsbestånd. I rätt typ av bestånd är skogsgödsling en lönsam åtgärd med hög förräntning på investeringskostnaden. Praktisk skogsmarksgödsling utförs idag främst i medelålders och äldre barrdominerad skog som växer på fastmarker. Gödsling med en standardgiva 150 kg N ha⁻¹ i form av ammoniumnitrat i lämpliga tall- eller granbestånd ger i genomsnitt en tillväxtökning på 10 – 20 m³sk ha⁻¹ under en period på 7 – 11 år.

Gödsling innebär emellertid en risk för att negativa miljöeffekter kan uppstå. Flora och fauna kan påverkas och skogsmarkens ökade utbud av växtnäring efter gödsling kan leda till att näringsämnen utlakas till angränsande yt- och grundvattensystem. För att undvika att negativa miljöeffekter uppstår är det viktigt att gödsling anpassas till ståndortsförhållandena och att hänsyn tas till naturvärden samt att rekommendationer om val av gödselmedel och rutiner för spridning beaktas.

Skogsgödsling i praktisk skala introducerades i svenskt skogsbruk i början av 1960-talet. Från en i starten blygsam skala, ökade gödslingen snabbt i omfattning och nådde redan i mitten av 1960-talet en årlig areal på ca 100 000 ha (Figur 3.1.1:1). I mitten på 1970-talet gödslades nästan 200 000 ha per år, främst hos dåvarande Domänverket och ett antal större skogbolag. Därefter minskade skogsgödslingens omfattning successivt, främst av miljöskäl. Vid slutet av 1990-talet skogsgödslades i Sverige endast ca 20 000 ha årligen men under de senaste åren har den gödslade arealen ökat något och är idag ca 60 000 ha.



Figur 3.1.1:1. Arealen gödslad skogsmark under perioden 1962 – 2008. Arealen för 2009 är en uppskattad areal. (Källa: Skogstatistisk årsbok 2008)

Forskning

Resultat från forskning och fältförsök visade tidigt att traditionell skogsgödsling med andra växt-näringsämnen såsom fosfor och kalium inte gav några ekonomiskt intressanta tillväxteffekter jämfört med ren kvävegödsling (Hagner *et al.* 1966; Nohrstedt 1990; Pettersson 1994). Omgödsling med kväve i tallskog på svagare marker i Norrland uppvisade på 1970-talet tillväxtstörningar i form av döda toppknoppar och barrförluster föranledda av borbrist (Albrektson *et al.* 1977).

Användning av ammoniumnitrat som gödselmedel har gett bättre tillväxteffekter jämfört med urea (Pettersson 1994). Förurning av ytvatten efter gödsling med ammoniumnitrat har emellertid lett till en successiv övergång till användning av kalkammonsalpeter (Nohrstedt 1988). Vid omgödsling ledde ca 10-åriga intervall till högre tillväxteffekter jämfört med 4 - 6 åriga intervall (Pettersson 1987; 1990; Jacobson & Nohrstedt 1993) och uppdelad gödslingsgiva gav något lägre tillväxteffekter än engångsgiva (Eriksson 1982; Pettersson 1984, 1986, 1994). Långsamverkande gödselmedel gav markant lägre tillväxteffekter än standardmedlen urea och ammoniumnitrat (Eriksson 1981).

Stamformen påverkas inte av engångsgödsling i medelålders och äldre tall och granskog (Friberg 1974) men försämras i ungskog av tall och contortatall (Pettersson 1985). Grundytetillväxtreaktionen efter gödsling är procentuellt sett i stort sett lika i alla diameterklasser (Pettersson 1980, 1981). Gödslingen ger grövre virke genom ökad årsringsbredd med liten effekt på veddensiteten.

Skogsmarksgödslingens miljöeffekter har nyligen varit föremål för en genomgång (Högbom & Jacobsson 2002). Där konstaterades att rätt utförd gödsling med kväve inte ger några påtagliga skador på miljön. Kvävegödsling ger större barrbiomassa vilket ökar tillväxten med 25 - 50% under ca 10 år varefter tillväxten återgår till samma nivå som före gödslingen. Markvegetationen förändras, bland annat kan mossor och lavar minska, blåbär och lingon kan öka eller minska, gräs ökar oftast och mångfalden av mykorrhizasvamparter minskar. Förråden av kol och kväve i marken ökar, pH-värdet i humus sjunker, kväveminerialiseringen påverkas inte men kväveläckaget kan öka. Slutsatsen är att rätt utförd kväve-gödsling är en relativt harmlös åtgärd som inte skadar markens naturliga markprocesser eller långsiktiga produktionsförmåga, andra ekosystem eller den biologiska mångfalden.

Praktisk tillämpning

På merparten av den svenska skogsmarken begränsas skogens tillväxt av tillgången på kväve (Tamm 1991). Gödsling med kväve ger därför på de allra flesta marker en markant tillväxtökning. Efter gödsling ökar kvävehalten i barren och barmmassan byggs ut vilket leder till en ökad fotosyntesproduktion och därmed högre stamvedstillväxt. En större barmmassa hos träden och en ökad tillväxt leder i sin tur till ett ökat förnfall. Detta ger på längre sikt en ökad cirkulation av växt-näringsämnen mellan mark och träd, en ökad marbiologisk aktivitet och från produktionsekologisk synpunkt en gynnsammare markmiljö. Rätt utförd gödsling kan därför på längre sikt betraktas som en god markvårdsåtgärd.

Genom att vid gödsling tillföra handelsgödselmedel ökas markens utbud av tillgänglig växt-närning. Av det tillförda kvävet tas emellertid i regel mindre än hälften upp av träden. Resterande del av kvävet fastläggs i övrig vegetation och mark eller går förlorat, främst genom utlakning av nitrat vilket kan leda till negativa effekter på angränsande yt- och grundvattensystem.

Traditionell skogsgödsling utförs som kvävegödsling av medelålders- och äldre barrskog på fastmark. Ofta sker detta i form av en engångsgiva om ca 150 kg N ha⁻¹ med en beräknad merproduktion av 10 - 20 m³sk ha⁻¹ under 7 - 11 år, beroende av trädslag.. Gödslingen ger en tillväxtökning vars storlek beror på bestånds- och ståndortsförhållanden. Vid jämförbara förhållanden i övrigt blir gödslingseffekten något högre hos gran än tall. Den kortvarigaste tillväxtökningen får man i ung tallskog i södra Sverige och den mest långvariga i gammal granskog på svag mark i Norrland. Gödslingseffektens storlek kan

beräknas med hjälp av prognosfunktioner. Som hjälpmedel för praktisk gödsling finns en handledning för skogsgödsling (Jacobson *et al.* 2005) och verktyg för att göra gödslingskalkyler för enskilda bestånd finns på ”Kunskap direkt” <www.skogforsk.se>.

Teknik för spridning

Spridning av gödselmedel sker normalt från helikopter eller traktor. Spridning med traktor är vanligast i privatskogsbruket och i mindre bestånd med oregelbunden arrondering samt där man önskar en noggrann ståndortsanpassning av åtgärden. Spridning från luften används på större samlade gödslingsarealer, främst inom storskogsbruket.

Skogsstyrelsen har utfärdat allmänna råd till ledning för kvävegödsling på skogsmark (Anon. 2007). Enligt dessa råd bör kvävegödsling inte ske i södra och västra Götaland. I östra Götaland kan gödsling med 150 kg N ha⁻¹ utföras i granskog där GROT (grenar och toppar) tas tillvara vid avverkning. Under en omloppstid bör i Svealand tillföras max 300 kg N ha⁻¹ och i Norrland högst 450 kg N ha⁻¹.

Det ekonomiska utbytet av en rätt utförd kvävegödsling är mycket god genom att åtgärden ger mer volym och grövre virke. Gödsling kan ge en förräntning på i storleksordning 7 - 15% på den nedlagda investeringskostnaden vid en engångsgödsling före slutavverkning. Vid gödsling tidigare under omloppstiden, och med mer omfattande gödslingsprogram, sjunker den årliga förräntningen. Totalt har den kvävegödsling som gjorts i Sverige genererat en merproduktion av 40 - 50 miljoner m³sk eller exportinkomster på 30 - 50 miljarder kr (Ståhl 2009).

Rekommendationer för traditionell kvävegödsling på fastmark

- För att uppnå bästa tillväxteffekt av gödsling, samtidigt som risken för negativa miljöeffekter minimeras, är det angeläget att gödslingen ståndortsanpassas.
- Gödsling bör främst ske på svaga till medelgoda ståndorter (G16 - G30) i medelålders och äldre frisk och välsluten tall- och granskog på fastmark där minst 80% av grundytan skall vara barrträd.
- Från gödsling bör man undanta marker med bättre ståndortsindex (> G30), stabila brunjordar, välförmultnad kärrtorv (10 - 20 cm tjock), kraftig skenhälla och sandmarker i östra Skåne.
- Gödsling bör utföras minst 10 år före planerad slutavverkning. Vid upprepad gödsling bör effekten av den föregående gödslingsgivan ha ebbat ut. Det bör vara minst 10 år mellan varje gödslingstillfälle. Främst bör man gödsla i nygallrade bestånd.
- Spridning av gödselmedel bör ske under vår och försommar. Gödsling bör undvikas om marken är vattenmättad efter perioder med hög nederbörd. Gödsling skall ej göras på tjälad eller snötäckt mark.
- Man bör inte gödsla i bestånd med känslig flora eller fauna såsom våtmarker med höga naturvärden, formellt skyddad mark och nyckelbiotoper. Man bör avsätta en skyddszon på minst 25 m bredd.
- Gödsling får aldrig ske direkt i sjöar eller vattendrag, på annans mark eller tomtmark. Det är viktigt att lämna en skyddszon med minst 25 m bredd eller minst 10 m mot annans mark och väg.

Abiotiska skador

Risken för vindskador ökar efter gödsling på grund av snabb utbyggnad av barrbiomassan, vilket leder till tyngre kronor, förhöjd tyngdpunkt och yvigare barrskrud. Speciellt de närmaste åren efter

gödslingstillfället är vindrisken förhöjd (Laiho 1989). Risken för snöbrottskador efter gödsling drabbar främst träd med ensidiga kronor, speciellt uttalat för bestånd av contortatall.

3.1.2 Behovsanpassad gödsling av unga granbestånd

Principerna för balanserad näringstillförsel (BAG)

Utgångspunkt för den behovsanpassade gödslingen (BAG) är att samtliga näringsämnen skall tillföras i den takt och mängd som träden behöver dem. Principen bygger på fyra antaganden; 1) Optimal "vitalitet" och tillväxt hos en växt kan endast förekomma ifall samtliga essentiella växtnäringsämnen föreligger i rätt proportioner; 2) Inom en stor variationsbredd av näringskoncentrationer i växten är det inte koncentrationen av näringsämnet i sig som avgör dess "vitalitet" utan ämnets koncentration i förhållande till kvävekoncentrationen är minst lika viktig; 3) För att optimera biomassaproduktionen i ett givet klimat bör samtliga essentiella näringsämnen tillföras i förhållande till beståndets näringsbehov. Mängden bör om möjligt också anpassas till aktuell näringstillgång i marken (mineraliseringshastighet minus fastläggning) samt upptag av konkurrerande vegetation; 4) De optimala proportionerna mellan näringsämnen är lika för alla högre växter och kan definieras i förhållande till kväve.

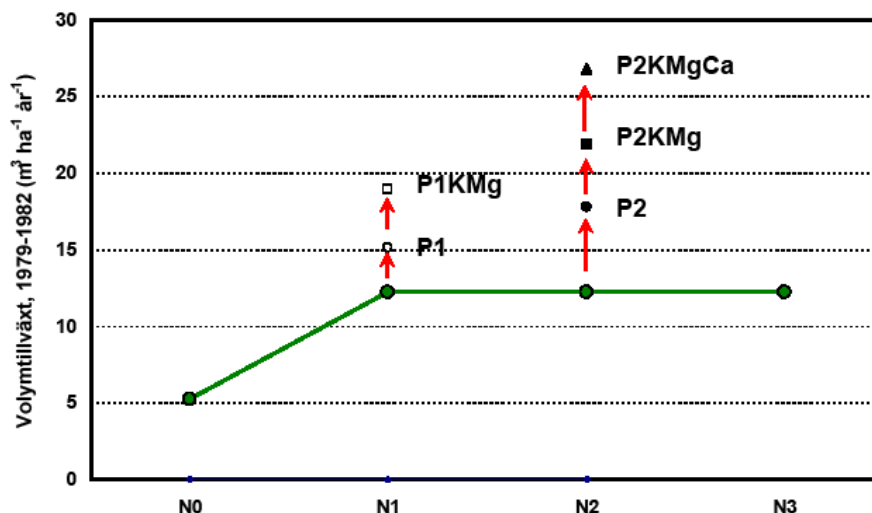
För att i praktiken kunna applicera BAG krävs en diagnostisk bladanalys för att fastställa kvävestatus samt andra ämnens aktuella proportioner till kvävet. För att sedan beräkna den initiala gödselgivan behövs en uppskattning av hur mycket, och vilken sammansättning av gödselmedel som krävs för att uppnå rekommenderade "börvärden" i relation till stående biomassa och förväntad tillväxt. Med nuvarande kunskap och teknik kan ingen hög precision erhållas i dessa uppskattningar utan en förnyad diagnostisk provtagning krävs för att inför nästa gödslingstillfälle kunna ytterligare finjustera mängd och sammansättning av gödselgivan. Exempel på hur detta genomförts i långliggande försök och i halvpraktisk skala redovisas nedan. Där visas också hur man genom BAG, trots höga gödselgivor (> 1000 kg N ha⁻¹) kan undvika eller minimera näringsläckage.

Forskning

Henrik Hesselman var en av de första svenska skogsforskarna som tidigt intresserade sig för kväveomsättningen i skogsmark (Hesselman, 1917). Han var också den förste som experimentellt tillförde kvävegödselmedel i skogsbestånd. Även om ytorna oftast var små, och utan upprepningar, och gödselgivorna ibland för höga, så var behandlingseffekterna drastiska (Romell & Malmström 1945). Det tog dock ända fram till mitten av 1950-talet innan man vid Skogsforskningsinstitutet anlade väl designade "intensiva" gödslingsförsök med årliga givor av kväve och andra näringsämnen i två unga granbestånd (Tamm 1968). Målet med dessa försök var att försöka fastställa den optimala barrkvävehalten hos gran samt i vilken omfattning som andra näringsämnen (P, K) påverkade tillväxten. Resultaten visade att en optimal barrhalt av kväve var omkring 1,5% av torrvikten. Effekten av PK var inte lika klar även om det fanns en signifikant effekt på volymtillväxten. Försöken visade dock klart på behovet av långsiktiga fältexperiment för att fastställa biomassaproduktionen i skogsekosystem vid optimal näringstillgång samt att fastställa eventuellt negativa effekter av behandlingarna i form av markförurning, näringsläckage och förändrad biodiversitet.

Med detta som bakgrund anlade Carl Olof Tamm under perioden 1967 – 1974 de "Skogligen bördighetsförsöken" (Tamm *et al.* 1974ab) som bestod av långsiktiga experiment i unga bestånd av gran (Stråsan och Åseda) och tall (Lisselbo och Norrliden). Experimenten var faktoriella med årliga gödslingar med kväve (tre nivåer) kombinerat med övriga makronäringsämnen som gavs vart annat eller vart tredje år (enskilt eller i kombination). Experimenten visade än en gång att kvävetillgången kraftigt begränsar tillväxten i de flesta nordliga barrskogar. När kvävebehovet uppfyllts ökade dock inte tillväxten om inte övriga näringsämnen också tillförts (Figur 3.1.2:1)

Bördighetsförsöken har genererat en stor mängd ny kunskap om näringsdynamiken i barrskogsekosystem och hur manipulering av näringstillgången påverkar biomassaproduktion, virkesegenskaper, markbiologi, markkemi, markvatten och övrig vegetation. Listan över vetenskapliga publikationer från experimenten är mycket omfattande men en god start kan vara att läsa Tamm (1985, 1991), Aronsson *et al.* (1999), Tamm *et al.* (1999) och Högberg *et al.* (2006).



Figur 3.2.1:1. Den årliga volymtillväxten ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$) i Stråsan under perioden 1979 – 1982 vid tre kvävegödslingsnivåer (N1, N2, N3) och olika mängder av P, K, Mg, Ca. Behandlingarna påbörjades 1967 och fram till 1982 hade N1-ytorna gödslats med 750 kg N ha^{-1} och N2- och N3-ytorna med dubbelt, respektive tre gånger så mycket. (Efter Linder 1990)

En central insats för utvecklingen av kunskapen om skogsträdens växtnäringsbehov är den forskning som utfördes av Torsten Ingestad. Hans studier av skogsplantors tillväxt vid optimal och begränsad näringstillgång lade grunden till det som idag kallas behovsanpassad gödsling (BAG). Han fastställde det optimala näringsbehovet för barrträdplantor (exv. Ingestad 1959, 1979b), björk (Ingestad 1971, 1979a) och ett flertal andra växter (Ingestad 1977). Baserat på dessa resultat utvecklades en komplett näringslösning som användes i många av landets plantskolor.

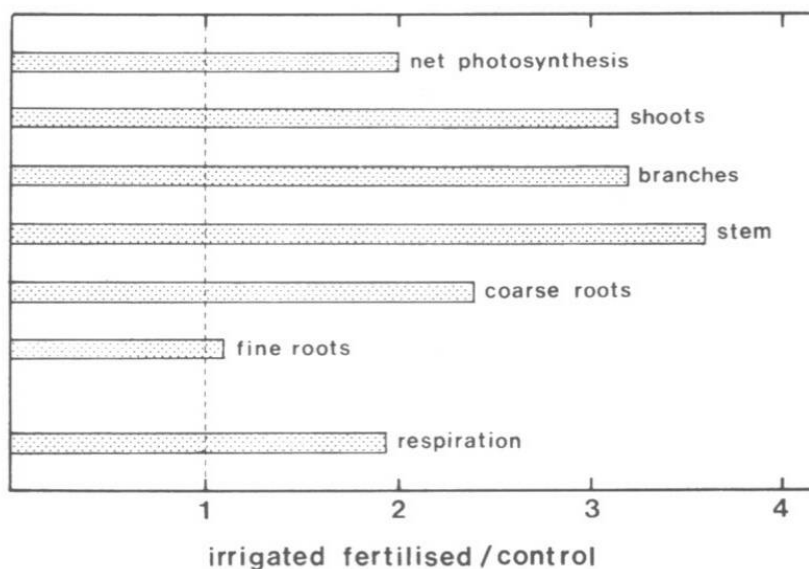
I början på 1970-talet initierades ett stort skogligt forskningsprojekt "Barrskogslandskapets ekologi" (Persson 1980) vars mål var att studera en nordlig barrskogs struktur och funktion. Bland de experiment som anlades var ett näringsoptimeringsförsök i ett ungt tallbestånd (Aronsson *et al.* 1977; Aronsson & Elowson 1980). Experimentet var inte ett traditionellt gödslingsförsök utan avsikten var att skapa bestånd med olika näringsstatus och tillväxthastighet som kunde utnyttjas i ekofysiologiska forskningsprojekt avseende kol-, vatten- och näringsdynamik.

En komplett näringslösning tillfördes bestånden varje dag under tillväxtsåsen. Trädens näringsstatus följdes med barranalyser och den årliga mängden applicerat gödselmedel anpassades för att upprätthålla optimal kvävestatus. Däremot gjordes ingen justering av näringslösningens sammansättning. Inga försök gjordes heller för att anpassa den årliga givan för att undvika näringsläckage, det vill säga att behandlingen var en tillväxtoptimering snarare än en behovsanpassad gödsling.

Tillväxteffekterna av näringsbevattning var kraftiga och sex år efter att behandlingen påbörjats var stamvedsproduktion nästan fyra gånger högre på de näringsbevattnade ytorna jämfört med kontroll-tytor. Ökning i stamvedstillväxt kunde inte enbart förklaras av en ökad fotosyntesproduktion utan en kraftig förändring av allokeringen av det bundna kolet hade också skett med en markant ökning till de ovanjordiska biomassakomponenterna (Figur 3.1.2:2). Den relativa kostnaden för markprocesserna

(% av den årliga fotosyntesproduktionen) minskade från två tredjedelar i kontrollbestånden till en tredjedel i de näringsoptimerade.

Det internationella intresset för experimenten i Jädraås var stort och under 1980-talet anlades experiment enligt den "Svenska modellen" med *Pinus radiata* i Australien (Linder *et al.* 1987) och *Eucalyptus globulus* i Portugal (Pereira *et al.* 1989; 1994). Liksom i Jädraås gav näringsoptimering en mycket kraftig ökning av stamvedsproduktionen och översteg klart befintliga produktionstabeller.



Figur 3.1.2:2. Effekten av näringsbevattning på den årliga fotosyntesproduktionen och fördelningen av assimilant på olika biomassakomponenter i 20-åriga tallbestånd i Jädraås. De redovisade värdena är det relativa förhållandet mellan näringsoptimerade och obehandlade bestånd. Mätningarna utfördes sex år efter att behandlingen påbörjats (Linder & Axelsson 1982).

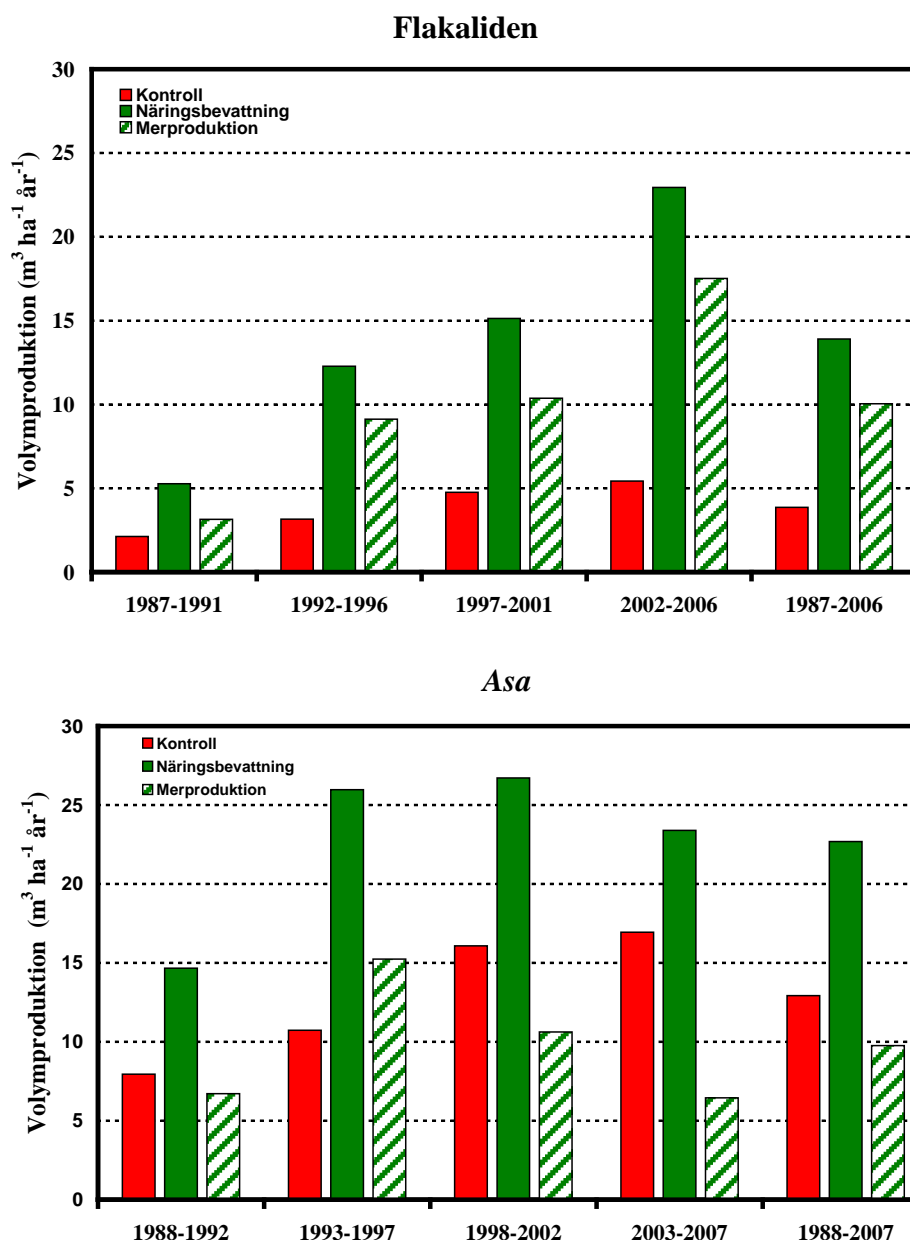
I slutet av 1980-talet anlades en ny generation produktionsoptimeringsexperiment i unga granbestånd i Västerbotten (Flakaliden) och Småland (Asa) vilka fortfarande (2009) pågår. Målet med dessa experiment är att fastställa den potentiella produktionskapaciteten hos gran då endast klimatet och genetiken sätter begränsningarna (Linder 1990; Linder & Flower-Ellis 1992). Till skillnad från de tidigare försöken ingår också ett krav på att näringsläckage skall undvikas. Två näringsoptimeringsled ingår i experimentet, ett där en komplett näringslösning (IL) ges varannan dag under tillväxtsäsongen (juni – augusti) och ett där en komplett mix av fasta gödselmedel (F) ges årligen i början av växtsäsongen. Bevattninng sker för att hålla markvattentillgången på en icke tillväxtbegränsande nivå.

Beståndens näringsstatus följs med barranalyser under året och jämförs med uppsatta "börvärden" (Linder 1995). Baserat på denna information anpassas sedan mängd och sammansättning av närings-tillförseln under det kommande året. Trots de stora mängder kväve (> 1100 kg N ha⁻¹) och andra näringsämnen (Tabell 3.1.2:1) som tillförts har inga eller ytterst små näringsmängder uppmäts i markvattnet (Grip 2006).

Tabell 3.1.2:1. Mängden makronäringsämnen (N, P, K, Ca, Mg och S) som tillförts de näringsbevattnade (IL) och fastgödslade (F) bestånden i Flakaliden och Asa under perioden 1987 – 2003. Den årliga mängden och sammansättningen av gödselmedlet avpassades i relation till barrhalter och börvärden. För ytterligare information se Linder (1995) och Bergh *et al.* (1999)

Ämne Behandling	Kväve		Fosfor		Kalium		Kalcium		Magnesium		Svavel	
	IL	F	IL	F	IL	F	IL	F	IL	F	IL	F
Flakaliden	1350	1300	212	232	592	592	79	113	116	125	53	137
Asa	1100	1100	346	344	674	687	72	71	165	189	99	206

Effekten av den behovsanpassade gödningen (BAG) gav drastiska effekter på volymtillväxten under den första femårsperioden i såväl Flakaliden som Asa (Figur 3.1.2:3). Inledningsvis var behandlingseffekten lika stor i fastgödselledet som med näringsbevattning. Under de följande åren, när bestånden nått full slutenhet, var det dock i Asa en effekt av bevattning, där produktionen vissa år reducerades på grund av låg nederbörd. En stor del av den ökade stamvedsproduktionen berodde på en förändrad fördelning av assimilerat kol till biomassa över och under mark (Bergh *et al.* 1999).



Figur 3.1.2:3. Årlig stamvedsproduktion i unga granbestånd med behovsanpassad gödsling (BAG) i Flakaliden (Västerbotten) och Asa (Småland) uttryckt som årlig volymproduktion ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$) per femårsperiod under försökens första 20 år. Den årliga merproduktionen för respektive period visas med streckade staplar. Resultaten avser obehandlade kontrolltytor och tytor som näringsbevattnats varannan dag under tillväxtsången (juni – augusti).

På Flakaliden ökade den årliga volymproduktionen stadigt under de första 20 åren (1987 – 2006) men i Asa nåddes maximum efter 15 år (Figur 3.1.2:3). Det var en nedgång i produktion i samtliga behandlingsled i Asa under den sista femårsperioden. Orsaken är troligen ”sviter” efter stormen Gudrun samt en massiv kottsättning vilket tillsammans reducerat barrmassan och därmed också produktionen. Den genomsnittliga merproduktionen under de första 20 åren av BAG har varit $10 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ i såväl Flakaliden (G22) som i Asa (G32).

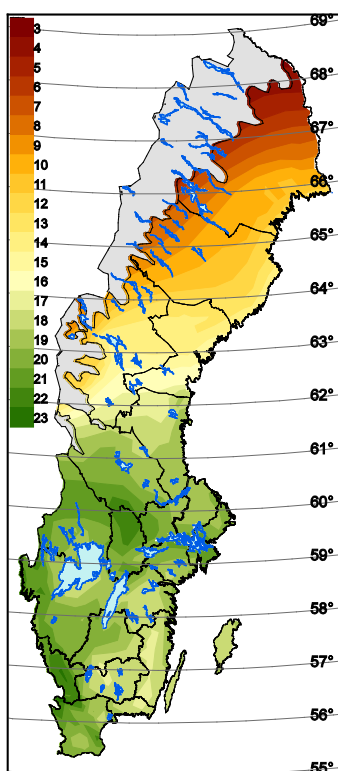
Produktionspotential hos gran i Sverige

Med utgångspunkt från de långsiktiga experimenten i Flakaliden och Asa, kombinerat med klimatdata för landet, är det möjligt att med hjälp av en processbaserad simuleringsmodell uppskatta den potentiella produktionen hos gran i Sverige (Bergh *et al.* 2005).

Den teoretiska produktionspotentialen hos våra barrträd styrs av mängden solljus under vegetationsperioden och mängden barr som kan absorbera ljuset. Vid jämförelse mellan mängden absorberat ljus under vegetationsperioden och stamvedsproduktionen erhålls ett starkt linjärt samband (Bergh *et al.* 1999; 2005). I norra Sverige är vattentillgången (nederbörd - avdunstning) under sommarmånaderna vanligtvis inte begränsande för produktionen. Så är dock inte alltid fallet i södra Sverige, särskilt inte i de östra delarna, där vattentillgången under sommaren ibland kan minska produktionen markant.

Generellt kan man säga att den potentiella produktionen ligger högt över den aktuella vart man än befinner sig i Sverige (Figur 3.1.2:4). Rent teoretiskt skulle BAG kunna öka produktionen med cirka $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ för de flesta regioner inom Sverige och i relativa tal skulle ökningen vara allra störst i landets mellersta och norra delar.

Omloppstidens längd är starkt beroende av tillväxthastigheten och kommer därför att kraftigt förkortas ifall man optimerar tillförseln av näringsämnen enligt principen BAG. Idag avverkas en G18 - G20 i norra Sverige efter ca 130 - 150 år och en G32 - G34 i södra Sverige efter 75 - 100 år. Skulle man öka tillväxten hos gran enligt potentialkartorna skulle omloppstiden kunna förkortas med ca 40 - 60 år i norra och 20 - 30 år i södra Sverige (Bergh *et al.* 2005).



Figur 3.1.2:4. Potentiell stamvedsproduktion ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$) under en omloppstid för granbestånd som gödulas enligt principen "behovsanpassad gödsling (BAG)". Skattningen är baserad på resultat från de experiment där BAG använts samt klimatdata från SMHI.

Internationella experiment med BAG

Det internationella intresset av experimenten med BAG i Flakaliden och Asa är stort och har lett till många samarbetsprojekt. Även om fokus här är på BAG av ung granskog i Sverige, finns det inget som talar emot att principen inte är generell och kan appliceras på andra trädslag. Detta har visats genom ett flertal BAG experiment enligt "The Swedish model" som anlagts i andra länder. Det första anlades med loblolly pine (*Pinus taeda*) i North Carolina, USA (Albaugh *et al.* 1998) och har sedan följts av experiment med maritime pine (*Pinus pinaster*) i Frankrike (Trichet *et al.* 2008) och flooded gum (*Eucalyptus grandis*) i Sydafrika (Campinon *et al.* 2006). Det senaste tillskottet är att i Hawkesbury Forest Experiment utanför Sydney i Australien behandlas Sydney blue gum (*Eucalyptus saligna*) och Mugga ironbark (*Eucalyptus sideroxylon*) med ett fullskaligt BAG-experiment.

Tillämpad vidareutveckling av BAG

I mitten av 1990-talet såg skogsnäringen behov att utveckla nya skogsskötselmetoder för att öka tillväxten av skogsråvara och kunna bibehålla avverkningsnivåerna. De resultat som försöken i Flakaliden och Asa redan då visat gjorde att man tog initiativet till en utredning avseende behovet av forsknings- och utvecklingsarbete för en intensivare ungskogsskötsel (Vollbrecht 1996). Utredningen lade grunden till ett temaforskningsprogram, *Fiberskog*, som finansierades gemensamt av skogs-fakulteten och skogsindustrin.

Målsättningen inom *Fiberskog* var att utveckla riktlinjer samt ett beslutsunderlag om hur hög produktion av gran kan bedrivas i praktiken. Inom programmet studerades effekter av BAG på biomassa-produktion, miljö, föryngring, skogsskötsel, vedegenskaper, planering, och ekonomi. Inledningsvis utnyttjades i stor utsträckning den pågående verksamheten i Flakaliden och Asa men ett nytt BAG-experiment anlades också på bördig åkermark i Hjuleberg (Halland). I Hjuleberg kompletterades behandlingarna också med studier av möjligheten att utnyttja aska och slam som "gödselmedel".

Efter en positiv utvärdering av den första programperioden (1997 – 2000) förlängdes programmet med ytterligare en period (2001 – 2006). Förutom i ett antal vetenskapliga publikationer sammanfattades huvudresultaten i en slutrapport (Bergh (ed) 2000). Ytterligare information återfinns på *Fiberskogs* hemsida <<http://www-fiberskog.slu.se>>.

Under den andra programperioden anlades två nya försöksserier med balanserad näringstillförsel; (i) *Intervallförsöken* (2002) som är fem geografiskt spridda försök där man studerar gödslingsintervalllets inverkan på produktion, ekonomi och miljö och (ii) *bolagsförsöken* (2003) med syfte att följa produktion, ekonomi och miljöeffekter vid praktisk operationell drift (Figur 3.1.2:5). Den andra programperiodens resultat finns sammanfattade i Bergh & Oleskog (2006).

Efter den andra programperiodens slut har delar av de tidigare projekten inom *Fiberskog* drivits vidare med annan finansiering och från 2009 ingår de långsiktiga intervallförsöken i det nya tvärvetenskapliga forskningsprogrammet *Future Forests* <<http://futureforests.se>> där BAG kommer att testas på större arealer än tidigare i de nya "produktionsparker" som 2009 etablerats i norr (Västerbotten) och söder (Småland).



Figur 3.1.2:5. Spridning inom landet av basförsök (●), intervallförsök (■) och bolagsförsök (▲).

Intervallförsök

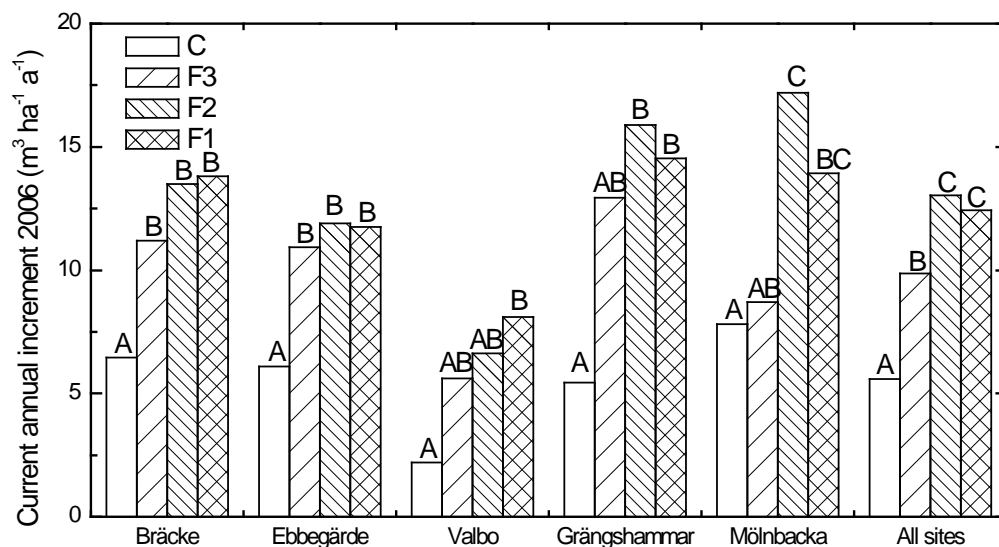
I näringsoptimeringsförsöken i Flakaliden och Asa har man årligen reglerat trädens näringsstatus i förhållande till uppsatta börvärden, vilket inneburit att de årliga gödselgivorna varit relativt låga och att näringsläckage till grundvattnet har undvikits.

I praktiskt skogsbruk blir årlig gödsling ett alltför intensivt och därmed dyrbart skötselprogram. Gödsling vartannat eller vart tredje år kan dock vara ett tänkbart alternativ som är ekonomiskt realistiskt. Den fråga som ställs i intervallförsöken är om man kan erhålla samma tillväxteffekt om man gödslar med något eller några års mellanrum och hur mycket av den potentiella produktionen som förloras ifall man förlänger tiden mellan omgödslingarna. Om man gödslar med något eller några års mellanrum krävs det dock att man tillför större näringsmängd vid varje tillfälle för att kunna upprätthålla önskad näringsstatus och därmed bibehålla en hög produktionsnivå. En kärnfråga i en framtida praktisk tillämpning av BAG är hur man ska anpassa näringsgivan vid olika gödslingsintervall för att minimera risken av näringsläckage till grundvattnet utan att förlora alltför stor andel av den potentiella produktionen.

I intervallförsöken ingår förutom obehandlade kontroller försöksled som gödslas varje år (F1), vart annat år (F2) eller vart tredje år (F3). I F1-leden har kvävegivan varit $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ under de tre första åren och därefter $75 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Vid gödsling vartannat år (F2) har N-givan initialt varit 150 kg N ha^{-1} och därefter $125 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, och vid gödsling vart tredje år (F3) har givan första året varit 180 kg N ha^{-1} och vid omgödsling 150 kg N ha^{-1} . Under den första femårsperioden har F1-leden erhållit största näringsgivan, 450 kg N ha^{-1} , F2: 400 kg N ha^{-1} och F3: 330 kg N ha^{-1} . Övriga näringsämnen har också tillförts. När försöken anlades installerades lysimetrer för att kunna provta och analysera markvattenkemin. Inget läckage har förekommit i F1-leden men efter första årets gödsling

av F2- och F3-leden med 150, respektive 180 kg N ha⁻¹ fanns förhöjda halter av nitrat i markvattnet (Grip 2006). Eftersom näringsläckage skall undvikas har därför kvävemängden vid respektive omgödsling minskats.

Vid försöksstarten 2002 var granbestånden 2 - 5 meter höga och tillväxten ca 2 m³ ha⁻¹ år⁻¹. Jämfört med de andra lokalerna var Mölnbacka (Värmland) något förväxande i termer av stående volym, medan Valbo (Gästrikland) låg något efter de övriga. Detta är sannolikt orsaken till en del av de skillnader som uppmättes efter fem års behandling (Figur 3.1.2:6). Den löpande tillväxten 2006 var i medeltal densamma (ca 14 m³ ha⁻¹ år⁻¹) vid gödsling varje år (F1) eller vart annat år (F2). Tillväxten i bestånd som gödslats vart tredje år (F3) var drygt 10 m³ ha⁻¹ år⁻¹ medan de ogödslade kontrollerna (C) hade en löpande tillväxt på ca 5 m³ ha⁻¹ år⁻¹. Det är dock för tidigt att säga något säkert om skillnader mellan de olika behandlingarna eftersom försöken fortfarande är i sin linda. Produktionsnivån för gödsling varje (F1) och vartannat år (F2) är dock hittills i paritet med försöken i Flakaliden och Asa.



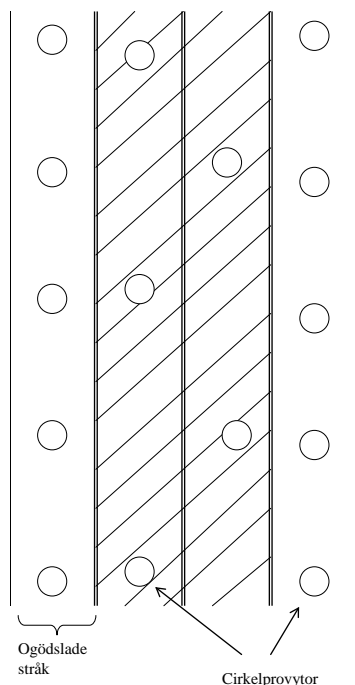
Figur 3.1.2:6. Löpande tillväxt (m³ ha⁻¹ år⁻¹) för de olika behandlingarna i intervallförsöken samt löpande tillväxten som medelvärde för de fem försökslokalerna. Behandlingarna är ogödslad (C), gödsling varje (F1), vart annat (F2), eller vart tredje år (F3). Första gödslingstillfället i samtliga försöksled var 2002 och redovisade värden är från revision 2006. Staplar med samma bokstav är ej signifikant skilda. (Från Bergh *et al.* 2008)

Bolagsförsök

Som ett praktiskt komplement till intervallförsöken har anlagts en serie ”bolagsförsök” som sker i större och mer praktisk skala. Sex försök, med god geografisk spridning, anlades under våren 2003. Försöken är belägna i Toftaholm i Ljungbytrakten, Bullsäng i närheten av Tranemo, Gullspång, Hällefors och Gällivare. Dessa försök finansieras av respektive markägare (Södra, Skogssällskapet, Sveaskog, Bergvik). Ytterligare två bolagsförsök anlades under 2004 i Gullspång (Skogssällskapet) och Vendel (Bergvik).

Bolagsförsöken följer i princip F2-ledet i intervallförsöken och gödslingen sker med traktor i ett GIS-planerat stickvägssystem vartannat år. För att kunna utvärdera försöken har 40 cirkelprovytor (ett bestånd per område) lagts ut i gödslade (10 st) och ogödslade stråk (10 st) med 40 meters bredd (Figur 3.1.2:7). I cirkelprovytorna har lysimetrar installerats där prov av markvattnet tas för analys varje höst efter gödsling. För att kunna detektera eventuellt läckage tas även vattenprover i bäckar som eventuellt finns nedströms i försöksområdena. Barrprov tas för näringsanalys varje höst efter gödsling. Gödsling är planerad att ske vartannat år fram till dess att bestånden sluter sig vilket kan ta 6 - 10 år beroende på var i landet man befinner sig och på utgångsläget i de gödslade bestånden.

Bolagsförsöken är liksom intervallförsöken ännu i sin linda men liknar i mångt och mycket praktisk drift. Tillväxtmässigt har bolagsförsöken uppvisat gödslings effekter av samma storleksordning som i de tidigare mer välkontrollerade experimenten. Däremot har ca 10% av arealen inte kunnat gödulas av praktiska skäl (hällmark, diken, mm) och dessutom har körstråken i ungsbogen sannolikt lett till viss minskning av arealproduktionen.



Figur 3.1.2:7. Principskiss på hur bolagsförsöken är utformade och provytorna är utlagda. Varje stråk har en bredd av 40 meter.

Praktisk tillämpning av BAG

Anpassning av skogsskötselåtgärder vid behovsanpassad gödning (BAG)

Näringstillförseln vid BAG sker i form av ett fullgödselmedel där mängd och sammansättning baseras på analyser av näringsinnehåll i barrprover som tagits i det aktuella beståndet. För gran är riktvärdet att barren ska innehålla ca 1,5% kväve av barrrens torrsvikt. Behovet av övriga växtnäringsämnen (makro- och mikro) kan beräknas med hjälp av börvärden som är satta i relation till kväveinnehållet (Linder 1985). Vid beräkning av startgivan bör hänsyn även tas till bonitet och beståndsstruktur (slutenhet, barrmassa, etc.).

För att uppnå optimal tillväxteffekt under ungsbogsfasen bör gödningen ske vartannat år, från att träden är cirka 2 - 3m fram till att beståndet slutit sig. Därefter kan gödplingsintervallen minskas markant. Ett granbestånd anses slutet när beståndet är i övre delen av kurvan i befintliga gallringsmallar. Med stöd av dagens kunskap och erfarenheter bedöms att ett bestånd i södra Sverige kan komma att gödulas 4 - 5 gånger under ungsbogsfasen och att ytterligare ett par gånger kan behövas i norra Sverige. Eftersom de äldsta experimenten med BAG i granbestånd endast är drygt 20 år gamla (Flakaliden och Asa) finns det ingen praktisk erfarenhet från BAG i medelålders och äldre bestånd. Det är därför ytterst angeläget att dessa och senare experiment kan drivas vidare och generera ny kunskap och erfarenhet som kan appliceras i praktisk tillämpning.

Eftersom balanserad näringstillförsel innebär en kraftig bonitetshöjning bör skötselmetoder som används för att sköta bestånd på väldigt produktiva ståndorter vara lämpliga att även använda när bestånd behandlats med BAG. För att minimera näringsläckage i samband med gallringar och slutavverkning bör exempelvis gödsling inte ske alltför tätt inpå den planerade åtgärden. Risken för näringsläckage kan även minskas vid gallring och avverkning genom skörd av GROT (grenar och toppar). Skötseln vid balanserad näringstillförsel kommer dock slutligen att bero på skogsägarens långsiktiga målsättning och vad som bedöms som ekonomiskt optimalt.

Val av bestånd

Behovsanpassad gödsling (BAG) bör endast utföras i bestånd där den inte medför eller riskerar negativ påverkan på områden med höga natur- och kulturvärden. Marken bör sedan tidigare vara utnyttjad för konventionellt produktionsskogsbruk och vara klassificerad som frisk fastmark med ett tillräckligt jorddjup. Bestånden ska vara grandominerande och välföryngrat utan stora luckor. Jordtexturen bör vara klassificerad som sandig-moig eller finare och inte genomsläpplig. Som genomsläppliga räknas jordar av grovsand, sandiga moräner och grövre jordarter. Marken bör ha en tydlig B-horison, vilken har god potential att binda eventuellt läckande näringsämnen. Läget i terrängen bör vara sådant att det kan karakteriseras som ett inströmningsområde. Utströmningsområden bör undvikas eftersom det kan innebära förhöjd risk för näringsläckage. Lavdominerade marker ska inte ungskogsgödas, d.v.s. marker där lavar utgör mer än 50% av bottenskiktet. I övrigt bör hänsyn tas till de begränsningar som anges i Skogsstyrelsens allmänna råd punkt 3.2-3.4 (Anon. 2007).

När kan BAG introduceras i full skala

Balanserad och behovsanpassad gödsling (BAG) vilar efter decennier av forskning och försöksverksamhet på en god vetenskaplig grund. Metoden kan redan nu etableras i pratisk skala och stora produktionsökningar kan erhållas med minimal risk för icke önskvärda näringsläckage till grundvatten eller kringliggande vattendrag. Den pågående långsiktiga försöksverksamheten har en god geografisk spridning och utgör ryggraden för en snabb och säker anpassning av BAG till praktisk tillämpning. Utifrån ny kunskap och erfarenhet kan och bör man kontinuerligt följa upp, anpassa och modifiera metoden.

Med det krav på lämpliga marker och bestånd som beskrivits ovan kan man med hjälp av Riksskogstaxeringen beräkna att det under de närmaste 10 åren finns 300 000 ha ungskog som är lämpliga för BAG. Med antagandet att skogsbruket i framtiden bedrivs ungefär som idag, med avseende på avverkningsmogen ålder, trädslagsval, etc., så kan man räkna med att ungefär samma areal blir tillgänglig även under efterföljande 10-årsperioder. Att utöka BAG till att omfatta 5% av skogsmarksarealen skulle då ta minst 40 år.

Abiotiska skador

Vid konventionell gödsling föreligger den största risken för stormskador under de första åren efter gödslingstillfället. Orsaken till detta är att den första reaktionen på en gödsling är att barmmassan ökar snabbare än de grova rötterna vilket försämrar stabiliteten till dess en ny balans inom trädet kunnat etableras. Vid BAG torde dock risken för stormfällning vara avsevärt lägre eftersom åtgärden påbörjas i ungskogsfasen och träden kommer tidigt att etablera en balans mellan grovrötter och biomassa ovan jord. Stormfällningar sker oftast i nygallrade medelålders- och äldre bestånd. Ett skötselprogram med färre gallringar och förkortade omloppstider, där den stormkänsliga perioden förkortas, borde minska risken för stormfällningar, vilket talar för att stormskadorna snarare skulle minska än öka vid BAG.

Under de mer än 20 år som experimenten med BAG bedrivits i Flakaliden och Asa har de behandlade bestånden inte drabbats av några abiotiska eller biotiska skador som kan relateras till behandlingarna.

Det är dock viktigt att kontinuerligt följa experimenten för att tidigt kunna registrera och rapportera eventuella abiotiska och/eller biotiska skador förorsakade av BAG.

3.1.3 Klonskogsbruk med gran

Principerna för förädling och klonskogsbruk vid intensivodling av skog

Syftet med att använda förädlad skogsodlingsmaterial är att utnyttja detta materials genetiska överlägsenhet över ortens proveniens. De genetiska vinster som kan uppnås skapas genom urval, korsning och testning. Med klonskogsbruk avses förökning av enskilda kloner (individer). Efter test av ett antal kopior av varje klon noggrant i fält, framställs ett stort antal kopior av de allra bästa klonerna.

Genetiskt förädlingsarbete kan inriktas mot olika mål såsom ökad värdeproduktion i brukade skogar, beredskap för klimatförändringar eller långsiktig förvaltning av genetisk diversitet. En ökad värdeproduktion i brukade skogar innebär att förädlingsarbetet inriktas mot att påverka egenskaper som styr överlevnad, vitalitet, tillväxt och virkeskvalitet. Beredskap för klimatförändringar kan innebära att förädlingsarbetet bedrivs på ett sätt som ger stor flexibilitet när det gäller egenskaper som är viktiga för skogsträdens långsiktiga klimatanpassning. Långsiktig förvaltning av genetisk variation innebär rätt dimensionerade och genetiskt separerade förädlingspopulationer så att genetisk variation bevaras på en hög nivå.

Genetiska förädlingsnivåer skapar olika vinst eller mertillväxt jämfört med ortseget (lokalt) skogsodlingsmaterial. Proveniensförflyttningar är den enklaste formen av genetisk förbättring av skogsodlingsmaterialet. Genom användning av fröplantager som består av kloner som har testats i avkommeprövning eller klontest kan förädlingsvinsterna ökas. Det mest effektiva sättet att utnyttja genetiska fördelar är att använda vegetativt förökat skogsodlingsmaterial (kloning), t.ex. sticklingar. Vegetativ förökning kan avse selekterade kloner med önskade egenskaper eller förökningen som görs utan att särskilja kloner, s.k. bulkförökning.

Vegetativ förökning kan ske genom produktion av rotade sticklingar eller genom somatisk embryogenes. Metoderna fungerar inte eller finns inte utvecklade för alla trädslag. Gran kan förökas genom bulksticklingar som görs direkt av otestade fröplantor med goda genetiska egenskaper såsom kontrollerade korsningar av testade och utvalda plusträd. Vid somatisk embryogenes för gran används ett embryo från ett frö som behandlas med tillväxthormoner så att det initieras en "oorganiserad" tillväxt av cellvävnad (Devillard & Högberg 2004). Genom tillsatts av ett annat hormon kan cellvävnaden börja bilda nya "somatiska" embryon, var och ett med barr och rotanlag, färdiga att bilda var sin ny granplanta.

Forskning

De rekommendationer om förflyttning och användning av granprovenienser som finns i skogsstyrelsens författningssamling (Anon. 1993) är grundade på framför allt två serier med granproveniensförsök. Det ena planterades 1964 i ett internationellt forsknings-samarbete (Persson & Persson 1992) och det andra planterades 1969 (Werner & Karlsson 1981). Gemensamt för båda serierna är slutsatsen att nordförflyttad gran får en ökad volymproduktion. Detta kan förklaras dels med den senare skottskjutningen som medför en mindre risk för skador av vår- och försommarfrost, dels att den utnyttjar den längre tillväxtsången på sensommaren. Ett rimligt antagande för gran i Sverige som helhet är att vinsten av lämplig proveniens och av plusträdsurval är av samma storleksordning, d.v.s. ca 10% vardera.

Forskning har visat att granfröplantager oftare ger riklig blomning och skörd om plantagen ligger i ett område med ett varmt och torrt sommarklimat. I Sverige ligger de bäst fungerande fröplantagerna på

Österlen i Skåne och på Öland. Det är viktigt att anlägga nya fröplantager efterhand som nya vinster genereras i förädlingen. En tredje generationens fröplantager (30 st) är under anläggning i Sverige, vilket förväntas att öka vinsterna till 25-27% jämfört med tidigare (andra generationens) plantageomgång 10-20% (Rosvall *et al.* 2001).

Klonskogsbruk med testade kloner startades i Tyskland under 1970-talet (Kleinschmit *et al.* 1973) och introducerades i Sverige under 1970-1990 talet (Karlsson 2000). I Sverige har tre olika projekt drivits (Bentzer 1993, Karlsson 1993, Hannerz & Wilhelmsson 1992). Syftet med alla tre projekten var att producera stora mängder vältestade högproducerande kloner efter avslutad testperiod. Emellertid ledde bl.a. problem med dålig rotning till alltför höga plantpriser varför projekten avslutades under 1990-talet.

Praktisk tillämpning

Produktionsnivån vid praktisk användning av förädlad material och klonskogsbruk påverkas bl a av tidsaspekten. Material med olika förädlingsnivå tar olika lång tid att generera när ett beslut har tagits (Tabell 3.1.3:1). Vegetativt förökat material jämförs i tabellen med fröförökat skogsodlingsmaterial som är det alternativ som står till buds när det inte finns eller p.g.a. restriktioner inte är möjligt att använda vegetativt förökade plantor. Användning av förflyttade provenienser och fröplantager av omgång 1 och 2 finns normalt tillgängliga utan väntetid. Fröplantagefrö från 3:e omgångens plantager finns tillgängligt ca 15 år från plantageanläggning. Vegetativ bulkförökning av testade fröpartier kan finnas tillgängliga efter 3 år medan väntetiden för testade kloner blir ca 10 år på grund av en minst sexårig fälttestning.

Tabell 3.1.3:1. Genetisk vinstnivå och väntetid på skogsodlingsmaterial av gran från det att beslut har tagits om att använda för skogsodling.

Material	Genetisk	
	nivå (%)	Väntetid (år)
Provenienschöflyttning	10	0
Fröplantager omg 1	10	0
Fröplantager omg 2	15	0
Fröplantager omg 3	25-30	0-15
Vegetativ bulkförökning av testade familjer	30-35	3
Klonskogsbruk med testade kloner	30-40	10

Beroende på vilken vegetativ förökningsmetod som används varierar tiden som det tar att föröka upp ett material till stora plantkvantiteter. Sticklingar är ett långsamt sätt att föröka upp material speciellt om fröpartierna är begränsade, medan somatisk embryogenes teoretiskt inte har några begränsningar i möjligt antal plantor.

Det finns redan idag ett genetiskt utgångsmaterial för gran som kan ge produktionsvinster på mer än 30% på jämfört med oförädlad odlingsmaterial. Om befintlig förökningsteknik används kan det på 3-5 år sikt finnas ett plantmaterial i stor skala.

Skogsskötselprogrammet förädlad eller klonad gran skiljer sig inte principiellt från normalt granskogsbruk. Skötselåtgärderna under en omloppstid ska därför anpassas till odlingsmaterialets förädlingsnivå. Valet av ståndort för plantering av vegetativt förökad gran skiljer sig inte principiellt från val av ståndorter för gran i övrigt. Ett selekterat plantmaterial med en ökad produktionsförmåga kan anses öka produktionen proportionellt oberoende av ståndortsindex. I ekonomiska kalkyler där räntan beaktas, kommer lönsamheten att bli högre på goda ståndorter med högre produktion och kortare omloppstider.

De hinder som finns för praktisk tillämpning idag är bland annat plantpris, lagstiftning och fröbrist. Vegetativ förökning genom sticklingar eller somatisk embryogenes innebär högre plantkostnader. Användning av vegetativt förökat skogsodlingsmaterial regleras i skogsvårdslagen där det föreskrivs att maximalt 5% av arealen på varje brukningsenhet får utgöras av vegetativt förökat skogsodlingsmaterial. På mindre brukningsenheter får dock alltid högst 20 ha skogsodlas med klonförökat material även om 5% regeln överskrids. Vid beståndsanläggning med vegetativt förökat skogsodlingsmaterial finns en anmälningsskyldighet för bestånd större än 0,5 ha. Det största hindret idag för att utnyttja konventionellt realiserbara förädlingsvinster fullt ut är brist på förädlat frö från befintliga fröplantager. Denna brist är speciellt uttalad för gran och kommer att bestå under lång tid framöver.

Abiotiska skador

Riskerna för abiotiska skador vid användning av förädlat eller klonat granmaterial skiljer sig inte avsevärt från de risker som finns vid gängse användning av gran i svenskt skogsbruk. I viss mån skulle riskerna för frostsador kunna betraktas som mindre eftersom detaljkunskapen är bättre än för oförädlat material.

3.1.4 Odling av contortatall på fastmark

En av grundtankarna med intensivskogsbruk är att odla lönsamma arter. Introducerade trädslag är intressanta om de har högre produktion eller om de i ett eller flera andra avseenden är bättre än inhemska trädslag.

De främsta motiven för att använda utländska trädslag kan vara:

- högre medelproduktion än våra inhemska trädslag,
- kortare omloppstid med minst lika hög medelproduktion,
- bättre härdighet i kyliga klimatlägen,
- högre värdeproduktion (virkesegenskaper som positivt skiljer sig från inhemska trädslag i ett eller flera avseenden),
- spridning av risker (t ex för sjukdomar orsakade av svamp och insekter),
- intresse för olika trädslag (dendrologi).

De främsta argumenten emot en användning av utländska trädslag kan vara (Andersson *et al.* 1999):

- självspridning och konkurrens gentemot inhemska organismer,
- risk för biotiska skador såsom skadesvampar och skadeinsekter som drabbar det utländska trädslaget och/eller våra inhemska arter,
- risk för abiotiska skador, främst snö- och vindskador,
- förändrad biodiversitet,
- förändrad landskapsbild.

Eftersom växter främst styrs av en god anpassning till klimatet på växtplatsen är det oftast lämpligt att söka i områden som har ett klimat som liknar det svenska. Därmed hamnar man för norra Sveriges del i världens arealmässigt två största länder, Ryssland och Kanada. I mitten av 1900-talet hade man urskiljt de intressantaste trädslagen. För norra Sverige är det främst rysk lärk (*Larix sukaczewii*), oftast kallad sibirisk lärk (*Larix sibirica*), som är intressant.

Från Kanada är contortatall (*Pinus contorta*) det trädslag som i mellersta och norra Sverige visat högst produktion. Contorta är det i särklass mest använda av främmande trädslaget i Sverige. Totalt har nära 600 000 hektar planterats med contorta (1998). Contortatall härstammar från ett förhållandevis stort område i västra Nordamerika. Den växer från 30:e till 64:e breddgraden och från havsytan upp till 3900 m ö h (Elfving *et al.*, 2001). Arten förekommer i tre underarter, men bara den nordliga inlandsformen *Pinus contorta* varietet *latifolia* är av intresse för svenska förhållanden. De provenienser som är aktuella för Sverige härstammar i huvudsak från inlandet av British Columbia, Yukon Territory och Alberta i Kanada.

För södra och mellersta Sverige är europeisk (*Larix decidua*), japansk lärk (*Larix leptolepis*) och hybriden mellan dem (*Larix x eurolepis* Henry) samt sitkagran (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) de idag vanligaste främmande trädslagen.

Principer för odling av contortatall

Contortatall har introducerats i svenskt skogsbruk som främst ett alternativ till odling av tall i norra Sverige. De viktigaste motiven för introduktion av contortatall är att den jämfört med vanlig tall har högre produktion, kortare omloppstid, likartade virkesegenskaper och bättre hårdighet på svårförnygrade lokaler.

Tidiga skogsplaneringar med contortatall gjorde i Sverige på 1920-talet medan den storskaliga introduktionen kom igång på 1970-talet, främst hos några större skogsbolag. Nyplantering av contorta i Sverige kulminerade på 1980-talets och minskade därefter, för att under de allra senaste åren åter öka.

Forskning

Produktionsforskning i Sverige på 1950- och 1960-talen kunde tidigt påvisa contortallens produktionsmässiga överlägsenhet jämfört med inhemsk tall (Johnsson 1957; Remröd 1969 och 1977). Forskningsinsatser på 1970-talet resulterade i höjdotvecklingskurvor (Hägglund & Remröd 1977) och en produktionsmodell (Hägglund *et al.* 1979) som påvisade en produktionsöverlägsenhet jämfört med tall på 63 – 76 % . Senare studier med tillgång till större datamängder har gjort det möjligt att förfina prognoshjälpmedlen (Elfving 1985; Elfving 1990; Elfving & Norgren 1993a b; Elfving & Kiviste 1997). Baserat på dessa har contortatall jämfört med vanlig tall 36 % högre total volymproduktion, 2 % högre överlevnad i etableringsfasen, 5 % högre avgång efter den första gallringen, 8 % lägre andel bark ved vid samma grundyta och 3 % lägre veddensitet.

Nya gallringsförsöksserier i contortatall anlades på 1980-talet av SLU (Agestam 1990; Elfving 1996 & 2002) och av Skogforsk. Tidigare resultat från dessa antyder att tillväxten i contortatall påverkas mer av beståndstäthet än i tallskog och att avgångarna ökar på grund av stormskador. Flera svenska serier med förbandsförsök i contortatall bekräftar resultat från gallringsförsöken att tillväxten påverkas mer av beståndstätheten än i tallskog. Det enda svenska gödslingsförsöket i contortatall visar på likartade positiva tillväxteffekten av gödsling som för vanlig tall.

Äldre proveniensförsök från 1942 av ”Föreningen för växtförädling av skogsträd” påvisade högst volymproduktion från avkommor från Prins George i British Columbia (Johnsson 1957). Senare anlagda serier med proveniensförsök är Bang-serien, Skogshögskolan (SLU) från 1960-1962 (Persson

1978; Ståhl & Persson 1988), SCA-serien från 1963 (Hagner & Fahlroth 1974), Institutet för Skogsförbättring (Skogforsk) från 1970-talet (Rosvall *et al.* 1984; Jansson *et al.* 1989) och IUFRO 1970/71-serien av SLU (Lindgren 1983). Vidare finns avkommeförsök hos SkogForsk från 1979-1981 som efter 10 år visade att contortatall jämfört med vanlig tall hade såväl högre överlevnad som högre höjdtillväxt (Ericsson 1993).

I sammanfattning visar den publicerade produktions- och proveniensforskningen:

- Rekommenderade provenienser av *Pinus contorta* ger i medeltal ca 10% högre överlevnad än *Pinus sylvestris* på samma ståndort – 5% i Mellansverige och 15% i norra Sverige (Lindgren 1983).
- *Pinus contorta* följer ungefär samma tillväxtförlopp som *Pinus sylvestris* beträffande höjd och grundyta (Hagner 1971; Remröd 1977; Elfving & Norgren 1993 a b).
- På samma ståndort har *Pinus contorta* 3-5 meter högre ståndortsindex (H_{100}) än *Pinus sylvestris*. (Hagner 1971; Remröd 1977; Elfving & Norgren 1993 a b).
- *Pinus contorta* har 3-15% högre volym än *Pinus sylvestris* vid motsvarande diameter och höjd (bättre stamform). Skillnaden varierar med trädens storlek och läge i landet – norra eller södra Sverige (Elfving & Norgren 1993b).
- *Pinus contorta* har något högre avgång än *Pinus sylvestris*, speciellt efter gallring (Elfving 1985; Elfving & Norgren 1993a; Rosvall 1994).
- Contortatall har tunnare bark än tall. Om jämförelse av produktionen avser volym under bark blir skillnaden 8% större än på bark (Elfving & Norgren 1993 a och b).
- I contortabestånd erhålls högsta volymproduktion vid en lägre omloppstid än hos tall, dvs. medeltillväxten kulminerar tidigare (Elfving & Norgren 1993; Elfving *et al.* 2001).
- För contortabestånd äldre än 60 år finns få svenska data publicerade, vilket gör jämförelser fram till medeltillväxtens kulmination något osäker. Inget tyder dock på att contortatallens överlägsenhet minskar efter 60 år.

Praktisk tillämpning

En skötselmodell för bestånd av contortatall liknar i huvudsak ”traditionell” tallskogsskötsel. Föryngring, röjning, gallring och slutavverkning kan ske efter samma principer som för tall. Skillnaden är främst intensiteten i gallringsprogrammet och omloppstidens längd.

Den vanligaste föryngringsmetoden är plantering men god frötillgång har även öppnat möjligheterna för sådd. Forskningsresultat och praktiska erfarenheter av röjning i ungskog av contortatall är begränsade men troligen kan erfarenheter från tallungskog användas. I gallringsskedet indikerar resultat hittills att contortatall kan vara känsligare för vind- och snöskador än tall. Tillväxteffekter av gödsling i contortabestånd antas vara av samma storleksordning som för tall.

Produktionsnivåer för contortatall kan beräknas genom användning av prognosmodeller för vanlig tall genom att ansätta ett förhöjt ståndortsindex för contortatall. Nuvarande resultat visar att contortatallens produktionsöverlägsenhet jämfört med tall uppgår till 36% (Elfving & Norgren 1993a). Baserat på bearbetning av nyare data är bedömningen idag att contortatallens överlägsenhet gentemot tall kan vara större än 36%.

Lämpliga ståndorter för contortatall är generellt de lite sämre till magrare fastmarkerna. De marker där contortatall främst bedöms vara ett alternativ är torra och friska marker med markvegetationstyp blåbär och sämre samt jordarter med texturklass sandig moig och grövre. Lämpliga ståndortsindexklasser är T24/G24 eller lägre och altitud under 600 m norr om latitud 62°N, i övrigt inga begränsningar söder om latitud 62°N. Contortatall får idag inte odlas i södra Sverige men under förutsättning att ovanstående ståndortsegenskaper är uppfyllda bedöms inga produktionsmässiga skäl föreligga att begränsa contortatall till norra Sverige. Risken för stormskador är dock generellt sett högre i södra Sverige.

Det finns för närvarande tillgång till plantagefrö för 100 miljoner plantor och en beräknad genetisk vinst på 10% (Rosvall & Wennström 2008). Den tillåtna arealen för plantering med contortatall är för närvarande 14000 ha vilket ger en plantförbrukning om 32 miljoner plantor om 2300 plantor planteras per hektar. I basalternativet planteras ca 25 000 ha contortatall per år med en plantförbrukning om cirka 58 miljoner plantor. Det är alltså i utgångsläget relativt god tillgång på förädlad växtmaterial för contortatall. Anläggning av den andra omgången fröplantager (ca 25% vinst) är påbörjad och prognoser indikerar 21% ökad tillväxt i period 2, 2020–2030 (Tabell 3.1.4:1). Framtida vinster är hämtade från Rosvall *et al.* (2001) och förutsätter att förädlingsprogrammet fortsätter i nuvarande takt.

Tabell 3.1.4:1. Genetisk vinst (uttryckt som % ökad medeltillväxt) hos plantageplantor av contortatall (Rosvall & Wennström 2008).

Period	Periodmitt	Fröplantage (%)
0	2005	10
1	2015	10
2	2025	21
3	2035	28
4	2045	34
5	2055	40
6	2065	45
7	2075	50
8	2085	53
9	2095	53
10	2105	53

Abiotiska skador

Contortatall anses allmänt ha sämre stabilitet jämfört med vanlig tall vilket kan ge upphov till stormskador (Rosvall, 1994). Stormskaderisken ökar i bestånd av contortatall, liksom hos andra träslag, med stigande trädhöjd.

3.1.5 Odling av hybridasp på åker- och skogsmark

Principer för odling av snabbväxande lövträd

Lövträdslag som är aktuella för intensivodling för produktion av vedbiomassa utgörs av pionjärträdslag med snabb etablering och hög initial tillväxt. Trädslagen måste vara anpassade till rådande klimat så att inte vitalitet och uthållighet äventyras. De trädslag som bedöms vara intressanta för att uthålligt producera vedbiomassa under svenska förhållanden hittas framförallt bland aspar och popplar (släktet *Populus*), och eventuellt bland alar (släktet *Alnus*). Intresset för poppelsläktet beror främst på att dessa arter, som är ljuskrävande pionjärträd, har en mycket hög tillväxthastighet under ungdomsstadiet. I jämförelse med andra skogsträd är biomassaproduktionen av *Populus* under kortare omdrev (10-30 år) mycket högre (Karacic *et al.* 2003) än för andra trädslag under jämförbara betingelser i Sverige. För att tillvarata poppelsläktets tillväxtpotential krävs en markbördighet som motsvarar den som vi hittar på de flesta svenska jordbruksmarker. För att upprätthålla den långsiktiga tillväxten behövs en resurstillförsel i form av näring på en nivå som motsvarar den näringsmängd som förs bort vid skörd. Hybridasp och poppel kräver en relativt intensiv skötsel. Virkesproduktionen har hittills en begränsad användning som kvalitetsråvara, men passar väl för massaved och energiändamål.

Forskning

De första försöken med hybridasp och hybridpoppel i Sverige anlades på 1940-talet med målet att täcka behovet av råvara för den svenska tändsticksindustrin, och inriktade sig främst på hybridasp framkorsad vid Ekebo år 1939 (Eriksson 1984). Hybridasp visade tidigt i försök från 1940- och 1950-talen en betydligt högre volymproduktion än vanlig asp. I ett produktionsinriktat skogsbruk är det därför naturligt att man väljer hybridasp och inte vanlig asp vid plantering.

Den svenska tändsticksindustrin påbörjade även storskaliga försök i Belgien (Geraardsbergen) med växtmaterial från främst Oregon och Washington, Nordamerika. En del av detta material, samt hybridaspmaterial från Ekebo, planterades även på en försöksgård i Mykinge i norra Småland (Christersson 1996). Den genomsnittliga årliga tillväxten för olika hybridaspkloner uppskattades till $12 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, medan de bästa hybridpopplarna nådde $17 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ i detta försök under en period av 25 till 30 år (Persson 1973; Eriksson 1984). Elfving (1986) anger en medeltillväxt på $15\text{-}16 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ för det tidigare materialet. Liknande produktionsresultat för hybridasp har rapporterats från jordbruksmark i Danmark (Jakobsen 1976) och från södra Sverige (Ilstedt & Gullberg 1993). Telenius (1999) rapporterade att motsvarande höga produktionssiffror i hybridasp och hybridpoppel nåddes redan efter 6 år vid plantering i täta förband.

År 1985 togs initiativ till att ta fram ett bra skogsodlingsmaterial av hybridasp för södra Sverige. Totalt valdes 280 plusträd från äldre försök och bestånd. Urvalet omfattade enbart träd som var fria från skador av stam- och grenkräfta (*Entoleuca mammatum*, *Leucostoma niveum*) som kan vara allvarliga skadegörare. Plusträden klonades och planterades ut som ettåriga rotskottsticklingar på 14 olika lokaler (enbart jordbruksmark) i södra Sverige under perioden 1986-1991. På basis av volymtillväxt efter ca 10 års tillväxt i fält och kräftförekomst efter 12–16 år valdes de 15 (av de totalt 280 testade) genetiskt bästa klonerna ut för kommersiell odling (Stener & Karlsson 2004).

Detta material är sedan början av 2000-talet kommersiellt tillgängligt i form av en klonblandning. Det innebär att klonerna förökats vegetativt (via vävnadskulturt teknik) och att de 15 klonerna vid försäljning inte hålls åtskilda utan blandas. Klonerna rekommenderas för användning upp till Mälardalen och finns att köpa genom sydsvenska plantskolor.

Volymtillväxten för de 15 selekterade klonerna uppskattas till ca $25 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ på bättre marker i södra Sverige (Stener & Karlsson 2004). Produktionsuppskattningen förutsätter att konkurrerande vegetation hålls borta de första två åren och att träden skyddas mot viltskador.

För Svealand och Norrland finns inget svenskt utvalt material. Finland startade ett motsvarande förädlingsprojekt med hybridasp i mitten på 1990-talet. Där finns sedan 2007 fenotypiskt utvalda finska kloner till kommersiell försäljning. I Sverige har vi ännu ingen erfarenhet av dessa, men möjligen kan de vara ett alternativ i Svealand och kanske på milda lokaler i södra Norrland.

Ekonomiska kalkyler för konventionell odling av hybridasp visar ofta en mycket god lönsamhet oavsett vilket trädslag man jämför med (Elfving 1986, Libäck 1988, Eriksson 1991, Rytter *et al.* 2002). Detta beror till stor del på den höga tillväxt och därmed korta omloppstid som trädslaget uppvisar. Även om poppel ibland ger högre virkesavkastning än hybridasp, och i Tyskland visat på god ekonomi (Genssler 1986), betraktas poppelodling ännu som en riskfylld verksamhet i Skandinavien (Eriksson 1991) eftersom skaderisken bedöms vara stor och virkesavsättningen osäker.

Praktisk tillämpning

För att utnyttja hybridaspens höga tillväxtpotential bör den växa på god mark. Den bör därför planteras på frisk och bördig mark, åkermark liksom bra granmark är lämpliga ståndorter. Det innebär frisk och bördig mark med ståndortsindex på ungefär G30 och uppåt. Mullrika jordar bör undvikas.

Förädlingsverksamheten på hybridasp har genomgått tre förädlingssteg i Sverige sedan 1940-talet och tillväxtvinsten har varit betydande. Det nuvarande plantmaterialet av hybridasp bedöms kunna producera drygt 20 m³sk ha⁻¹ år⁻¹ i medeltillväxt. Genom att välja de 15 bästa klonerna ur detta material uppskattas medelproduktionen kunna bli 25 m³sk ha⁻¹ år⁻¹ på bättre marker i södra Sverige (Stener & Karlsson 2004). Liksom i Sverige startade förädling av hybridasp i Finland på grund av tändsticksindustrins råvarubehov. Plantmaterialet från den tiden (1950- och 1960-talet), som består av olika familjer av hybridasp ligger till grund för den nysatsning som inleddes 1996 och där inriktningen är att genetiskt förbättra vedkvalitet, tillväxt och vitalitet (Beuker 2000).

Hybridasp föryngras i första generation genom plantering eller vegetativ naturlig föryngring. Naturlig föryngring genom frö eller frösådd är inte att rekommendera. Oftast krävs hägn då plantorna är begärliga för viltet (Hjältén & Palo 1992). I kommande generationer blir anläggningskostnaden låg då man erhåller ett tätt rotskottuppslag, vilket man bygger vidare på med önskad inriktning. Kemisk ogräsbehandling rekommenderas före plantering på åkermark. Vid etablering av snabbväxande lövträd, framförallt hybridasp och poppel, ges följande praktiska rekommendationer:

- Spruta bort ogräset före plantering på åkermark.
- På skogsmark, plantera på färskt hygge och komplettera med kraftig markberedning.
- Sätt förädlade och klimatanpassade plantor i planteringsförband 3 x 3 m.
- Hägna till skydd mot viltskador.
- Bekämpa ogräset om det blir kraftigt uppslag av konkurrerande vegetation.
- Den kortvariga användningen av hybridasp och poppel i svenskt skogsbruk innebär att erfarenheter av skötselåtgärder såsom röjning och gallring är begränsade. Röjning torde sällan behövas och man kommer direkt in i gallringsfas. I nästa generation, med täta uppslag av rotskott (hybridasp) eller huvudsakligen stubbskott (poppel) genomförs röjningen så att man tidigt åter hamnar på ett förband på ungefär 3 x 3 m.
- För närvarande föreslås tre olika varianter på hur hybridasp kan skötas i gallringsfasen (Rytter *et al.* 2008), och olika poppelkloner bör kunna hanteras på liknande sätt.

- Två gallringar, en vid 12 m till ca 700 st ha⁻¹ och en vid 20 m till ca 400 st ha⁻¹.
- En gallring vid 12 m till 500 - 600 st ha⁻¹.
- Gallringsfritt då omloppstiden kan sänkas till 15 – 20 år i södra Sverige.

Volymtillväxten hos hybridasp överträffar med stor marginal vanlig asp och medeltillväxten med nuvarande odlingsmaterial uppskattas nå över 20 m³sk ha⁻¹ år⁻¹ (>7 ton TS) vid en omloppstid på 20-25 år (Rytter & Stener 2005). I nästa generation blir sannolikt produktion ännu högre eftersom det nya beståndet startar med ett kraftfullt rotskottuppslag (Rytter 2006). Tidigare studier och mätningar visar också att det med ett förståndigt urval av kloner går att odla hybridasp längs Norrlandskusten. Här, liksom i Svealand, kan möjligen finskt hybridaspmaterial gå att använda. Omloppstiden blir sannolikt drygt 30 år och produktionen sjunker till eller under 15 m³sk ha⁻¹ år⁻¹.

En kondenserad sammanfattning av produktionsnivåer för i Sverige förekommande snabbväxande lövträd ges i tabell 3.1.5:3.

Produktionen är hög i snabbväxande lövträdsodlingar vilket medför att uttaget av näring vid skörd blir stort. Näringsbalansberäkningar i snabbväxande hybridaspbestånd (Rytter 2002) pekar på att ett helträdsutnyttjande tär på näringsresursen för flera ämnen, vilka på lång sikt sannolikt behöver återföras.

Tabell 3.1.5:3. Uppskattad högsta medelproduktion för olika lövträdsarter på ogödslade men goda ståndorter under nordiska förhållanden. Tabellen har hämtats från Dahlberg *et al.* (2006).

Art	Stamved volym (m ³ sk ha ⁻¹ år ⁻¹)	Vikt (ton TS ha ⁻¹ år ⁻¹)
Hybridasp	20-25	7-9
Hybridpoppel	25-30	9-10
Gråal	15-20	5-7
Klibbal	10-15	3-5
Vårtbjörk	10	5
Glasbjörk	6-7	3,5
<i>Salix</i>		10 i praktisk odling, gödslad

Behov av framtida forsknings- och utvecklingsinsatser

Antalet kommersiellt tillgängliga kloner för hybridasp och poppel är idag få. Vidare har existerande fälttestester så här långt i princip enbart anlagts på tidigare jordbruksmark. Kunskapen om trädslagets potential på skogsmark är sålunda bristfällig. Vi vet inte heller om de kloner som är att föredra på jordbruksmark också är de som skall användas på skogsmark. Därför planeras nu nya fältförsök över hela landet på både skogsmark och jordbruksmark. De olika testmiljöerna ger bl.a. kunskap om samspel mellan klon och miljö som är viktigt vid en eventuell framtida klimatförändring. Huvudmålet med fältförsöken är att förbättra odlingsmaterialet av hybridasp och poppel för Götaland, Svealand och milda lokaler i södra Norrland genom testning och urval av kloner som idag finns i omlopp i Sverige och närliggande länder.

Det är också angeläget att de kloner som selekteras utifrån produktion och vitalitet i fältförsöken även testas under mer kontrollerade former vad gäller motståndskraft mot olika patogener. Klonernas potential att massförökas måste också testas innan de rekommenderas för kommersiell användning. Det mest kostnadseffektiva alternativet för att förbättra odlingsmaterialet på kort sikt är att anlägga fälttester enligt ovan med existerande kloner. På längre sikt behöver dock nytt genetiskt material framställas via nya korsningar mellan bra föräldrar.

Plantor av framförallt hybridasp är dyra att producera. Ett viktigt steg är att utveckla metoder för att framställa billigare plantor. För närvarande mikroförökas de, men det finns möjlighet att ta fram plantor via rotsticklingar, örtartade sticklingar och vedartade sticklingar. Detta behöver undersökas närmare.

En annan viktig fråga där kunskapen fortfarande är bristfällig är hur mycket lövträden reagerar på gödsling och bevattning, och hur man kan koppla ihop förädlingsvinster med gödslingsvinster. Det är också känt att naturliga lövträdsföryngringar ofta blir täta med stor stående biomassa. Biomassamängderna är emellertid inte särskilt väl kända och tekniken för att kunna ta om hand biomassan behöver testas. I vilken utsträckning gödsling, bevattning och omhändertagande av röjningsvolymen kan förbättra ekonomin återstår att visa.

3.1.6 *Salix*-odling på jordbruksmark

Principer för odling av Salix

I jämförelse med andra jordbruksgrödor är biomassaproduktionen av *Salix* under korta omdrev (3-4 år i stubbskottsbruk) lika hög som för de högst avkastande jordbruksgrödorna och högre än för konventionellt skogsbruk (Karačić *et al.* 2003). *Salix* är en intressant gröda för jordbrukare i och med att en del av skötseln kan göras med befintliga jordbruksmaskiner och genom en skörde-/intäktsfrekvens som visserligen är lägre än vid vanliga jordbruksgrödor men är mycket högre än vid omställning till skogsbruk.

Modern *Salix*-odling har utvecklats i Sverige sedan 1970-talet, och en kommersialisering av produktionssystemet som en alternativ jordbruksgröda skedde under 1980-talet. Den exponentiella ökningstakten med avseende på odlingsareal avstannade dock under 1990-talet när Sverige gick med i den Europeiska Unionen (EU), som för en jordbrukspolitik som främjar odling av ettåriga grödor. Emellertid har det svenska odlingsystemskonceptet exporterats till ett flertal länder inom EU, främst till England och Polen, och utvecklingen av liknande system har kommit igång i större skala på Nya Zeeland och i USA (Volk *et al.* 2004) både med avseende på framställning av energiråvara och med hänsynstagande till miljön.

Salix-släktet är taxonomiskt komplext och omfattar mellan 350 och 500 olika arter världen över (Argus 1999). Majoriteten av *Salix*-arterna är mångstammiga och buskformiga och uppvisar en stor variation i höjd. *Salix* är främst ett boreal-arktiskt släkte med en naturlig utbredning i norra hemisfären. Produktionssystemen för *Salix* varierar från en-stammiga träd med ca 500 träd ha⁻¹ och omdrevslängd på 20 år till system med stubbskottsbruk med en halv miljon skott ha⁻¹ som skördas årligen. Produktionssystemet som används kommersiellt i Sverige idag utgår från ca 13 000 sticklingar ha⁻¹ i ett system med dubbla rader, som ger upphov till flerstammiga buskar som bildar bestånd som skördas vart tredje till vart fjärde år.

Intresset för *Salix*-släktet beror främst på att dessa arter, som är ljuskrävande pionjärträd, har en mycket hög tillväxthastighet under ungdomsstadiet. Många *Salix*-arter och hybrider kan lätt förökas vegetativt genom sticklingar, och de flesta arter och hybrider skjuter många nya skott efter borttagning av äldre skott och stammar (Sennerby-Forsse *et al.* 1992). För att tillvarata *Salix*-släktets tillväxtpotential krävs en markbördighet som motsvarar den som vi hittar på de flesta svenska

jordbruksmarker. För att upprätthålla den långsiktiga tillväxten behövs en resurstillförsel i form av näring på en nivå som motsvarar den näringsmängd som förs bort vid skörd. *Salix* kräver i jämförelse med konventionellt skogsbruk en relativt intensiv skötsel, men i jämförelse med konventionellt jordbruk är skötseln av *Salix* mycket extensiv. Vedproduktionen av *Salix* i Sverige har hittills skett för bioenergiändamål, och inte för virkes- eller pappersmassamarknaden. I enstaka odlingar kombineras produktions- och miljömål såsom fånggröda av kväve i anslutning till reningsverk och för fastläggning av oönskade ämnen vid industriella anläggningar. *Salix*-odlingar används även som mottagare (recipient) av aska och i större skala som recipient av avloppslamm (Adler *et al.* 2008). *Salix* kan användas som buffert mellan kväverika jordbruksmarker och deras omgivning, som vindskydd och snöfång samt som funktionella landskapselement i andra sammanhang (Verwijst 2001).

Forskning

Den svenska *Salix*-forskningen initierades i slutet av 1960-talet. Tidiga tester (Sirén 1983) utfördes både med utländska kloner av trädformiga *Salix*-arter och med buskformiga sorter insamlade av Energiskogsprojektet vid SLU. Klonerna testades för resistens mot patogener (främst mot bladrost *Melampsora*) och för frosthärdighet samt skottskjutnings- och produktionskapacitet. Ett urval skedde för förädling och tidig uppförökning för kommersiellt bruk. Den breda naturvetenskapliga ansatsen i *Salix*-forskningen fortsatte under 1980- och 1990-talen vid SLU. En syntes av *Salix*-forskningen i Sverige under 1990-talet har sammanställts och presenterats av Prof. Stig Larsson (ER 30:2004), och så sent som 2007 gjordes en utförlig utredning av *Salix* som jordbruksgröda i en statlig offentlig utredning. (SOU 2007:36).

Praktisk tillämpning

Marker med god produktionsförmåga ger som för alla andra växter en högre produktion. Markens pH-värde bör vara mellan 5,5 och 7,5. Mojordar, lätta leror, mellanleror och även styva leror är lämpliga marker för *Salix*-odling. Sandjordar kan också vara lämpliga om plantorna har tillgång på vatten. *Salix* växer bra på mulljordar, men sådana jordar är ofta svårskötta med avseende på ogräsbekämpningen.

Markförberedelserna året före plantering är av största betydelse för att först och främst utrota kvickrot, men även andra fleråriga ogräs. Bästa sättet att göra det är att träda marken ett år under vilket man bekämpar kvickrotten med glyfosatpreparat (Roundup) under sommaren. Innan plantering sker ska marken harvas som inför normal sådd.

Planteringsmaterialet består av ettåriga *Salix*-skott. Dessa bereds på vintern och förvaras fram till planteringen vid -4°C i frysrum. Plantering sker från slutet av april fram till mitten på juni, men bör helst starta så tidigt på våren som mark- och väderförhållanden tillåter. Planteringen sker med en maskin som i ett och samma moment klipper långskotten till sticklingar och sedan planterar dessa. Det totala antalet sticklingar som planteras per hektar är cirka 13 000. Ogräsbekämpningen under etableringen av en *Salix*-odling är oerhört viktig. Bekämpningen av ogräset under planteringsåret sker både kemiskt och mekaniskt. Om ogräset inte är under full kontroll efter planteringsåret är det viktigt att utföra mekanisk bekämpning även året efter.

När *Salix*-odlingen är etablerad ska den gödslas och det är huvudsakligen kväve som måste tillföras. Växtnäring kan antingen tillföras med handelsgödsel eller med slam från kommunala avloppsreningsverk. Slam måste dock kompletteras med extra kvävegödsling. Kvävebehovet varierar beroende på beståndets ålder och skottens utveckling. Totalt under ett omdrev tillförs 150-250 kg N ha⁻¹.

En *Salix*-odling är skördemogen då vedbiomassan överstiger 25 ton torrsubstans per ha eller då stamdiametern vid basen på de grövsta skotten överstiger 6 cm. Det här inträffar vanligtvis då skotten nått en ålder av 3-4 år. Skörd av *Salix* sker på vintern då plantorna invintrat och fällt sina blad.

Det råder stor förvirring kring vilka produktionsnivåer som *Salix* kan uppnå. En anledning till detta är att olika produktionsbegrepp används utan att detta klart definieras. Man måste skilja på följande tre begrepp: (1) *Potentiell produktion* är den nivå som teoretiskt kan nås om en växt av en viss genetisk konstitution kan tillgodogöra sig all inkommande fotosyntetisk aktiv strålning, vilket dock är beroende av rådande temperaturer. För flera *Salix*-kloner ligger denna nivå på väl över 35 ton torrsubstans per hektar och år. (2) *Nåbar produktion* anger den ovan nämnda nivå men inkluderar begränsningar i produktionen beroende av vatten- och näringsbrist samt räknar bort den fraktion som inte kan skördas (rötter). (3) *Aktuell produktion* är den produktion som man erhåller efter nedsättning av den nåbara produktionen genom insektsangrepp, frostsador och påverkan av andra skadegörare samt ogräs. I praktiken har en produktion på 0 till ca 20 ton torrsubstans per hektar och år uppmätts, och de sämre resultaten har varit en följd av misskötsel. Idag uppskattas skördenivåerna för *Salix* till mellan 7 och 10 ton torrsubstans per hektar och år i välskötta odlingar.

Abiotiska skador

Om det finns stor risk för frost måste frosttåligare sorter användas. Mindre skiften i områden dominerade av skog bör undvikas eftersom risken för viltskador är stor.

3.1.7 Dikning och dikesrensning av åker- och skogsmark samt gödsling av torvmark med låga naturvärde

Principer för dikning och gödsling av torvmarker

Skogsdikning syftar till att förbättra trädens tillväxtbetingelser genom avledning av överskott av vatten. Gödsling av torvmarker syftar till att öka utbudet av de växtnäringsämnen, främst fosfor (P) och kalium (K), som dessa marker oftast har brist på.

Skogsdikning har i Sverige förekommit sedan mitten av 1800-talet och inledningsvis var åtgärdens omfattning liten. Under 1930-talets depressionstider var dikningsaktiviteten hög då upp mot 10000 km diken grävdes årligen till en sammanlagd beräknad båtnadsareal av mer än en kvarts miljon hektar. Dikningsverksamheten avtog därefter snabbt och upphörde nästan helt på 1940-talet. Därefter ökade dikningsintresset igen och den årligen dikade arealen steg successivt under de påföljande decennierna i takt med att statliga bidragsmedel ställdes till förfogande för åtgärden. En ny kulmen nåddes på 1980-talet då dikningen var av samma omfattning som på 1930-talet, dock med den skillnaden att skyddsdikning i syfte att motverka försumpning efter slutavverkning var av mycket större omfattning på 1980-talet. På senare år har dikningsintresset åter svalnat, främst beroende på restriktioner från miljösynpunkt. Sammanlagt kan mellan 1,5-2 miljoner hektar torvtäckt mark i landet bedömas ha tagits i anspråk genom skogsdikning.

Gödsling av torvmarker kan ske med biobränsleaskor, dvs träaska eller torvaska, vilka normalt innehåller de mineralnäringsämnen som torvmarkerna oftast lider brist på. Man kan även använda handelsgödselmedel med kalium och fosfor, med eller utan kväve. När det gäller tillväxteffekter bedöms dessa båda typer av gödselmedel vara likvärdiga.

Forskning

Haveraaen (1969) som studerade gamla dikningsområden i Nord-Trøndelag i Centrala Norge, fann att dräneringen var otillräcklig för god skogsväxt om mer än 20% av bottenskiktet utgjordes av sumpmossor. Det mest omfattande och detaljerade vetenskapliga underlag som för närvarande står till buds för skattningar av effekten på skogsproduktionen efter dikesrensning och kompletterande dikning

på torvmarker i boreal skog har framtagits i Finland. Vid simulering av beståndsutvecklingen med och utan dikesrensning i talldominerad skog i norra Finland, där dikningen utfördes för mer än 20 år sedan, resulterade dikesrensningen som mest i en årlig ökning av grundytan med $2,5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ jämfört med om ingen dikesrensning utfördes (Hökkä & Salminen 2006). Detta motsvarar ungefär en årlig volymproduktionsökning med $1 - 1,5 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1}$ i 20 år, dvs. totalt $20 - 30 \text{ m}^3$ under hela perioden. Högre ökningstal, $1,6 - 1,9 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1}$, har rapporterats (Lauhanen *et al.* 1998) men de är grundade på ett relativt litet underlagsmaterial från enbart grandominerade torvmarker och avser en jämförelse mellan resultatet efter kompletteringsdikning och ingen åtgärd alls. Ett huvudresultat i en annan simulering av Ahtikoski *et al.* (2008) var att lönsamheten av dikesrensning ökade med högre beståndsvolym i startläget, bättre ståndortstyp och högre temperatursumma.

Trots att de första skogsgödslingsexperimenten med träaska på dikade torvmarker lades ut i Sverige (Hällmyrarna, Västerbotten) för mer än 80 år sedan, och att utläggning av ett stort antal sådana försök på börjades i Finland drygt tio år senare, är underlaget för bedömning av merproduktionen av gödsling i torvmarksskogar svagt. Av gödslingsexperimenten är det försöket från 1926 på Norra Hällmyren i Västerbottens kustland, där en engångsgiva av 12,5 ton aska per ha spreds på en enda provyta (om $30 \times 30 \text{ m}$) på en dikad och kal lågstarmyr, som givit det mest iögonfallande resultatet. Medelproduktion var ca $5 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ under de 50 första åren (Holmen 1977), vilket ska jämföras med helt utebliven beskogning på den dikade men ogödslade kontrollytan. Den enda serie av identiskt utformade gödslingsförsök med upprepningar på dikade torvmarker i Sverige är från 1969 då sex försöksled med olika doser av handelsgödsel (PK och NPK) etablerades på fem trädlösa och näringsfattiga myrar med god nord-sydlig spridning i landet (temperatursummor från $825 - 1400$ dygngrader). Resultaten från dessa försök rapporterades av Sundström (1995) och visade bl.a. att beståndsvolymen var tiofalt högre på gödslade ytor 18 år efter plantering och gödsling på de två sydligaste försöksområdena (knappt $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ jämfört med ca $5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ på ogödslade kontroller). Däremot kunde ingen statistiskt säker produktionshöjning av gödsling påvisas på de två nordligaste försöksområdena. En slutsats från det påvisade sambandet mellan avtagande effekt av PK-gödsling med avtagande temperatursumma är att PK-gödsling inte bör utföras på torvmarker i områden där temperatursumman är lägre än 950 dygngrader ($> 5 \text{ }^\circ\text{C}$). En sammanställning av flera studier av skogsproduktionens storlek efter dikning och askgödsling på relativt näringsfattiga, öppna myrar i Finland gjordes av Silfverberg och Huikari (1985). Resultaten beträffande den höga och uthålliga beståndstillväxten efter askgödsling är slående. Den årliga tillväxten var $12 - 17 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, $30 - 40$ år efter asktillförsel, och beståndsvolymökningen varierade mellan 0 och $8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ under perioden efter gödsling som var mellan 21 och 46 år. Efter en sammanställning och analys av de finska askgödslingsförsöken konstaterar Silfverberg (1996) att en rekommenderad handelsgödselgiva om 45 kg P per ha (Paavilainen 1979) bör följas i så måtto att inte mindre askdoser än två ton per ha ges. Silfverberg (1996) påpekar särskilt att askgödsling kan visa sig mindre lämplig på torvtäckta marker med gammal skog som i första hand är i behov av kväve, på ståndorter med hög naturlig bördighet samt på växtplatser med ett tunt torvlager och god tillgång på näring från underliggande mineraljord.

Praktisk tillämpning

Följande metoder för skogsdikning tillämpas idag:

- Nydikning som syftar till att långvarigt sänka vattenhalten eller grundvattenytan för att därigenom åstadkomma en varaktig ökning av skogsproduktionen.
- Dikesrensning som syftar till att återställa ett befintligt dikessystems dränering genom att gamla diken rensas till ursprungligt djup.
- Skyddsdikning som syftar till att avleda ett vattenöverskott som förorsakats av stigande grundvattennivå efter en kalavverkning.

Skogsdikning är idag en metod som är starkt reglerad i lagar och bestämmelser. Nydikning får inte ske utan tillstånd från länsstyrelsen. I stora delar av Sverige meddelas inga sådana tillstånd varför metoden i princip är förbjuden. Tillstånd krävs också för dikesrensning som utförs efter så lång tid att ett nytt naturtillstånd inträtt, vid fördjupning av diken och vid uträtning av diken. I övriga fall kräver dikesrensning inget tillstånd eller anmälan men i vissa fall kan åtgärden omfattas av samrådsplikt. Skyddsdikning skall i förväg anmälas till Skogsstyrelsen minst 6 månader innan åtgärden skall påbörjas.

Skogsdikningens biologiska effekter

Hydrologiska effekter. Efter dikning sjunker vattenhalten eller grundvattenytan i den översta delen av markytan vilket leder till ökad syresättning av trädens rotmiljö. Grundvattennivån på dikad mark bör inte vara närmare markytan än omkring av halv meter. Dikena kan även avleda vattentillrinning från omgivande mark och yligt överskottsvatten efter nederbörd. Förutom den förbättrade syresättningen av rotmiljön leder dikning också till att markytan blir varmare. Oftast sjunker markytan så småningom efter en dikning då torven sjunker samman när vattnet dräneras bort.

Effekter på näringsomsättning. Den ökade markluftningen efter dikning syresätter det organiska materialet till större djup än tidigare. Därigenom ökar nedbrytning och mineralisering av organiskt bundet kväve. Många torvmarker har låg tillgång på växttillgängligt fosfor och kalium och tillgången på dessa näringsämnen påverkas inte av dikning. På många dikade torvmarker kan därför fosfor och kalium vara mera tillväxtbegränsande än kväve.

Kemiska effekter på avrinningsvatten. På längre sikt får avrinningsvatten från dikad torvmark ofta högre pH-värde jämfört med före åtgärden. Dikning av näringsrik torvmark kan ge ökad risk för bildning av nitratkväve. Om ett växtligt trädbestånd saknas kan detta leda till kväveläckage till omgivande vattensystem.

Materialtransport. Avrinningsvatten från en dikad våtmark får ofta en förhöjd halt av löst organiskt material, särskilt i samband med själva dikesgrävningen och under avvattningsfasen närmast därefter. Det vattenlösliga organiska materialet tillsammans med uppslammat fast material ger grumligt vatten. I avrinningsdiken och bäckar kan sedimenterade partiklar påverka arter i bottenfaunan.

Rekommendationer för dikning

Nydikning av skogliga våtmarker med syfte att varaktigt höja markens produktionsförmåga kommer ofta i konflikt med de stora naturvärden som är knutna till dessa marker. Åtgärden får inte utföras utan särskilt tillstånd från länsstyrelsen. I stora delar av södra Sverige meddelas inga sådana tillstånd varför metoden i princip är förbjuden. Trots att metoden kan ge stora produktionseffekter är den av dessa anledningar inte aktuell för ett intensivskogsbruk.

Dikesrensning för att återställa den ursprungliga dränerande kapaciteten rekommenderas när dikena efter en längre tid blivit alltför igenlammande eller igenväxta av sumpmossor vilka indikerar att dräneringen är undermålig. Dikesrensning är normalt en nödvändig underhållsåtgärd och ett resultat av en lyckad åtgärd är att sumpmossorna ersätts av friskmarksmossor. Rensningen inriktas mot dikenas botten men får inte gå djupare än den ursprungliga dikesbotten. Åtgärden kräver inget tillstånd och behöver normalt inte anmälas så länge rensningen av dikena endast utförs till ursprungligt djup. En lämplig tidpunkt för dikesrensning är ofta då en tidigare dikad mark blivit kal efter slutavverkning eller stormfällning. I södra Sverige finns stora arealer tidigare dikad mark där dikena växt igen och där en dikesrensning är ett kostnadseffektivt sätt upprätthålla en god skogsproduktion. Sammanlagt för hela landet bedöms ca 400000 ha torvmarker vara i behov av dikesrensning och kompletterande dikning.

Med stöd av finska forskningsresultat kan antas att en produktionsökning av dikesrensning och vid behov kompletterande dikning på torvmarker i Sverige lågt räknat kan anges till $1,5 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1}$ för de grandominerade örttyperna i samtliga landsdelar, för bättre ris typer i Svealand och Götaland samt för lågstarrtypen i Götaland. På all övrig torvmark i behov av bättre dränering kan produktionsökningen bedömas till $1,0 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1}$. Den årliga produktionsökningen i hela landet blir då drygt $500\,000 \text{ m}^3 \text{ sk}$.

Skyddsdikning rekommenderas vid försumpning av frisk mark när åtgärden krävs för att ny skog skall kunna etableras. Normalt rekommenderas endast grunda diken ($0,4 - 0,6 \text{ m}$). Där så är möjligt bör skyddsdikning emellertid undvikas genom att andra skötselmetoder används, såsom skärmställning, lämplig hyggesutformning eller slutavverkning i etapper. När skyddsdiken fullgjort sin funktion och ny skog etablerats bör de få växa igen eller aktivt läggas igen. På vissa marker är skyddsdikning en nödvändig föryngringsåtgärd när ny skog skall anläggas efter avverkning eller stormfällning. Åtgärden kräver normalt inget tillstånd men skall i förväg anmälas till Skogsstyrelsen. Metoden tillämpas idag i konventionellt skogsbruk och behandlas därför inte vid beräkning av produktionspotentialen för intensivodling i denna studie.

På många dikade marker bör dikningsåtgärder följas upp med andra skogsskötselåtgärder. Dessa åtgärder bör sättas in så att skogens självdränerande kapacitet (pumpfunktion) underhålls och förbättras. Lämplig beståndsslutenhet upprätthålls genom att röjning och gallring sätts in. Dikade marker bör inte kalavverkas. Istället rekommenderas etappvis avverkning genom användning av låg- och högskrämar som successivt utglesas när ny skog etablerats. Naturlig föryngring bör eftersträvas genom utnyttjande av ett befintligt plantuppslag eller genom självsädd under fröträd.

Rekommendationer för gödsling och askspridning på torvmarker

För gödsling av torvmarker bör endast marker med minst 30 cm mäktig torv som har fungerande diken och är produktiv skogsmark komma ifråga. Markvegetationstyper med dominans av örter och sämre ris bör inte gödglas. Sammantaget bedöms för hela landet drygt $400\,000 \text{ ha}$ dikad och skogbevuxen torvmark av blåbär-fräketyp, bättre ristyper och lågstarrtyp vara aktuell för gödsling.

Den förväntade produktionshöjningen av gödsling på torvmark kan bedömas till $1,5 - 3,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Torvmarksgödslingens bidrag till produktionsökningen i landets skogar bedöms vara omkring 1 miljon $\text{m}^3 \text{ sk}$ per år. Nära hälften av ökningen kommer från Götaland.

Produktionsökningar av såväl dikesrensning som gödsling kan relativt snabbt realiseras. När åtgärderna, väl utförts kan merproduktionen påräknas inom några få år.

3.2 Skötselmodeller som kräver forsknings-/utvecklingsinsatser men som ändå kan startas i begränsad skala

3.2.1 Lärk

Principer för lärkskogsbruk

Arter inom lärksläkten har utpräglade pionjäregenskaper, d.v.s. de är lättetablerade, har en snabb ungdomsutveckling och kan odlas i korta omloppstider med bibehållen hög produktion. Dessa egenskaper gör odling av lärk intressant för ett intensivskogsbruk. Baserat på forskning och praktisk erfarenhet bedöms sibirisk lärk (*Larix sibirica*, *Larix sukaczewii*) vara det i sammanhanget intressantaste trädslaget för norra Sverige och hybridlärk (*Larix x eurolepis* Henry) för södra Sverige.

Hybridlärk är en korsning mellan japansk och europeisk lärk som introducerades i södra Sverige under 1900-talets senare hälft. Introduktionen var till en början ganska långsam, p g a osäkerhet om den

framtida marknadssituationen, men idag är hybridlärk det mest använda utländska trädslaget i sydsvenskt skogbruk. Huvudanledningen till detta är att hög tillväxt, ett tillväxtmönster som medger en kort omloppstid, god avsättning och bra priser ger en mycket konkurrenskraftig ekonomisk kalkyl.

Sibirisk lärk har i liten omfattning prövats i södra Sverige men resultaten har oftast varit nedslående, främst på grund av skador. I norra Sverige har större arealer planterats men virkesförråden av sibirisk lärk är totalt sett mycket små varför odlingserfarenheterna av naturliga skäl är begränsade. Hybrider mellan sibirisk och japansk lärk och mellan sibirisk och europeisk lärk har prövats i norra Sverige, varvid förelöpande resultat visar att produktionen för båda hybriderna är mycket hög och betydligt högre än hos sibirisk lärk (Karlman 2009, *pers. com.*)

Forskning

Hybridlärk har varit föremål för relativt omfattande forskning, särskilt internationellt, men det finns även svenska undersökningar (Larsson-Stern 2003). Det finns en del äldre nordiska studier där man studerat produktion och utveckling för japansk och europeisk lärk, och rekommenderar ett tidigt insatt mycket intensivt gallringsprogram (Kiellander 1958; Møller 1965; Wielgolaski *et al.* 1993).

En svensk produktionsmodell för hybridlärken bygger på totalt 28 provytor (Ekö *et al.* 2003) från vilken en produktionstabell har beräknats (Tabell 3.2.1:1). Den årliga medeltillväxten når ca 13 m³sk ha⁻¹ vid kulmination vid 35-40 års ålder. En förlängning av omloppstiden bedöms inte resultera i någon dramatisk nedgång i volymproduktion.

Larsson-Stern (2003) redovisade i en ekonomisk kalkyl baserade på förutsättningarna år 2002 ett markvärde för hybridlärk som vid 3% kalkylränta var 135% högre än för gran och vid 2% ränta ca 50% högre. Det årliga kassöverskottet var dock marginellt högre (7%) för hybridlärk.

Tabell 3.2.1:1. En produktionstabell för hybridlärk i södra Sverige, ståndortsindex H₄₀ 28 m (Ekö *et al.* 2004)

Total Ålder	Ålder i bröst- höjd	Beståndet före gallring					Uttag				Årlig tillväxt	
		Övre höjd (m)	Stam- antal (st/ha)	Dg (cm)	Grund- yta (m ² /ha)	Volym (m ³ /ha)	Stam- antal (st/ha)	Dg (cm)	Grund- yta (m ² /ha)	Volym (m ³ /ha)	Löpande (m ³ /ha)	Medel (m ³ /ha)
15	11	13,0	2000	12,9	26,2	146	811	11,6	8,6	47		9,8
20	16	16,2	1189	16,7	26	183	412	15,5	7,8	54	16,9	11,5
25	21	19,2	778	20,1	24,7	209	201	18,5	5,4	45	15,9	12,4
30	26	21,8	577	23,3	24,6	238	113	22,3	4,4	43	14,9	12,8
35	31	24,2	464	25,9	24,5	264	73	25,4	3,7	39	13,8	13,0
40	36	26,4	391	28,2	24,5	289	61	27,8	3,7	43	12,8	12,9
45	41	28,4	330	30,4	23,9	304					11,7	12,8

Larsson-Stern (2003) redovisade i en ekonomisk kalkyl baserade på förutsättningarna år 2002 ett markvärde för hybridlärk som vid 3% kalkylränta var 135% högre än för gran och vid 2% ränta ca 50% högre. Det årliga kassöverskottet var dock marginellt högre (7%) för hybridlärk.

Undersökningar av sibirisk lärk i norra Sverige visade att volymproduktionen i genomsnitt var 10-25% högre hos sibirisk lärk än hos tall och gran, men med stor variation (Martinsson 1995). På flacka och våta marker var dock produktionen lägre än hos de andra trädslagen.

Lärkvirkets egenskaper skiljer relativt mycket från egenskaperna hos tall- och granvirke. I andra delar av Europa och världen har lärkarterna en omfattande förekomst och en betydande användning för olika ändamål (Bergstedt & Lyck 2007). Lärkvirke betraktas som motståndskraftigt och varaktigt, och har torgförts som ett alternativ till impregnerat virke. Det har under en lång period pågått en debatt om motståndskraften. Den ena sida hävdar att motståndskraften är hög, medan den andra hävdar att

kärnvirkets varaktighet inte är större än hos kärnvirke av tall (Berggren 2007; Bergstedt & Lyck 2007). Kärnvedsandelen hos lärk är redan från tidig ålder mycket hög och det finns stora skillnader i egenskaper hos virket mellan lärkarterna, t.ex. vid jämförelse av snabbväxt hybridlärk och senvuxen sibirisk lärk (Berggren 2007; Bergstedt & Lyck 2007).

Praktisk tillämpning

Odling av hybridlärk medger valmöjlighet när det gäller skötsel mål. Ett alternativ är att satsa på en förhållandevis kort omloppstid (ca 40 -50 år), varvid virket kan användas för inredningar, golv, trallvirke, utemöbler etc. Det är emellertid också möjligt att satsa på en längre omloppstid (upp mot 100 år eller mer), med målsättning att producera grovt högkvalitativt virke. För användning av lärk i ett skogsbruk med inriktning mot intensivodling torde det förstnämnda skötsel målet vara av störst intresse.

Rekommendationer om ståndortsval är att man bör odla hybridlärk på god granmark. Det avråds från plantering av hybridlärk på alltför bördig och särskilt finjordsrik mark vilket kan resultera i dålig virkeskvalitet. Det finns begränsad erfarenhet när det gäller vilka klimatiska betingelser som krävs för en godtagbar överlevnad och utveckling hos hybridlärk. Tills vidare avråds därför från hybridlärkodling inom de klimatiskt käre inre delarna av Götaland, främst sydsvenska höglandet. Sibirisk lärk bör inte etableras på våta och flacka marker i norra Sverige.

Nya hybridlärkbestånd anläggs genom plantering av 2000-2500 plantor per ha. Normal markberedning och behandling mot snytbagge anses nödvändigt. Det rekommenderas att använda hägn eller kemiska viltrepeller för att skydda plantorna mot viltskador, både betning och fejning är vanligt förekommande. Naturlig föryngring bedöms som en möjlig metod för etablering av en andra generation, men man tappar då naturligtvis kontrollen över odlingsmaterialets egenskaper. Ungskog bör röjas för att avverka skadade, kvalitetsmässigt dåliga och förväxande individer samt ta bort eventuellt lövuppslag. Gallringsprogrammet startar vid en övre höjd av 12-14 m och bör vara intensivt med korta gallringsintervaller under första delen av omloppstiden och längre under den senare delen. Antalet stammar efter den sista gallringen bör vara ca 350 - 450 ha⁻¹.

En jämförelse av Larsson-Stern (2003) visar att den årliga medeltillväxten för bestånd av hybridlärk är ca 1 m³ ha⁻¹ högre än för granbestånd. Den stora skillnaden mellan trädslagen ligger emellertid i tillväxtmönstret där hybridlärkens högsta medeltillväxt nås redan vid en ålder av ca 25 - 30 år, medan kulmination för gran ligger vid en ålder som är mer än dubbelt så hög.

För beståndsanläggning av sibirisk lärk i norra Sverige rekommenderas plantering men även sådd är möjligt (Martinsson 1999). För skötsel av etablerade bestånd av sibirisk lärk rekommenderas finska gallringsmallar (Voukila *et al.* 1983), vilket innebär 2-3 gallringar under en 100-årig omloppstid (Martinsson 1999).

Odlingsmaterialets egenskaper bestäms av föräldrarnas egenskaper och kan därför påverkas genom val av härkomst och förädling, varvid de viktigaste faktorerna är härdighet, tillväxt och virkeskvalitet. Hybridlärk har i Europa blivit föremål för intensiv förädling. Det finns forskare som hävdar att om samma uppmärksamhet ägnats den europeiska lärken skulle en likvärdig tillväxt, resistens mot lärkräfta och kvalitet kunna erhållas som för hybridlärk (Pâques 2000).

Hybridlärkfrö skördas i plantager med individer av valda plusträd av japansk och europeisk lärk. Arrangemangen kan variera, t.ex. kan kottar enbart skördas från en japansk klon medan ett antal europeiska klonerna får tjänstgöra som pollinatörer. På så sätt försöker man få så stor andel hybridfrö som möjligt. I utländska undersökningar har det emellertid visat sig att en relativt stor andel av plantorna som sätts ut trots allt inte är hybrider utan någon av föräldrarnas (Pâques 2000). Någon motsvarande undersökning har inte gjorts i Sverige.

Det finns flera fröplantager i Europa och i Sverige (Maglehem, Trolleholm, Hjälmskult, Klev och Lagan) (Sterner et al. 2005). I Sverige har framförallt material från Maglehem använts, men även danskt material (Holbaek, Flensburg, Fårefolden) har varit vanligt förekommande. Det danska materialet har rykte om sig att vara betydligt rakstammigare än den svenska. Numera anser man sig dock ha förbättrat materialet från fröplantagen Maglehem, genom att de kvalitetsmässigt sämsta klonerna tagits bort.

Abiotiska och biotiska skador

Lärken anses vara mera instabil i ungdomen, men blir alltmer stormfast i högre ålder. Jämförande undersökningar efter stormen 2005 påvisade inga statistiskt signifikanta skillnader mellan lärk och gran, men i medeltal var vindskadorna lägre i lärkbestånd (23%) än i granbestånd (32%) (Zetterberg 2007).

Som inledningsvis nämnts var ett av motiven till att introducera hybridlärk att man ansåg att den inte drabbades av rotröta och således var ett alternativ att plantera efter rötinfekterad gran. Emellertid kom förhoppningarna på skam. Hybridlärk har visat sig vara minst lika drabbad av rotröta som gran (Rönnerberg & Vollbrecht 1999; Vollbrecht & Stenlid 1999). Därför rekommenderas numera stubbehandling vid gallring av lärk, på samma sätt som för gran.

Det har rått en viss diskrepans mellan hur forskare och praktiker uppfattar rötproblemet. Praktiker har upplevt problemet som mindre än vad forskarnas resultat ger vid handen. Detta kan bero på att lärkvirkets mörkbrunnröda färg i rötans tidiga stadium kan kamouflera angreppet. Används sådant virke i t.ex. inomhuspaneler torde det inte nämnvärt påverka kvaliteten. I rötans senare stadier är naturligtvis angreppet och skadan uppenbar. Virket blir först mjukt och till sist uppstår håligheter.

Andra skadegörare

Det finns även andra skadegörare, men av mer marginell betydelse. Det inträffar ibland omfattande angrepp av lärkmal (*Coleophora laricella*), vilket leder till att den fotosyntetiserande förmågan begränsas. Tillväxten sätts ned så länge angreppet varar, men träden synes sedan återhämta sig väl.

Beträffande lärkkräftan som är ett allvarligt problem i europeisk lärk, står sig förhoppningarna när det gäller hybridlärk. Några allvarliga angrepp har hittills inte konstaterats.

3.2.2 Sitkagran

Principer för odling av sitkagran

Sitkagranens naturliga utbredningsområde sträcker sig längs Nordamerikas västkust, från Alaska i norr till norra Kalifornien i söder. Trädslaget är infört till Europa och används sedan lång tid tillbaka storskaligt för skogsbruksändamål i ett flertal europeiska länder.

Sitkagranen förekommer i såväl rena bestånd som i blandbestånd. I Nordamerika rapporteras trädhöjder på 80-90 meter (Lagerberg 1962; Skovsgaard 1997). Mer normalt är dock en höjd på 40-60 meter och en diameter på 1-2 meter. I Skottland har enskilda träd uppnått höjder på 50 meter (Karlberg 1961).

Forskning

Enligt Skovsgaard (1997) lämpar sig sitkagranen bättre för ett gallringsfritt skogsbruk än vad vanlig gran gör eftersom sitkagranen uppvisar en stor naturlig diameterspridning. Metoden med gallringsfri

skötsel lämpar sig bäst på bördiga marker. I en senare undersökning konstaterar Skovsgaard (2009) att effekten på volymtillväxten efter låggallring är starkt beroende av ståndorten. Om vattenförsörjningen är god och rotsystemen djupa, kan en lätt låggallring vara optimal för volymproduktionen medan gallring på ståndorter med högt grundvatten och grunda rotsystem innebär en minskning av volymtillväxten. Denna minskning ökar med gallringsstyrkan. I en norsk undersökning (Øyen 2001) visar sitkagran god dimensionsspridning och utvecklar sig tillfredsställande utan gallring. Jämfört med gallringar där 40% av virkesförrådet har tagits ut är effekterna på totalproduktion och mängden grova träd liten jämfört med ogallrade bestånd.

Jansson och Johansson (1980) fann att sitkagran i Sverige producerar 22% mer vid 40 års ålder på SI G36 och 26% på SI G32. Karlbergs (1961) studier visade att sitkagranens höjdtutveckling är överlägsen granens och att volymproduktion ligger 20-50% högre. Tengberg (2005) rapporterade att sitkagranens produktion i Sydsverige var 14% högre än granens i genomsnitt. I en 14-årig försöksserie med avkommor av sitkagran från olika frökällor skiljde det över 30 % mellan medeldiametern från olika frökällor (Skogforsk opubl). Avkommor från norska fröplantager med plusträd med ursprung från Alaska var betydligt sämre än danska och svenska fröplantager med plusträd av sydligare ursprung. Jämförande studier i Norge mellan sitkagran och gran på marker med samma ståndortsförhållanden visade att sitkagranens genomsnittliga produktion var 34% högre än för granen (Øyen & Tveite 1998). Enligt Henriksen (1958) så överstiger sitkagranens produktion granens i Danmark med 10-80% beroende på bl.a. markslag och proveniens.

Praktisk tillämpning

Lämpliga ståndorter för sitkagran i Sverige är normala granmarker med god tillgång på rörligt markvatten i västra och södra Götaland. Flacka marker med frostrisk bör undvikas. I ett framtida klimat som i sydvästra Sverige verkar bli alltmer maritimt bör sitkagranen anpassningsmässigt ha fördelar framför vår vanliga gran.

Skötseln av bestånd med sitkagran i Sverige kan i mångt och mycket utgå från skötsel av granbestånd. Beståndsanläggning sker genom plantering med samma markberedningsmetoder, planttyper och planteringsmetoder som för vanlig gran. I etablerade bestånd bör den första gallringen sättas in tidigt p.g.a. den starka ungdomstillväxten och gallringsintervallet bör vara tätt. Omloppstidens längd varierar från 45 år till över 60 år i Skottland beroende på ståndortsförhållandena. Det kan ifrågasättas om sitkagran ska vara föremål för gallring vid odling för att maximera biomassaproduktion. Speciellt på ståndorter med ökad risk för röta och eller stor risk för stormfällning kan det finnas anledning att beakta såväl gallringsfritt skogsbruk som förkortning av omloppstiden.

Valet av skogsodlingsmaterial är av största betydelse för att lyckas med bestånd av sitkagran. I första hand bör plantmaterial användas som är känt och helst testat. Eftersom det inte finns någon svensk fröplantage som producerar förädlad frö bör material från danska fröplantager användas. I andra hand bör plantor från svenska eller danska frötäktsbestånd användas. Högst produktion kan uppnås om man utnyttjar vegetativt förökade plantor från korsningar mellan utvalda, testade föräldrar inom den svenska förädlingspopulationen (Skogforsk, opubl.). Den svenska sitkagransförädlingen är ännu i sin linda och har ett begränsat förädlingsmaterial. Nielsen (1994) konstaterade att sitkagran redan efter en generation i Danmark hade kommit så långt i sin landrasbildning att danskt frö rekommenderades framför direktimport av provenienser från Nordamerika. Inom det svenska förädlingsprogrammet har därför plusträd valts i lyckade bestånd i södra Sverige. Förädlingen i Storbritannien har pågått längre och med högre intensitet. Där pekas på stor potential till avsevärd genetisk vinst (Fletcher 1992; Lee 1992; Mochan *et al.* 2008).

Det största problemet idag är bristen på lämpligt skogsodlingsmaterial. För att få full utväxling av ett skifte till sitkagran i stället för att använda förädlad vanlig gran krävs det att skogsodlingsmaterialet är

fröplantageplantor eller bättre. Allra bäst skulle vara att använda vegetativt förökade plantor med hel- eller halvsyskonfröpartier från fälttestade föräldrar med goda avelsvärden

Eftersom kunskap finns om val av skogsodlingsmaterial, anläggning och skötsel av sitkagran bedöms odling i full skala kunna ske omgående. En förutsättning för detta är att plantmaterial med tillfredsställande genetisk nivå finns att tillgå. Eftersom sitkagran är lätt att sticklingsföröka så kan bra fröpartier förökas upp från dessa. Danska fröplantager har visat sig fungera bra i södra Sverige vilket innebär att planttillgången inte bör utgöra något hinder för en storskalig användning. Import av förädlade plantpartier från Storbritannien har också visat sig fungera bra i varje fall i Skåne och Halland

Abiotiska skador

Sitkagran är känslig för frost under såväl vår som höst (Mboyi & Lee 1999; Brandt, 1970) och enligt Henriksen (1988) och Brandt (1970) är frost en begränsande faktor för odling av trädslaget. Perioder av sträng vinterkyla kan orsaka barrförluster samt stamsprickor på äldre träd. Orsaken är till stor del en kombination av frost och torka (Møller 1965).

Sitkagran uppvisar enligt vissa källor en god motståndskraft mot vind (Low 1987; Brandt 1970). Enligt Møller (1965) är den mer stormfast än granen, och räknas till ett av de mer vindbeständiga trädslagen (Lines 1987). Sitkagranens stormkänslighet kan med stor sannolikhet mer sägas bero på ståndort och gallringsregim samt tid efter ingrepp än på arten som sådan.

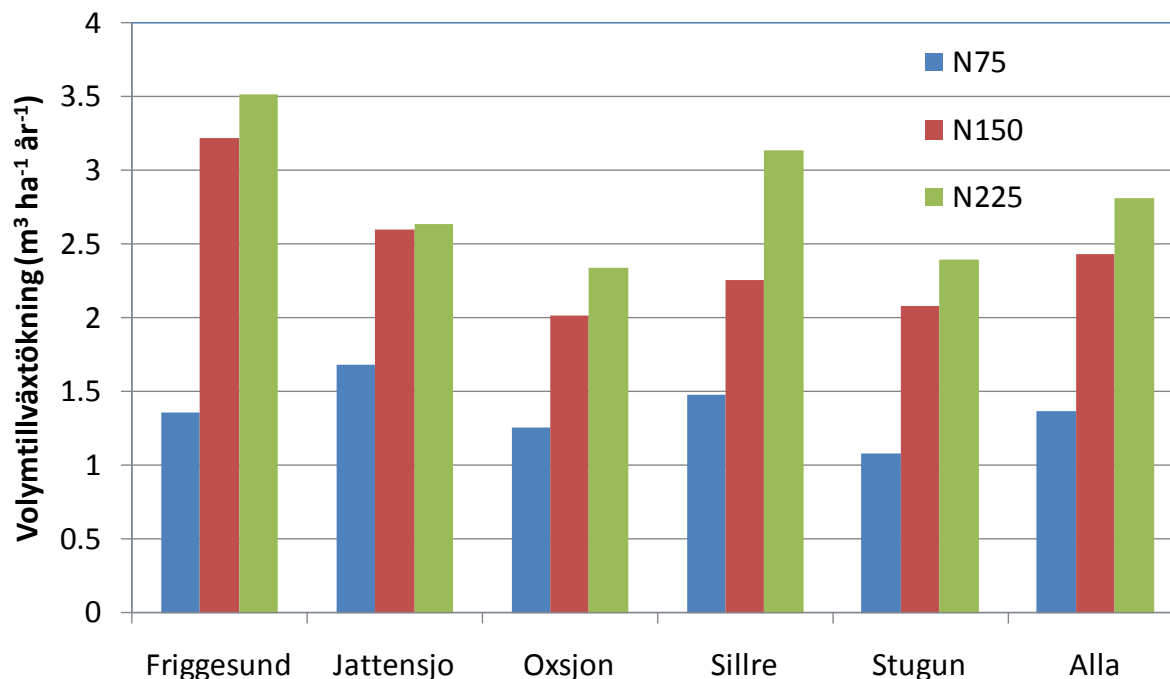
Sitkagran uppvisar stor tolerans mot saltvattenstänk (Brandt 1970; Møller 1965), bättre än något annat barrträdsdrag som odlats i Europa (Lagerberg 1962). Enligt Brandt (1970) så passar sitkagranen mycket bra i kustområdena p.g.a. att den uppvisar ”toleranser” mot vind och saltvattenstänk.

3.2.3 Övriga utländska trädslag

Bland övriga utländska barrträdsdrag som studerats i fältförsök och praktisk skogsbruk i södra Sverige har douglasgran (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) och kustgran (*Abies grandis* Lindl.) uppvisat en produktionspotential som på bättre ståndorter överstiger granens (Vollbrecht *et al.* 1995). Dessa trädslag kan därför ha ett potentiellt intresse för intensivodling. Dock bedöms de samlade kunskaperna om dessa trädslags odlingsvärde idag vara alltför begränsade för att de skall kunna användas i ett skogsbruk inriktat mot storskalig intensivodling.

3.2.4 Gödsling av contortaskog på fastmark

Gödsling av yngre contortatall har visat att contortatall reagerar bra på gödsling, men också på att trädstabiliteten kan utgöra ett problem (Pettersson *et al.* 2009). I SkogForsks gödslingsförsök i ung contortatall var tillväxtreaktionen de första fem åren $1.5\text{--}2.5\text{ m}^3\text{sk ha}^{-1}\text{ år}^{-1}$ beroende på gödslingsgiva (Figur 3.2.4:1). Gödslingsreaktionen ökade markant när givan ökades från 75 till 150 kg ha⁻¹. För de två högsta gödslingsgivorna var den löpande tillväxten drygt $2\text{ m}^3\text{sk ha}^{-1}\text{ år}^{-1}$ högre för gödslade än för ogödslad kontroll för samtliga lokaler vilket indikerar en relativt generell gödslingsreaktion för contortatall. Sammantaget så visar dessa preliminära resultat på en god gödslingsreaktion för contorta. Även om dessa försök inte direkt kan jämföras med gödsling av tall i äldre bestånd så är troligen gödslingsreaktionen för contortatall minst lika god som för tall.



Figur 3.2.4:1. Gödslingsreaktion (volymtillväxt för gödslade parceller jämfört med ogödslad kontroll) för contortatall som gödslats med tre olika N-givor. Gödslingen skedde i relativt unga bestånd (medelhöjd vid gödslingstillfället var 4.9-7.8 m). Figuren bygger på opublicerade data från SkogForsk.

3.3 Skötselmodeller som bedöms kräva mera omfattande forsknings-/utvecklingsarbete före framtida storskalig tillämpning

3.3.1 Poppelodling på åker- och skogsmark

Principer för poppelodling

Odling av arter och hybrider inom släktet poppel (*Populus*) sker i stor skala i Nord- och Sydamerika, Mellan- och Sydeuropa samt i delar av Asien och Kina. Även på våra breddgrader pågår sedan 1930-talet i södra och mellersta Sverige mera småskaliga experiment med odling av arter och hybrider inom släktet poppel.

Poppel har hittills inte varit ett stort skogsträd i Sverige utan har, främst i Skåne, mest använts som vindskydd i plantskolor och fruktodlingar samt som alléträd. Poppelns tillväxtpotential och dess förmåga att kunna klonförökas och etableras i fält via grensticklingar gör den till ett intressant alternativ på bördiga marker i södra Sverige.

Forskning

Generellt sett har popplar i Sverige problem med klimatisk anpassning och kan vara känsliga för diverse allvarliga svampsjukdomar (t.ex. *Melampsora*, *Septoria*, *Marsonia*, *Xanthomonas* och *Pseudomonas*). Det är därför viktigt att testa olika material i långsiktiga fältförsök för urval av kloner som är lämpade för olika regioner. I ett fälttest i Skåne med 46 olika poppelkloner var 75 % av träden döda vid 14 års ålder (Stener 2004).

Det poppelmaterialet som testades genom tidiga insatser från den Svenska tändsticksindustrin kom från främst Oregon och Washington, USA. En del av detta material planterades även på en försöksgård i Mykinge i norra Småland (Christersson 1996). De bästa hybridpopplarna nådde $17 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ som genomsnittlig tillväxt i detta försök under en period av 25 till 30 år (Persson 1973; Eriksson 1984).

Det finns en stor genetisk potential för selektion för tillväxt bland popplar (t.ex. Mohn & Randall 1971; Mitchell *et al.* 1988), samtidigt som artkorsningar ofta visat sig överlägsna rena arter i tillväxt (Hinckley *et al.* 1989). För svenska förhållanden har dock rena arter (*P. trichocarpa*) visat sig mer motståndskraftiga mot stamkräfta än arthybrider (Christersson 2006). På grund av ett tämligen lågt intresse från skogsbrukets sida har poppelförädling inte varit ett prioriterat område i Skandinavien. Därför har arbetet hittills begränsats till tester av material som erhållits från andra länders förädlingsorganisationer. Intensiv förädlingsverksamhet kring poppel bedrivs i Europa främst i Frankrike, Belgien och Holland. Material från dessa områden har ofta visat sig vara olämpligt eftersom det inte är anpassat till vårt klimat. Nyligen har emellertid nytt poppelmaterial hämtats från nordliga breddgrader i Nordamerika och tester av detta material pågår (Christersson 2002; 2006).

År 1990 hämtade professor Lars Christersson (SLU, Institutionen för lövträdsodling) 108 stycken poppelkloner till Sverige från Tändsticksbolagets kvarvarande försöksanläggning i Geraardsbergen, Belgien. Dessa kloner var framkorsade och utvalda till att passa det svenska klimatet. Materialet bestod av korsningar mellan *Populus deltoides* och *P. trichocarpa* men även rena *P. trichocarpa* kloner. Institutionen för lövträdsodling, SLU, hämtade även frömaterial från British Columbia och Alaska år 1994. Materialet bestod endast av rena *P. trichocarpa* frön från utvalda bestånd från latituder som överensstämmer med Sveriges, och detta material har visat mycket lovande resultat (Christersson 2002, 2006). Försöken är dock ännu för unga för ett kommersiellt urval. Dessutom erhöles frömaterial från Wisconsin av arten *P. deltoides* år 1998. Detta material visade sig vara mycket frostkänsligt under svenska förhållanden. Institutionen för skoglig genteknik, SLU, har också tagit del av det klonmaterial som byggts upp i Belgien och har sedan vidareförädlat detta material för att få en bättre anpassning till svenska förhållanden (Ilstedt 1996; Christersson & Verwijst 2006).

Skogforsks arbete med poppel har begränsats till tester av kloner som erhållits från främst Belgien och Holland där det bedrivs en relativt intensiv poppelförädling. Totalt testas 140 poppelkloner på tre olika lokaler i södra Sverige. Klonerna utgörs av amerikanska *P. trichocarpa*, *P. balsamifera* och *P. deltoides*, europeiska *P. nigra* samt hybrider dem emellan. Fälttesterna har visat på stora skillnader i överlevnad, vitalitet, tillväxt och grenighet mellan olika kloner, vilket bl.a. beror på att många kloner är dåligt anpassade till det sydsvenska klimatet. Utifrån resultat från fälttesterna efter 10–14 år har de 15 genetiskt bästa klonerna valts ut till kommersiell odling på lokaler med mildt klimat i Götaland. De kommer att finnas tillgängliga på marknaden år 2010 (Karlsson *et al.* 1996; Stener 2004).

Det finns indikationer på att de bästa poppelklonerna växer bättre än de bästa hybridaspklonerna (Stener 2004; Rytter 2004). Detta skall ställas mot att poppel precis som hybridasp är känslig för olika typer av kräfta men att även bladrost (*Melampsora* ssp.) kan vara en allvarlig skadegörare.

Idag används främst klonen OP42 (*P. maximowiczii* x *P. trichocarpa*) vid nyetablering av poppelodlingar. Den har visat mycket hög tillväxt, som mest $8 \text{ TS ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, i SLU:s försöksserier (Christersson 2002) och en medelproduktion på $20,5\text{--}38,5 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ under 16 års omloppstid i 5 planteringar i Skåne (Jonsson 2008). Det finns dock ett flertal lokaler där den drabbats kraftigt av frostkador och av kräftskador vid 12–15 års ålder. Produktionen är i det senare fallet emellertid så bra att den ändå verkar lönsam, trots att den i vissa fall måste avvecklas tidigt.

Även om poppel ibland ger högre virkesavkastning än hybridasp, och i Tyskland visat på god ekonomi (Gensler 1986), betraktas poppelodling ännu som en riskfylld verksamhet i Skandinavien (Eriksson 1991) eftersom skaderisken bedöms vara stor och virkesavsättningen osäker.

Praktisk tillämpning

Popplar är näringskrävande arter (Grosscurth 1972; Bergstedt 1981) och pH-värdet i marken bör ligga över 5 (Bergstedt 1981). Boysen och Strobl (1991) rekommenderar väl-dränerad mark med kontinuerlig vattentillgång, ett jorddjup på över 1 m och ett pH-värde på mellan 5,5 och 7,5.

Poppel planteras antingen direkt med stamsticklingar eller så rotas sticklingarna först i plantskola för att sedan sättas ut som täckrotsplantor. Planteringsförbandet för poppel bör ligga mellan 3,6 x 3,6 m och 3,0 x 3,0 m, dvs. ungefär 800 till 1100 stammar ha⁻¹ (Boysen & Strobl 1991). Vid etablering av snabbväxande lövträd, framförallt hybridasp och poppel, ges följande praktiska rekommendationer:

- Spruta bort ogräset före plantering på åkermark.
- På skogsmark, plantera på färskt hygge och komplettera med kraftig markberedning.
- Hägna till skydda mot viltskador.
- Bekämpa ogräset om det blir mycket konkurrerande vegetation.

Vid direkt jämförelse mellan hybridasp och produktiva hybridpoppelkorsningar har de senare uppnått ännu högre tillväxtsiffror än hybridasp (Telenius 1999; Karačić *et al.* 2003, Stener 2004). Omloppstiderna var dock korta (8-12 år) och allvarliga skador i unga försöksodlingar av poppel har konstaterats (t.ex. Stener 2004). Tillsammans med andra iakttagelser från poppelodlingar på jordbruksmark (Christersson 2006) dras slutsatsen att det odlingsmaterial av poppel som använts hittills inte är tillräckligt klimatanpassat för att tillåta en långsiktig skadefri odling. Ytterligare selektion samt introduktion av nytt poppelmaterial som är bättre klimatanpassat till svenska förhållanden kommer sannolikt att minska skaderisken (Christersson 2002; Stener 2004). Veddensiteten är ungefär densamma som för hybridasp.

3.3.2 Gödslings av lövskog (björk, al, asp, hybridasp och poppel)

För björk var tillväxtreaktionen på kvävegödslings betydligt mer kortvarig och avsevärt lägre (<50%) än för tall och gran (Jonsson & Möller, 1976)

En central fråga vid odling av snabbväxande lövträd är om det är lönsamt att gödsla bestånden. Gödslings av lövträdsbestånd är sannolikt en lönsam åtgärd men då gödslingseffekten under svenska förhållanden är mindre känd för lövträd än för barrträd är det oklart hur mycket ekonomin påverkas. Lothner (1986) kom fram till, från ett amerikanskt exempel, att det beror på bl.a. på tidshorisont och räntekrav.

Effekter av kvävegödslings av lövträd visas i tabell 3.3.2:1. Andra ämnen såsom fosfor och kalium kan dock drastiskt öka tillväxten vid odling av snabbväxande lövarter (t.ex. Parfitt & Stott 1987, van den Driessche *et al.* 2003). Fosfor kan immobiliseras tidigt i nedbrytningsprocessen och sålunda bli begränsande (Attiwill & Adams 1993). Därför används kompletta gödselmedel alltmer, dvs. man tillför alla essentiella näringsämnen samtidigt (Tveite 1994).

Tabell 3.3.2:1. Exempel på hur tillförsel av kväverika gödselmedel i unga år påverkat produktionen av olika lövträdsarter. Siffrorna avser den relativa skillnaden jämfört med ogödslade kontrollbestånd

Trädslag	Gödslingseffekt (jämfört med Region kontroll)	
Hybridasp	+48% i volym	Nordamerika (Einspahr & Wyckoff 1978)
Lövskogsplantager	+ 2-238% i volym	Nordamerika (Shoulders & Wittwer 1979)
Asp	+ 128% i vikt	Sverige (Nilsson & Wasielewski 1987)
Hybridpoppel	+ 35-270% i vikt	Nordamerika (Hansen <i>et al.</i> 1988)
Vårtbjörk	+ 28-35% i höjd	Baltikum (Daugaviete <i>et al.</i> 2003)

3.4 Effekter av intensivodling på vedegenskaper och råvarans användning för barr- och lövträd

Intensivodlingens effekter på vedegenskaperna hos barr- och lövträd

Intensivodling med i första hand inriktning mot ökad diametertillväxt per stam medför en ökad årsringsredd. Med ökad årsringsbredd fås för barrträd ökad andel vårved. Ökad årsringsbredd medför därför ved med lägre densitet och ökad andel tunnväggiga fibrer. För ströporiga lövträdsdrag som t ex björk, asp, al och bok förändras inte vedens egenskaper med ökad årsringsbredd. Ett svagt negativt samband finns mellan tillväxthastighet och densitet för barrträd.

Intensivodling av gran

För gran och contortatall medför en snabb diametertillväxt i ungdomen att större mängd juvenilved (ved bildad nära märke av ett ungt kambium) bildas i en kon inne i stammen. Juvenilved karakteriseras av stor andel vårved och därmed lägre densitet, kortare bredare fibrer med tunna cellväggar, större mikrofibrillvinkel (vilket i sin tur medför större längdkrympning) och en ökad andel reaktionsved i jämförelse med mogen ved. Det största problemet är att denna ved kraftigt avviker från den mogna vedens egenskaper och att förändringen sker snabbt, ofta över några få årsringar. När väl mogen ved börjat bildas spelar diametertillväxten mindre roll för vedegenskaperna. Generellt gäller dock för barrträd att en ökad tillväxt inducerad genom gödsling eller friställning ger minskad sommarved och densitet, även under den senare delen av omloppstiden. För den sågade varans egenskaper har traditionellt en ökad diametertillväxt under den första tredjedelen av omloppstiden (den tid när juvenil ved bildas i stammens nedre delar) betraktats som negativt, men som betydelselöst eller positivt under senare delen av omloppstiden. En komplicerande faktor är frågan om intensivodling genom kontinuerlig gödsling förlänger den juvenila perioden. Den relativa andelen juvenilved är dock lägre för grova träd än för klena (Pape 1999) vilket innebär att snabbväxande träd kan ha lägre relativ andel juvenilved än långsamväxande trots att den absoluta volymen juvenilved är högre på grund av snabb tillväxt i ungdomen. Vidare så skall det påpekas att juvenilved bildas under hela trädets livstid. För äldre träd bildas juvenilved i den övre delen av stammen. Bildning av juvenilved är i mogen skog starkt beroende av gallringsprogrammet.

Ökad tillväxt medför vanligtvis grövre grenar men grenutvecklingen kan påverkas med förbandets täthet, gallringsform och även genom stamkvisning. Grenutvecklingen i ett glest planteringsförband

kan kompenseras med en efterföljande höggallring (Pfister *et al.* 2007). Om höjdtillväxten ökar, ökar även avståndet mellan grenvarv vilket medför mer kvistfri ved.

Skador och fel på träd påverkar ofta värdet av den producerade råvaran mer än ved- och virkesegenskaperna i sig. Vindbrutna träd, rötskadade eller älgbetade stammar förlorar stora delar av sitt värde. Men även mindre skador kan ge upphov till försämrade effekter, t.ex. missfärgningar, barkdrag eller kådlåpor. Stamskador, krokiga träd, sprötkvistar och dubbelstammar kan ofta kopplas till odlingslokalens läge (frostskaador på lågt liggande lokaler) eller markstruktur (uppfrysning på sedimentmarker) men knappast till tillväxthastigheten i sig. På skogsodlad åkermark har en ökad frekvens skador redovisats av Norén (1996).

De problem med stamsprickor i gran som redovisades av Persson (1994) kan ses som ett exempel på svårprognosticerade skador med effekt på framtida utnyttjande vid intensivodling. Stamsprickor, ofta flera meter långa, uppkom under sent 1980-tal på intensivodlade granbestånd i mellersta och södra Sverige. Skadorna drabbade främst bestånd på nedlagd åkermark med dåligt klimatanpassade provenienser. Den direkta orsaken angavs vara torkstress. Stockar med stamsprickor duger inte till sågtimmer.

När virkesegenskaper på intensivodlade skogsmarker jämförs med normalt odlad råvara måste vi särskilja gallringsvirket från slutavverkningsvirket. Möjligheterna är goda att vid successiva röjningar och gallringar av fullt slutna bestånd avverka träd med skador och de mest ogynnsamma vedegenskaperna. Dessa skulle då i första hand falla inom kategorin energisortiment eller massaved där dessa egenskaper är av mindre betydelse. Pape (1999) konstaterar att gallringens effekter på densiteten är små och främst beror av avlägsnandet av förväxande träd. Gallringsformens inverkan på trädens framtida densitetsutveckling är begränsad. Gallring minskar generellt andelen juvenilverd i det kvarstående beståndet och effekten blir större vid höggallring än vid låggallring. Växtvridenhet (=fibervinkel) hade ett positivt samband med årsringsbredd och hårda låggallringar medförde ökad växtvridenhet. Hårda gallringar medför dock ökad tillväxt för enskilda träd och att träden når slutdimension tidigare vilket leder till minskad växtvridenhet. Hårda låggallringar medförde också en ökad vårvedsandel, en minskad cellväggstjocklek och en ökad kvot mellan fibertjocklek och cellväggstjocklek (ett uttryck för fiberns risk att kollapsa under tryck).

Vid kontinuerlig gödsling under en hel omloppstid kan man förvänta att densiteten minskar på det gödslade virket, cellväggarna blir tunnare och mikrofibrillvinkeln ökar (Lundgren 2003). Mängden juvenil ved kommer att öka men det är inte säkert att den relativa andelen juvenilverd är högre i gödslade bestånd. Gödsling kan även medföra fler och grövre grenar per löpmeter virke (Mäkinen *et al.* 2001).

Förväntade effekter på vedegenskaper vid intensivodling i praktisk skala.

Om intensivodling genomförs i stor omfattning kan man förvänta att industri och samhälle tillförs stora volymer råvara. Även om den virkesråvara som då produceras inte alltid motsvarar nuvarande råvara är det tillkommande kvantiteter som väl kan utnyttjas inom energisektorn, som massaråvara eller inom sågverks- och träindustri. Vad avser barrvirke medför den ökade tillväxten att volymen sjunker något vid omräkning till torrsbstansproduktion p.g.a. att densiteten i virket sjunker vid ökad årsringsbredd. Denna effekt är dock i regel mindre än 10%.

Jämförs vedegenskaper på intensivodlad råvara med det vi idag producerar kan man förvänta sig följande. Årsringsbredd och andelen vårved kommer att öka, främst i de inre årsringarna. Andelen juvenilverd kommer att öka. Fiberdimensionerna kommer att förändras i främst gallringsvirket, där en ökad andel tunnväggiga fibrer kan förväntas. Densiteten blir lägre vilket innebär ökade transportkostnader till industrin, lägre energi- och massautbyte per volymenhet men även per torr viktsenhet.

För den sågade varan innebär den lägre densiteten en sämre beständighet samt en minskad ythårdhet. Andelen konstruktionsvirke med nedsatt hållfasthet kommer att öka, främst på grund av en ökad kvistdiameter. En ökad växtvridenhet och mikrofibrillvinkel medför att den för formstabiliteten så viktiga längdkrympningen ökar och att mer virke kommer att vrida sig vid förändrad luftfuktighet. Virket blir dock lättare efter torkning. En komplikation, speciellt vid sågning och torkning av virke med alltför mycket juvenilverd/låg densitet är att virket trasas sönder under sågning och spricker vid efterföljande torkning. Detta är speciellt accentuerat när frodvuxet och senvuxet virke torkas samtidigt. Mot ovanstående talar att grövre virke kan avverkas och sågas vilket innebär att andelen sidoutbyten kommer att öka. Sidoutbyten har signifikant bättre hållfasthet och formstabilitet än centrumutbyten (Pfister 2009).

För energisortimenten kommer det stamvirke av barrved som utnyttjas att, vid en viss given dimension, ha lägre energiinnehåll än idag.

Användningsområden för råvara och avsättningsförhållanden för produkter från intensivodlad barrskog

Råvara av barrträd producerad vid intensivodling kan ha massaindustrin som främsta användare. Vid storskalig intensivodling kommer en relativt homogen och lättbearbetad massaråvara att produceras i en omfattning som möjliggör storskalig anpassning. Produceras råvara i tillräcklig mängd har massaindustrin upprepade gånger visat sig kunna anpassa sina processer. Enligt Wahren (1995) kan man när det gäller svensk barrved få ut ett speciellt värde genom att ta fram sortiment eller fraktioner där fibrerna är speciellt tunnväggiga. Om det gick att ta fram fibrer med ungefär samma längd och bredd som dagens granfibrer men med väsentligt tunnare fiberväggar så skulle det göra det möjligt att bygga in tillräcklig styrka och styvhet i ännu tunnare papper eller skikt i kartong. Om fibrerna är tunnväggiga så binder de bättre till varandra. Då kan man också lägga i betydligt mer lera, krita eller mald kalksten för att ge ljusspridning och opacitet. Ju tunnare fibrer desto jämnare papper kan man göra med erforderlig styrka. Nu skulle inte denna råvara passa alla massabruk men tillräckligt många för att svälja huvuddelen av den producerade råvaran. Den skulle kunna stå för förstärkningen av returmassa, och förbättra tryckbarheten och styrkan på kartong. Går den intensivodlade barrträdsråvaran primärt till massaved kommer den dessutom att bidra till energisektorn.

Avsättningsmöjligheterna för denna typ av massa torde på sikt öka. Returmässor med slitna och processade fibrer måste ständigt kompletteras och förstärkas med långa, starka och sega fibrer. Det ständigt ökade kravet på bilder och information på olika förpackningar bör även gynna den långa, breda, tunnväggiga fibern. Denna typ av fibrer är svårt att producera i varmare klimat men i Nordeuropa går det bra.

Att utnyttja intensivodlade barrträd som timmer, kubb och klintimmer i sågverken är naturligtvis också fullt möjligt. Det sågade virket skulle i huvudsak användas på samma sätt som idag, som byggnads- och konstruktionsvirke, formvirke och emballage. Andelen av sämre kvaliteter kan öka något men det är osannolikt att sågverken skulle särsortera timmer från intensivodling. Sidoutbyten från timmer i grova dimensioner kommer dock i stort att motsvara dagens kvalitet.

Intensivodling av barrträd kommer sannolikt att producera stora mängder GROT (grenar och topp) och skadad råvara (röta mm) för energiproduktion. Det är däremot osannolikt att nämnvärda kvantiteter friskt stamvirke från intensivodling av gran kommer att utnyttjas direkt inom energisektorn. Undantag från detta kan dock ske i energianläggningars omedelbara närhet. Starka argument för primärt utnyttjande av råvaran i massaindustrin är att den ändå på sikt kommer att utnyttjas för energiproduktion och att massaindustrin utnyttjar energin effektivt.

Hybridaspens vedegenskaper och användningsområden

Virke av hybridasp har i stort samma egenskaper som vanlig asp. Hybridaspens ved är lätt, mjuk, elastisk och rätfibrig. Aspvirke har generellt sett ett mycket brett användningsområde och kan t.ex. utnyttjas som timmer till sågverken, som tändsticksvirke och är en utmärkt råvara till papper. Aspråvaran kan både kokas och sönderdelas mekaniskt och bidrar med ljushet i massan (Rauna 2002). I Europa och Nordamerika används virket även inom skivindustrin t.ex. till plywood, OSB, MDF och spånskivor. Användning av asp är betydligt mer omfattande i Norge än i Sverige och används där till bl.a. panelvirke (Frivold 1988). Veden är även en utmärkt råvara för energisektorn (Ekström 1987) även om energiinnehållet är lågt.

Hybrid Aspen har samma användningsområde som vår vanliga asp. Hybrid Aspen kan dock förväntas ha klart förbättrade ved- och virkesegenskaper då genetiskt förädlingsarbete förutom ren volymförbättring ofta medför kvalitativa förbättringar. Speciellt i trädslag där generationstiden är kort kan stora vinster göras snabbt genom anpassning till industriella krav (Rautio *et al.* 2001). Ett exempel på detta kan vara eucalyptusförädling i tropiska länder. Odling av hybridasp innebär en typ av klonskogsbruk med relativt kort omloppstid på 20 - 30 år. Detta innebär i förhållande till det traditionella skogsbruket goda förutsättningar att genom förädling ta fram kloner med efterfrågade egenskaper vars virke kan tas tillvara inom relativt kort tid. Hybridasp tillhör de ströporiga lövträden vars virkesegenskaper endast anses påverkas marginellt av tillväxthastigheten. Man har dock i förädlingsarbetet av hybridasp påvisat stor genetisk variation i densiteten men även ett negativt samband med tillväxten för olika kloner. Urval av kloner som kombinerar god densitet och tillväxt bör skapa förutsättningar att få fram allt bättre odlingsmaterial för kommersiell odling av hybridasp (Stener 1998). Genom urval i kombination med vegetativ förmering kan vi initialt förvänta oss snabba förändringar t.ex. av fiberegenskaper (Pulkkinen 2001), kvistfria sektioner, skador och missfärgningar.

Till skillnad från barrträden producerar lövträd som får växa fort dessutom vanligtvis ett friskt virke med mindre defekter i form av missfärgningar från grenar och skador (Rytter & Werner 2003). Undantaget från denna regel är grengrovleken som vanligtvis väl följer tillväxthastigheten.

Idag importeras asp främst för att förse massa- och pappersindustrin med råvara. Det bör finnas goda möjligheter till framtida avsättning av ett större utbud av aspvirke i Sverige. En nackdel med det nuvarande utbudet av inhemsk asp är att det ofta består av mycket små, geografiskt utspridda partier av skiftande kvalitet. Vid intensivodling av hybridasp bör det framtida utbudet bestå av större partier mer enhetlig råvara och därmed få en fördelaktigare avsättning. Då odlingen av hybridasp blir en form av klonskogsbruk finns möjlighet att erhålla extremt väldefinierad råvara, väl anpassad för specificerade slutprodukter inom massa- och pappersindustrin, t.ex. högkvalitativt tryckpapper. Naturligtvis finns även risk för att olämpliga egenskaper oavsiktligt anrikas eller att svamp och skadeinsekter kan medföra skador som påverkar virkets egenskaper. Den samhällsekonomiska risken minskas dock av att virket åtminstone bör kunna utnyttjas för energiändamål. I övrigt berörs inte riskfilosofin i detta kapitel.

Contortatallens vedegenskaper och användningsområden

Frekvensen skador, sprötkvistar och krokiga stammar för contortavirke motsvarar eller är något lägre än tallens. Här måste dock nämnas att jämförelsen görs med dagens planterade tallbestånd och inte med äldre, naturligt föryngrade bestånd.

En jämförelse av vedegenskaper för tall och contortatall av rätt härkomst skulle utfalla till contortatallens fördel. Vid samma dimension har contortatall bättre kvistegenskaper samt längre och slankare fibrer än tallen. Den något lägre densiteten kompenseras av en högre torrsubstansproduktion (Ståhl & Persson 1988).

Som massaråvara har contortatalen i jämförelse med tall lägre barkhalt men högre kvisthalt, något lägre densitet och torrsubstanshalt samt smalare och tunnväggigare fibrer. Contortaved ger ”samma” sulfatmassautbyte som tallmassaved men ett lägre utbyte av tallolja. Massaved från contortatalen är dock till skillnad från tallmassaved användbar som råvara för mekanisk massa.

Som råvara för sågat virke har contortatalen en stor fördel i sina friska kvistar. Vad avser impregnerbarhet, blånad, hyvling, limning och lagring är skillnaderna mellan trädslagen försumbara. Contortatalen har en större kärnvedsandel än tallen (Andersson 1987). Vid torkning spricker contortavirket mindre ofta än tall, men däremot är sprickor i kvist vanligt, såväl före som efter bearbetning. Det finns möjligheter att utnyttja contortavirke som hållfasthetsorterat konstruktionsvirke. Kvistdimensioner och densitet ger dock contortan något sämre värden än tall.

Bedömning idag är att contortatall som ursprungligen planterades för att kokas till massa kommer att vara en betydande råvara för sågverksindustrin i norra Sverige.

3.5 Skador av insekter, svamp och vilt vid intensivodling av barr- och lövträd

3.5.1 Insekter

Forskning rörande insekt-växt relationer har visat på samband mellan egenskaper hos träden och olika insektsarters utveckling på dessa träd. Kunskap om hur dessa egenskaper hänger ihop med risker för utbrott med skador som följd är dock fragmentarisk.

- Å ena sidan ingår att ha en uppfattning om hur de inhemska insektsarterna uppträder om de erbjuds ändrade förhållanden såsom nya skötselmetoder, nytt genetiskt skogsodlingsmaterial, nya trädslag, andra markförhållanden samt ändrat klimat.
- Å andra sidan att bedöma risker för att exotiska insektsarter införs och etableras på de inhemska trädslagen respektive de införda trädslagen. Exempel på svåra insektsskador finns i båda fallen. Och i många fall har inga negativa skadeverkningar registrerats. Många insekter har dessutom utbrott med långa, oregelbundna intervall. Därför är det svårt att avläsa den fulla effekten av en viss skötselmetod.

Contortatall

Erfarenheten av skogsodling med contorta i Sverige har visat att skador förorsakade av insekter hitintills varit marginella. Två arter har dock utmärkt sig genom att uppträda särskilt ofta och talrikt nämligen röd tallstekel (*Neodiprion sertifer*) och tallblomvivel (*Anthonomus phyllocola*). Båda arterna är utbredda och allmänna i vanlig tallskog. Tallblomvivel förekommer främst i röjningsbestånd av contorta. Angrepp av röd tallstekel minskar tillväxten under flera år men träden överlever.

Arter som är kopplade till contortans krona utgörs av arter som också utvecklas på vanlig tall. Exempel är tallblomvivel och tallkottvivel (*Pissodes validirostris*). Bark- och vedlevande insektsarter visar ett annat mönster med arter som normalt lever på gran. Bland dessa finns sextandad barkborre (*Pityogenes chalcographus*) och granbarkborre (*Ips typographus*).

När skogsvårdslagens begränsning av contortans användning söder om 60° breddgraden infördes var skälet bl.a. att det ansågs föreligga en allmänt högre risk för skador av insekter. Historiska utbrott av barrskogsnunna (*Lymantria monacha*), tallmätare (*Bupalus piniaria*) och tallfly samt iakttagelser av allvarliga skador av skott- och knopplevande insekter i proveniensförsök med contorta i södra Sverige fördes fram. Det finns inget idag som talar för att utbrott av dessa insekter blivit mer frekventa i södra

Sverige, inte heller att de inträffar längre norrut och inte heller att odling av contorta kommer att öka sannolikheten för utbrott. Snytbagge åter på contortaplantor i stor utsträckning. Däremot tycks contorta ha bättre förmåga att tåla gnaget och dessutom innehålla gnagavskräckande substanser med högre överlevnad som resultat. Inga av contortans insektsarter i ursprungsområdet har etablerat sig i Europa, men det är en risk som måste tas i beaktande.

Gödsling

Tillförsel av näringsämnen t.ex. kväve i trädet medför att födans kvalitet förbättras för många insektsarter. Insekter som har ett nära samband med sitt värdräd, gallbildande, skottlevande eller sugande insekter såsom bladlöss gynnas ofta om värdrädet växer bättre som en följd av gödsling. Individerna blir större och får därmed högre fekunditet. Gödsling leder ofta till en minskning av koncentrationen av kol-baserade sekundära kemiska ämnen som utgör en del av trädets försvar mot insekter och patogener. Mekanismen är att dessa ämnen går till tillväxt om näringstillgången är god och finns då inte tillgängligt för växten att producera försvarssubstanser. Mönstret är dock inte genomgående. Slutsatsen är att generellt kan gödsling medföra risk för större insektsproblem.

Å andra sidan leder en snabbare tillväxt till kortare odlingstid och därmed en mindre risk att ett insektsutbrott hinner inträffa. Större barrmassa kan ge större tolerans mot barrätning. Fler kådkanaler ger större motståndskraft mot t.ex. barrsteklar, barkborrar och vivlar. Här kan det finnas skillnader mellan olika barrträdsarter.

Försök med gödsling av gran har undersökts i Finland och i långtidsförsök med upprepade gödslingar har inte frekvensen insektsskador ökat. Det tyder på att upprepad kvävegödsling av gran inte med nödvändighet leder till ökade insektsskador.

Dikesrensning

Hastiga förändringar av vattennivån drabbar trädslagen olika. Till exempel så är gran mycket känslig för överskott på vatten och kan på grund av nedsatt vitalitet bli angripen av insekter.

Hybridasp

Bedömningar av risker med en ökad odlingsareal av denna art stödjer sig i hög grad på de erfarenheter som finns från andra europeiska länder. Insektsfaunan skiljer sig knappt mellan olika *Populus*-arter och deras hybrider. Här följer några exempel på potentiella skadeinsekter på hybridasp.

Blåslössen *Pachypappa tremulae* och *Pachypapella lactea* värdväxlar mellan asp och gran och utgör ett visst problem i plantskolor. En viss skadegörelse kan förväntas på beskogad åkermark av stritar, lövvivlar, bladhorningar och knäppare. I samband med torkstress och värme kan en del bark- och vedlevande insektsarter (*Agrilus populneus*) angripa och döda asp. Gråbandad barkbock (*Xylotrechus rusticus*) kan orsaka skador på virket. Larverna utvecklas under bark och i ved på färskt obarkat virke. Problemet undviks genom säker lagring. Större aspvedbock (*Saperda carcharias*) angriper 2-10 cm stammar i exponerat läge. Angripna träd förlorar tillväxt. Mindre aspvedbock (*Saperda populnea*) utvecklas som larv inne i den levande veden på klena aspar av 1 - 3 cm diameter. Asp på svag mark kan medföra ett större problem lokalt. Flera arter som utvecklas på det levande trädet visar stor variation i preferens och framgång beroende på värdväxtens genetiska ursprung. Använt plantmaterial bör väljas också med hänsyn till dessa arters preferenser.

Den generella slutsatsen är att kända aspinsekter kan bli aktuella och få större betydelse som skadedjur igen, t ex mindre aspvedbock. Val av genetiskt material torde vara betydelsefullt för att undvika skador av insekter som utvecklas på levande träd.

Sitkagran

Jättebastborre (*Dendroctonus micans*) har angripit sitkagran i många europeiska länder. Danmark och Frankrike har haft utbrott som berört blandbestånd med sitkagran och vanlig gran eller rena sitkabestånd. Utbrott av jättebastborre har i första hand relaterats till torkstress i kombination med stark vinterkyla. Även förekomst av rotticka kan predisponera träden för angrepp. Jättebastborre har under de senaste decennierna skadat gallringsbestånd av gran i Blekinge och östra Skåne. I en del fall har bestånden avvecklats pga. den höga frekvensen skadade stammar. En ökad odling av sitkagran medför säkerligen ökade skador av denna insekt, även på vanlig gran. Eftersom jättebastborren utvecklas i levande träd har skogshygien ingen förebyggande effekt på populationen.

Sitkalusen suger av barren som efter hand blir brun-grå och ramlar av i förtid. Träden förlorar i tillväxt. Sitkagran är mer mottaglig och en större andel av barmmassan drabbas vid samma populationstäthet av löss jämfört med vanlig gran. Även vid låga tätheter kan barrförlusterna bli avsevärda. Angreppen på sitkagran är också relaterat till proveniens.

Lärk

Relativt få insekter som lever på lärk har koloniserat Sverige. Det rör sig om några arter växtsteklar och fjärilar. Den begränsade arealen lärkskog och därmed förekomsten av döda och döende träd har utgjort ett hinder för många bark- och vedlevande insekter att etablera sig i Sverige. En av dessa arter som lever monofagt på lärk är lärkbocken (*Tetropium gabrieli*). Den upptäcktes så sent som 2006 i Blekinge på döda lärkar och har uppenbarligen etablerat sig i sen tid.

Lärkborre (*Ips cembrae*) är närstående till granbarkborre (*Ips typographus*) och kan som denna ibland döda träd. Arten upptäcktes i Danmark i mitten av 1990-talet och har vid upprepade tillfällen angripit och dödat växande lärkträd. Lärkborre har vid flera tillfällen iakttagits i importerat lärkvirke i hamnar, men inte ute i skogen. Särskilda åtgärder såsom hantering av obarkat virke och vindfällda träd kan bli nödvändiga om denna art etablerar sig i Sverige.

3.5.2 Svamp exkl. rotröta

Principer för svampangrepp vid intensivodling

Det finns ett samspel mellan skadegörare, värdräd och miljö. I ljuset av framtida klimatförändringar kan nya skadebilder uppstå i redan befintliga värd-skadegörarförhållanden. Vi kan också befara att sjukdomar från kontinenten sprids till vårt land.

Tidigare forskning och beprövad erfarenhet

Skadesvamp på gran

De viktigaste rötsvamparna på gran är rotticka, honungsskivling och blödsinn.

Bland allvariga rotsvampar märks *Gremmeniella abietina* som angriper grenar och toppar, grankotterost *Thekopsora areolata* som angriper toppar och ett antal arter av släktet *Chrysomyxa* som angriper barren.

Skadesvampar på Pinus contorta

Contortan har i princip samma spektrum av skadegörare som den svenska tallen. Den allvarligaste rotsvampen på contorta är *Gremmeniella abietina* som på vuxna träd kan ge svår tillväxtnedsättning

medan angrepp på ungskog och plantor kan döda hela bestånd. Rotticka (*Heterobasidion annosum sensu strictu*) och honungsskivlingar (*Armillaria ostoyae* och *Armillaria spp.*) angriper contorta men i mindre omfattning än tall och gran. Contortan kan angripas av snöskytte (*Phacidium infestans*) men i mindre omfattning än tall p g a snabbare ungdomsutveckling. Rotmurklan (*Rhizina undulata*) kan angripa contorta på bränd mark. Barrträdskräftan (*Phacidium coniferarum*) kan ge allvarliga skador på contorta efter stamkvistning.

Så vitt känt är angrips contortatalen i Sverige i regel inte av tallskytte (*Lophodermium seditiosum*), gråbarrsjuka (*Lophodermella sulcigena* och *Lophodermella conjuncta*), knäckesjuka (*Melampsora pinitorqua*), norrländsk tallkräfta (*Lachnellula pini*), tallticka (*Phellinus pini*) eller törskaterost (*Cronartium flaccidum*).

Skadesvampar på lärkträd

Den viktigaste skadesvampen på lärkträd är lärkträdskräftan (*Lachnellula wilkomii*) som angriper kvistar grenar och stammar.

Bland rötsvampar är lärk känslig för rotticka *H. annosum s.s.* som kan ge svåra rötskador och honungsskivlingar (*Armillaria sp.*) som kan döda unga lärkträd (se vidare 3.2.1).

Lärk är känslig för barrträdskräftan (*Phacidium coniferarum*) efter stamkvistning.

Äldre lärkträd kan angripas av grovticka *Phaeolus schweinitzii* som ger brunröta i stambasen.

Skadesvampar på sitkagran

Rotticka och honungsskivling angriper sitkagran (se vidare 3.2.2). Risken för svampangreppen på sitkagran är av liknande natur som på vanlig gran.

Salix på åkermark

Bladrost *Melampsora spp.* är den vanligast förekommande sjukdomen och anses vara den för närvarande viktigaste. Rostangreppen utvecklas under sensommaren och hösten och blir kraftigast under svala och fuktiga år. Bladen faller av i förtid vilket kan leda till förluster på upp till 40% av stambiomassan. Den viktigaste motåtgärden är resistensförädling. Generellt sett är bladrostangrepp mindre norrut i odlingsområdet.

Stamsår och stamkräfta orsakade av ett antal olika Ascomycet-svampar där den vanligaste är *Cryptodiaporthe salicella* kan omfatta allt från fläckar med död bark till stora sår på stammarna.

Bakterieangrepp, bland annat *Pseudomonas syringae*, skadar skott och stammar som på förvåren visar mörkbruna till svarta fläckar med lös och vattnig bark.

Svampangrepp på poppel och hybridasp

Hybrid Aspen angrips av stamkräfta (asprakräfta) orsakad av *Entoleuca mammata* (*Hypoxylon mammatum*). Odlingsmaterial för praktiskt bruk i Sverige bedöms vara relativt resistent mot asprakräfta. Hybridasp kan få kronbrand orsakad av *Valsa nivea*. Dagens odlingsmaterial bedöms vara relativt resistent mot kronbrand. Ett antal andra svamparter kan orsaka kräftskador på hybridasp t.ex. *Ceratocystis fimbriata*, *Ceratocystis spp.*, *Fusarium spp.* och *Neofabrea populi*. Hybridasp utsätts också för aspskorv *Venturia tremulae* som kan ge omfattande död i kvistar och toppar.

Bland parasiter på poppel märks "Dothichiza" *Discosporium populeum* som kan ge död av kvistar och kräftsår i kronan, särskilt efter torka. Bladrost kan ge stress som predisponerar för Dothichiza. En annan vanlig parasit på poppel är *Cytospora chrysosperma* som kan orsaka stamkräfta och död av kvistar i kronan. Bakteriekrafta *Xanthomonas populi* är en svår skadegörare på hybridpoppel i Europa. Den orsakar stamkräftor och död i kronan hos mottagliga kloner. Huvudåtgärden är att använda ett motståndskraftigt växtmaterial.

Andra kräftsjukdomar och barkdöd på poppel orsakas av *Ceratocystis fimbriata* och andra arter av släktet *Ceratocystis* samt arter av släktet *Fusarium*.

Poppel har i Europa problem med rostsvampar såsom *Melampsora larici-populina* och *Melampsora alii-populina*. Bladen angrips och faller av i förtid vilket ger tillväxtnedläggning, även skotten kan angripas. Röstsvampar på asp och poppel har hittills inte orsakat allvarliga problem i Sverige.

Ett antal sjukdomar skulle kunna bli allvarliga för odling av hybridasp, om de får fäste i Sverige. Det kanske största hotet utgör *Neofabraea populi* som observerats ge stora skador som kräftsvamp på hybridasp i Finland och Norge. I Nordamerika har man problem med *Septoria musiva* som orsakar bladfläckar och kräftor på skott och stammar.

Praktisk tillämpning

Fastmarksgödsling av medelålders och äldre tall- och granskog

För rottickan finns inga entydiga samband med gödsling dokumenterade. När det gäller rostsvampsangrepp kan man förvänta sig mer mottagliga träd efter gödsling. Det gäller framför allt törskate och knäcksjuka på tall. Man kan förvänta sig att gödsling av tall ökar mottagligheten för *Gremmeniella*.

Ungskogsgödsling av gran, med och utan användning av förädlat material

Ungskogsgödsling av gran kan medföra ökad risk för angrepp av grankotterost.

Klonskogsbruk av gran

Klonskogsbruk ger allmänt möjligheter att utnyttja ett odlingsmaterial som har en högre resistens mot skadegörare. Detta gäller särskilt gran med högre motståndskraft mot rotticka.

Contortaodling på fastmark

Risken för *Gremmeniella*-skador ökar om man väljer ett odlingsmaterial som inte är härdigt för sin ståndort.

Salix på jordbruksmark

Det odlingsmaterialet som idag används är utprovat för att ha en låg känslighet för bladrost.

Dikesrensning och gödsling av nedlagd jordbruksmark och torvmark med låga naturvärden

Inga allvarligare förändringar i angreppen av skadesvamp befaras som särskilt är kopplade till dessa åtgärder.

Odling av hybridasp på åker- och skogsmark

De kloner som idag används är selekterade mest mottagliga genotyperna när det gäller bladrost, aspsskorv, kronbrand och *Hypoxylon*-kräfta. Om omloppstiderna hålls rimligt korta kommer troligen inte stamröta att vara något större problem. Nya skadesvampar kan öka i betydelse om arealen för hybridasp skulle utvidgas betydligt. De största hoten är troligen stamkräfta orsakad av *Neofabrea populi*.

Odling av lärk och sitkagran på åker- och skogsmark

Endast odlingsmaterial med resistens mot lärkkräfta bör användas. Odlingar med lärk och sitkagran bör stubbehandlas mot angrepp av rotticka.

Poppelodling på nedlagd åkermark

Odlingsmaterialet för poppel är inte testat i någon större utsträckning för våra klimatförhållanden. Flera av de viktigaste skadegörarna på poppel gynnas av stress och det är inte otroligt att nya typer av skador kan uppstå om materialet används i nya klimatregimer.

Gödsling av contortaskog på fastmark

Den största risken för gödsling av contorta ligger i att träden blir mer mottagliga för *Gremmeniella*. Detta antas vara speciellt riskabelt de år när vädret gör dem mottagliga.

3.5.3 Rotröta

Principer för angrepp av rotröta

Rotröta är en av de allvarligaste skadegörarna på levande skog, framför allt gran i Sverige. Uppskattningsvis 20-25% av alla avverkningsmogna granar i Sverige är drabbade av rotröta. Rotröta är ett samlingsnamn för ett flertal svampar som orsakar röta i stående levande träd och bryter ned veden i rötter respektive den nedre delen av stammen. I Sverige är det framför allt rotticka (*Heterobasidion* spp.) och honungsskivlingar (*Armillaria* spp.) som orsakar omfattande skador.

Tidigare forskning

I vissa studier har man belagt ett samband mellan bevattning och gödsling samt spridningshastigheten av rotticka i artificiellt infekterade träd (Wahlström & Barklund 1994). Motsvarande samband kunde inte ses för honungsskivling (*Armillaria ostoyae* och *A. borealis*). I en amerikansk studie med olika typer av gödsling kunde man inte se någon effekt efter 10 år på förekomsten av honungsskivling i lärk (*Larix occidentalis*) respektive kustgran (*Abies grandis*) (Filip *et al.* 2002). I en polsk studie fann man dock ett positivt samband mellan gödsling och den senare delen av sjukdomsutvecklingen för honungsskivling på tall (Rykowski 1983). Likaså har man konstaterat att gödsling gynnar angrepp av honungsskivling på Douglas (Entry *et al.* 1991). Gödselmedel utan kalk respektive kväve kan dock vara positivt för motståndskraften hos vanlig svensk tall. I en finsk studie klarade sig tallen bättre undan angrepp av rotticka om den fick gödselmedel med P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn och B, än de som inte fick något gödselmedel alls (Piri 2000). När det gäller gran finns det studier som visar på att rottickan kan sprida sig snabbare i frodvuxen ved och att kalkning kan förvärpa situationen (Dimitri & Schumann 1989). Piri (1998) kunde inte se någon signifikant påverkan av olika gödselmedel, med eller utan kalk respektive kväve.

Finska studier har visat att även contortatallen blir angripen av rotticka när den planterats på tidigare infekterad granmark (Piri 1996). S-formen av rotticka är vanlig i hela Sverige och angriper nästan uteslutande gran. I Finland har man även hittat anslutande angrepp av S-formen på contortatall som

tidigare planterats på infekterad granmark (Piri 1996). P-formen, som attackerar tall, contortatall, gran och björk m.fl. har bara hittats från södra upp till mellersta Sverige (Redfern 1982; Swedjemark & Stenlid 1995; Korhonen *et al.* 1998; Rönnberg *et al.* 2006). Det kan tyckas ointressant att tala om P-formen eftersom den inte finns i de område av landet som har mycket contorta men om den å andra sidan avses införas i södra Sverige blir närvaron av P-formen i allra högsta grad relevant. En annan fråga rör varför P-formen inte har spridit sig vidare norrut. En hypotes som förts fram är svampens temperaturberoende och att det är för kallt i Norrland (Korhonen *et al.* 1998). Det är således möjligt att en temperaturhöjning till följd av växthuseffekten tillåter P-formen att sprida sig norrut.

Flera undersökningar har visat på skillnader i mottaglighet hos olika individer av gran för angrepp av rotticka. Man har även konstaterat att de gener som styr mottagligheten för infektion av rotticka inte är kopplad till tillväxten. Det är således möjligt att använda vissa kloner av gran och samtidigt kunna hålla en hög tillväxt (Swedjemark & Karlsson 2004). Granklonerna är inte helt resistent och angreppets svårighetsgrad är kopplad till vilken individ av rottickan som attackerar trädet (Rodriguez *et al.* 2009).

I flera försök har hybridlärken angripits kraftigt av rottickans P-form (Rönnberg & Vollbrecht 1999; Vollbrecht & Stenlid 1999). Det har även framkommit resultat som tyder på att även hybridlärken i likhet med gran kräver fördyrande åtgärder i form av stubbehandling vid gallring under rottickans sporspridningstid (Mårtensson 2007). Lärken kan växa vidare med infektionen i stammen utan att synbart må dåligt.

Sitkagran kan bli mycket kraftigt angripen av rottickans P-form om etablering sker på tidigare infekterad mark av tall eller gran (Rönnberg *et al.* 1999; Vollbrecht *et al.* 1995). I de fall rottickans S-form är den enda förekommande är kunskapen inte lika god. Eftersom vanlig gran blir så pass infekterad tyder det på att även sitkagranen bör bli det.

Praktisk tillämpning

Ungskogsgödsling av gran

Gödsling ger högre tillväxt och friskare träd med färre bristsymptom. Dock finns några möjliga risker. För det första får träd som växer fort bredare årsringar och en lucker vedstruktur som kan göra det lättare för eventuella skadesvampar att sprida sig snabbt i veden och därigenom skapa en ökad förlust av frisk ved. För det andra kan man spekulera i om gödslingen även ökar pH-värdet eller ändrar näringsbalansen i marken. Ett ökat pH-värde kan i sig missgynna konkurrerande arter av svampar och ge bättre möjligheter för t ex rottickan att snabbare sprida sig i ett bestånd. För det tredje medför en snabbare tillväxt att trädens rotsystem lättare kommer i kontakt med andra infekterade träd eller gamla stubbar från tidigare generationer och därigenom tidigare plockar upp smittan. En kompensande faktor är dock kortare omloppstider till följd av snabbare tillväxt.

Odling av contortatall

Om rottickans S-form kan infektera och överleva i stubbar av contortatall samt därifrån sprida sig vidare, så bör stubbehandling bli en aktuell åtgärd men effekten påverkas då av eventuella befintliga infektioner från förra generationen.

Fastmarksgödsling av medelålders och äldre gran och tall

Eftersom gödslingen sätts in senare under omloppstiden kommer effekten på rotticka att bli mindre helt enkelt på att tiden från gödsling till avverkning är kortare. Tall i högre ålder bör inte heller bli ett problem eftersom den brukar anses vara mindre mottaglig senare under omloppstiden (Rennerfelt 1952).

Klonskogsbruk med gran

Val av kloner måste ske med stor omsorg. Vid fel val kan rottickans tillväxt i träden bli direkt förödande med mycket höga spridningshastigheter som följd (Capretti & Goggioli 1992). Det finns en risk att rottickan på sikt kan anpassa sig till mindre mottagliga grankloner. En riskspridning förordas därför starkt.

Utländska trädslag

Hybridlärkens motståndskraft mot rotticka är överdriven och helt felaktig. I områden där rottickans P-form är obefintlig kan hybridlärken vara ett alternativ. I andra områden där P-formen förekommer frekvent kan det vara mycket olämpligt att ersätta rötskadad gran med hybridlärk.

Sitkagran har ofta föreslagits som ett bra alternativ till gran i kustnära områden i södra Sverige, men ur rotrottesynpunkt är denna rekommendation tveksam p.g.a. närvaron av rottickans P-form. Vanlig gran har i jämförelse klarat sig bättre än sitkagran.

3.5.4 Vilt

Viltorsakade skador på skog styrs av bl.a. födoväxternas egenskaper och närmiljöns karaktär. Många förändringar i skogsskötseln kommer därför att påverka betesmönster, vilka i sin tur påverkar skadenivåer och skademönster. Om främmande trädarter börjar odlas i betydligt större omfattning än idag kan viltets preferenser och andra betesmönster förändras. Skadebilden kan alltså bli en annan om trädarten i fråga blir mycket vanligare i landskapet. Sådana förändringar i betes- och skademönster kan vara svårt att förutsäga. Generellt sett så är de inhemska trädslagens roller och skadebilder relativt välkända medan mycket är okänt om de exotiska trädslagen. Än mindre vet vi om hur betes- och skadekänsliga olika kloner är av arter som skulle komma att användas i ett framtida intensivskogsbruk.

Fastmarksgödsling av medelålders och äldre tall- och granskog

En ökad fastmarksgödsling med kväve av medelålders träd skulle sannolikt inte medföra ökade viltskador på träden. Inga observationer eller studier finns av att barkgnag skulle öka efter gödsling. Det kan dock inte helt uteslutas då flera rapporter visar på ett svagt positivt samband mellan frekvensen barkgnag och markens produktivitet. Markvegetationen skulle sannolikt bli något bättre ur födosynpunkt, vilket skulle kunna innebära ökad konsumtion i fältskiktet och möjligen minskad skaderisk för omkringliggande skadekänsliga bestånd. I den mån vegetationssammansättningen förändras mot mer gräsrika miljöer på bekostnad av bärris skulle detta vara negativt för de större växttätarna.

Ungskogsgödsling av gran

Kvävegödsling ökar foderproduktion och näringskvalitet hos foderväxter på fastmark, så även på gran. Generellt kommer kvävegödslade ungsskogar att bli begärligare. Det finns liten kunskap om vad som händer med betesbegärlighet och skaderisker hos unga gödslade granar, vilka normalt betas i mycket liten utsträckning. Försök med gödsling av granungskogar i 2-5 meters höjd har dock inte resulterat i märkbart ökat bete eller skador. Om både förädling och gödsling ger större årsskott kan dessa, och då framför allt toppskotten, bli så tjocka att de inte kommer att betas – ett mönster som observerats på andra håll. Detta skulle medföra färre stamskador. Sammanfattningsvis är prognosen att kvävegödsling i granungskog, med eller utan förädlat material, inte nämnvärt kommer att öka skaderisken på gran.

Klonskogsbruk av gran

Olika trädkloner varierar i morfologi och kemi – egenskaper som ofta är viktiga för de stora växtätarnas selektion av föda. Flera experiment med bete på olika kloner visar att betesmönster och betes-/skaderisker kan variera kraftigt mellan kloner. Viltbete på gran är mest omfattande på plantstadiet och det är troligt att olika kloner kommer att betas med olika intensitet. Med rådande kunskap kan endast tester visa på framtida skaderisker.

Contortatall

Det är okänt i vilken omfattning olika viltarter som rådjur, kronhjort, dovhjort och hare äter på och skadar contortatall. Mer känt är älgens bete på contorta. Enligt en sammanställning av data från riksskogstaxeringen är skadenivån på contorta i Sverige relativt låg (Rosvall & Friberg 1888/89). Studien tyder på att älgskadorna verkar vara mindre omfattande och mindre allvarliga på contortatall än på vanlig tall.

Det finns en tendens till mer skador på contortatall i södra än i norra Sverige samt att sydliga provenienser betas mer än nordliga. En allmän bild som stöds av vissa data och allmänna observationer är att om contortan växer insprängd i bestånd av tall (genom t.ex. hjälplantering) är skadorna svårare än i rena contortabestånd.

Barkgnag och flängning är 6-20 gånger intensivare (mätt som % gnagd bark per träd med medelhöjd 2,1 m) hos contortatall än hos tall. En polsk studie indikerar att rådjuren skulle föredra contortatall framför vanlig tall. En svensk studie med många contortaprovenienser visade att rådjuren bidrog till att slå ut vissa planteringar i söder och att skador i övrigt främst orsakades av fejning.

Smågnagarnas barkgnag på contorta är vanligare än på tall. Gnaget är också vanligare på produktivare marker och på gräsrika marker samt tycks vara kopplat till topparna i smågnagarcyklerna i norr. Svenska försök har visat att olika provenienser drabbades olika hårt av de studerade växtätarna, älg, rådjur och sork.

Sammanfattningsvis kommer risken för skador att vara mindre än vad den är på tall (vid lika vilttäthet), särskilt om det förnygras med rena contortabestånd. Proveniensen påverkar skaderisken.

Salix på åkermark

Salix-arter är begärliga för flera växtätare. Starkt dominerande är kvistbete, medan lövrepning är sällsynt. Älg och annat klövvilt liksom harar betar i *Salix*-odlingar. Många odlingar ligger idag på bördiga jordar i jordbrukslandskap. Därmed minskar risken för bete av framför allt älg, men sannolikt i betydande utsträckning även av andra hjortdjur. Odling av *Salix* i skogsbygder kommer mest troligt att kräva stängsling i etableringsskedet och troligen också vid skottföryngring efter skörd. Då odlingarna vuxit upp är de ofta så täta att de förutom i kanterna är en "födoöken". *Salix* har god förmåga att klara skador, men riktigt hårt bete kan hålla odlingar nere i beteshöjd. Även vid relativt låga tätheter av vilt kan betestrycket bli avsevärt p.g.a. salixarternas begärlighet. Bland de problem som energiskogsodlare upplever så rankades viltskador på fjärde plats efter ogräs, frost och svamp.

Dikesrensning och gödsling av nedlagd jordbruksmark och torvmark med låga naturvärden

Bete efter gödsling med olika medel och givor på myrmark visar att gödsling med fosfor (som enskilt ämne eller i kombination med kväve och kalium) ger tydliga positiva effekter på födoväxternas fosforinnehåll och effekterna varade minst fem år efter gödsling. Särskilt på fosforgödslade ytor var skadorna högre av älg, rådjur och hare. På sina håll var älgens bete mycket kraftigt på tall.

Sammanfattningsvis kommer den gödsling som ger tillväxteffekter på träd på myrmark att också medföra ökat bete och ökad skaderisk jämfört med situationen före gödsling. Detta gäller även vid askgödsling.

Odling av hybridasp på åker- och skogsmark

Bete på hybridasp är inte särskilt studerat i Sverige. De i hybriden ingående asparterna är båda begärliga betesväxter inom sina utbredningsområden och svenska praktiska erfarenheter och studier av lryror visar att det kan vara ett omfattande bete om odlingar inte hägnas. Detta gäller särskilt i skogsbygder. Hittillsvarande erfarenheter tyder på att odling av hybridasp blir svår att genomföra utan hägn. Möjligen kan ohägnad odling ske ute i öppna jordbrukslandskap. Vattensork förmodas vara ett stort problem om hybridasp sätts på mullrika jordar och dessa marker bör därför undvikas.

Hybridlärk

Bete på lärkträd är lite studerat i Sverige. I Tyskland och England har den rankats i en mellangrupp vad gäller risk för hjortdjursbete. Beträffande barkgnag har den i flera länder också placerats i en mellangrupp. Erfarenheter från södra Sverige tyder på att hybridlärken utsätts för fejning och betesskador främst då den förekommer i små planteringar eller då den är insprängd i bestånd av andra arter.

Baserat på praktiska erfarenheter bedöms inte viltskador bli ett stort problem på hybridlärk om den förnygras i större bestånd och därmed inte enbart förekommer i småbestånd, i dungar eller som art vid hjälpplantering.

Sitkagran

Det finns inga studier av bete eller skador på sitkagran i Sverige. Erfarenheter från Danmark, Storbritannien och Tyskland indikerar att sitkagran i likhet med flera andra *Picea*-arter tillhör de mindre omtyckta arterna vad gäller kvistbetning av kronhjort och rådjur. Också utsattheten för barkflängningen tycks vara lägre än för många andra barrträd. I en sammanställning anges sitkagran i detta avseende som mindre utsatt. Barkgnag kan förekomma på träd åtminstone upp till 50 års ålder.

Baserat på utländska erfarenheter förväntas inga omfattande skador på sitkagran. Det rekommenderas att plantera större plantor (>0,4 m) eftersom de klarar sig bättre än mindre plantor. Generellt sett anges återhämtningsförmågan vara god när arten utsatts för bete.

Gödsling av contortatall på fastmark

Vid gödsling av äldre bestånd torde skaderisken inte förändras. Kanadensiska studier indikerar att gödsling ökar risken för contortaplantor att bli skadad av bete från bl.a. snöskohare och att älg föredrar gödslade framför ogödslade ungskogar av contorta.

Poppelodling på nedlagd åkermark

Observationer i Skåne visar att både hjortdjur och harar kan skada poppel, både genom fejning och bete. Ringbarkning har också observerats. Erfarenheter i Sverige talar för att poppelodling inte i någon större grad kommer att hindras av viltbete. Hägn kan dock inledningsvis komma att krävas vid täta viltstammar och till ytan små odlingar. En snabb tillväxt hjälper poppeln att komma snabbt ur beteshöjd. Sannolikt kommer fältskiktets karaktär att påverka risken för skador av smågnagare.

4. Arealer och produktionspotential för intensivodling med identifierade skötselmetoder – utvärdering av scenarier

4.1 Avgränsning av arealer för intensivodling med identifierade skötselmetoder

Jordbruksmark

I samtliga scenarier användes samma avgränsning av jordbruksmarken som i referensscenariot i SKA-VB 08. Under de första 40 åren förväntas 400 000 ha jordbruksmark bli tillgänglig för intensivodling. Enligt scenariot i SKA-VB 08 beskogas 118 000 ha av jordbruksarealen med gran medan resterande 282 000 ha beskogas med hybridasp. En utförligare beskrivning för jordbruksmarken ges i delprojekt 1.

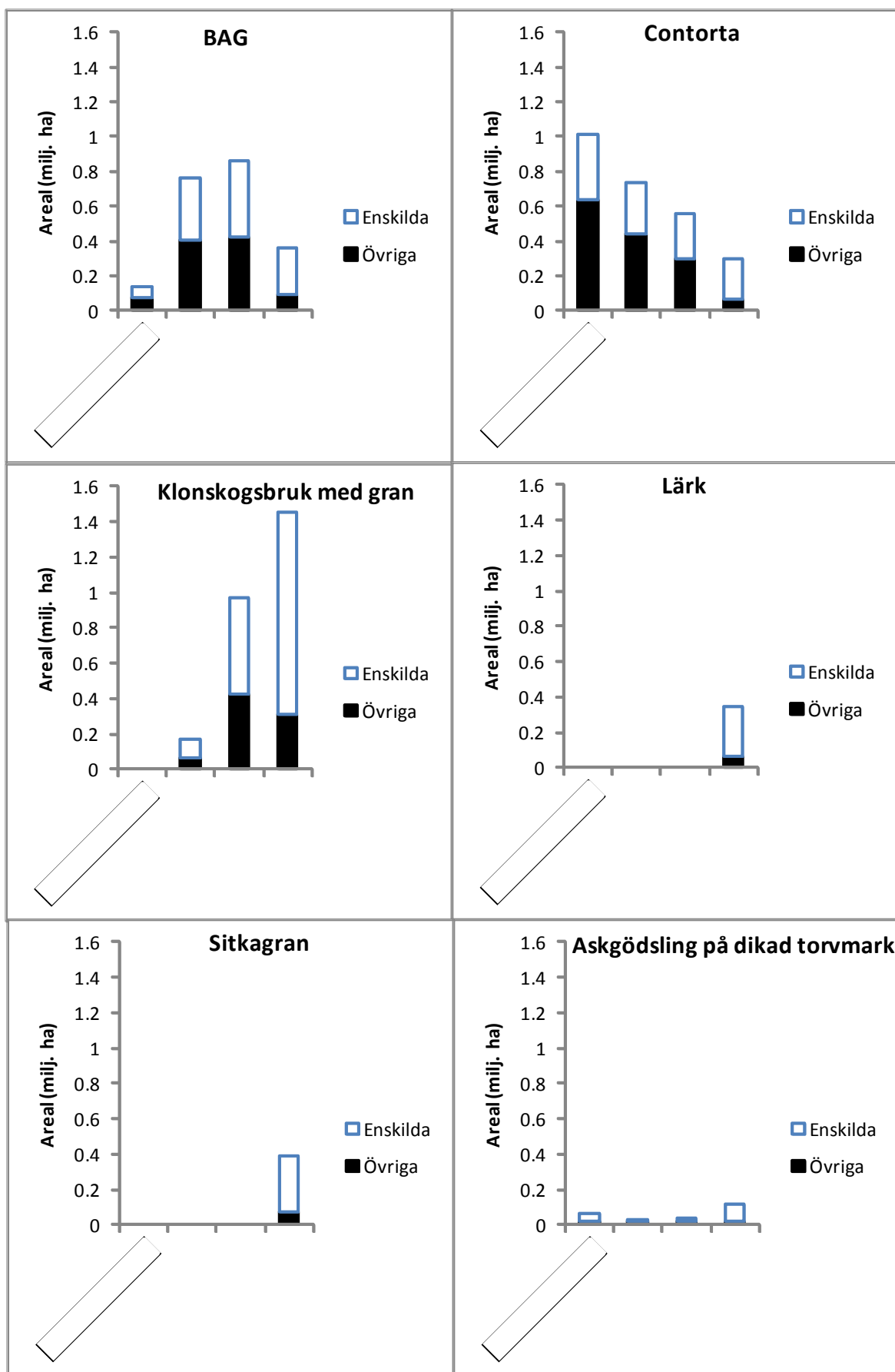
Skogsmark

Den potentiella skogsmarksarealen för respektive skötselmetod presenteras i Tabell 4.1:1. Arealmässigt dominerade behovsanpassad gödning av gran (BAG), klonskogsbruk med gran samt odling av contorta, medan arealerna var betydligt mindre för övriga metoder.

Tabell 4.1:1. Potentiell areal för respektive skötselmetod

	Area (milj. ha)
BAG	2,12
Klon	2,60
Contorta	2,60
Lärk	0,35
Sitkagran	0,39
Askgödsling	0,25

Lämplig areal för BAG fanns framförallt i södra Norrland och i Svealand och var relativt jämt fördelad på de båda markägarkategorierna (Fig. 4.1:1). Areal för contortaodling dominerade i norra Sverige medan areal för klonskogsbruk med gran hade sin största utbredning i söder. Av den potentiella arealen för klonskogsbruk ägdes 69% av enskilda markägare. Övriga markägare ägde 56% av marken som lämpar sig för contortaodling. Potentiell areal för odling av hybridlärk och sitkagran var helt koncentrerad till Götaland och ägdes till största delen av enskilda markägare. Mark för askgödsling fanns i liten utsträckning i samtliga landsdelar.



Figur 4.1:1. Potentiell areal för de olika skötselmetoderna, fördelat på landsdelar och markägarkategori.

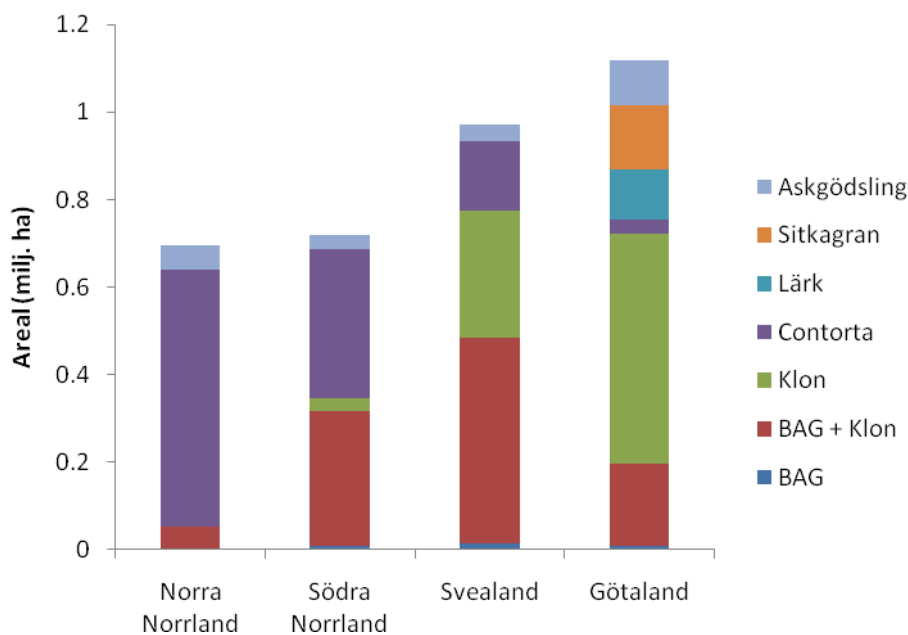
I basscenariot utgjorde BAG, klonskogsbruk med gran och contortaodling tillsammans 86% av arealen (Tabell 4.1:2). Det var också i huvudsak arealens fördelning på dessa skötselmetoder som skiljde sig mellan dessa de olika scenarierna. Reduceringen av arealen BAG i 'Ingen BAG' och 'Storskogsbruk' kompenseras således av en ökning av arealen klonskogsbruk med gran och contortaodling. I scenarierna etablerades endast en liten areal BAG i befintliga bestånd vid start. Därefter har klonat plantmaterial använts vid all nyetablering av bestånd för BAG.

All lämplig mark fastmarksgödslades innan den togs i bruk för någon av intensivodlingsmetoderna. Fastmarksgödsling tillämpades också vid klonskogsbruk med gran och contortaodling om så var lämpligt. Under den studerade perioden av 100 år fastmarksgödslades totalt 1.7 milj. ha av intensivodlingsarealen i basscenariot, 1.6 milj. ha i 'Snabbast införande' samt 1.9 milj. ha i 'Ingen BAG' respektive 'Storskogsbruk'.

Tabell 4.1:2. Den intensivodlade arealens fördelning på skötselmetoder för de olika scenarierna. Arealerna uttrycks i milj. ha.

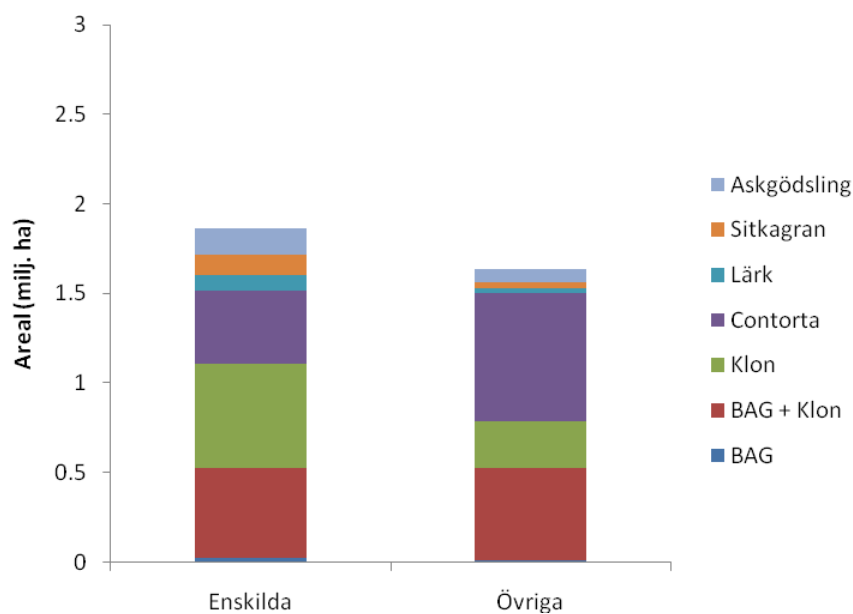
Scenario	BAG	BAG + klon	Klon	Contorta	Lärk	Sitkagran	Askgödsling	Totalt
Basscenario	0.03	1.02	0.85	1.12	0.11	0.15	0.23	3.5
Snabbast införande	0.04	1.02	0.76	1.20	0.11	0.15	0.23	3.5
Ingen bag	0	0	1.51	1.48	0.13	0.16	0.23	3.5
Storskogsbruk	0.02	0.77	0.88	1.43	0.08	0.11	0.21	3.5

Intensivodlingsarealens fördelning över landet presenteras för basscenariot i Fig. 4.1:2. Störst intensivodlingsareal återfanns i Norrland. Totalt återfanns 83% av contortaarealen i Norrland. Klonskogsbruk av gran som egen metod förekom främst i de södra delarna av landet. Av den totala arealen BAG återfanns 81% i södra Norrland och i Svealand. Hybridlärk och sitkagran förekom uteslutande i södra Sverige (Fig. 4.1:2).



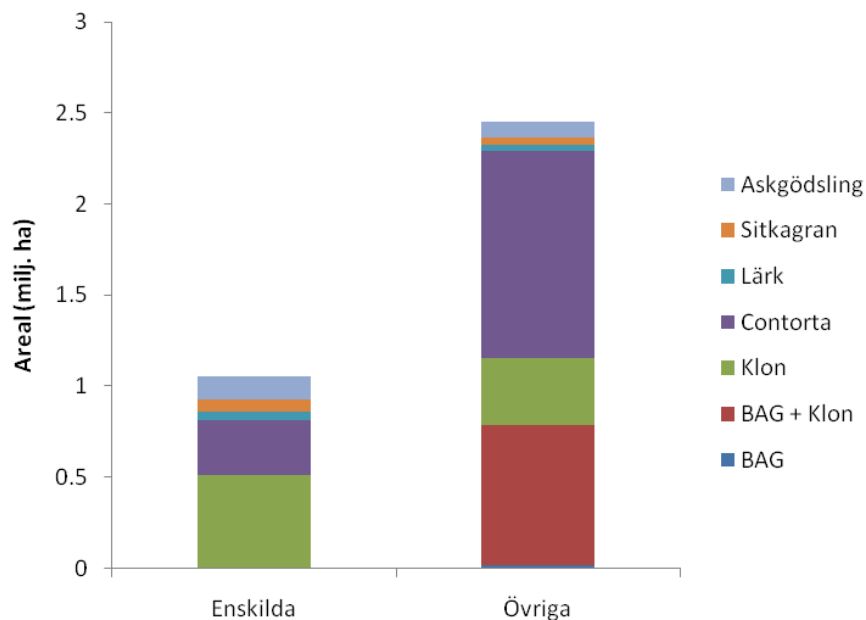
Figur 4.1:2. Tillgänglig areal för de olika skötselmetoderna i basscenariot, fördelat på landsdelar.

Enskilda markägare stod för 53% av intensivodlingsarealen i basscenariot (Fig. 4.1:3). Andelen BAG var ungefär lika fördelad mellan markägarekategorierna. Enskilda markägare stod för 69% av klonskogsbruket med gran. Även hybridlärk och sitkagran förekom i större utsträckning hos enskilda markägare än hos övriga. Av contortaarealen fanns 63% inom storskogsbruket.



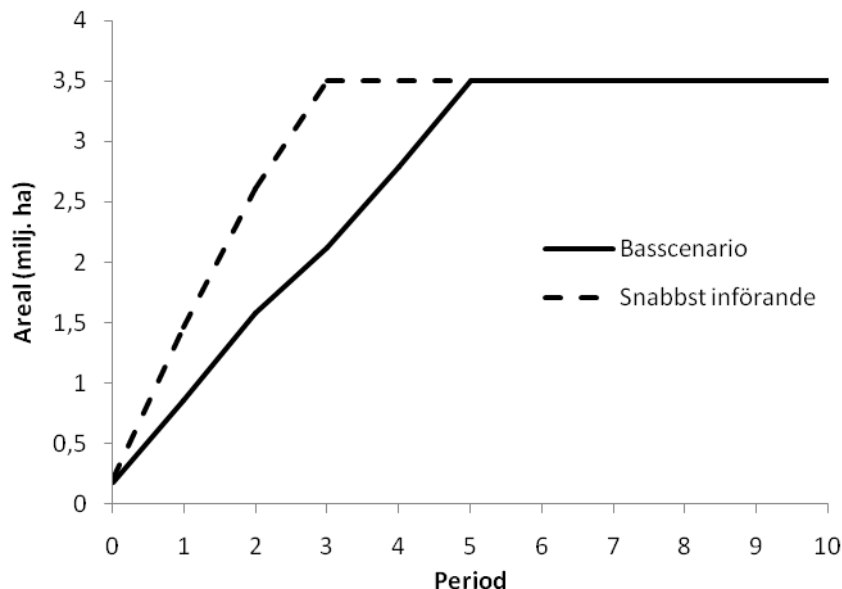
Figur 4.1:3. Tillgänglig areal för de olika skötselmetoderna i basscenariot, fördelat på markägarkategori.

I scenariot 'Storskogsbruk' reducerades andelen mark som ägs av enskilda personer till 30% samtidigt som BAG bara användes inom storskogsbruket (Fig. 4.1:4). 'Storskogsbruk' innebar en ökad areal contortaodling och en förskjutning av intensivodlingsarealen norrut jämfört med basscenariot. Totalt användes 79% av tillgänglig intensivodlingsareal inom storskogsbruket.

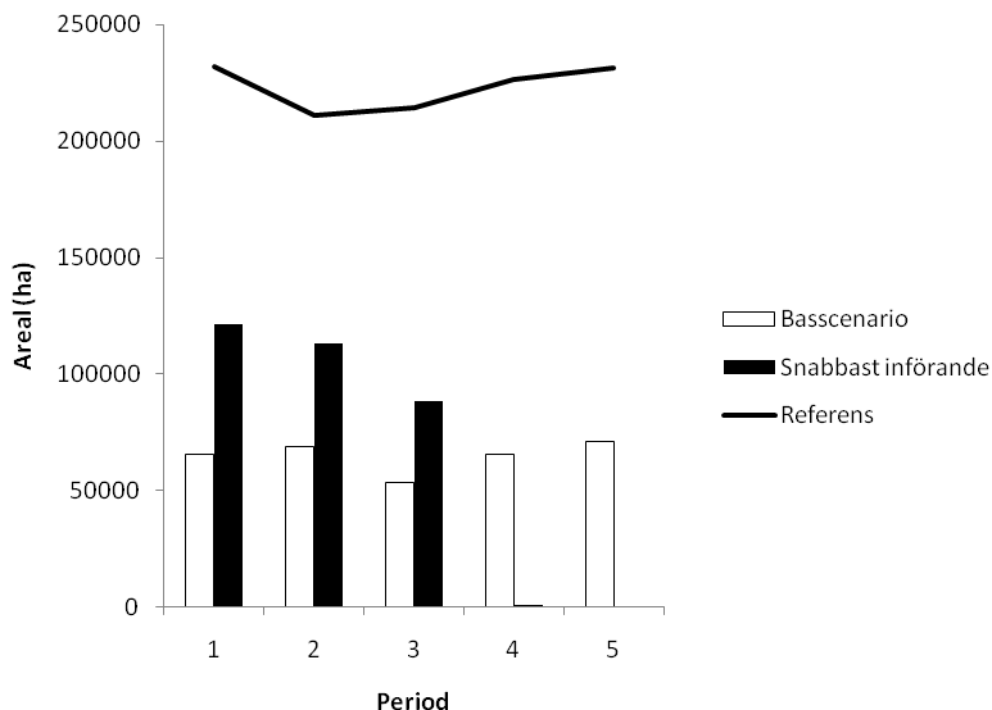


Figur 4.1:4. Tillgänglig areal för de olika skötselmetoderna i scenariot 'Storskogsbruk', fördelat på markägarkategori.

Etableringen av intensivskogsbruk var i huvudsak slutförd två perioder tidigare i 'Snabbast införande' jämfört med basscenariot (Fig. 4.1:5). I 'Snabbast införande' nyetablerades intensivskogsbruk på som mest ca 121 000 ha föryngringsavverkad mark per år, vilket motsvarar ca 52% av den totala slutavverkningsarealen i Sverige enligt referensscenariot SKA-VB 08 (Fig. 4.1:6). För basscenariot var nyetableringen jämnt fördelad över tiden och uppgick i genomsnitt till ca 65 000 ha per år.

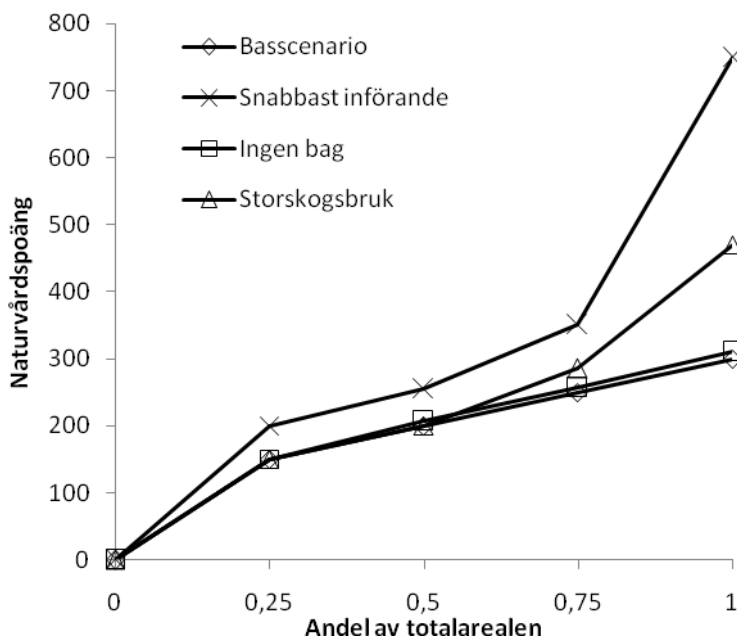


Figur 4.1:5. Ackumulerad intensivodlingsareal över tiden (10-årsperioder). Jämförelse mellan basscenariot och 'Snabbast införande'.



Figur 4.1:6. Genomsnittlig årlig nyetablering av intensivodling efter föryngringsavverkning i basscenariot och i 'Snabbast införande'. Linjen visar den årliga föryngringsavverkningsarealen i referensen.

I 'Snabbast införande' togs mark med högre naturvårdspoäng i anspråk jämfört med övriga scenarier (Fig. 4.1:7). Ytor med höga naturvårdspoäng motsvarade dock en mindre andel av arealen. I scenariot 'Storskogsbruk' var den högsta naturvårdspoängen 56% högre än i basscenariot. Att utesluta BAG ledde inte till en ökning av naturvårdspoängen i jämförelse med basscenariot.



Figur 4.1:7. Maximal naturvårdspoäng per kvartil av intensivodlingsarealen för respektive scenario. Intensivodlingsarealen är ordnad efter stigande naturvårdspoäng.

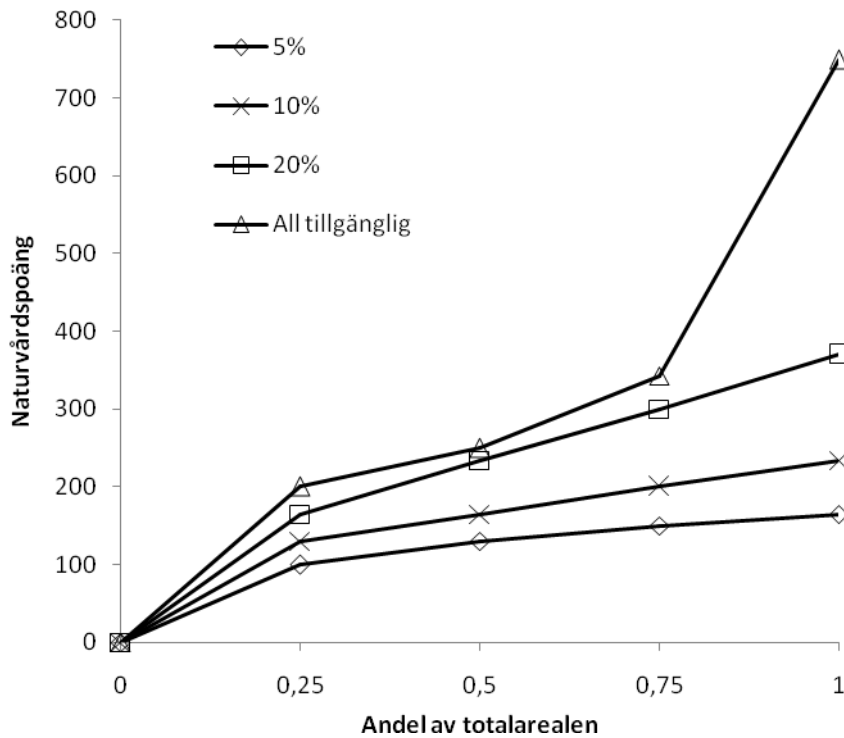
Resultatet då olika andel av den produktiva skogsmarken togs i bruk för intensivodling genom urval i enlighet med basscenariot presenteras i Tabell 4.1:3. Om all mark som är tillgänglig för intensivodling under etableringsperioden tas i anspråk uppgår intensivodlingsarealen till 5,7 milj. ha eller 24,2% av den produktiva skogsmarksarealen. Arealen för respektive skötselmetod ökar i stort sätt linjär med ökad intensivodlingsareal. Askgödslingen utgör ett undantag.

Tabell 4.1:3. Den intensivodlade arealens fördelning på skötselmetoder då olika stor andel av den produktiva skogsmarken tas i anspråk för intensivodling genom urval i enlighet med basscenariot. Arealerna uttrycks i milj. ha.

Andel (%)	BAG	BAG + klon	Klon	Contorta	Lärk	Sitkagran	Askgödsling	Totalt
5.0	0.02	0.28	0.31	0.33	0.04	0.05	0.13	1.2
10.0	0.02	0.64	0.59	0.72	0.07	0.10	0.20	2.3
20.0	0.04	1.40	1.11	1.54	0.15	0.19	0.25	4.7
24.2 ¹	0.04	1.74	1.34	1.89	0.17	0.22	0.25	5.7

¹All tillgänglig intensivodlingsareal under etableringsperioden

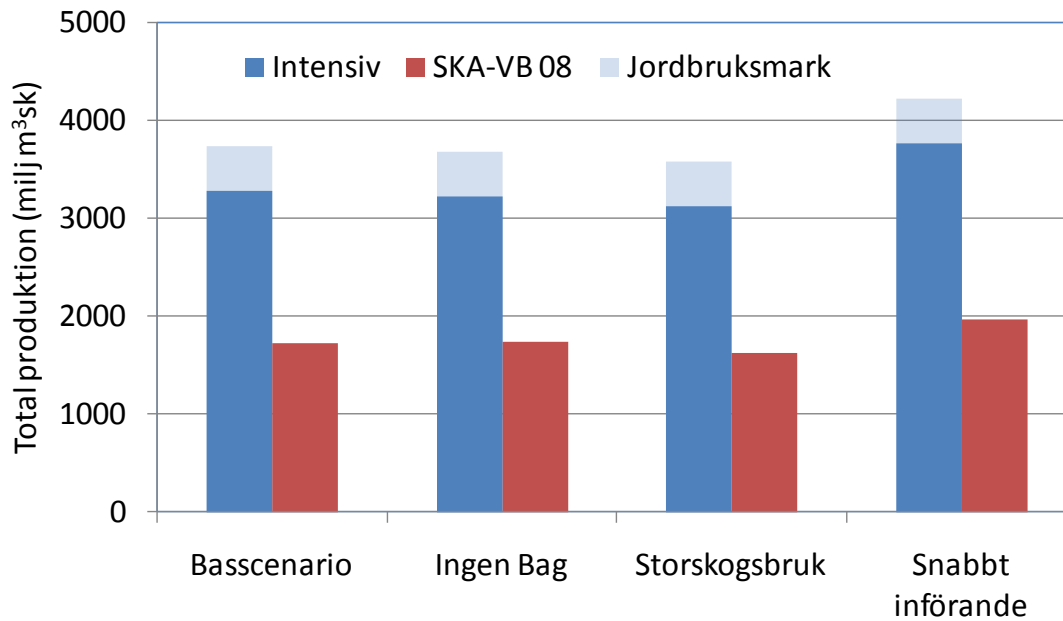
En ökning av den intensivodlade arealen från 5 till 20% av produktiv skogsmarksareal gav ungefär en fördubbling av den högsta naturvårdspoängen (Figur 4.1:8). Då all tillgänglig intensivodlingsareal togs i anspråk ökade den högsta naturvårdspoängen framför allt för den sista kvartilen av arealen.



Figur 4.1:8. Maximal naturvårdspoäng per kvartil av intensivodlingsarealen för då olika andel av den produktiva skogsmarken tas i anspråk för intensivodling genom urval i enlighet med bascenariot. Intensivodlingsarealen är ordnad efter stigande naturvårdspoäng. All tillgänglig areal för intensivodling under under etableringsperioden motsvara 24,2% av den produktiva skogsmarken.

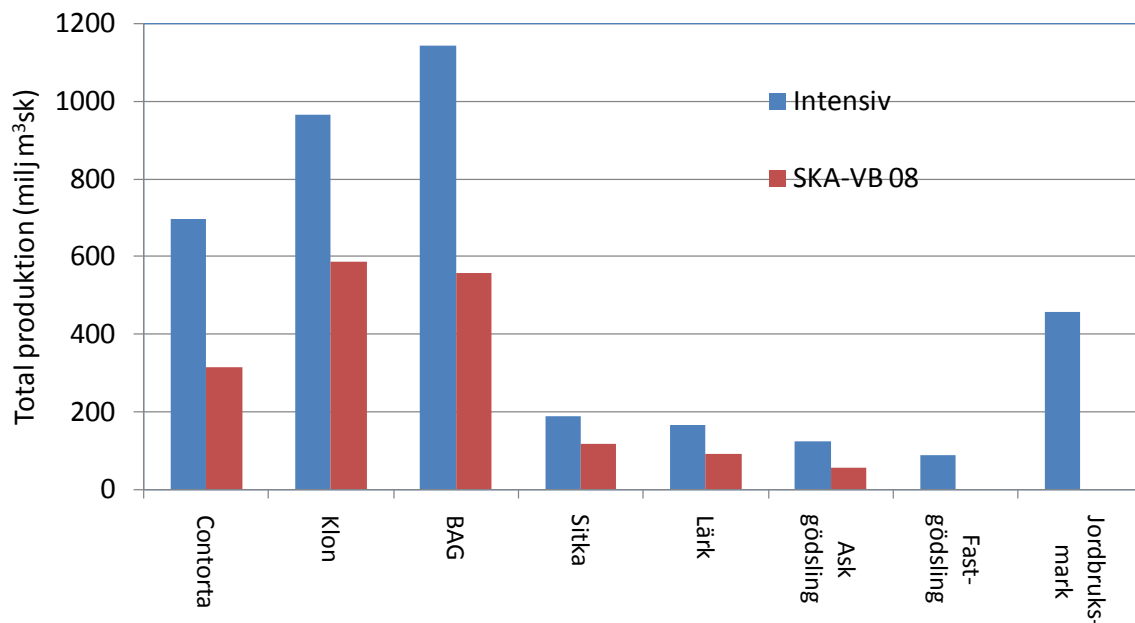
4.2 Produktionspotential för olika skogsskötselmetoder

Total produktion under hundraårsperioden var ca 85-92% högre för intensivskogsalternativen än för referensalternativet enligt SKA-VB 08 beroende på scenario (Fig 4.2:1). Att inte använda BAG sänkte totalproduktionen under hundraårsperioden jämfört med basalternativet (låg naturvårdspoäng) med 60 miljoner m³sk (1,8%). Att begränsa andelen intensivytor på privat mark till 30% och bara ha BAG på bolagsmark sänkte totalproduktionen med 157 miljoner m³sk (4,8%). Det skall dock poängteras att också referensalternativet hade lägre totalproduktion för det senare alternativet på grund av att mark med lägre bördighet togs i anspråk när andelen privat mark begränsades. Ett snabbt införande av intensivskogsodling utan hänsyn till naturvårdspoäng ökade totalproduktionen med 493 miljoner m³sk (15,0%) jämfört med basalternativet där ytor valdes med hänsyn till naturvårdspoäng. Den relativa totalproduktionen jämfört med SKA-VB 08 var dock i stort sett lika för snabbt införande och för bascenariot. Produktionen på 400 000 ha nedlagd jordbruksmark motsvarade ca 450 miljoner kubikmeter under hundraårsperioden och om denna produktion också medräknas stiger det relativa bidraget av intensivodling ytterligare (Figur 4.2:1).



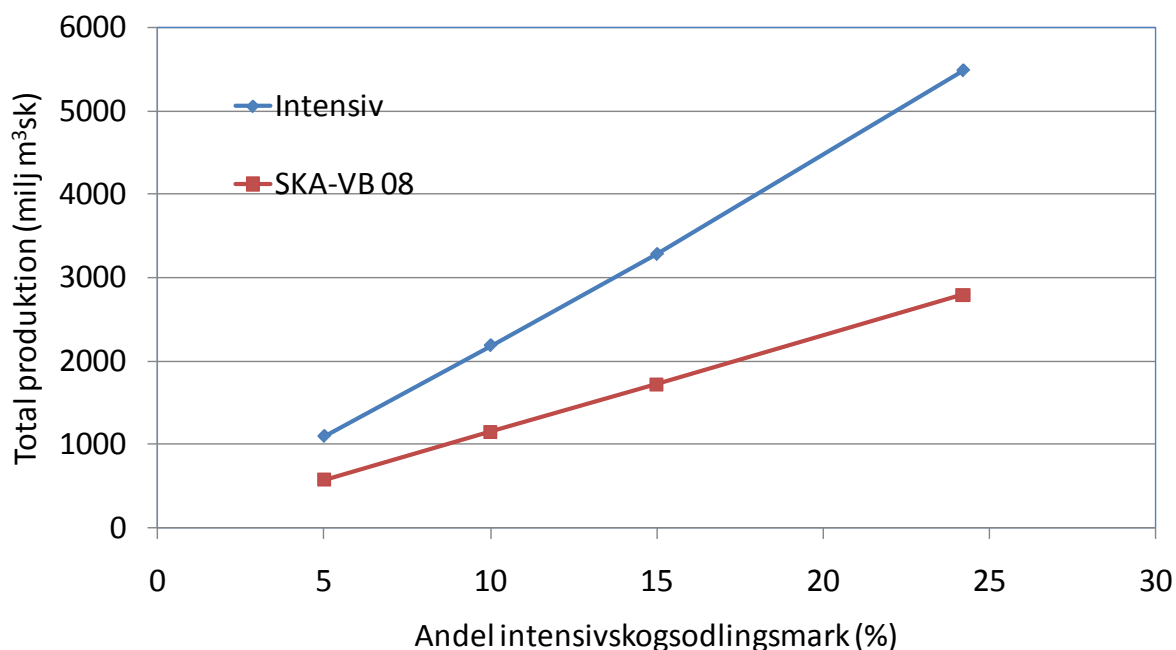
Figur 4.2:1. Total produktion (miljoner m³sk) under en hundraårsperiod för fyra olika scenario med intensivodling och för samma ytor i referensalternativet enligt SKA-VB 08. För beskrivning av scenarios se avsnitt 2.3.5. För alla scenarios gällde att 15% av tillgänglig mark användes för intensivodling.

Klon och BAG hade de högsta tillväxterna i totalproduktion men relativt SKA-VB 08 ökades tillväxten mest av contortaplantering (122%) följt av BAG (89%) (Figur 4.2:2). Klon, lärk och sitka höjde totalproduktionen med 63-82%. Produktionen på nedlagd åkermark var klart lägre än de tre stora intensivskogsåtgärderna contorta, klon och BAG. Dock var produktionen på den nedlagda åkermarken mer än dubbelt så stor som bidraget från sitka, lärk, askgödsling och fastgödsling (Figur 4.2:2).



Figur 4.2:2. Total produktion (miljoner m³sk) under en hundraårsperiod för de olika intensivskogsskötselåtgärderna vid "basscenariot. För varje skogsskötselåtgärd anges produktionsnivån för lyckade förnyringar med tall och gran samt produktionen enligt SKA-VB 08. Intensivytorna har identifierats enligt basscenariot.

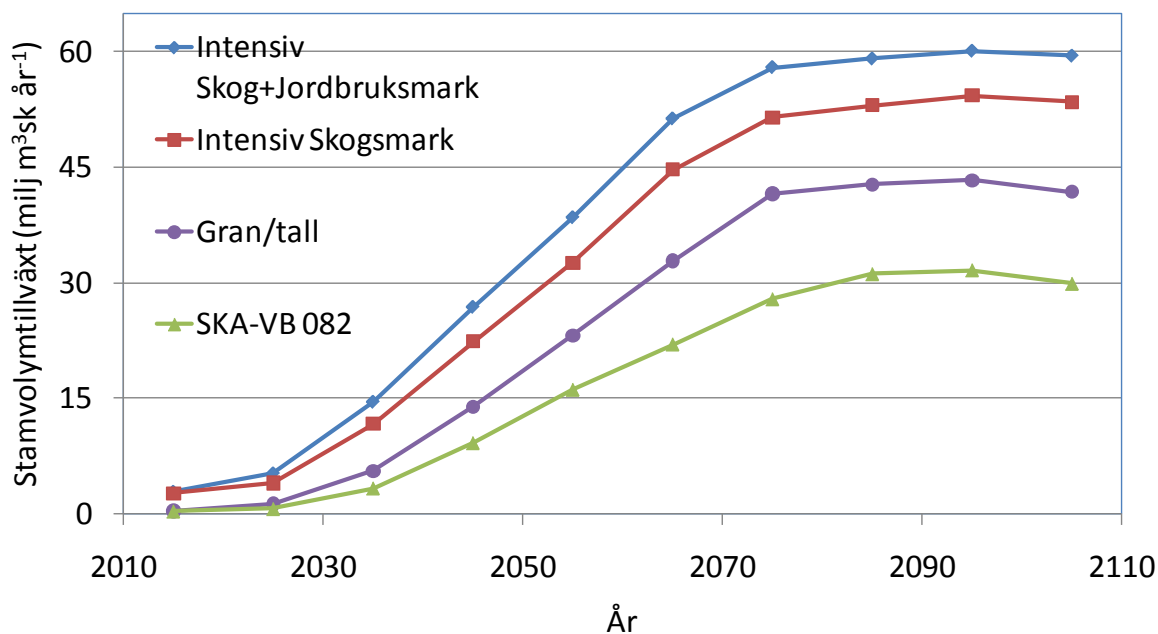
Totalproduktionen för samtliga alternativ var linjärt korrelerad mot andelen intensivskogsareal av den totala skogsmarksarealen (Figur 4.2:3). Maximalt så kunde 24,5% av skogsmarken användas för intensivskogsodling vid en femtioårig införandeperiod och de ståndortsrestriktioner som använts. Om all tillgänglig areal används för intensivskogsodling blir totalproduktionen på den arealen under hundraårsperioden ca 5480 miljoner m³sk vilket skall jämföras med ca 2791 miljoner m³sk för SKA-VB 08. Lite förenklat kan man säga att för varje procent av skogsmarksarealen som intensivodlas så ökar den totala tillväxten i Sveriges skogar med en procent. En tillämpning av intensivskogsbruk på 3,5 miljoner hektar (15 % av den produktiva skogsmarksarealen) ger en tillväxtökning på 1.6 miljarder kubikmeter under hundraårsperioden jämfört med referensalternativet. Enligt SKA-VB 08 blir den totala tillväxten i Sverige ca 11,3 miljarder kubikmeter och den totala tillväxtökningen på grund av att 15% av marken används för intensivodling blir då ca 14%.



Figur 4.2:3. Total produktion (miljoner m³sk) under en hundraårsperiod för intensivskogsalternativet, samt SKA-VB 08 när olika andel tillgänglig mark har tagits i anspråk. Intensivytorna har identifierats enligt basscenariot.

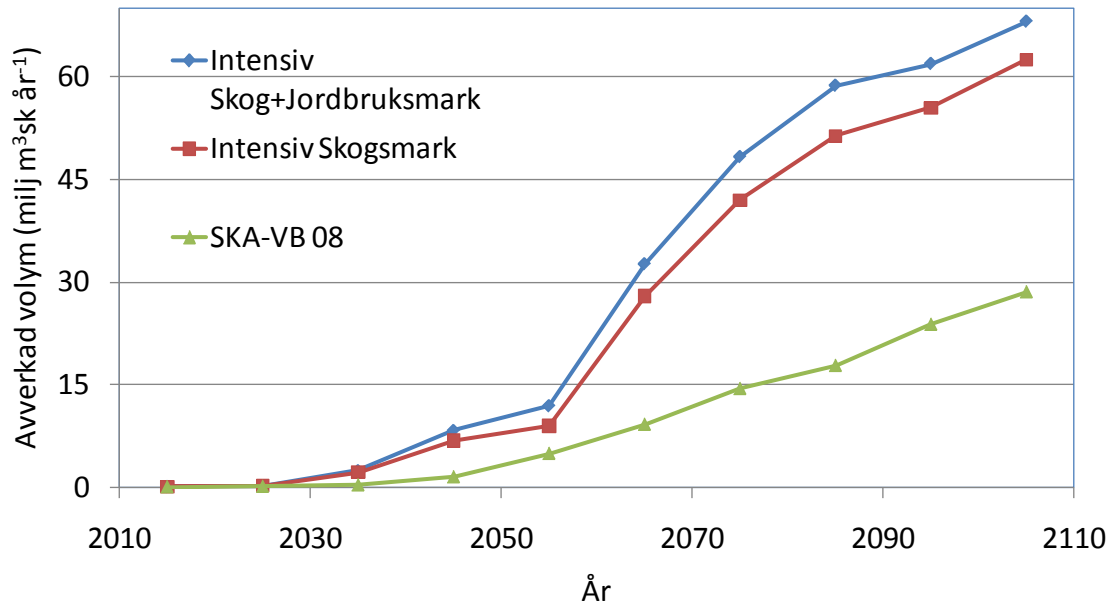
Effekten av intensivskogsåtgärder på tillväxten var låg under de första perioderna och var som högst ca 55-65 år efter det att de första intensivskogsytorna anlades men skillnaden i absolut tillväxtökning mellan intensivodling och SKA-VB 08 var relativt liten mellan de sista fem perioderna (Figur 4.2:4). Tillväxtskillnaden mellan intensiv och referens stabiliserades på ca 25 - 30 miljoner m³sk år⁻¹. Under den första 10-årsperioden var det bara BAG, askgödsling och fastmarksgödsling som gav produktionsökning och tillväxtökningen stannade därför på 2,2 miljoner m³sk år⁻¹. Det fanns 218 000 hektar granungskog tillgängligt för BAG under första perioden och den arealen gav en merproduktion om 343 000 m³sk. Fastmarksgödsling bidrog med 1,7 miljoner m³sk och askgödsling med 349 000 m³sk. Tillväxten 25 år efter starten av intensivodling stannade på 8,5 miljoner m³sk år⁻¹ högre för den intensivskogsodlade arealen än för SKA-VB 08. Beskogning av nedlagd jordbruksmark bidrog med ca 5-6 miljoner kubikmeter per år under de sista 30-40 åren men liksom för övrig intensivodling fick man vänta relativt länge på produktionsökningen (Figur 4.2:4).

En analys gjordes av hur stor del av intensivskogsodlingseffekten som berodde på att ytorna förutsattes bli föryngrade med 2000 plantor per hektar jämfört med referensalternativet som ansattes ett föryngringsresultat som speglade praktiska föryngringar i början av 2000-talet. Detta gjordes genom att beräkna produktionen för lyckade gran- eller tallföryngringar där gran planterades på de bördigare ytorna och tall på de fattigare. När tillväxtskillnaden mellan referens och intensivskogsytorna stabiliserades efter ca 50 år utgjorde lyckade föryngringar ca 50 - 55% intensivskogseffekten (Figur 4.2:4)



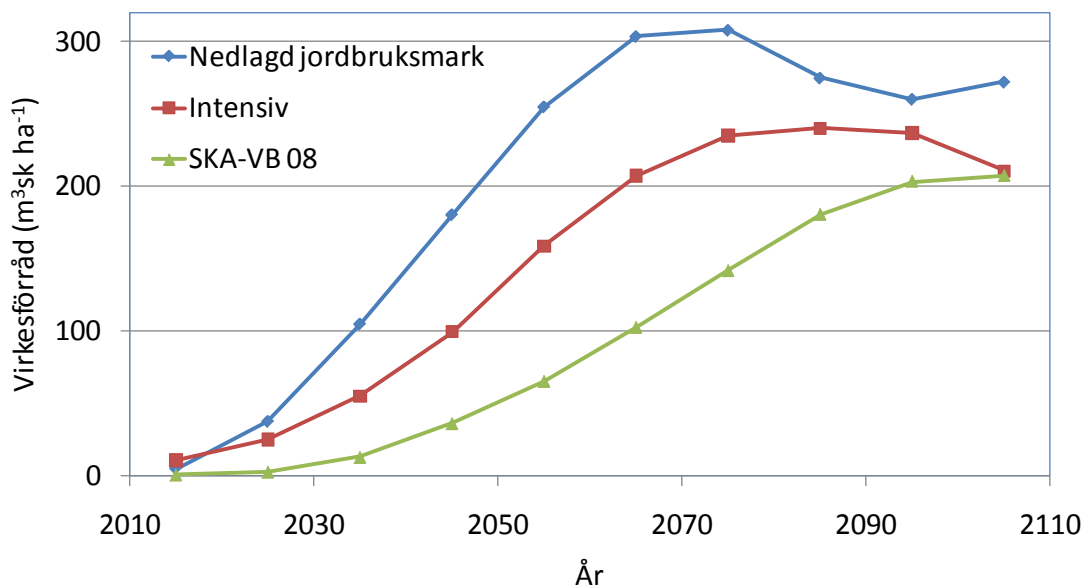
Figur 4.2:4. Stamvolymtillväxt (miljoner $m^3sk\ \text{år}^{-1}$) för intensivodling med och utan beskogning av nedlagd åkermark samt SKA-VB 08 för de olika perioderna. I figuren visas också produktionen för samma ytor om de beskogas med lyckade förnygringar av gran eller tall beroende på bördighet. Intensivytorna har identifierats enligt basscenariot.

Skillnaden i avverkningsnivå mellan intensivskogsbruk på skogsmark enligt basscenariot och referensalternativet stabiliserades på drygt 30 miljoner kubikmeter stamved efter ca 70 år (Figur 4.2:5). Skillnaden i avverkningsnivå blir alltså nästan 10 miljoner kubikmeter större än skillnaden i tillväxt vilket innebär att en större andel av tillväxten avverkas när intensivskogsbruk tillämpas. Det stående virkesförrådet i slutet av hundraårsperioden blir i stort sett lika för basscenariot för intensivskogsbruk och referensscenariot. Till den möjliga ökningen av avverkning från skogsmark ska också läggas en möjlig avverkning på 6 miljoner kubikmeter stamved från intensivodlad åkermark. Även tillvaratagande av skogsbränsle från den beräknade merskörden som intensivodling ger bör beaktas. Hur stor andel av fraktioner som grenar, toppar och stubbar som kommer att skördas är svår att beräkna. För att minska risken för kvävläckage från gödslade områden kan till exempel skörd av grenar, barr och toppar vara ett alternativ. Ett försiktigt antagande kan vara att en merskörd av skogsbränsle jämfört med referensscenariot motsvarande ytterligare 6 - 8 miljoner kubikmeter ska läggas till den möjliga ökningen i avverkad volym i slutet av perioden.



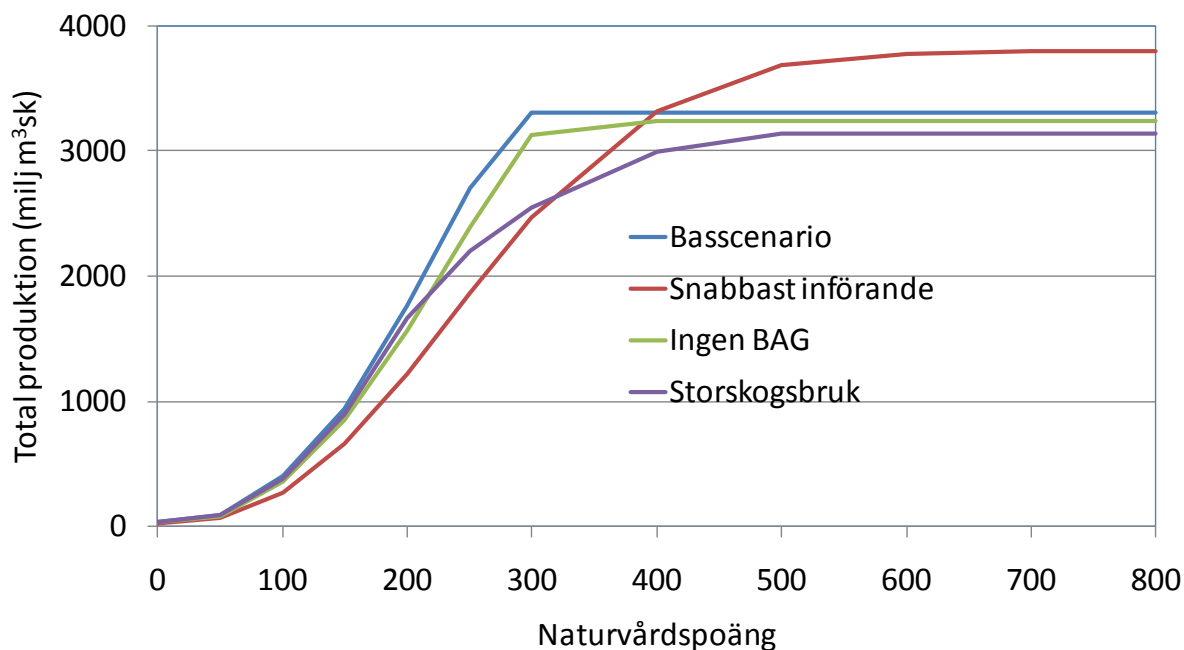
Figur 4.2:5. Avverkad stamvolym (miljoner m³sk år⁻¹) för intensivodling med och utan beskogning av nedlagd åkermark samt SKA-VB 08 för de olika perioderna. Intensivytorna har identifierats enligt basscenariot.

Virkesförrådet sjönk för både jordbruksmarken och för intensivskogsodling på skogsmark i slutet av hundraårsperioden (Figur 4.2:6). Detta var ett resultat av att en stor del av ytorna etablerades under samma period med ungefär samma omloppstider vilket gör att en stor del av ytorna blir avverkningsmogna i slutet av beräkningsperioden. Virkesförrådet skulle öka igen om simuleringen hade gjorts för en längre tidsperiod. Virkesförrådet för referensalternativet var alltid lägre än för de intensivodlade ytorna och virkesförrådet var lägre för intensivodling på skogsmark än jordbruksmark (Figur 4.2:6). Skillnaden mellan jordbruksmark och skogsmark avspeglar skillnad i omloppstid medan skillnaden mellan referens och intensiv beror på skillnader i tillväxtnivå.



Figur 4.2:6. Virkesförrådets utveckling (m³sk ha⁻¹) för intensivodling på skogsmark, beskogad av åkermark samt SKA-VB 08 under hundraårsperioden. Intensivytorna har identifierats enligt basscenariot.

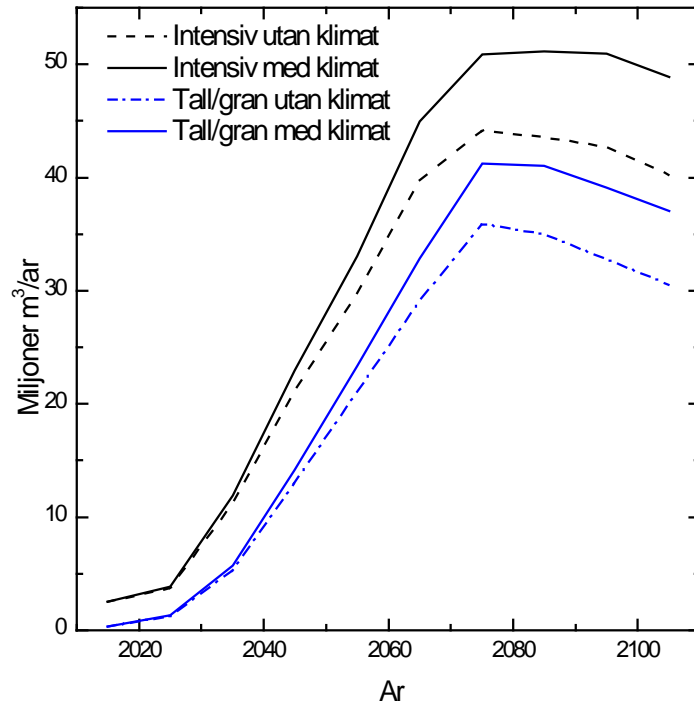
Basscenariot och 'Ingen BAG' producerade mest volym till lägst naturvårdspoäng medan ytor med högre naturvårdspoäng fick tas i anspråk vid scenariorna 'Snabbast införande' och 'Storskogsbruk' (Figur 4.2:7). För basscenariot producerades drygt 80% av volymen på ytor med naturvårdspoäng under 250 och all volym producerades på ytor med naturvårdspoäng under 300 poäng. För scenariot 'Snabbast införande' producerades endast ca 65% av volymen på ytor med naturvårdspoäng under 300 och den sista volymen producerades på ytor med en naturvårdspoäng mellan 700 - 800 (Figur 4.2:7).



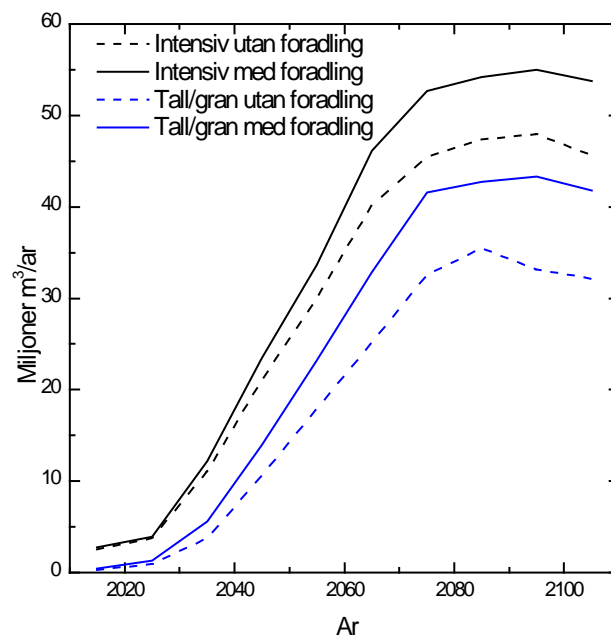
Figur 4.2:7. Total ackumulerad volymproduktion under hundraårsperioden för olika naturvårdspoäng för de olika scenarierna.

Effekten av klimatförändring på produktionen innebar en produktionsökning på 15% både för intensivskogsbruksalternativet och alternativet med lyckade tall- och granföryngringar (Figur 4.2:8). Effekten av klimatförändring var liten i början av simuleringsperioden och slutade på drygt 20% under sista tioårsperioden. Det var liten skillnad mellan intensivskogsåtgärder i effekt av klimatförändring. Störst effekt hade contortatall (16,7%) och minst effekt hade sitkagran och lärk (14,4%).

Användning av förädlat skogsodlingsmaterial innebar 14,4% produktionsökning för intensivskogsytorna och 28,4% ökning för alternativet med lyckade föryngringar av tall och gran (Figur 4.2:9). Den relativa effekten av att använda förädlat material var lägst för BAG (8,1%) och högst för lärk (32,1%). Även contortatall uppvisade en relativ hög tillväxtökning på grund av förädlat skogsodlingsmaterial (26,4%). Effekten av att använda förädlat material ökade med tiden och var 17,8% för intensiv och 30,1% för tall/gran under den sista tioårsperioden.



Figur 4.2:8. Tillväxt (miljoner $m^3sk\ \text{år}^{-1}$) för intensivodlade bestånd och bestånd med lyckade förnyringar av tall och gran med och utan effekt av klimatförändring. Intensivytorna har identifierats enligt basscenariot.



Figur 4.2:9 Tillväxt (miljoner $m^3sk\ \text{år}^{-1}$) för intensivodlade bestånd och bestånd med lyckade förnyringar av tall och gran med och utan effekt av förädling. Intensivytorna har identifierats enligt basscenariot.

5. Ekonomisk lönsamhet av olika skogsskötselmetoder på beståndsnivå

5.1 Syfte och kriterier

(Författat av Peichen Gong, SLU)

Lönsamhetsanalys syftar till att bedöma om en investering är lönsam eller, i fall att det finns fler investeringsalternativ att välja emellan, att bedöma vilket alternativ som är mest lönsamt. För bedömning av lönsamhet finns tre likvärdiga begrepp. Dessa är nuvärde, internränta och intäkt-kostnads-kvot. Nuvärde, eller rättare sagt nettonuvärde, av en investering är skillnaden mellan nuvärde av alla intäkter och nuvärde av alla kostnader som investeringen medför. Nuvärde av alla intäkter (kostnader) är summa av intäkterna (kostnaderna) diskonterade till idag med en för investeringen lämplig räntesats. En investering är lönsam om den har ett positivt nettonuvärde. Den är olönsam om nettonuvärdet är mindre än noll. Begreppen nettonuvärde, internränta och intäkt-kostnads-kvot, bygger på en rad antagande. Ett av dessa antaganden är att kapitalmarknaden är perfekt i meningen att man kan låna eller spara en obegränsad summa och räntan på lån är lika med sparräntan.

Att diskontera framtida intäkter och kostnader till dagens värde motiveras av det faktum att en inkomst (utgift) som utfaller i framtiden är värd mindre än en lika stor inkomst (utgift) i dag¹. Förklaring till detta är att, om man får en inkomst på till exempel 1000 kr idag, kan man spara den och få pengarna att växa. Med en årsränta på 3% blir de 1000 kr man får idag 1030 kr om ett år. Eller om man räknar med att få en inkomst på 1030 kr om ett år och väljer att konsumera nu genom att låna pengar, kan man bara låna 1000 kr idag för att inte bli skuldsatt efter man har fått sin inkomst ett år senare. Detta exempel visar att en inkomst på 1030 kr om ett år är värd lika mycket som en inkomst på 1000 kr i dag. Av samma anledning kostar en utgift som betalas i dag mer än en lika stor utgift som ska betalas vid en senare tidpunkt.

En investering innebär att man lägger ut en viss summa pengar i dag eller vid ett par tillfälle för att senare få vissa intäkter. Eftersom att kostnader och intäkter utfaller vid olika tidpunkter, måste man diskontera dem till en och samma tidpunkt för att kunna jämföra. Med andra ord måste man räkna om kostnader och intäkter av en investering till jämförbara värden för att avgöra om investeringen är lönsam.

En generell formel för att beräkna nettonuvärde av en investering är:

$$NV = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

där NV är nettonuvärdet, B_t och C_t betecknar intäkter och kostnader under år t , r är ränta och T är det år då investeringen avslutas. Nettonuvärde av en investering är ett mått på investeringsvinst (eller förlust) i dagens värde. Det kan tolkas som storleken av en inkomst (eller utgift) man får idag som motsvarar en investeringsvinst (förlust) – att man genomför en investering har samma effekt på ens ekonomi som

¹ Om man anser att detta faktum är ett konstigt påstående, kan man föreställa sig att din arbetsgivare föreslår att utbetalning av hela din årslön ska skjutas upp till slutet av året. Skulle du då acceptera förslaget utan protest eller utan att kräva något påslag?

att få en inkomst (utgift) idag som är lika stor som investeringsnettonuvärdet. Med denna tolkning är det klart att en investering är lönsam endast när nettonuvärdet är större än noll. Och ju större nettonuvärdet är desto bättre.

Till exempel en investering kräver att man lägger ut 1000 kr idag och ger 1255 kr om två år. Med hjälp av formel (1) kan man räkna ut att nuvärdet av investeringen är

$$NV = \frac{1255}{(1 + 0.03)^2} - \frac{1000}{(1 + 0.03)^0} = 183 \text{ kr,}$$

vilket innebär att investeringsvinsten är värd 183 kr idag. Med andra ord kan man genom att genomföra denna investering göra en vinst som motsvarar en inkomst på 183 kr i dag. Antag att du själv har 1000 kr för att finansiera denna investering. Om du avstår från investeringsmöjligheten och sätter pengarna på ett bankkonto, med en årsränta på 3% kommer de att växa till 1061 kr om två år. Om du väljer att genomföra investeringen, då kan du låna 183 kr att konsumera nu. Din skuld blir $183 \cdot (1,03)^2 = 194$ kr två år senare. Då får du en intäkt på 1255 kr. Efter betalning av skulden har du 1061 kr kvar, vilket är lika mycket som om du hade sparat dina 1000 kr på banken under två år. Alternativt kan du låna 1183 kr, 1000 kr till investering och 183 kr till konsumtion nu. Intäkten du kommer att få från investeringen räcker precis till att betala ditt lån plus räntekostnader. Alltså, denna investering, oavsett hur den finansieras, innebär att du har 183 kr mer att röra dig med nu.

Internränta för en investering är den diskonteringsränta som ger noll i nettonuvärde för investeringen. Den säger hur snabbt de pengar man investerat växer över tiden, eller den årliga procentuella avkastningen på det investerade beloppet. Därför kan man konstatera att en investering är lönsam om internräntan är högre än räntan på den finansiella marknaden. Eftersom intäkterna från en investering utfaller senare än kostnaderna, kommer nuvärdet av intäkterna att öka mer än nuvärdet av kostnaderna när man diskonterar med en lägre ränta. Att internräntan för en investering är högre än räntan på den finansiella marknaden innebär att nettonuvärdet av investeringen beräknade med marknadsränta är större än noll. Därför ger internräntekriteriet samma utslag som nettonuvärdekriteriet i lönsamhetsbedömningen.

Intäkt-kostnads-kvoten för en investering är kvoten mellan nuvärdet av intäkterna och nuvärdet av kostnaderna. Det säger hur mycket man får tillbaka för varje investerad krona. Om kvoten är större än 1, så är nettonuvärde positivt och då är investeringen lönsam. Om kvoten är mindre än 1, då har investeringen ett negativt nettonuvärde och är därför olönsam.

En gemensam brist för begreppen internränta och intäkt-kostnadskvot är att de inte tar någon hänsyn till investeringens storlek. Därför är begreppen olämpliga vid jämförelse mellan investeringsalternativ. En investering som kostar 1000 kr och har en internränta på 8% ger tydligen en lägre vinst än en investering som kostar 2000 kr och har en internränta på 6%. För att avgöra vilket investeringsalternativ som är mest lönsamt bör man använda nettonuvärdet.

5.2 Jämförelse av olika skötselprogram

(Författat av Peichen Gong, SLU)

En viktig fråga i MINT-utredningen var hur lönsamheten av skogsbruket påverkades när man ökar intensiteten i skötseln. Frågan handlade i grunden om en lönsamhetsjämförelse av olika skötselprogram. Det framgår i ovanstående diskussion att nettonuvärde var ett lämpligt kriterium för detta ändamål. Frågan belystes genom att beräkna och jämföra nettonuvärden av investeringar i skogsbruk med olika skötselprogram.

Eftersom alla skötselalternativ som berördes i utredningen omfattade den hela kedjan av virkesproduktionen från beståndsanläggning till slutavverkning, utgick vi från en hektar kalmark i analysen. För skötselprogram k , definierades

C_A^k = kostnader för beståndsanläggning/föryngring (kr ha⁻¹)

C_R^k = röjningskostnad (kr ha⁻¹)

t^k = röjningsålder (år)

C_t^k = övriga skötselkostnader under året (kr ha⁻¹)

n^k = antal gallringar under en omloppstid

G_i^k = den i:a gallringsnettointäkten (kr ha⁻¹)

t_i^k = den i:a gallringsåldern (år)

T^k = omloppstid eller slutavverkningsålder (år)

$p^k(T^k)$ = slutavverkningsnetto (kr per m³sk)

$V^k(T^k)$ = virkesförråd vid slutavverkning (m³sk ha⁻¹)

r = årsränta (%)

Nettonuvärde för en omloppstid med skötselprogram k är:

$$NV^k = \frac{p^k(T^k)V^k(T^k)}{(1+r)^{T^k}} + \sum_{i=1}^{n^k} \frac{G_i^k}{(1+r)^{t_i^k}} - \sum_{t=0}^{T^k} \frac{C_t^k}{(1+r)^t} - \frac{C_R^k}{(1+r)^t} - C_A^k \quad (2)$$

Jämförelser av nettonu värden för olika skötselprogram som beräknas enligt formel (2) kan dock leda till felaktiga slutsatser. Detta kan man visa med följande exempel. Det finns två tänkbara skötselprogram för en viss skogsmark. Program A har en omloppstid på 40 år och ett nettonu värde på 1000 kr ha⁻¹. Med program B slutavverkar man vid 80 årsålder och nettonu värde är då 1200 kr ha⁻¹. Om man jämför de två nettonu värdena är program B mer lönsamt än program A. Men med program A kan man göra två investeringar under 80 år. Summan av nettonu värdena för de två investeringarna är 1000 + 1000*(1.03)⁻⁴⁰ = 1306 kr ha⁻¹. Vinsterna i program A under en 80-årsperiod motsvarar en inkomst på 1306 kr medan vinsten i program B under samma period är 1200 kr i dagens värde, vilket betyder att program A är mer lönsamt än program B.

Formel (2) inkluderar inte kostnaden av att använda marken för virkesproduktion. Om virkesproduktionen sker på marken som någon annan äger, måste man betala hyra till markägaren. Om man investerar i virkesproduktionen på egen mark måste man avstå från intäkter man skulle kunna få genom att hyra ut marken till andra. Olika omloppstider innebär olika kostnader för markanvändningen. Å andra sidan är markvärde och därmed markhyran oftast okänd, varför man inte alltid kan räkna in den delen av kostnader i nu värdesberäkningarna.

Ett sätt att korrigera skillnader i omloppstid (och därmed kostnad av markanvändning) mellan olika skötselprogram är att beräkna nettonuvärde av all framtida investeringar på samma mark. När den första investeringen börjar i och med beståndsanläggning på kalmark, brukar man kalla detta nettonuvärde markvärde. För skötselprogram k är markvärdet:

$$B^k = \left[\frac{P^k(T^k)V^k(T^k)}{(1+r)^{T^k}} + \sum_{i=1}^{n^k} \frac{G_i^k}{(1+r)^{t_i^k}} - \sum_{t=0}^T \frac{C_t^k}{(1+r)^t} - \frac{C_R^k}{(1+r)^t} - C_A^k \right] * \frac{1}{1-(1+r)^{-T^k}} \quad (3)$$

Formel (3) låg till grund för den lönsamhetsanalys som redovisas i detta avsnitt. Analyserna utgick från att det skötselprogram som väljs i dag ska tillämpas i all framtid. En ändring i ett skötselprogram påverkar inte bara kostnader och intäkter för den första omloppstiden utan för alla framtida investeringar. Därför är det rimligt att jämföra olika skötselprogram baserat på nettonuvärde av alla framtida kostnader och intäkter.

5.3 Kalkylränta

(Författat av Peichen Gong, SLU)

Kriteriet nettonuvärde antar att man kan låna eller spara en obegränsad summa och att räntan på lån är lika med sparräntan på kapitalmarknaden. Under denna förutsättning kan man beräkna hur stort värdet för framtida intäkter eller kostnader är idag genom att diskontera dem med marknadsräntan. Denna idealiska situation uppstår dock aldrig i verkligheten, och det är aldrig självklart vilken ränta som är mest lämplig för ekonomisk analys av investeringar i skogsbruket.

Den ränta man använder sig av i ekonomiska kalkyler för skogsbruk, eller kalkylränta, brukar tolkas i termer av avkastningskrav, dvs. den lägsta avkastningen skogsägaren kräver på det kapital som ska investeras i skogen. Tolkningen antyder att kalkylränta kan variera från fall till fall. Man bör alltså inte sträva efter en lämplig kalkylränta som skall gälla för alla skogsägare. Avkastningskrav beror på flera faktorer (se Ekvall 2001, s. 41-53, för en utförlig redogörelse). Generellt sett kan man säga att avkastningskravet påverkas av låneräntan och avkastningen på den bästa investeringen utanför skogsbruket (alternativa avkastningen). En undersökning från 1988 (Löfgren 1994) visar att de privata skogsägarnas reala avkastningskrav ligger mellan 3,5 – 4%. Det var dock endast 25% av de tillfrågade som svarade på frågan, och endast 30 procent av dessa tror att de får den avkastning de angett. I våra kalkyler använde vi en real ränta på 2, 2,5 och 3%, som täcker de räntenivåer som brukar användas vid analys av skogsbeslut i Sverige.

5.4 Ekonomiska beräkningar

De ekonomiska beräkningarna begränsades till de arealmässigt dominerande skötselmetoderna BAG, klonskogsbruk med gran och odling av contortatall. För dessa metoder gjordes en jämfördes av markvärdet med traditionellt skötta skogar med tall och gran för olika ståndortsindex.

Det första steget var att beräkna nettot vid gallring och slutavverkning i bestånd med olika medeldiameter. Beräkningarna gjordes med ett simuleringsverktyg som är framtaget för att kunna studera effekten av skogsskötsel på beståndsutveckling och ekonomi på beståndsnivå (Nilsson & Fahlvik 2006). Till grund för beräkningen av avverkningskostnaderna användes produktionsnormer för skördare och skotare (Brunberg 1995; Brunberg 1997; Brunberg 2004). Uttaget bestod av timmer och massaved som prissattes i nivå med de priser som tillämpades av de större bolagen 2008.

I nästa steg gjordes regressionsfunktioner för avverkningsnettot mot medeldiameter. Separata funktioner gjordes för tall och gran och för gallring respektive slutavverkning.

Ett standardskötselprogram definierades för tall och gran. Skötselprogrammet bestod av plantering, en röjning, två gallringar och därefter slutavverkning. Skötselprogrammet tillämpades för SI-klasser mellan 22 - 40 m för gran och 18 - 36 för tall. Ju högre SI, desto kortare omloppstid tillämpades. Simuleringar gjordes sedan av skogens utveckling under en omloppstid.

Baserad på simuleringarna beräknades markvärdet för traditionell skötsel för olika SI. Kostnaden för plantering sattes till 10000 kr och kostnaden för röjning till 3000 kr. För att beräkna nettot vid gallring och slutavverkning användes de regressionsfunktioner som tagits fram för sambandet mellan netto och medeldiameter. Därefter gjordes regressionsfunktioner som beskrev sambandet mellan markvärde och SI. Separata funktioner gjordes för tall och gran.

Markvärdet för klonskogsbruk med gran och odling av contorta skattades genom att som ingångsdata i regressionsfunktionen användas det SI som motsvarade den förväntade produktionshöjningen för respektive SI-klass. För klonskogsbruk användes regressionsfunktionerna för gran och för contorta användes de som tagits fram för tall.

För BAG gjordes särskilda beräkningar för beståndsutveckling och markvärde. Först simulerades beståndsutvecklingen enligt en metod som beskrivs i kapitel 2.3.4. Beräkningarna begränsades till ståndortsindex för gran på 22 och 32 m. Intäkter vid gallringar och slutavverkning beräknades med regressionsfunktioner enligt ovan. Aktuella kostnader för spridning och priser på fullgödselmedel användes.

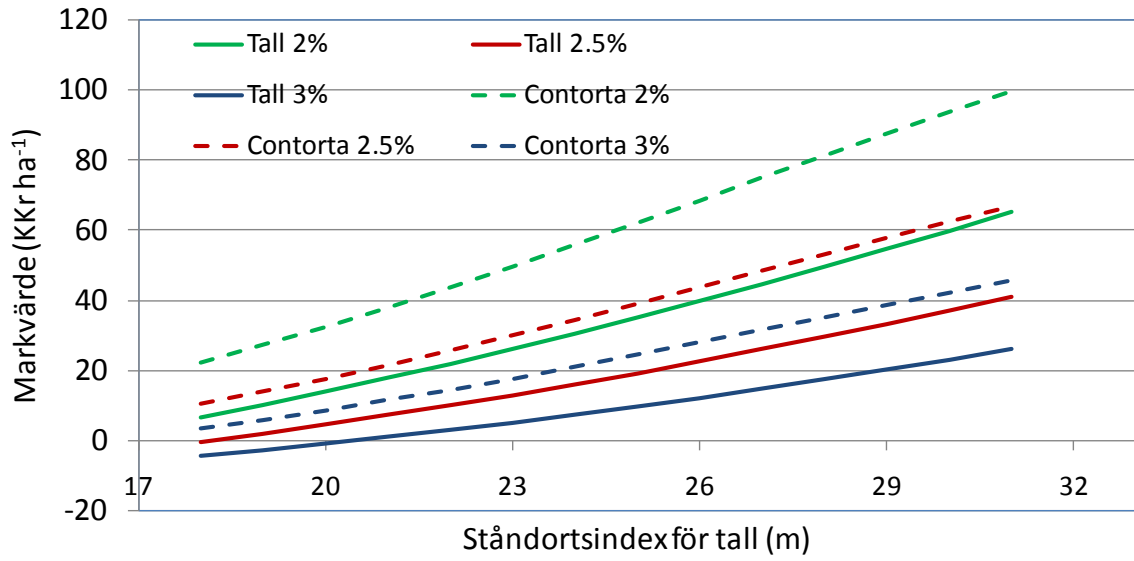
Slutligen jämfördes markvärdet för intensivodlade bestånd med traditionellt skötta bestånd. BAG och klonskogsbruk jämfördes med gran medan contortaodling jämfördes med tall.

5.5 Resultat av ekonomiska beräkningar

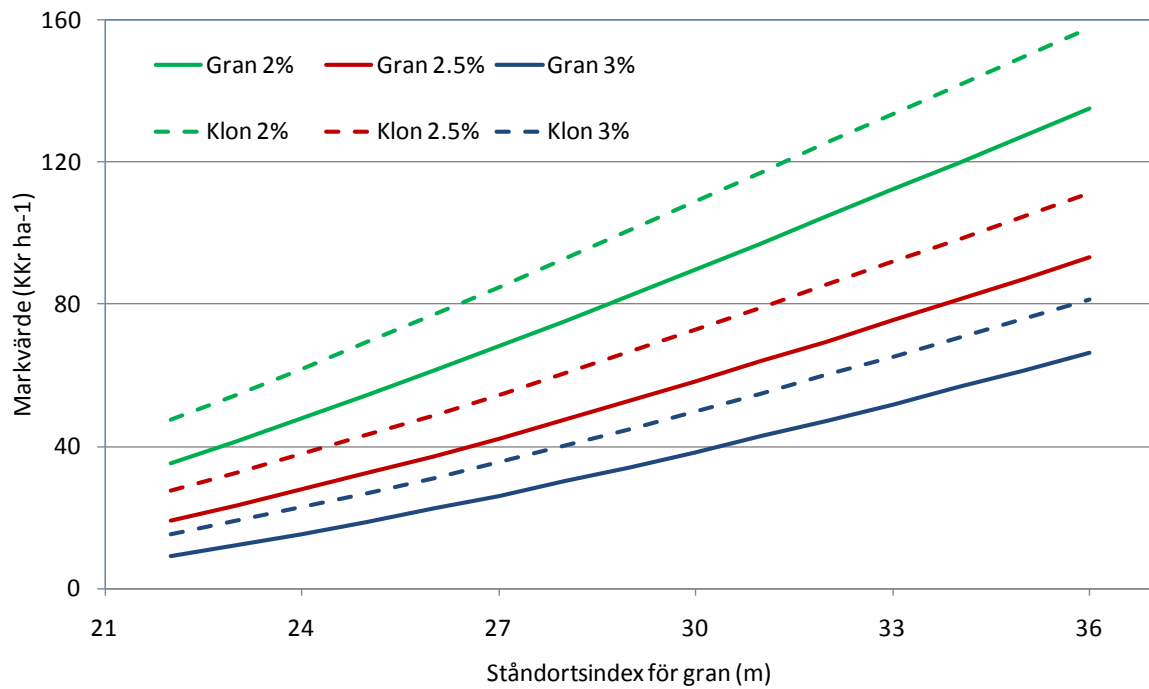
Markvärdet för contortaplanteringar var 15 - 35 tusen kronor högre per hektar än för tall vid 2% ränta (Figur 5.1). Motsvarande siffror för 3% ränta var 7 - 19 tusen kronor. Högst skillnad uppstod vid höga SI. För låga SI med 3% ränta visade analyserna på negativt markvärde för tallplanteringar medan contortaplanteringarna hade positivt värde.

Att plantera grankloner istället för fröförökade plantor höjde markvärdet med 12-22 tusen kronor per hektar vid 2% ränta och 6-14 tusen kronor vid 3% ränta (Figur 5.2). Skillnaden i markvärde är mest intressant för höga ståndortsindex (G28+) eftersom det är där grankloner i huvudsak avses att användas. För SI G30 var skillnaden i markvärde mellan grankloner och fröförökade granplantor mer än 20 tusen kronor för två procent och mer än 11 tusen kronor för 3% ränta.

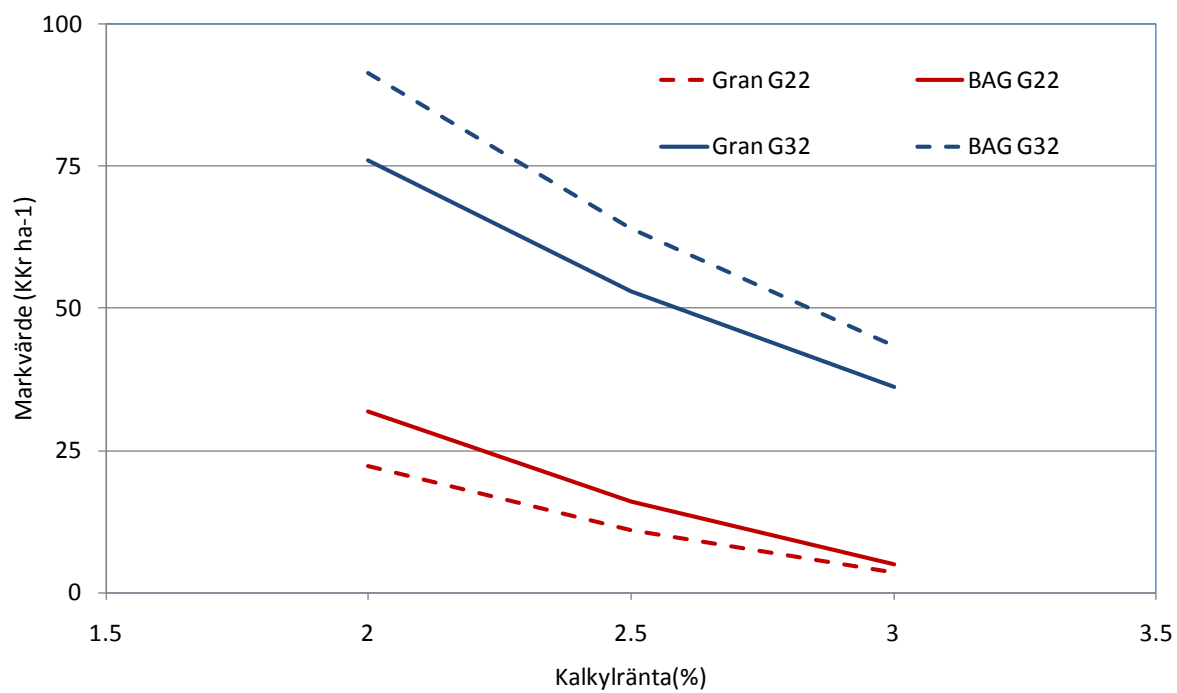
BAG hade 1,5-15 tusen kronor högre markvärde än motsvarande granplantering beroende på ståndortsindex och ränta (Figur 5.3). För kalkylerna med hög ränta och låg ståndortsindex var skillnaden i markvärde inom felmarginalen medan låg ränta och högt ståndortsindex medförde stor absolut skillnad i markvärde.



Figur 5.1. Markvärde (KKr ha⁻¹) för tall- och contortaplanteringarna vid varierande ståndortsindex och kalkylränta



Figur 5.2. Markvärde (KKr ha⁻¹) för planteringar med fröförökad gran- och grankloner vid varierande ståndortsindex och kalkylränta.



Figur 5.3: Markvärde (KKr ha⁻¹) för granplanteringar och BAG vid varierande ståndortsindex och kalkylränta.

6. Diskussion

6.1 Skötselmetoder

6.1.1 Tillräckligt beprövade skötselmodeller för storskalig tillämpning

Fastmarksgödsling av medelålders och äldre tall- och granskog

Storskalig fastmarksgödsling av kväve startade i Sverige på 1960-talet. Metoden har tillämpats på stora arealer, främst inom bolagsskogsbruket i norra Sverige. Det finns omfattande forskningsresultat och praktiska erfarenheter till stöd för metodens tillämpning. Miljöeffekter och skaderisker är väl utvärderade. Sammantaget kan fastmarksgödsling betraktas som väl en beprövad skogsskötselmetod som direkt kan växlas upp till betydligt större arealer jämfört med dagens tillämpning.

Ungskogsgödsling av gran, med och utan användning av förädlat material

Ungskogsgödsling av gran (BAG) är en för svenska förhållanden ny skötselmetod som ännu inte prövats storskaligt. Det finns en omfattande vetenskaplig dokumentation av forskningsresultat som baseras på två långsiktiga (> 20 år) fältexperiment, ett i Västerbotten (Flakaliden) och ett i Småland (Asa). Fälttester i halvpraktisk skala har på senare år inletts och tidiga resultat från dessa bekräftar de tillväxteffekter som uppnåtts i de mera vetenskapligt kontrollerade fältförsöken.

Viktiga begränsningar för ungskogsgödslingens praktiska tillämpning är:

- Metoden kräver stora arealenheter inom välarronderade innehav för att vara lönsam. Förutsättningarna för ekonomisk lönsamhet vid behovsanpassad ungskogsgödsling torde därför vara störst inom bolagsskogsbruket.
- De förhållandevis höga investeringskostnaderna vid ungskogsgödsling har en avsevärt längre avskrivningstid, och en därav följande högre grad av risktagande, jämfört med konventionell fastmarksgödsling. Även detta talar för att metoden är mera lämplig för större skogsbolag än för mindre privata skogsägare.
- Metodiken för storskalig spridning av gödselmedel är oprövad vad gäller tekniskt utförande och kostnader. Erfarenheter om spridningsteknik kan sannolikt hämtas från den konventionella fastmarksgödslingen, men anpassning och vidareutveckling av metodiken till ungskogsgödslingens mera specifika förutsättningar kommer sannolikt att krävas vid mera storskalig tillämpning.
- Kunskaper och praktiska erfarenheter av övriga skötselinsatser (utöver gödslingen) i ungskogsgödslande bestånd är idag ganska begränsade. Det kan gälla metoder för beståndsanläggning, gallringsprogram och beståndsavveckling.

Sammantaget finns en omfattande vetenskaplig dokumentation av ungskogsgödsling som skötselmetod. Däremot är den praktiska tillämpningen av metoden mindre väl beprövade när det gäller t ex arealkrav, ägaranpassning, metodik för spridning och övriga skötselåtgärder i kombination med gödslingen.

Klonskogsbruk med gran

Den svenska skogsträdförädlingen har en lång tradition och vilar på en gedigen vetenskaplig grund. Forskning och praktiskt utvecklingsarbete om klonskogsbruk har under flera decennier bedrivits såväl i Sverige som på andra håll i världen. Möjligheter och problem är idag väl kända. Detsamma gäller metodik för massförökning av testade kloner, där somatisk embryogenes idag är en fungerande metod för gran. Metoden måste emellertid anpassas för kommersiell tillämpning och ett intensivt utvecklingsarbete bedrivs idag. Klonskogsbruk av gran har relativt stor potential att öka produktionen i Sveriges skogar men det kan dröja ett antal år innan metoden är redo för storskalig användning. Eftersom skötselsystemen i klonskogsbruk inte avviker från traditionell skötsel i några väsentliga avseenden, så är metoden redo att implementeras när klonat material finns tillgängligt.

Odling av contortatall på fastmark

Contortatall introducerades i svenskt skogsbruk på 1960-talet av ett antal mellansvenska skogsbolag. Trädslaget blev snabbt ”populärt” i den norra delen av landet och omfattande arealer kom att planteras under 1970- och 1980-talen. Totalt har hittills mer än 0.6 miljoner hektar planterats med contortatall, vilket innebär att trädslaget utan jämförelse är det areellt sett mest använda utländska trädslaget i svenskt skogsbruk. Parallellt med contortatallens introduktion i Sverige har omfattande forskningsinsatser utförts samtidigt som man inom skogsbolagen bedrivit utvecklingsarbete inriktat mot förbättrat skogsodlingsmaterial och effektivare beståndsanläggningsmetoder. Trots att vissa bakslag och problem med skador inträffat, kan contortatallens introduktion övergripande betraktas som en lyckad satsning med stor potential för den framtida virkesförsörjningen i landet. Eftersom contortatallens vedegenskaper i väsentliga avseenden påminner om tallens, kan råvaran industriellt användas på samma sätt som tallen. De stora skogodlingsarealerna i kombination med de omfattande FoU-insatserna gör att skogsodling med contortatall kan betraktas som en i huvudsak väl beprövad skogsskötselmetod. På några punkter kvarstår dock problem för framtiden:

- Eftersom de mest omfattande planteringarna av contortatall genomförts i en förhållandevis sen tid, finns det stora arealer med unga skogar men förhållandevis lite medelålders och äldre skog. Osäkerheter kvarstår därför om beståndsutveckling, produktion, virkeskvalitet, skötselinsatser och skaderisker under den senare delen av omloppstiden. Speciellt utgör risken för vindskador i äldre contortabestånd en påtaglig osäkerhet, eftersom denna risk för contortatall liksom för många andra trädslag kan antas öka med stigande beståndsmedelhöjd.
- Att nya och hittills okända skadegörare kan drabba contortatallen eller något av de inhemska trädslagen utgör en allmän risk som alltid föreligger vid en introduktion av nya trädslag. För närvarande finns inget som tyder på att denna risk skulle vara varken större eller mindre än för andra introducerade trädslag.
- Det råder vissa oklarheter om den framtida virkeskvaliteten när de nu växande contortabestånden uppnår slutavverkningsstadiet. Olämpliga plantmaterial eller beståndsanläggningsmetoder kan resultera i sämre kvalitetsutfall än förväntat.
- Svårigheter kan uppstå att producera lämpligt skogsodlingsmaterial i tillräcklig mängd vid en storskalig expansion av odlingarna med contortatall. Detta kan gälla speciellt för vissa ståndortstyper, såsom kärvare klimatlägen. Vid ett beslut om satsning på contortatall för intensivskogsbruk måste sannolikt resurser avsättas för ökad produktion av skogsodlingsmaterial.

Hybridasp på åker- och skogsmark

Förhållandevis stora forskningsinsatser har ägnats hybridasp sedan 1940-talet, med förhöjd intensitet sedan 1985. Det finns idag ett kommersiellt tillgängligt skogsodlingsmaterial för hybridasp i södra Sverige. Storskalig odling av hybridasp har emellertid ännu inte kommit igång, varför metoden inte fullt ut kan betraktas som väl beprövad. Om odling av hybridasp i större skala blir aktuell i framtiden måste betydande forsknings- och utvecklingsinsatser allokeras till bl a följande områden:

- Fortsatt förädlingsarbete.
- Förbättrade metoder för plantproduktion.
- Metoder för att hantera viltskadeproblemen.

Salix-odling på jordbruksmark

Existerande produktionssystem för *Salix* är ett resultat av ett mångårigt svenskt forsknings- och utvecklingsarbete som lett till att Sverige är världsledande på området. Det finns idag väl genomarbetade och testade rekommendationer för praktisk odling. Utökade forskningssatsningar på *Salix*-förädling genomförs för närvarande. Produktionssystemen fungerar biologisk och kan ur denna synpunkt betraktas som väl beprövade metoder. Problemen som förklarar varför *Salix*-odlingen i Sverige avstannat ligger snarare på de tekniska och ekonomiska områdena.

Dikning, dikesrensning och gödning av nedlagd jordbruksmark och torvmark med låga naturvärden

Dikning och dikesrensning har sedan lång tid tillbaka praktiserats storskaligt i Sverige. Åtgärdernas biologiska, tekniska och ekonomiska effekter är väl kända och beprövade.

Gödning av torvmarker har däremot inte utförts storskaligt. De svenska FoU-insatserna är ganska begränsade medan man i Finland satsat mera inom området. Såväl metodval som effektuppföljning kommer sannolikt att kräva insatser parallellt med en storskalig introduktion.

6.1.2 Skötselmodeller som kräver forsknings-/utvecklingsinsatser men som ändå kan startas i begränsad skala

Odling av lärk och sitkagran på åker- och skogsmark

De befintliga arealerna med lärk och sitkagran i Sverige är mycket blygsamma i jämförelse med kontortatall. Lärken är det introducerade trädslag vars odling är areellt sett mest omfattande i södra Sverige medan odling av sitkagran hittills skett på mycket begränsade arealer. För lärk och sitkagran har hittills endast små resurser satsats i Sverige på kunskapsuppbyggnad genom forskning och utvecklingsarbete. Med hänsyn till kunskapsläget och odlingsarealernas omfattning kan odling av lärk och sitkagran idag inte betraktas som väl beprövade skötselmetoder. Eftersom båda trädslagen används i en betydande omfattning i många andra europeiska länder, kan emellertid kunskaper och erfarenheter till en viss del inhämtas utifrån. Mycket återstår dock att göra i fråga om svenska FoU-insatser om en storskalig satsning (hundratusentals hektar) likt den för kontortatall skulle bli aktuell. Några viktiga områden där ökade FoU-insatser kommer att krävas inför en storskalig satsning på lärk och sitkagran i intensivskogsbruk är:

- Produktion av skogsodlingsmaterial. Resurser kommer att erfordras dels för operativ förädlingsverksamhet, dels för utveckling av metodik för produktion av frö och plantor.

- Risk för skadegörare. Vissa skadegörare är kända för lärk och sitkagran. En viktig sådan är rotröta som är en allvarlig skadegörare för båda trädslagen. Sannolikt kommer det att krävas såväl mera grundläggande forskningsinsatser om rotrötesvamparnas biologi på lärk och sitkagran, som mera tillämpad forskning och utvecklingsarbete om bekämpningsmetoder.
- Skogsskötselmetoder anpassade till svenska förhållanden.

Gödsling av contortaskog på fastmark

Det finns endast ett fåtal fältförsök med gödsling av contortatall. Gödsling av contortaskog har hittills inte tillämpats i praktisk skala. Metoden kan således inte betraktas som väl beprövad men eftersom tillämpningen sannolikt ligger nära fastmarksgödsling av tall, torde resultat och erfarenheter i viss utsträckning kunna hämtas därifrån.

6.1.3 Skötselmodeller som bedöms kräva mera omfattande forsknings-/utvecklingsarbete före framtida storskalig tillämpning

Poppelodling på nedlagd åkermark

Forskningsinsatser inom poppelområdet har varit mera begränsade än motsvarande för hybridasp. Det finns inget idag kommersiellt tillgängligt skogsodlingsmaterial för poppel i Sverige. Storskalig odling av poppel har hittills inte förekommit i Sverige. Odling av poppel är således ingen väl beprövad skötselmetod. Omfattande FoU-insatser kommer att krävas om poppel skall intensivodlas i stor skala.

Gödsling av björk-, asp- och alskog, med eller utan användning av förädlat material

Det finns endast ett fåtal fältförsök med gödsling av lövskog i Sverige. I praktisk skala har gödsling av lövskog hittills inte förekommit i Sverige. Metoden är således inte beprövad och kan inte rekommenderas för storskalig intensivodling.

6.2 Tillgänglig areal för respektive skötselmetod

Arealmässigt dominerar skötselmetoderna BAG, odling av contortatall och klonskogsbruk med gran. Sett enbart till Götaland så är dock den potentiella arealen för hybridlärk och sitkagran i samma storleksordning som BAG och odling av contortatall. Den potentiella arealens fördelning över landet för BAG, contortatall och klonskogsbruk speglar framför allt markens produktionsförmåga. Odling av contortatall rekommenderas framförallt på svagare marker och har därför en nordligare utbredning än klonskogsbruk av gran som rekommenderas på bördigare marker. För BAG, som intar en mellanställning när det gäller krav på markens produktionsförmåga, är den potentiella arealen störst i de mellersta delarna av landet. Odling av hybridlärk och sitkagran rekommenderas i nuläget enbart i de sydligaste delarna av landet och längs västkusten. Anledningen är dels att erfarenheterna av odling längre norrut är begränsade och dels för en befarad risk för frostsador vid odling av trädslagen på sydsvenska höglandet. Mark för askgödsling på torvmark förekommer på en begränsad areal över hela landet.

Markägarstrukturen i Sverige kännetecknas av en stor andel bolagsmark i norra Sverige medan enskilda markägare dominerar i söder. Således ligger huvuddelen av den potentiella arealen för olika intensivodlingsmetoder i Götaland på mark som ägs av enskilda markägare medan den potentiella arealen för contortaodling i Norrland till stor del är bolagsmark.

Användandet av riksskogstaxeringens material för att skatta tillgängliga arealer för intensivodling på skogsmark utgör en styrka då det är ett mycket omfattande material som representerar all typ av skogsmark. Avgränsningen av arealer för respektive skötselmetod har gjorts med utgångspunkt från de kriterier för lämpliga bestånd som expertgrupperna har levererat. Urvalet har skett på beståndsnivå och hänsyn har således inte tagits till restriktioner som kan påverka tillämpningen av intensivskogsbruk på regional eller nationell nivå. Det är dock sannolikt att faktorer som transportavstånd, markägarstruktur med mera kommer att ha betydelse för skötselmethodernas tillämpning och utbredning. Vidare ger riksskogstaxeringen ingen information om brukningsenheternas storlek. Vissa metoder kommer att kräva större sammanhängande områden för att kunna bedrivas rationellt. I denna rapport har syftet varit att visa på potentialerna för de olika skötselmethoderna och därför har dessa faktorer inte tagits i beaktande.

Rekommendationerna för val av bestånd bör betraktas som en avvägning mellan flera olika aspekter såsom produktion, lönsamhet, skaderisk och naturvårdshänsyn. Därutöver har nuvarande kunskapsläge utgjort en restriktion för vissa skötselmetoder. Exempelvis rekommenderas odling av hybridlärk och sitkagran i nuläget enbart i de sydligaste delarna av landet.

6.3 Beräkningar av produktionspotentialen

Produktionsmodeller saknas idag för de flesta av de studerade skötselmodellerna för intensivskogsbruk. Anledningen till detta är att empiriska data från t ex bestånd med ungskogsgödsling eller klonskogsbruk hittills inte funnits tillgängliga i tillräcklig omfattning för att tillverka prognosmodeller. För att skatta produktionspotentialen vid intensivodling har det därför varit nödvändigt att tillgripa en förenklad teknik. Denna bygger på antagandet att intensivodlad skog har samma tillväxtnöster över omloppstiden som "normal" tall- och granskog och att merproduktionen för intensivodlad skog kan simuleras genom en uppjustering av ståndortsindex. I avsaknad av produktionsmodeller för intensivodlad skog, torde den tillämpade tekniken vara bästa tillgängliga sätt att skatta produktionsnivåerna.

Den totala virkesproduktionen vid ett intensivskogsbruk på ca 15% av skogsmarksarealen kan under en 100-årsperiod ökas med ca 90% jämfört med referensalternativet på samma areal. Att produktionen nästan fördubblas på den intensivodlade arealen och att produktionen var linjärt beroende av arealen som intensivodlades innebär att totalproduktionen i Sverige ökar med nästan en procent för varje procent areal som intensivodlas. Därför kan produktionseffektens beroende av totalarealen som intensivodlas lätt beräknas. Till denna produktion skall läggas de ca 450 miljoner kubikmeter som kan produceras på nedlagd åkermark under hundraårsperioden vilket motsvarar ytterligare en ökning av totalproduktionen i Sveriges skogar med ca 0.4%. Det kan tyckas vara en marginell ökning av skogsproduktionen men det motsvarar ca 65% av produktionen av contorta i basscenariot. Det finns inte någon enskild intensivskogsodlingsåtgärd som ensam kan stå för en drastisk ökning av den totala produktionen utan ett flertal åtgärder måste användas beroende på ståndort och andra förutsättningar.

Att tillföra 15 procent av arealen till intensivodling under en 50 års period innebär att drygt 25% av all förnygringsareal varje år skall intensivodlas. Trots att så mycket som en fjärdedel av förnygringsarealen intensivodlas behövde inte arealer med höga naturvårdspoäng användas. För basalternativet rymdes all produktion på ytor med naturvårdspoäng under 300 vilket får anses som relativt låga poäng. Detta visar att det finns goda möjligheter att starta intensivodling utan att störa varken natur- eller miljövård om största möjliga hänsyn tas vid utläggningen av intensivskogsytorna.

Att all förnygringsareal finns tillgänglig för val av intensivodling varje år är troligen ett realistiskt antagande. Till exempel så är det troligt att BAG inte är intressant för alla små privata markägare eftersom lönsamheten med metoden kan ifrågasättas, speciellt om höga kalkylräntor används. Scenariot där endast 30% av intensivskogsytorna lades på privat mark och där all BAG lades på mark som ägs av större markägare visade att det trots kraftiga restriktioner i valet av mark var möjligt att

hålla uppe produktionen till nästan samma nivåer som basalternativet. Detta skedde dock till priset av att mer areal måste intensivodlas på mark med högre naturvårdspoäng även om skillnaden till basalternativet inte var dramatisk.

Scenariot ”Ingen BAG” utgick ifrån att alla skogsägare föredrog de företagsekonomiskt mer lönsamma alternativen eller att det ansågs för miljömässigt riskabelt använda BAG i stor skala. Scenarioanalysen visade att produktionen i stort sett blev densamma som för basalternativet och att skillnaden i naturvårdspoäng var försumbar. Detta visar att intensivskogsåtgärderna i mycket är utbytbara. Om BAG utesluts kommer mer contortatall och grankloner att användas varvid markvalet blir något annorlunda men totalproduktionen densamma. Detta förklaras dels av att en stor del av produktionseffekten i intensivskogsalternativet var orsakad av bättre föryngringar (se nedan) och de slår lika för alla åtgärder, dels av att den absoluta effekten mellan de olika alternativen inte var alltför stor. Till exempel var skillnaden mellan vanlig tallföryngring och contortaplantering nästan lika stor som skillnaden mellan vanlig granplantering och BAG.

Det tar relativt lång tid (40-60 år) innan produktionsökningen på grund av intensivodling blir märkbar. Det beror dels på att intensivskogsodlingsprogrammet inte är fullt realiserat förrän om 50 år, dels på att de flesta intensivskogsåtgärderna utgår från nyföryngrad mark och det tar 20-30 år innan dessa nya bestånd börjar producera fullt ut. Produktionsökningen kommer naturligtvis att komma snabbare om intensivskogsytorna startas under en kortare tid som var fallet i scenariot ”Snabb start”. Detta scenario gav signifikant snabbare produktionsökning och en 15% högre totalproduktion under hundraårsperioden jämfört med basalternativet. Den snabbare produktionsökningen och högre produktionen skedde dock till priset av att ytor med betydligt högre naturvårdspoäng måste användas eftersom en större andel av den årliga föryngringsytan togs i anspråk. Det är därför realistiskt att anta att en implementering av intensivodling på 15% av Sveriges areal skulle ta omkring 50 år att genomföra om aktsamhet skall iakttas att inte förstöra höga naturvärden eller riskera negativa miljöeffekter.

Den intensivskogsodlingsåtgärd som ger snabbast volymtillväxt är fastmarksgödsling av medelålders och äldre tall- och granskog. Eftersom bestånden redan är etablerade och i full tillväxt kommer tillväxteffekten av gödslingen direkt och kan utnyttjas genom avverkning av andra bestånd. Med de restriktioner för fastgödsling som införts i detta arbete, att endast ytor som senare kommer att intensivodlas med någon annan åtgärd skall gödslas, blir dock den tillgängliga arealen ganska liten. Under de första 20 åren kommer 120 000-160 000 ha att gödslas årligen vilket skall jämföras med dagens gödsling som ligger på ca 60 000-80 000 ha. Gödslingsarealen kan också jämföras med de ca 400 000 ha som gödslades årligen när gödslingsaktiviteten var som störst under 1970-talet. I jämförelse med andra intensivskogsodlingsåtgärder är dock produktionseffekten av fastmarksgödsling begränsad även om arealen skulle ökas betydligt. Om 400 000 ha gödslas årligen, och om gödslingsreponsen i medeltal är 15 kubikmeter under en 10 års period medför fastmarksgödsling en årlig tillväxtökning om 600 000 kubikmeter vilket motsvarar mindre än en procent av vad alla intensivskogsytor producerar i slutet av hundraårsperioden.

I detta arbete har det antagits att all föryngring på den intensivodlade arealen lyckas fullt ut och att minst 2000 plantor per hektar av önskat trädslag etableras senast ett år efter avverkning. Det är troligen något som är väldigt svårt att åstadkomma i praktiken men analysen visar vikten av lyckade föryngringar. Mer än hälften av produktionseffekten av intensivskogsodling kunde förklaras med välslutna föryngringar med rätt trädslag. Denna föryngringseffekt beror troligen huvudsakligen på två saker. Dels etablerades skogen snabbare i intensivskogsalternativet så väntetiden utan produktion blev kortare, dels så etablerades alltid det trädslag som bäst utnyttjade markens produktionsförmåga. I praktiska föryngringar är det ofta så att trädslag som inte är helt optimala för respektive ståndort etableras. Det är vanligt med gran på magra marker där tall (eller contortatall) producerar mycket bättre. Det är också relativt ofta förekommande med lövträdslag (ofta björk) på marker där gran eller något annat barrträdslag skulle ha producerat mycket bättre. Det är troligen mindre viktigt för

produktionen att intensivskogsytorna ofta etablerades med ett högre stamantal än referensalternativet även om det kan ha stor betydelse för virkeskvaliteten.

Liksom för tillväxten tar det relativt lång tid innan avverkningarna från de intensivodlade ytorna på allvar börjar synas i statistiken. Det är inte förrän ca 50-70 år efter det att de första intensivskogsodlingsytorna etableras som en rejäl avverkningsökning kan påräknas. Detta beror naturligtvis på att man måste vänta på att de först etablerade ytorna blir slutavverkningsmogna innan stora volymer kan tas ut i avverkning och även om omloppstiderna sänks betydligt jämfört med referensalternativet så tar det lång tid.

De samlade avverkningarna i intensivskogsalternativet översteg tillväxten under slutet av hundraårsperioden vilket innebar att det stående virkesförrådet sjönk. Det beror på skogens struktur med många ytor etablerade under kort tid med relativt likartad utveckling. Därför kommer många ytor att slutavverkas vid samma tidpunkt och etableras med ny skog. Om analysen hade gjorts för en längre tidsperiod än ett hundra år hade virkesförrådet återigen stigit.

I både referens- och intensivskogsodlingsalternativen har effekten av ett framtida förändrat klimat på produktionen medtagits genom användning av korrektionsfaktorer som ökar tillväxten med 10-30%. Denna tillväxthöjning på grund av förändrat klimat är mycket svår att verifiera men i och med att samma effekt har antagits för både referens- och intensivalternativen så påverkas inte den absoluta skillnaden. Däremot skulle den relativa skillnaden varit större till intensivskogsodlingsalternativets fördel om effekten av framtida klimatförändring inte hade tagits med i beräkningarna.

Produktionshöjning på grund av framtida förädlingsframsteg har beräknats för referensalternativet (Rosvall & Wennström 2008) och samma korrektionsfaktorer har använts för skog som planterats i intensivskogsytorna. Dock påverkas bara de planterade plantorna av förädlingseffekten i referensalternativet medan alla plantor påverkas i intensivalternativet eftersom alla är planterade. Detta är troligen realistiskt och är också en del av förklaringen till varför lyckade föröngningar kan åstadkomma så mycket som drygt hälften av effekten på skogsproduktionen i intensivskogsalternativen.

6.4 Ekonomisk lönsamhet av olika skötselmetoder

De ekonomiska beräkningarna begränsades till de arealmässigt dominerande skötselmetoderna BAG, klonskogsbruk med gran och odling av contortatall. Ekonomin för både contortatall och grankloner får anses vara mycket god jämfört med alternativen tall respektive fröförökad gran. Detta förklaras av en relativt stor produktionsökning till en liten kostnad i form av ökade föröngningskostnader. I fallet contorta är det till och med så att man skulle kunna räkna med minskade föröngningskostnader på grund av högre överlevnad för planterade contortaplantor än för tallplantor. I analyserna har vi inte räknat med dyrare föröngningar för kloner än för fröförökade plantor. Skillnaden i markvärde är dock tillräckligt stor för att rymma en realistisk merkostnad för kloner istället för fröplantor. Om kloner kostar 2 kr mer än fröplantor ökar föröngningskostnaden med ca 5 000 kronor om 2500 plantor planteras per hektar vilket är klart mindre än skillnaden i markvärde för de ståndorter där kloner i huvudsak avses att användas.

Behovsanpassad gödsling är ekonomiskt lönsamt om kalkylräntan är låg medan skillnaden i markvärde vid 3% kalkylränta var mindre än felmarginalen i beräkningarna. BAG kräver stora investeringar tidigt i omloppstiden och metodens lönsamhet blir därför extra känslig för kalkylräntans storlek. Förenklat kan man påstå att BAG ger en stor produktionsökning med i stort sett oförändrat eller endast marginellt bättre ekonomi, speciellt för låga ståndortsindex och/eller höga räntor. Kalkylen för BAG är också känslig för kostnad för gödselmedel och spridning av gödselmedel. Eftersom kalkylerna med dagens gödselmedelspriser ligger på marginalen till att vara lönsamma tål kalkylerna endast mindre ökning av gödselpriserna. Åt andra hållet verkar spridningsintervall. Vi har räknat

med gödsling vartannat år under början av omloppstiden och därefter gödsling vart femte år. Det finns dock indikationer på att gödslingsintervallet kan förlängas både i det tidiga och i det sena skedet av omloppstiden. Färre gödslingar innebär mindre investering i gödsling och därmed bättre ekonomi. På grund av denna osäkerhet är det av yttersta vikt att data från de nya gödslingsförsöken kan användas för att förfinna de ekonomiska kalkylerna.

6.5 Nationell scenarier för intensivskogsbruk

6.5.1 Arealer

Det var framför allt arealens fördelning på skötselmetoderna BAG, klonskogsbruk och contortaodling som skiljde sig åt mellan de olika scenarierna medan skillnaden i absoluta tal för övriga metoder var små. I såväl basscenariot som i scenariot 'Snabbast införande' var arealen klonskogsbruk, ungskogsgödsling och contortaplantering ungefär lika stora. Det innebar således att fördelningen mellan skötselmetoderna endast marginellt påverkades av vilken strategi som valdes för att introducera intensivskogsbruket.

I alla scenarier utnyttjades ca 60% av den tillgängliga intensivodlingsarealen. En relativt hög andel av den maximalt tillgängliga arealen måste alltså utnyttjas om målet för intensivodling sätts till 15% av den totala skogsmarken i landet. Ett sätt att minska andelen av den tillgängliga arealen som används till intensivodling är att förlänga införandetiden.

Av den totala föryngringsarealen i landet (enligt SKA-VB 08) som uppgår till drygt 200 000 ha år⁻¹ togs under införandetiden ca 30% i anspråk för nyetablering av intensivskogsbruk i basscenariot. Vid 'Snabbast införande' togs ca 50% av föryngringsarealen i anspråk under den första 10-årsperioden, varefter denna andel successivt minskade. Ungefär halva föryngringsarealen ägs av privata markägare. Det kan inte anses vara sannolikt att en så hög andel av de privata skogsägarna kommer att övergå till ett intensivare skogsbruk. Om man istället väljer att lägga en större andel av intensivodlingsarealen hos övriga ägare, kommer detta att innebära att arealer med värdefullare natur (högre naturvårds-poäng) måste tas i anspråk. I en storskalig tillämpning är en så hög andel sannolikt inte praktiskt genomförbar, bl a för att en stor andel av markägarna troligen inte är beredda till en så snabb omställning.

Om en lägre total arealandel (5% respektive 10%) av skogsmarken tas i anspråk för intensivodling sjunker den årliga etableringsarealen linjärt i basscenariot. Mixen av olika skötselmetoder var relativt oförändrad vid olika omfattning av intensivskogsbruk i basscenariot.

6.5.2 Naturvårds-poäng

Då andelen mark som togs i anspråk enligt urvalskriterierna i basscenariot ökade från 5% till 15% ökade den maximala naturvårds-poängen från 165 till 300. Med andra ord kan andelen av skogsmarken som intensivodlas ökas utan att det i någon stor utsträckning påverkar naturvårds-poängen, givet att val av mark hela tiden görs med målsättningen att uppnå lägsta naturvårds-poäng. Det finns således relativt stora skogsmarksarealer med låga naturvårds-poäng tillgängliga för intensivodling.

I scenariot "Snabbast införande" togs mark med höga naturvårds-poäng i anspråk för intensivodling. Det framgick dock att det var 25% av arealen som stod för de höga naturvårds-poängen. För den övriga marken låg naturvårds-poängen i nivå med övriga scenarier. Att utesluta marken med de högsta naturvårds-poängen skulle ha en begränsad effekt på totalarealen i dessa scenarier. I scenariot "Snabbast införande" skulle en sådan restriktion kunna kompenseras genom att acceptera en något förlängd införandetid.

Scenariot ”Storskogsbruk” resulterar i en markant ökning av den högsta naturvårdspoängen. Anledningen var att en större andel av intensivodlingsarealen togs ut på mark som ägs av storskogsbruket. För att marken skulle räcka till måste även mark med högre naturvårdspoäng tas i bruk.

Att utesluta BAG gav ingen höjning av naturvårdspoängen i jämförelse med basscenariot. Orsaken var att merparten av den mark som i basscenariot användes för BAG istället utnyttjades för andra skötselmetoder.

Det bör beaktas att naturvårdspoängen enbart är ett hjälpmedel för rangordning av skogsmarken utifrån parametrar som finns tillgängliga i riksskogstaxeringen. Naturvårdspoängen ska därför inte utläsas som ett absolut mått på markens naturvärde utan är snarare ett försöka att åstadkomma en gradient mellan ytor med låga och höga naturvärden.

6.5.3 Produktionspotential

Totalproduktionen på utvald areal under hundraårsperioden var ca 95% högre för intensivskogsalternativen än för referensalternativet enligt SKA-VB 08 beroende på scenario. De metoder som klassificerats som möjliga att tillämpa inom en relativt snar framtid bedöms således i det närmast kunna fördubbla tillväxten under en omloppstid. Hur stor den totala tillväxtökningen blir för landet beror sedan på hur stor andel av landskapet där intensivskogsbruk tillämpas och vilka metoder som väljs. Lite förenklat kan man säga att för varje procent av skogsmarksarealen som intensivodlas så ökar den totala tillväxten i Sveriges skogar med en procent. En tillämpning av intensivskogsbruk på 3,5 miljoner ha (15% av arealen) ger en tillväxtökning på 1,6 miljarder kubikmeter under hundraårsperioden jämfört med referensalternativet. Enligt SKA-VB 08 blir den totala tillväxten i Sverige ca 11,3 miljarder kubikmeter och den totala tillväxtökningen på grund av att 15% av marken används för intensivodling blir då ca 14,2%.

De olika scenarierna hade relativt liten inverkan på totalproduktionen. Att inte använda BAG medförde en produktionsminskning på ca 4% och att etablera intensivodling snabbare och utan hänsyn till naturvårdspoäng innebar en produktionsökning jämfört med basscenariot på ca 11%. En förklaring till detta är att vi begränsat införandet av intensivodling till 15% av arealen och att det därför finns utbytbarhet mellan metoderna, utesluts till exempel BAG så ökar istället arealen med contorta i det scenariot vilket innebär att produktionsminskningen inte blir så stor mellan de olika scenarierna. I alla scenarier förklaras nästan 50% av produktionsökningen vid intensivodling av bättre förnygringar vilket indikerar att det finns en stor outnyttjad produktionspotential i förnygringsintensitet även i ”normalintensivt” brukad skog.

Eftersom åtgärderna för att öka tillväxten införs successivt kommer skillnaden i tillväxt gentemot referensalternativet att öka över tiden. Man kan notera att det tar lång tid innan effekterna av intensivskogsbruk resulterar i betydande tillväxtökningar. Under första tioårsperioden är det bara BAG, fastmarksgödsling och askgödsling som ger produktionsökningar och tillväxtökningen stannar därför på blygsamma 2,2 miljoner kubikmeter per år. Man får vänta drygt 60 år innan produktionsökningen stabiliseras på ca 20 miljoner kubikmeter per år för basscenariot.

Jämfört med referensen gav scenarierna klonskogsbruk och BAG den högsta tillväxtökningen i absoluta tal men i relativa tal medförde contortaplantering högst produktionsökning. Effekten av högre intensitet i förnygringsarbetet stod för högst andel av tillväxtökningen för klonskogsbruk och sitkagran och lägst för BAG.

Skillnaden i avverkningsnivå mellan intensivskogsbruk enligt basscenariot och referensalternativet stabiliserades på drygt 30 miljoner kubikmeter efter ca 50 år. Skillnaden i avverkningsnivå var alltså nästan 10 miljoner kubikmeter större än skillnaden i tillväxt vilket innebär att en större andel av

tillväxten avverkas när intensivskogsbruk tillämpas. I slutet av hundraårsperioden hade både basscenariot för intensivskogsbruk och referensscenariot ett högre virkesförråd än idag.

Det dröjer relativt lång tid innan produktionsökningen blir signifikant viket förklaras med att de allra flesta intensivskogsåtgärderna startar med nyföryngrad mark. Även intensivodlad mark har låg produktion i ungskogen. En ytterligare förklaring till den långsamma produktionsökningen är att intensivskogsodlingen introduceras under en 50-års period. De sista ytorna som etableras kommer inte att börja producera märkbara mängder virke förrän om ca 70 - 90 år. Att satsa på intensivodling är därför inget som dramatiskt kommer att ökad tillväxten i den svenska skogen inom de närmaste 20 - 30 åren. Detta visar också att det är viktigt att redan nu vidta åtgärder om man i framtiden vill kunna möta en ökad efterfrågan på förnybara skogsprodukter med en ökad hållbar avverkning.

I ovanstående analys ingår endast intensivskogsodling på nuvarande skogsmark. Till detta skall läggas beskogning av nedlagd åkermark. Totalt beskogas 400 000 ha åkermark där 30% av den arealen beskogas med gran medan resterande areal beskogas med hybridasp. Skogsodling på åkermark om den tillämpas fullt ut på hela arealen ger en tillväxtökning på ca 5,5 – 6,5 miljoner kubikmeter under andra halvan av hundraårsperioden.

6.5.4 Val och utformning av scenarier

I samtliga scenarier utom ”Snabbast införande” gjordes urvalet av mark så att naturvårdspoängen minimerades, givet att övriga kriterier för scenarierna var uppfyllda. I en praktisk storskalig tillämpning är naturligtvis ett sådant urval orealistiskt eftersom verkligheten ser annorlunda ut. Det är ju inte givet att de arealer med lägst naturvärden verkligen finns tillgängliga hos en markägare som vill ta en specifik skötselmetod i anspråk. Efterfrågan på arealer för intensivodling kommer inte att stämma med fördelning av mark med låga naturvärden.

Scenariot ”Ingen BAG” syftade till att visa på effekterna av ett intensivskogsbruk utan ungskogsgödsling. Anledningen var att ungskogsgödsling är en relativt oprövad skötselmetod med höga investeringskostnader och en komplicerad logistik i det praktiska genomförandet. Övriga skötselmetoder av areell betydelse, dvs odling av contortatall och klonskogsbruk av gran, kan bedrivas i likhet med traditionell skogsskötsel och bör därmed inte vara förknippade med samma grad av osäkerhet.

Scenariot ”Storskogsbruk” skulle spegla en större ambition hos storskogsbruket att satsa på intensivodling än hos enskilda markägare. Traditionellt har storskogsbruket visat större intressen för produktionshöjande åtgärder såsom gödsling och odling av contortatall än enskilda markägare. Det är också troligt att storskogsbruket har större utrymme för höga investeringskostnader samt bättre förmåga att utföra skötselmetoder som kräver omfattande logistik. Av denna anledning har ungskogsgödslingen begränsats till mark som innehas av storskogsbruket.

6.6 Skador och virkeskvalitet

Det finns inget i nuläget som tyder på att granbestånd som behandlats med behovsanpassad gödsling (BAG) skulle drabbas av mer skador än vanlig granskog. Gödsling kan öka trädets begärlighet som föda åt insekter och vilt, men det finns också observationer som tyder på att motståndskraften ökar (till exempel mot barrätande insekter). Genom att öka tillväxten kortas odlingstiden, en kortare omloppstid kan vara positivt ur rotrötesynpunkt. Med dagens kunskap finns det därför lite som talar för att BAG riskerar skador av insekter, svamp och vilt i någon högre utsträckning än vanlig granskog på bördiga marker.

Vid klonskogsbruk finns det en risk att den begränsade genetiska variationen kan leda till skador om resistens mot en specifik skadegörare saknas hos odlingsmaterialet och om den genetiska variationen

är liten. Klonskogsbruk innebär å andra sidan också en möjlighet att genom selektivt urval ta fram en större resistens än i traditionellt förnygringsmaterial. Det kan därför vara möjligt att minska effekten av vanliga skadegörare som rotröta men hittills okända skadegörare som drabbar vissa individer hårdare än andra kan få allvarliga konsekvenser. Att minska den genetiska diversiteten genom att plantera en eller ett fåtal överlägsna kloner kan därför med dagens kunskap troligen inte rekommenderas. Om däremot klonblandningar med ett större antal individer med bevisad resistens mot till exempel rotröta används kan risken för skador bli mindre än för fröförökad gran.

Vid odling av exotiska trädslag måste beaktas dels risken för angrepp av inhemska skadegörare, dels risken för att exotiska skadegörare införs och etableras på de inhemska trädslagen respektive de införda trädslagen. Omfattande insektsangrepp av barrätande arter (till exempel tallmätare) har hittills varit ovanliga i Sverige, och uppträtt med långa intervall. Det är därför svårt att göra en prognos grundad på kausala samband, för intensivt såväl som normalt skötta bestånd. Hittills har contortatall klarat sig bra ur skadesynpunkt. Flera av de skadegörare som drabbar tallen har också drabbat contortatall, men omfattningen har varit begränsad. Lärk och sitkagran har odlats i så liten skala att det är svårt att utvärdera riskerna för skador. Inga alarmerande uppgifter om skador har framkommit hittills.

De snabbväxande lövträdararter som tas upp i studien är begärliga för vilt. Vid odling av hybridasp rekommenderas stängsling. Detta gäller särskilt vid odling i skogrika landskap.

Det finns risk för stabilitetsproblem vid intensivodling. Contortatall tenderar till exempel att vara mer instabil än tallen vilket kan leda till ökade problem med stormskador.

Tänkbar användning av den producerade biomassan

Råvara av barrträd (tall och gran) producerad vid intensivodling kan med fördel användas inom massaindustrin. Man kan dock förvänta sig att massautbytet kan vara något lägre än normalt då densiteten för snabbväxande barrskog vanligtvis är lägre än för långsamt växande skog. Produceras en homogen råvara i tillräcklig mängd har massaindustrin upprepade gånger visat sig kunna anpassa sina processer vilket är en stor fördel för både utbyte och kvalitet på slutprodukten. Därför är det troligt att massaved från intensivodlade barrplanteringar kommer att finna god avsättning.

Virke från intensivodlade bestånd kommer med all sannolikhet också att utnyttjas till timmer, kubb och kientimmer i sågverken. Allt talar för att virket kommer att finna ungefär samma användningar som idag, huvuddelen kommer att gå till konstruktionsvirke och de sämre kvaliteterna till emballage och formvirke. Virke som sågas nära märg kommer troligen att hålla sämre kvalitet än motsvarande virke från vanliga tall- och granbestånd på grund av lägre densitet och grövre kvist. Det motverkas dock av att andelen sidoutbyten kommer att öka eftersom sidoutbytena är av avsevärt högre kvalitet än centrumutbytena både med avseende på styrka och hållfasthet. Sammantaget är det inte säkert att virket från de intensivodlade bestånden kommer att ha speciellt mycket lägre kvalitet än det virke som produceras i dagens planteringar.

Stamved från intensivodlade bestånd kommer också att utnyttjas inom energisektorn men i huvudsak först efter annan användning. Intensivodling av barrträd kommer att producera större mängder GROT (grenar och topp) för energiproduktion än dagens bestånd. Denna ”extra produktion” är inte medräknad i tillväxtprognoserna i denna rapport men har stor betydelse för och ökar tillgången på biobränslen från skogsmarken.

Eftersom aspvirke generellt sett har mycket brett användningsområde både som timmer och massaved kommer de extra kubikmeter aspråvara som kan produceras genom odling av hybridasp på nedlagd åker eller skogsmark högst troligt finna avsättning inom skogsindustrin. Ytterligare fördelar

med hybridasp är att det finns stor potential för genetisk förbättring av virkes- och fiberkvalitet och att hybridasp kan vara en utmärkt homogen råvara till massaindustrin.

En stor orsak till introduktionen av contortatall på 1960- och 1970-talen var att råvara från contorta och vanlig tall har likartad användning. Även om man vid introduktionen tänkte sig en råvara för främst massaindustrin kommer säkert betydande mängder virke av contortatall att sågas. Jämfört med planterad tall av motsvarande dimensioner har contorta snarare bättre än sämre virkeskvalitet. För att producera godtagbart timmer är det dock viktigt att plantera contorta på rätt marker och med rätt proveniens. Femtio år av contortaodling har dock gett en betydande erfarenhet och de bestånd som etableras idag och i framtiden kommer att producera virke av betydligt högre kvalitet än de bestånd som etablerades på 1970-talet.

7. Slutsatser

Bland de studerade skötselmetoderna för intensivskogsbruk finns den största produktionspotentialen hos metoderna ungskogsgödsling av gran, klonskogsbruk med gran och odling av contortatall. Andra metoder för intensivskogsbruk är främst fastmarksgödsling av medelålders och äldre tall- och granskog, odling av lärk och sitkagran samt dikesresning och askgödsling av torvmarker. På nedlagd jordbruksmark kan odling av *Salix*, hybridasp och gran vara intressanta skötselmetoder för intensivskogsbruk.

Fastmarksgödsling och odling av contortatall är beprövade skötselmetoder som under lång tid har använts storskaligt i svenskt skogsbruk. En utökad tillämpning av dessa metoder för intensivskogsbruk kan därför ske utan fördröjning. Övriga metoder kommer att behöva mer eller mindre omfattande FoU-insatser innan en storskalig introduktion kan genomföras.

Oprövade skötselmetoder innebär ett större mått av risktagande när det gäller abiotiska och biotiska skador men det finns idag inget som talar för att de föreslagna metoderna skulle innebära väsentligt högre risker än dagens skogsbruk.

Råvaruutbudet från intensivodlad barrskog lämpar sig för massaindustrins processer men kommer sannolikt även att finna betydelsefulla användningsområden inom sågverksindustrin och inom energisektorn. Virke från intensivodlad hybridaspkog har goda vedegenskaper och stor potential för användning i hela förädlingsledet.

Det är möjligt att införa areellt relativt omfattande intensivskogsåtgärder utan att äventyra naturvärden. Om restriktioner för urval av intensivskogsareal införs av typen att en huvuddel av arealen skall ligga hos stora markägare påverkas totalproduktionen i liten utsträckning men mark med högre naturvårdspoäng måste tas i anspråk.

Intensivodling på 15% av skogsmarksarealen kan med de föreslagna skötselmetoderna öka virkesproduktionen under hundraårsperioden med ca 90% och virkesproduktionens ökning är linjärt beroende av använd areal. Lite förenklat kan man säga att för varje procent av skogsmarken som används för intensivodling ökas Sveriges totala skogsproduktion med en procent.

Tillväxtökningen på grund av intensivskogsåtgärder kommer relativt sent. Det är först efter ca 40-60 år som rejäla produktionsökningar kan påräknas. Det är möjligt att påskynda ett införande av intensivskogsodling för att vinna både totalproduktion och minskad tid till produktionsökningen, men det sker till priset av att ytor med signifikant högre naturvårdspoäng måste tas i anspråk.

Odling av hybridasp och gran på nedlagd åkermark ger ett inte oansenligt bidrag till totalproduktionen i Sverige. Som jämförelse kan nämnas att totalproduktionen under hundraårsperioden på den nedlagda åkermarken motsvarar ca 65% av den föreslagna contortaodlingen.

Ekonomi för contortaodling och plantering med grankloner var mycket god medan ekonomin för BAG var beroende av vilken kalkylränta som användes. Det är troligt att den tveksamma ekonomin för BAG medför att mindre privata skogsägare inte gärna investerar i balanserad gödsling i granungskog.

Referenser

- Adler, A., Dimitriou, I., Aronsson, P., Verwijst, T., & Weih, M. 2008. Wood fuel quality of two *Salix viminalis* stands fertilised with sludge, ash and sludge-ash mixtures. Biomass and Bioenergy 32 (10): 914-925.
- Agestam, E. 1990. Nya förbands- och gallringsförsök med contorta i Sverige. Inst. för skogsskötsel, SLU, Umeå. Arbetsrapporter nr 50, 84 s.
- Ahtikoski, A., Kojola, S., Hökkä, H. & Penttilä, T. 2008. Ditch network maintenance in peatland forest as a private investment: short- and long-term effects on financial performance at stand level. Mires and Peat (<http://www.mires-and-peat.net/>) (only on-line) 3(3): 1-11.
- Albaugh, T.J., Allen, H.L., Dougherty, P.M., Kress, L.W. & King, J.S., 1998. Leaf area and above- and belowground growth responses of loblolly pine to nutrient and water additions. Forest Science. 44: 317-328
- Andersson E. 1987 *Pinus contorta* Träd- och vedegenskaper. SUAS Dep. of Forest Products Report No 186
- Andersson, B, Engelmark, O., Rosvall, O. & Sjöberg, K. 1999. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbruk med contortatall i Sverige. Redogörelse nr 1, Skogforsk.
- Anonymus, 1978. 1973 års skogsutredning, *Skog för framtid: betänkande av 1973 års skogsutredning: sammandrag*. Skogsstyrelsen, Jönköping, 24 bl.
- Anonymus, 1993. Skogsstyrelsens författningssamling 1993:2. Jönköping.
- Anonymus, 2007. Skogsstyrelsens allmänna råd till ledning för hänsyn enligt 30§ skogsvårdslagen vid användning av kvävegödselmedel på skogsmark. Skogsstyrelsen, Jönköping, 3 sid.
- Anonymus, 2008. Skogliga konsekvensanalyser 2008 – SKA-VB 08. Skogsstyrelsen, Rapport 25, 146 sid.
- Albrektson, A., Aronsson, A. & Tamm, C.O. 1977. The effect of forest fertilization on primary production and nutrient cycling in the forest ecosystem. *Silva Fennica*. 11:, 233–239.
- Argus, G.W. 1997. Infrageneric classification of Saix (Salicaceae) in the new world. *Systematic Botany Monographs* 52. 121 p.
- Aronsson, A., Elowson, S. & Ingestad, T. 1977. Elimination of water and mineral nutrition as limiting factors in a young Scots pine stand. I. Experimental design and some preliminary results. Swedish Coniferous Forest Project, Technical Report 10, 38 pp.
- Aronsson, A. Flower-Ellis, J.G.K, Popovic, B. & Tamm, C.O. 1999. Details of soil, stand and responses to fertilizer treatments on the pine (*Pinus sylvestris* L.) sites Norrliden (1971-1989) and Lisselbo (1969-1988). Dept. for Production Ecology, Faculty of Forestry, SLU. Report No.5, 51 pp.
- Attiwill, P.M. & Adams, M.A. 1993. Nutrient cycling in forests. *New Phytologist* 124: 561-582.
- Bentzer, B.G. 1993. Strategies for clonal forestry with Norway spruce. In *Clonal Forestry II. Conservation and Application*. Edited by M.R. Ahuja and W.J. Libby. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. pp 120-138.
- Berggren, G. 2007. Kvaliteten på lärk kan variera betydligt. *Husbyggaren* 2007:5. 4 pp
- 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. *Forest Ecology and Management* 119: 51-62.
- Bergh, J. (ed) 2000. Fiberskog –en rapport från ett forskningsprogram om intensivodling av gran. Department for Production Ecology, Rapport No. 6. ISSN 1401-5625.

- Bergh, J. & Oleskog, G. (eds) 2006. Slutrapport för Fiberskogsprogrammet. Sveriges lantbruks-universitet, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, Arbetsrapport 27, 129 pp. ISBN 91-576-7161-3.
- Bergh, J., Linder, S. & Bergström, J. 2005. The potential production for Norway spruce in Sweden. *Forest Ecology and Management* 204: 1-10.
- Bergh, J. & Willén, P. 2006. Utvärdering av Korsnäs AB's försök med gödsling i ungskog. Institutionen för Sydsvensk Skogsvetenskap, Institutionsrapport 26. ISBN 91-576-6890-6.
- Bergh, J., Nilsson, U., Grip, H., Hedwall, P.O. & Lundmark, T. 2008. Effects of frequency of fertilisation on production, foliar chemistry and nutrient leaching in young Norway spruce stands in Sweden. *Silva Fennica* 42: 721-733.
- Bergstedt, A.E. 1981. Dyrkning af poppel. Statens forstlige Forsøgsvæsen, Danmark, 106 pp.
- Bergstedt, A. & Lyck, C 2007. Larch wood - a literature review. *Forestry & Landscape working papers* 23/2007, Faculty of Life Sciences. University of Copenhagen.
- Beuker, E. 2000. Aspen breeding in Finland, new challenges. *Baltic Forestry* 6: 81-84.
- Boysen, B. & Strobl, S. (eds.) 1991. *A Grower's Guide to Hybrid Poplar*. Ministry of Natural Resources, Ontario, 148 pp.
- Brandt, K. 1970. Statusopgørelse for sitkagran. *Dansk Skovforenings Tidsskrift*. Hæfte 1
- Brunberg, T. 1995. Basic data for productivity norms for heavy-duty single-grip harvesters in final felling. *Skogforsk, Redogörelse* 8.
- Brunberg, T. 1997. Underlag för produktionsnorm för engreppsskördare i gallring. *Skogforsk, Redogörelse* 8.
- Brunberg, T. 2004. Underlag till produktionsnormer för skotare. *Skogforsk, Redogörelse* 3.
- Campion, J.M., Nkosana, M. & Scholes, M.C. 2006. Biomass and N and P pools in above- and below-ground components of an irrigated and fertilised *Eucalyptus grandis* stand in South Africa. *Australian Forestry* 69: 48–57.
- Capretti, P. & Goggioli, V. 1992. Observation on the longevity and the spread of *Heterobasidion annosum* in stumps of white fir and Norway spruce. *Micologia Italiana*, 21: 15-20.
- Christersson, L. 1996. Future research on hybrid aspen and hybrid poplar cultivation in Sweden. *Biomass & Bioenergy* 11: 109-113.
- Christersson, L. 2002. Cultivation of American poplars and aspen in Sweden – Potentials and some results. In: IEA, *Bioenergy: Task 17 Short-Rotation Crops for Energy Purpose* (eds. Christersson, L. & Kuiper, L.). Swed. Univ. Agric. Sci., Dept. Short Rotation Forestry, Rep. 70, Uppsala, pp. 36-39.
- Christersson, L. 2006. Biomass production of intensively grown poplars in the southernmost part of Sweden: Observations of characters, traits and growth potential. *Biomass & Bioenergy* 30: 497-508.
- Christersson, L. & Verwijst, T. 2006. Poppel. SLU, Inst. för växtproduktionsekologi, Rapport Nr 3, Uppsala, 74 s.
- Dahlberg, A., Egnell, G., Bergh, J., Rytter, L. & Westling, O. 2006. Miljöeffekter av skogsbränsleuttag och askåterföring i Sverige – En syntes av Energimyndighetens forskningsprogram 1997 till 2004. *Energimyndigheten, Rapport ER2006:44*, Eskilstuna, 211 pp.
- Daugaviete, M., Krūmiņa, M., Kāposts, V. & Lazdiņš, A. 2003. Farmland afforestation: the plantations of birch *Betula pendula* Roth on different soils. *Baltic Forestry* 9: 9-21.
- Devillard, C. & Högberg, K-A. 2004. Somatiska embryon - morgondagens granplantor för intensivskogsbruk. Resultat nr 07. *Skogforsk*

- Dimitri, L. & Schumann, G. 1989. Further experiments on the host/parasite relationship between Norway spruce and *Heterobasidion annosum*. In: Morrison, D.J.(ed.), Proceedings of the Seventh IUFRO Conference on Root and Butt Rots. Canada, August 1988. Forestry Canada, Victoria, British Columbia, Canada, pp. 171-179.
- Ebermayer, E. 1876. Die gesamte Lehre der Waldstreu mit Rücksicht auf die chemische Statik des Waldbaues. Berlin
- Einspahr, D.W. & Wyckoff, G. 1978. Growth response of hybrid aspen to intensive forest management. *Tappi* 61: 49-52.
- Ekström, H., 1987. Lövvirke, tillgång och industriell användning. Rapport 197. Institutionen för virkeslära, SLU, Uppsala.
- Ekvall, H. 2001. Plan33 – ett verktyg för ekonomisk analys av skogsbruksföretagets virkesproduktion. Rapport 123, Institutionen för skogsekonomi, SLU.
- Ekö, P. M., Larsson-Stern, M. & Albrektson, A. 2004. Growth and yield of hybrid larch (*Larix x eurolepis* A. Henry) in Southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19:320-328
- Elfving, B. 1985. Nya data om contortatallens produktion. Inst. för skogsskötsel, SLU, Umeå. Arbetsrapporter nr 3, 36 s.
- Elfving, B. 1986. Odlingvärdet av björk, asp och al på nedlagd jordbruksmark i Sydsverige. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 5/86: 31-41.
- Elfving, B. 1990. Nya produktionsdata och prognosfunktioner för contortatall. Inst. för skogsskötsel, SLU, Umeå. Arbetsrapporter nr 34, 25 s.
- Elfving, B. 1996. Förbands- och gallringsförsök med contorta. Mätdata från 1992-1995. Inst. för skogsskötsel, SLU, Umeå. Arbetsrapporter nr 110, 21 s.
- Elfving, B. 2002. Förbands- och gallringsförsök med contorta. Mätdata från 1998-2000. Inst. för skogsskötsel, SLU, Umeå. Arbetsrapporter nr 177, 25 s.
- Elfving, B. & Norgren, O. 1993 a. Volume yield superiority of lodgepole pine compared to Scots pine in Sweden. I: Lindgren, D. (red.), *Pinus contorta* from untamed forests to domesticated crop, Proceedings of the IUFRO meeting and Frans Kempe Symposium 1992 on P. c. provenances and breeding, Report 11, Dept. of Forest Genetics and Plant Physiology, SLU, 69–80. Umeå.
- Elfving, B. & Kiviste, A. 1997. Construction of site index equations for *Pinus sylvestris* L. using permanent plot data in Sweden. *Forest Ecology and Management* 98, 125-134.
- Elfving, B., Ericsson, T. & Rosvall, O. 2001. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden — a review. *Forest Ecology and Management* 141, 15-29.
- Elfving, B. & Norgren, O. 1993 b. Contortatallens produktion – data från 1990–91 års inventering. Arbetsrapporter nr 71, Inst. för skogsskötsel, SLU, 49 s. Umeå.
- Enander, K.G. 2007. Ekologi, skog och miljö. Vetenskap och idéer under 300 år. SLU, Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Rapport 4, 262 pp. ISSN 1654-2452.
- Entry, J.A., Cromack, K. Jr., Kelsey, R.G., & Martin, N.E. 1991. Response of Douglas-fir to infection by *Armillaria ostoyae* after thinning or thinning plus fertilization. *Phytopathology*, 81: 682-689.
- Eriksson, A. 1981. Tillväxteffekt efter gödsling med långsamverkande kvävegödselmedel (Instituttet för skogsförbättring, Information gödsling nr 1 1981/82), 4 s. Uppsala.
- Eriksson, A. 1982. Ett försök med uppdelad kvävegiva (Instituttet för skogsförbättring, Information gödsling nr 3, 1981/82), 4 s. Uppsala.

- Eriksson, H. 1984. Yield of aspen and poplars in Sweden. Swed. Univ. Agric. Sci., Dept. Ecol. & Environ. Res., Report 15, Uppsala, s. 393-419.
- Eriksson, L. 1991. Ekonomin vid åkermarksplantering. SLU, Inst. f. Skog-Industri-Marknad Studier (SIMS), Rapport nr 17, Uppsala, 141 s.
- Ericsson, T. 1993. Provenance qualities of the *Pinus contorta* breeding base in Sweden. SkogForsk, Report no. 4 1993, 33 s. Uppsala.
- Eriksson, H. & Johansson, U. 1993. Yields of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in two consecutive rotations in southwestern Sweden. Plant & Soil 154:239-247.
- Eriksson, H. & Karlsson, K. 1997. Olika gallrings- och gödslingsregimers effekter på beståndsutvecklingen baserat på långliggande experiment i tall- och granbestånd i Sverige. SLU, Institutionen för skogsproduktion, Rapport 42, 135 sid.
- Eriksson, L., Gullberg, T. & Woxblom, L. 2008. Skogsbruksmetoder för privatskogsbrukaren. SLU, Inst. för skogens produkter, Rapport nr 10, 201 sid.
- Fletcher, A.M.F. 1992. Breeding improved Sitka spruce. In: Super Sitka for the 1990s. Ed. D.A. Rook. Forestry Commission Bulletin 103, HMSO, London, Editor: Rook D.A., 11-24
- Filip, G.M., Ganio, L.M., Oester, P.T., Mason, R.R. & Wickman, B.E. 2002. Ten-year effect of fertilization on tree growth and mortality associated with *Armillaria* root disease, fir engravers, dwarf mistletoe, and western spruce budworm in northeastern Oregon. Western Journal of Applied Forestry, 17: 122-128.
- Friberg, R. 1974. Jämförelser mellan träds volym-, grundyte- och höjdtillväxt efter gödsling I: Årsbok 1973 (Föreningen skogsträdsförädling och Institutet för skogsförbättring), 76–123. Uppsala.
- Frivold, L.H., 1988. OSP i byggningen och hus. Norges lantbrukshögskola, Ås.
- Genssler, H. 1986. 50 years of poplar cultivation in the forest district of the Arenberg-Bordkirchen GmbH – an economical and ecological review. Die Holzzucht 40(3/4): 21-26. In German with English summary
- Grip, H. 2006. Miljöeffekter av intensivodling. Effekter på näringsläckage. In: Bergh, J. & Oleskog, G. (eds) Slutrapport för Fiberskogsprogrammet, pp. 38-60. SLU, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, Arbetsrapport 27. ISBN 91-576-7161-3.
- Grosscurth, W. 1972. Standortsansprüche und Sortenwahl von Pappeln der Sektion Aegaeiros, Leuce und Tacamahaca. Die Holzzucht 26 (3/4): 21-30.
- Hagner, S. 1971. *Pinus contorta* i norrländskt skogsbruk. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift nr 2, 219-246.
- Hagner, S., Saraste, J., Johansson, B. & Åhgren, A. 1966. Virkesframställning genom skogsgödsling. I: Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift, Häfte 2, 103–171. Stockholm.
- Hagner, S. & Fahlroth, S. 1974. Om contortatallen och dess odlingsförutsättningar i Norrland. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 73:4, 477-528.
- Hannerz, M. & Wilhelmsson, L. 1992. Mellansvenskt klonskogsbruk med gran. Information Skogsträdsförädling. Uppsala. 3.
- Hansen, E.A., McLaughlin, R.A. & Pope, P.E. 1988. Biomass and nitrogen dynamics of hybrid poplar on two different soils: implications for fertilization strategy. Canadian Journal of Forest Research 18: 223-230.
- Haveraaen, O. 1969. Forest ecological studies on old, drained peat land in Nord-Trøndelag. - Scientific reports of the Agricultural University of Norway 48(1): 1-89).
- Henriksen, H.A. 1958. Sitkagranens vækst og sundhetstilstand i Danmark. Det Forstlige Forsøgsvæsen i Danmark 24: 1-372

- Henriksen, H.A. 1988. Skoven og dens dyrkning. Dansk Skovforening, Nyt Nordisk Forlag, Arnold Busck, København, Danmark, 664 pp.
- Hesselman, H. 1917. Studien über die Nitratbildung in natürlichen Böden und ihre Bedeutung in pflanzenökologischer Hinsicht. Meddelande från Statens Skogsförsöksanstalt 13-14:297-528
- Hinckley, T.M., Ceulemans, R., Dunlap, J.M., Figliola, A., Heilman, P.E., Isebrands, J.G., Scarascia-Mugnozza, G., Schulte, P.J., Smit, B., Stettler, R.F., Van Volkenburgh, E. & Wiard, B.M. 1989. Physiological, morphological and anatomical components of hybrid vigor in *Populus*. In: Structural and Functional Responses to Environmental Stresses (Kreeb, K.H., Richter, H. & Hinckley, T.M. eds.), SPB Acad. Publ., The Hague, pp 199-217.
- Hjältén, J. & Palo, T. 1992. Selection of deciduous trees by free ranging voles and hares in relation to plant chemistry. *Oikos* 63: 477-484.
- Holmen, H. 1977. Prioritering av forskningsinsatser. Torvmarksgödsling. I: Skogsgödsling nu och i framtiden – en lägesorientering. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift. Supplement 11, 23-29.
- Hägglund, B. & Remröd, J. 1977. Övre höjdens utveckling i bestånd med *Pinus contorta*. SLU, projekt HUGIN, rapport nr 4.
- Hägglund, B., Karlsson, C., Remröd, J. & Sirén, G. 1979. Contortatallens produktion i Sverige och Finland. SLU, projekt HUGIN, rapport nr 13, 133 s.
- Högberg, P., Fan, H., Quist M., Binkley, D. & Tamm C.O. 2006. Tree growth and soil acidification in response to 30 years of experimental nitrogen loading on boreal forest. *Global Change Biology*, 12: 489-499
- Högbom, L. & Jacobson, S., 2002. Kväve 2002 - en konsekvensbeskrivning av skogsgödsling i Sverige. SkogForsk, Redogörelse nr 6.
- Hökkä, H. & Salminen, H. 2006. Utilizing information on site hydrology in growth and yield modeling: peatland growth models in the MOTTI stand simulator. In: Amatya, D.M. & Nettles, J. (eds.). Hydrology and Management of Forested Wetlands. Proceedings of the International Conference, April 8-12, 2006, New Bern, North Carolina. ASABE, Michigan, USA. p. 302-308.
- Ilstedt B. 1996. Genetics and performance of Belgian poplar clones tested in Sweden. *Forest Genetics* 3 (4): 183-195. Department of forest genetics, SLU, Uppsala.
- Ilstedt, B. & Gullberg, U. 1993. Genetic variation in a 26-year old hybrid aspen trial in southern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 8: 185-192.
- Ingestad, T. 1959. Studies on the nutrition of forest tree seedlings. II. Mineral nutrition of spruce. *Physiologia Plantarum* 12: 568-593.
- Ingestad, T. 1971. A definition of optimum nutrient requirements in birch seedlings, II. *Physiologia Plantarum* 24: 118-125.
- Ingestad, T. 1977. Nitrogen and plant growth; maximum efficiency of nitrogen fertilizers. *Ambio*. 6: 146-151.
- Ingestad, T. 1979a. Nitrogen stress in birch seedlings, II. N, K, P, Ca, and Mg nutrition. *Physiologia Plantarum* 45: 149-157.
- Ingestad, T. 1979b. Mineral nutrient requirements of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. *Physiologia Plantarum* 45: 373-380.
- Jakobsen, B. 1976. Hybridasp (*Populus tremula* L. x *Populus tremuloides* Michx.). *Det Forstlige Forsøgsvæsen i Danmark* 34: 317-338.
- Jacobson, S. & Nohrstedt, H.-Ö. 1993. Effects of repeated nitrogen supply on stem growth and nutrients in needles and soil, Skogforsk, Report No 1, 1993, 36 s. Uppsala.

- Jacobson, S., Pettersson, F., Högbom, L. & Sikström, U. 2005. Skogsgödsling – en handledning från Skogforsk. 55 s. Gävle.
- Jansson, G & Johansson, U. 1980. En produktionsjämförelse mellan sitkagran och vanlig gran på lika ståndort. Examensarbete i ämnet skogsskötsel. Institutionen för skogsproduktion. SLU. Nr 2.
- Jansson, G., Danell, Ö. & Wilhelmsson, L. 1989. Tillväxt, överlevnad och skador hos provenienser av contortatall i Svealand och södra Norrland. Institutet för skogsförbättring, Rapport nr 10, 55 s, Uppsala.
- Johansson K. 1997. Effect of Early Competition on Wood Properties of Norway Spruce. Dissertation Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 19
- Johnsson, H. 1957. Några data från försökskulturer med nordamerikansk tall. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift 55:4, 345-358.
- Jonsson, S. & Möller, G. 1976. Kvävegödsling av björk. Institutet för skogsförbättring, Information gödsling, nr 2, 1976/77, 4 s. Uppsala.
- Jonsson, V. 2008. Skogsbrukets erfarenheter av Poppel *Populus sp.* i Skåne. Examensarbete. SLU, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap vol. 109.
- Karačić, A., Verwijst, T. & Weih, M. 2003. Above-ground woody biomass production of short-rotation *Populus* plantations on agricultural land in Sweden. Scandinavian Journal of Forest Research 18: 427-437.
- Kardell, L. 2003. Svenskarna och skogen. Del 1. Från ved till linjeskepp. Skogsstyrelsen, Jönköping, 296 sid.
- Kardell, L. 2004. Svenskarna och skogen. Del 2. Från baggböleri till naturvård. Skogsstyrelsen, Jönköping, 302 sid.
- Karlberg, S. 1961. Development and yield of Douglas fir (*Pseudotsuga taxifolia* (Poir.) Britt.) and Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in southern Scandinavia and on the Pacific Coast. Kungl. Skogshögskolans skrifter. Nr 34. 141 sidor
- Karlsson, B. 1993. Twenty years of clonal forestry in Sweden. In Norway spruce provenances and breeding. Proceedings of the IUFRO S2.2-11 symposium in Latvia. Edited by V. Rone. Latvian Forestry Research Institute, Riga. pp 208-212.
- Karlsson, B. 2000. Clone Testing and Genotype x Environment Interaction in *Picea abies*. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 162. Doctoral thesis. ISSN 1401-6230. pp 47.
- Karlsson, B. 2007. Sitka- och Douglasgran – alternativ för ett nytt klimat. Skogforsk, Resultat nr 17
- Karlsson, B., Werner, M. & Stener, L.-G. 1996. Resultat från två klonförsök med poppel. SkogForsk, Arbetsrapport nr 319, Uppsala, 11 s.
- Kiellander, C.L. 1958. Hybridlärk och lärkhybrider. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift, No. 4, pp 371-398. ISSN 0562-7605.
- Kleinschmit, J., Muller, W., Schmidt, J. & Racz, J. 1973. Entwicklung der Stecklingsvermehrung von Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) zur Praxisreife. Silvae Genet. 22: 4-15.
- Korhonen, K., Capretti, P., Karjalainen, R. & Stenlid, J. 1998. Distribution of *Heterobasidion annosum* intersterility groups in Europe. Chapter 6, in: Woodward, S.; Stenlid, J.; Karjalainen, R.; Hüttermann, A., (eds.). *Heterobasidion annosum*: Biology, ecology, impact and control. CAB International, 589 pp. ISBN 0-85199-275-7.
- Lagerberg, T. 1962. Andra volymen: Barrträden. *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. Kompendium i trädkännedom. Skogshögskolan. Kompendiekommittén.
- Laiho, O. 1989. Gödslingens inverkan på storm- och snöskador. I: Skogsgödslingen och miljön. Centralskogs nämnden Skogskultur.

- Larsson-Stern, M. 2003. Aspects of Hybrid Larch (*Larix x eurolepis* Henry) as a Potential Tree Species in Southern Swedish Forestry. Licentiate thesis SLU 2003.
- Lauhanen, R., Piironen, M-L., Penttilä, T. & Kolehmainen, E. 1998. Evaluation of the need for ditch network maintenance in northern Finland. SUO 49(3). 101-112.
- Lee, S.J. 1992. Likely increases in volume and revenue from planting genetically improved Sitka spruce. In: Super Sitka for the 1990s. Ed. D.A. Rook. Forestry Commission Bulletin 103, 61-74. HMSO, London.
- Libäck, K. 1988. Ekonomisk jämförelse av olika trädslag. Skogen 6-7: 13.
- Linder, S. 1990. Nutritional control of forest yield. In: 'Nutrition of Trees'. The Marcus Wallenberg Foundation Symposia Proceedings 6: 62-87. ISSN 0282-4647
- Linder, S. 1995. Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in Norway spruce. Ecological Bulletins (Copenhagen) 44: 178-190.
- Linder, S. & Axelsson, B. 1982. Changes in carbon uptake and allocation patterns as a result of irrigation and fertilization in a young *Pinus sylvestris* stand. In: R H Waring (ed.) Carbon Uptake and Allocation in Subalpine Ecosystems as a Key to Management, pp. 38-44. For. Res. Lab., Oregon State University, Corvallis, U.S.A.
- Linder, S. & Flower-Ellis, J.G.K. 1992. Environmental and physiological constraints to forest yield. In: A. Teller, P. Mathy & J.N.R. Jeffers (eds) Responses of Forest Ecosystems to Environmental Changes, pp. 149-164. Elsevier Applied Science. ISBN 1-85166-878-0
- Linder, S., Benson, M.L., Myers, B.J. & Raison, R.J. 1987. Canopy dynamics and growth of *Pinus radiata*. I. Effects of irrigation and fertilisation during a drought. Canadian Journal of Forest Research, 10: 1157-1165
- Lindgren, K. 1983. Provenances of *Pinus contorta* in Northern Sweden. Doktorsavhandling, SLU, Inst f skoglig genetik och växtfysiologi, Umeå. ISBN 91-576-1601-9.
- Lines, R. 1987. Choice of seed origins for the main forest species in Britain. Forestry Commission Bulletin 66.
- Lothner, D.C. 1986. Dollars and sense: Fertilization of intensively cultured plantations. IEA/ENFOR/OMNR Joint Rep. 1986:2: 99-109
- Low, A.J. 1987. Sitka spruce silviculture in Scottish forestry. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. 93B, 93-106.
- Lundgren, C. 2003 Wood and Fibre Properties of Fertilized Norway Spruce. Dissertation Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 288
- Löfgren, C. 1994. Svenskt privatskogsbruk – fyra studier. Rapport 104, Institutionen för skogsekonomi, SLU.
- Martinsson, O. 1995. Yield of *Larix sukaczewii* Dyl. in Northern Sweden. Studia Forestalia Suecica. No. 196
- Martinsson, O. 1999. Sibirisk lärk som skogsträd och virkesråvara. Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå.
- Mboyi, W.M. & Lee, S.J. 1999. Incidence of autumn frost damage and lammas growth in a 4 year-old clonal trial of Sitka spruce (*Picea sitchensis*) in Britain. Forestry 72, Nr 2.
- Mitchell, C.P., Sennerby-Forsse, L. & Zuffa, L. 1988. Biomass qualities and potential for genetic improvement in poplars and willows. Biomass 17: 21-37.
- Mochan, S., Lee, S. & Gardiner, B. 2008. Benefits of improved Sitka spruce: volume and quality of timber. Forestry Commission Research Note 3. Forestry Commission, Edinburgh
- Mohn, C.A. & Randall, W.K. 1971. Inheritance and correlation of growth characters in *Populus deltoides*. Silvae Genetica 20: 182-184.

- Mårtensson, S. 2007. Förekomst av rotticka i första generationens lärk på tidigare betes- och åkermark. Southern Swedish Forest Research Centre, Alnarp, Sweden. Final thesis no. 100, 20 p. (Master's thesis in Swedish with English summary.)
- Mäkinen H., Saranpää P. & Linder S. 2001 Effects of nutrient optimization on branch characteristics in *Picea abies* (L.) Karst. *Scand. J. For. Res.* 16:354-362
- Møller, C.M. 1965. Vore skovtræarter og deres dyrkning. Dansk Skovforening. Copenhagen, pp 175-187.
- Nielsen, U.B. 1994. Genetisk variation i sitkagran (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) i højdevækst, stammeform, frosthærdighed -vurderet ud fra danske proveniens-, afkomst- og klonførsøg. Forskningsserien Forskningscentret for Skov & Landskab 1994 (9).
- Nilsson, L.O. & Wasielewski, D. 1987. Influence of fertilization in a natural *Populus tremula* stand. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2: 343-348.
- Nilsson, U. & Fahlvik, N. 2006. Ekonomisk analys av praktisk produktionsoptimering i granplanteringar. I Slutrapport för Fiberskogsprogrammet (Eds. Bergh, J. & Oleskog, G.). SLU, Inst. f Sydsvensk Skogsvetenskap, Arbetsrapp. 27, 106-129.
- Nohrstedt, H.-Ö. 1988. Ytvattenkemiska effekter av skogsgödsling med kalkammonsalpeter i ett försurat område. Institutet för skogsförbättring, Rapport nr 5, 34 s. Uppsala.
- Nohrstedt, H.-Ö. 1990. Tillväxteffekter vid gödsling med olika näringsämnen i barrskog. I: Liljelund, L. E. m.fl., (Ed.). Skogsvitalisering - Kunskapsläge och forskningsbehov. Naturvårdsverket. Solna. Rapport 3813: 71–83.
- Norén, A. 1996. Wood and pulp properties of juvenile *Picea abies* (L.) Karst. grown on agricultural and forest land. Dissertation ISRN SLU-SKOPRO-R-40-SE
- Paavilainen, E. 1979. Metsänlannoitusopas. Kirjayhtymä. 112 pp.
- Pâques, L.E. 2000. Interspecific hybridisation in larch: The long way to get outstanding varieties. Hybrid breeding and genetics of forest trees. Proceedings of QFRI/CRC-SPF Symposium, 9-14 April 2000, Noosa, Queensland, Australia. Department of Primary Industries, Brisbane.
- Pape, R. 1999. Effects of Thinning on Wood Properties of Norway Spruce on Highly productive Sites. Dissertation Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 88
- Parfitt, R.I. & Stott, K.G. 1987. The effects of nitrogen, phosphorus and potassium levels on the productivity of 13 willow clones. In: *Biomass for Energy and Industry* (Grassi, G., Delmon, B., Molle, J.-F. & Zibetta, H., eds.), Proc. 4th EC Conf., Orleans, France, pp 546-550.
- Pereira, J.S., Linder, S., Araújo, M.C., Pereira, H., Ericsson, T., Borralho, N. & Leal, L.C. 1989. Optimization of biomass production in *Eucalyptus globulus* plantations — a case study. In: Pereira, J.S. and Landsberg, J.J. (eds) *Biomass Production by Fast-Growing Trees*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 101–121.
- Pereira, J.S., Madeira, M.V., Linder, S., Ericsson, T., Tomé, M. & Araújo, M.C. 1994. Biomass production with optimised nutrition in *Eucalyptus globulus* plantations. In: Pereira, J.S. & Pereira, H. (eds) *Eucalyptus for Biomass Production*. Commission of the European Communities, Lisbon, pp. 13–30.
- Persson, A. 1973. Ett försök med snabbväxande *Populus*-arter. Institutionen för Skogsproduktion, Skogshögskolan, Stockholm, Rapporter och Uppsatser, Nr 27.
- Persson, A. 1978. Volume yield in young *Pinus contorta* provenance trials in Sweden. Proceedings of IUFRO meeting in Vancouver, Canada 1978. Vol. 2, 53-58.
- Persson, A. 1994. Stem cracks in Norway spruce in southern Scandinavia: causes and consequences. *Annales des Sciences Forestieres* 51:315-327

- Persson, A. & Persson, B. 1992. Survival, growth and quality of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) provenances at three Swedish sites of the IUFRO 1964/68 provenance experiment. Institutionen för skogsproduktion. Sveriges lantbruksuniversitet, Garpenberg.
- Persson, T. 1980 (ed). Structure and Function of Northern Coniferous Forests. Ecological Bulletins (Stockholm) 32, 609 pp.
- Pettersson, F. 1980b. Gödslings-effektens fördelning på diameterklasser. Institutet för skogsförbättring, Information gödsling nr 1, 4 s. Uppsala.
- Pettersson, F. 1981. Gödslings- och gallringseffekter i konfliktbestånd. Institutet för skogsförbättring, Information gödsling nr 2, 8 s. Uppsala.
- Pettersson, F. 1984. Uppdelad kvävegiva. Institutet för skogsförbättring, Information gödsling nr 1, 4 s. Uppsala.
- Pettersson, F. 1985. Gödslings-effekter i plant- och ungskog. I: Årsbok 1984 Föreningen skogsträdsförädling och Institutet för skogsförbättring, 87–116. Uppsala.
- Pettersson, F. 1986. Uppdelning av kvävegivan ökar inte gödslings-effekten. Institutet för skogsförbättring, Information gödsling nr 1, 1986/87, 4 s. Uppsala.
- Pettersson, F. 1987. Förlängt gödslings-omdrev minskar kubikmeterkostnaden. Institutet för skogsförbättring, Gödslings-information Nr 3 1986/87, 6 s. Uppsala.
- Pettersson, F. 1990. PK-spåret. Institutet för skogsförbättring, Information Växtnäring-skogsproduktion Nr 1 1990/91, 4 s. Uppsala.
- Pettersson, F. 1994 a. Predictive functions for impact of nitrogen fertilization on growth over five years Skogforsk, Report No. 3, 1994, 56 s. Oskarshamn.
- Pettersson, F. 1994 b. Predictive functions for the total response in growth to nitrogen fertilization, duration and distribution over time. Skogforsk, Report No. 4, 1994, 56 s. Oskarshamn.
- Pfister, O., Wallentin C., Nilsson U. & Ekö, P-M. 2007 Effects of wide spacing and thinning strategies on wood quality in Norway spruce (*Picea abies*) stands in southern Sweden. Scand. J. For. Res. 22:333-343
- Pfister O. 2009. Influence of Spacing and Thinning on Wood Characteristics in Planted Norway Spruce in Southern Sweden. Dissertation Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria
- Piri, T. 1996. The spreading of the S type of *Heterobasidion annosum* from Norway spruce stumps to the subsequent tree stand. European Journal of Forest Pathology, 26: 193-204.
- Piri, T. 1998. Effects of vitality fertilization on the growth of *Heterobasidion annosum* in Norway spruce roots. European Journal of Forest Pathology, 28: 391-397.
- Piri, T. 2000. Response of compensatory-fertilized *Pinus sylvestris* to infection by *Heterobasidion annosum*. Scandinavian Journal of Forest Research, 15: 218-224.
- Pulkkinen, P. 2001. The effect of wood properties to the possibilities of vegetative propagation of hybrid aspen. In: Aspen in papermaking Univ. of Helsinki. Dept. of Applied Biology, Publications 5:34-39
- Rauna, J. 2001. Industrial use of aspen fibres In: Aspen in papermaking Univ. of Helsinki. Dept. of Applied Biology, Publications 5:1-4
- Rautio, M., Kangas, T., Auterinen, T., Álen, R. & Pulkkinen, P. 2001. Wood quality components of hybrid aspen for paper making In: Aspen in papermaking Univ. of Helsinki. Dept. of Applied Biology, Publications 5:19-26
- Redfern, D.B. 1982. Infection of *Picea sitchensis* and *Pinus contorta* stumps by basidiospores of *Heterobasidion annosum*. European Journal of Forest Pathology, 12: 11-25.

- Remröd, J. 1969. Contortatall i svenska försök. Föreningen skogsträdsförädling och Institutet för skogsförbättring. Årsbok 1969, 121-143.
- Remröd, J. 1977. En produktionsmodell för contortatall i norra och mellersta Sverige. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift nr 1, 3-43.
- Rennerfelt, E. 1952. Om angrepp av rotröta på tall. Meddelande från Statens Skogsforskningsinstitut 41, 1-40.
- Rodriguez, Y.P., Gerendain, A.Z., Pappinen, A., Peltola, H. & Pulkkinen, P. 2009. Differences in wood decay by *Heterobasidion parviporum* in cloned Norway spruce (*Picea abies*). Canadian Journal of Forest Research, 39: 26-35.
- Romell, L.-G. & Malmström, C. 1945. The ecology of lichen-pine forests. Experiments (1922 – 1942) by the late Dr. H. Hesselman. Meddelande från Statens Skogsförsöksanstalt 34: 541-625.
- Rosvall, O. 1994. Contortatallens stabilitet och motståndskraft mot vind och snö. Redogörelse nr 2, Skogforsk.
- Rosvall, O., Bergström, R., Jacobsson, S., Pettersson, F., Rosen, K, Thor, M. & Weslien, J-O, 2004. *Ökad produktion i familjeskogsbruket: analys av tillväxthjögande och skadeförebyggande åtgärder*. Skogforsk, Uppsala, 94 sid.
- Rosvall, O. & Friberg, G. 1989. Contortatall och älgskador. – Institutet för skogsförbättring. Skogsträdsförädlingsinformation 1988/89 Nr 4.
- Rosvall, O., S. Jacobsson, B. Karlsson & A. Lundström 2004a. Ökad produktion – trots ökad naturvård? I: Skogforsk, *Redogörelse* Nr 1 2004, s 23-38.
- Rosvall, O., S. Jacobsson, B. Karlsson & A. Lundström 2004b. Ökad avverkningspotential med intensivare skogsskötsel. Skogforsk, Resultat Nr 10, 4s.
- Rosvall, O. & E. Normark. 2006. Ökad tillväxt och virkesproduktion i Holmens skogar. Den fullständiga utredningen. Holmen Skog, Örnsköldsvik.
- Rosvall, O. 2007. Produktionspotentialen är betydligt högre än dagens tillväxt. KSLA Tidskrift 4:13-30
- Rosvall, O., Strömberg, S. & Andersson, B. 1984. Skogsförbättrings proveniensförsök med contortatall i norra Sverige. Föreningen Skogsträdsförädling och Institutet för skogsförbättring, Årsbok 1984, 117-159. Uppsala.
- 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, Redogörelse nr 01, 2001
- Rosvall, O. & Wennström, U. 2008. Förädlingseffekter för simulering med Hugin i SKA 08. SkogForsk, Arbetsrapport 655, 37 sid.
- Rykowski, K. 1983. The influence of fertilizers on the occurrence of *Armillaria mellea* in Scots pine plantations. III. The spread of *A. mellea* mycelium inside fertilized and non-fertilized pine roots. European Journal of Forest Pathology, 13: 77-85.
- Rytter, L. 2002. Nutrient content in stems of hybrid aspen as affected by tree age and tree size and nutrient removal with harvest. Biomass and Bioenergy 23: 13-25.
- Rytter, L. 2004. Produktionspotential hos asp, björk och al – en litteraturstudie över möjligheter till och konsekvenser av biomassa- och gagnvirkesuttag. Skogforsk, Redogörelse nr 4, Uppsala, 62 s.
- Rytter, L. 2006. A management regime for hybrid aspen stands combining conventional forestry techniques with early biomass harvests to exploit their rapid early growth. Forest Ecology and Management 236: 422-426.
- Rytter, L., Stener, L.-G. & Werner, M. 2002. Hybridasp – ett lönsamt alternativ som passar i det nya skogsbruket. SkogForsk, Resultat nr 10, Uppsala, 4 s.

- Rytter, L. & Werner, M., 2003. Virkeskvalitetsfel och apteringsråd för lövträd.Handledning. Skogforsk.
- Rytter, L. & Stener, L.-G. 2005. Productivity and thinning effects in hybrid aspen (*Populus tremula* L. x *P. tremuloides* Michx.) stands in southern Sweden. *Forestry* 78: 285-295.
- Rytter, L., Karlsson, A., Karlsson, M. & Stener, L.-G. 2008. Skötsel av björk, al och asp. Skogsstyrelsen, Skogsskötselserien nr 9, Jönköping, 122 s.
- Rönnerberg, J. & Vollbrecht, G. 1999. Early infection by *Heterobasidion annosum* in *Larix x eurolepis* seedlings planted on infested sites. *European Journal of Forest Pathology*, No 29, pp 81-86.
- Rönnerberg, J., Vollbrecht, G. & Thomsen, I.M. 1999. Incidence of butt rot in a tree species experiment in northern Denmark. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14: 234-239.
- Rönnerberg, J., Petrylaitė, E., Nilsson, G. & Pratt, J. 2006. Two studies to assess the risk to *Pinus sylvestris* from *Heterobasidion spp.* in southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 21: 405-413.
- Sennerby-Forsse, L., Ferm, A. & Kauppi, A. 1992. Coppicing ability and sustainability. In: Mitchell, CP, Ford-Robertson, JB, Hinckley, T & Sennerby-Forsse, L, eds. *Ecophysiology of short rotation forest crops*. Essex: Elsevier Science Publishers Ltd, 146–184.
- Shoulders, E. & Wittwer, R.F. 1979. Fertilizing for high fiber yield in intensively managed plantations. Proc. Impact of Intensive Harvesting on Forest Nutrient Cycling, State Univ. N.Y., Syracuse, pp. 343-359.
- Silfverberg, K. & Issakainen, J. 1996. Skogstillväxt på en askgödsblad, nordfinsk kalmyr – 40-årigt perspektiv på asktillförsel i praktisk skala. *Forest growth on an ash-fertilized oligotrophic fen in northern Finland*. *Suo* 47(4): 137-139.
- Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemailla. Wood-ash fertilization on drained peatlands. *Folia Forestalia* 633, 25 pp.
- Simonsen, R., Rosvall, O. & Gong, P. 2008. *Lönsamhet för produktionshöjande skogsskötselåtgärder hos Holmen Skog AB*. Skogforsk, Uppsala, 35 sid.
- Sirén, G. 1983. Energiskogsodling. Nämnden för energiproduktionsforskning. Stockholm. 255p.
- Skogsstyrelsen 2008. Skogsstatistisk årsbok 2008. Skogsstyrelsen, Jönköping, 337 s.
- Skovsgaard, J.P. 1997. Tyndingsfri drift af sitkagran. En analyse af bevoksningsstruktur og vedmasseproduktion i utyndede bevoksninger af sitkagran (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.). Den Kgl. Veterinaer- og Landbohøjskole. Forskningsserien. Nr 19. 525 sider
- Skovsgaard, J.P. 2009. Analysing effects of thinning on stand volume growth in relation to site conditions: A case study for even-aged Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.). *Forestry* 82:87-104
- SOU 2007:36 Bioenergi från jordbruket – en växande resurs. Betänkande av Utredningen om jordbruket som bioenergiproducent. Stockholm 2007
- Stener, L., G., 1998. Analys av fiberegenskaper för kloner av hybridasp. Skogforsk, Arbetsrapport Nr 387, Uppsala.
- Stener, L.-G. 2004. Resultat från sydsvenska klontester med poppel. Skogforsk, Arbetsrapport nr 571, 27 s. Uppsala.
- Stener, L.-G. & Karlsson, B. 2004. Improvement of *Populus tremula* x *P. tremuloides* by phenotypic selection and clonal testing. *For. Genet.* 11: 13-27.
- Stener, L.-G., Larsson-Stern, M. & Ekö, P.M. 2005. Hybridlärk - ett bra komplement till gran i södra Sverige. Skogforsk: Resultat nr 16. 2005.

- Ståhl, E.G. & Persson, A. 1988. Wood quality and volume production in four 24-year-old provenance trials with *Pinus contorta*. Stud. For. Suec. No. 179
- Ståhl, P. 2009. Produktionshöjande åtgärder. Skogsskötselserien nr 16, Skogsstyrelsen, Jönköping, 77 sid.
- Sundström, E. 1995. The impact of climate, drainage and fertilization on the survival and growth of *Pinus sylvestris* L. In afforestation of open, low-production peatlands. Scandinavian Journal of Forest Research 10: 190-203.
- Swedjemark, G. & Stenlid, J. 1995. Susceptibility of conifer and broadleaf seedlings to Swedish S and P strains of *Heterobasidion annosum*. Plant Pathology 44:73-79.
- Swedjemark, G. & Karlsson, B. 2004. Variation in incidence and genetic impact on natural infection of *Heterobasidion annosum* in *Picea abies* (L.) Karst. in genetic trials in south Sweden. Forest Ecology and Management, 203: 135-145.
- Tamm, C.O. 1968. An attempt to assess the optimum nitrogen level in Norway spruce under field conditions. Studia Forestalia.Suecica. 61:1-67.
- Tamm, C.O. 1985. De skogliga bördighetsförsöken. Mål, metoder, tillväxtresultat. The Swedish optimum nutrition experiments in forest stands. Aims, methods, yield results. Kungliga Skogs- och Vetenskapsakademiens Tidskrift, Supplement 17:9-29.
- Tamm, C.O. 1991. Nitrogen in Terrestrial Ecosystems. Questions of Productivity, Vegetational Changes, and Ecosystem Stability. Ecological Studies 81, 115 pp. Springer-Verlag 1991.
- Tamm, C.O., Aronsson, A. & Burgtorf, H. 1974a. The optimum nutrition experiment Stråsan. A brief description of an experiment in a young stand of Norway spruce (*Picea abies* Karst.). Dept of Forest Ecology and Forest Soils, Royal College of Forestry, Stockholm. Research Notes 17, 29 pp.
- Tamm, C.O., Nilsson, Å. & Wiklander, G. 1974b. The optimum nutrition experiment Lisselbo. A brief description of an experiment in a young stand of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Dept of Forest Ecology and Forest Soils, Royal College of Forestry, Stockholm Research Notes. 18. 25 pp.
- Tamm, C.O., Aronsson, A., Popovic, B. & Flower-Ellis, J.G.K. 1999. Optimum nutrition and nitrogen saturation in Scots pine stands. Studia Forestalia.Suecica 206, 128 pp.
- Telenius, B.F. 1999. Stand growth of deciduous pioneer tree species on fertile agricultural land in southern Sweden. Biomass & Bioenergy 16: 13-23.
- Tengberg, F. 2005. En jämförelse av sitkagranens (*Picea sitchensis*) och den vanliga granens (*P. abies*) produktion. Southern Swedish Forest Research Centre, SLU. Examensarbete/SLU, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap vol. 62. 45 sidor
- Trichet, P., Loustau, D., Lambrot, C. & Linder, S. 2008. Manipulating nutrient and water availability in a maritime pine plantation: effects on growth, production, and biomass allocation at canopy closure. Annales of Forest Science 65: 814, DOI: 10.1051/forest:2008060
- Tveite, B. 1994. Gjödsling på fastmark med andre näringsstoff enn nitrogen. Vekstresultat frå nordiske gjödslingsförsök. Aktuelt fra Skogforsk 4-94, NISK, Ås, s. 107-112.
- van den Driessche, R., Rude, W. & Martens, L. 2003. Effect of fertilization and irrigation on growth of aspen (*Populus tremuloides* Michx.) seedlings over three seasons. Forest Ecology and Management 186: 381-389.
- Verwijst, T. 1991. Shoot mortality and dynamics of live and dead biomass in a stand of *Salix viminalis*. Biomass & Bioenergy 1: 35-39.

- Volk, T.A., Verwijst, T., Tharakan, P.J., Abrahamson, L.P. & E.H. White. 2004. Growing fuel: a sustainability assessment of willow biomass crops. *Front. Ecol. Environ* 2004; 2(8): 411-418. Growing fuel: a sustainability assessment of willow biomass crops. *Front Ecol Environ* 2004; 2(8): 411–418
- Vollbrecht, G., Johansson, U., Eriksson, H. & Stenlid, J. 1995. Butt rot incidence, yield and growth pattern in a tree species experiment in southwestern Sweden. *Forest Ecology and Management* 76:87-93.
- Vollbrecht, G. 1996. Fiberskog – förutsättning samt forsknings- och utvecklingsbehov. SLU, skogsvetenskapliga fakulteten, rapport 16, 182 sid.
- Vollbrecht, G. & Stenlid, J. 1999. Transfer of the P-type of *Heterobasidion annosum* from old-growth stumps of *Picea abies* and *Larix x eurolepis*. *European Journal of Forest Pathology*, No. 29, pp 153-159.
- Vuokila, Y., Gustavsen, H. G. & Luoma, P. 1983. Site classification and thinning models for Siberian larch (*Larix sibirica*) stands in Finland. *Folia forestalia* 554, 12p. (På finska)
- Wahlgren, A. 1914. *Skogsskötsel: handledning vid uppdragande, vård och förnygring av skog*. Norstedt, Stockholm, 728 sid.
- Wahlström, K.T. & Barklund, P. 1994. Spread of *Armillaria spp.* and *Heterobasidion annosum* in Norway spruce exposed to drought, irrigation and fertilization. In: Johansson, M. and Stenlid, J.(eds.), *Proceedings of the Eighth IUFRO Conference on Root and Butt Rots*. Swedish University of Agriculture Sciences, Uppsala, Sweden, pp. 582-591.
- Wahren, D. 1995 *Hardwoods as a papermaking raw material of the future* Stora Teknik. Corporate Research Center, Report B 95/2015 TKF 1-11
- Werner, M. & Karlsson, B. 1981. Resultat från 1969 års granprovenienser i Syd- och Mellansverige. Institutet för Skogsförbättring, årsbok 1982. 90-158. Uppsala.
- Wielgolaski, F.E. Opdahl, H. & Nes, K. 1993. Growth studies in plantations of European larch (*Larix decidua* Mill.) and Japanese larch (*L. kaempferi* (Lamb.) Carr.) in western Norway. 2. Forecasting growth and yield by various site-indices and thinnings. *Meddelelser fra Skogforsk* 46 (12). Norsk institutt for skogforskning. Institutt for skogfag, NLH, 42 pp.
- Zetterberg, J. 2007. Stormskador i lärk och gran, en jämförelse efter stormen Gudrun. Examensarbete, SLU, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap , 91 s.
- Øyen, B.-H. 2001. Langsiktige effekter etter tynning i plantefelt med sitkagran (*Picea sitchensis* Bong. Carr.) i Vest-Norge. Rapport fra skogforskningen 11/01: 23 s.
- Øyen, B.-H. & Tveite, B. 1998. En sammenligning av høydebonitet og produksjonsevne mellom ulike treslag på samme voksested i Vest-Norge. Rapport fra skogforskningen. Nr 15. 32 sider

Bilaga 1

Skogsgödsling i Sverige

Kunskapsuppbyggnad, tillväxteffekter och praktisk tillämpning

Folke Pettersson, Skogforsk

Staffan Jacobson, Skogforsk

Ulf Sikström, Skogforsk

Innehåll

1. Inledning.....	1
1.1 Principer för skogsgödsling.....	1
1.2 Praktisk omfattning	1
1.3 Kunskapsuppbyggnad	2
2. Resultat från forskning och utveckling.....	2
2.1 Näringsämnen.....	2
2.2 Gödselmedel.....	3
2.3 Gödslingsintervall	4
2.4 Spridningstidpunkt	4
2.5 Uppdelad giva och långsamverkande gödselmedel.....	4
2.6 Ståndortsval.....	5
2.7 Beståndsval.....	5
2.8 Gödslingseffektens avsättning på det enskilda trädets stam.....	6
2.9 Gödslingens påverkan på virkets kvalitet.....	7
2.10 Gödsling av fröträd.....	7
2.11 Vind- och snöskador.....	7
2.12 Samordning mellan gödsling och gallring.....	8
2.13 Prognosinstrument för tillväxteffekter	8
2.14 Genomförande och uppföljning av praktisk gödsling	10
3. Gödslingsekonomi.....	11
3.1 Mer volym och grövre virke.....	11
3.2 Gödsling är en investering.....	12
3.3 ”SCA-modellen”	12
4. Diskussion	13
4.1 Praktiska hinder för skogsgödsling	13
4.2 Maximal gödslingsareal i framtiden?	14

4.3 Behov av framtida FoU-insatser.....	15
Referenser.....	16

1. Inledning

1.1 Principer för skogsgödsling

Det har sedan lång tid tillbaka varit känt att skogstillväxten på mineraljordar (fastmarker) i Sverige vanligen begränsas av för liten tillgång på växttillgängligt kväve (N) (t.ex. Tamm, 1991). Skogsgödsling handlar om tillförsel av oorganiskt kväve till barrträdsdominerade medelålders och äldre bestånd på fastmarker. Kvävetillförseln sker genom spridning från helikopter eller traktor. Syftet med åtgärden är att producera extra virke till god ekonomi. Gödsling med standardgivan 150 kg/N per ha i form av ammoniumnitrat (AN) ger i lämpliga tall- eller granbestånd en tillväxtökning på 15 m³sk/ha i genomsnitt under en effektperiod på 7 – 11 år. Skogsgödsling är den enda åtgärden som ökar avverkningsmöjligheterna på kort sikt (<20 år).

För det skogsgödslande skogsbruket preciserades under den senare delen av 1980-talet kriterier för beståndsval m.m. (Pettersson m.fl., 1988). Ett gödslingsvärt bestånd måste uppfylla vart och ett av följande sju kriterier:

- Fastmark
- Podsol-jordmån
- Ståndortsindex, H100 16–30 m
- Minst 80 % av grundytan ska vara barrträd
- Förstagallringsskog eller äldre
- Ingen avverkning under effektperioden
- Frisk och välsluten skog

Med tanke på spridningsojämnheter vid praktisk gödsling bör medelgivan inte nämnvärt överstiga 150 kg/N per hektar. Från ekonomisk synpunkt bör gödslingsintervall på minst 10 år tillämpas.

Som hjälpmedel för praktisk gödsling finns en handledning för skogsgödsling (Jacobson m.fl., 2005), liksom ett kalkylprogram på Internet för beräkning av tillväxteffekter och ekonomi på beståndsnivå (www.skogforsk.se).

1.2 Praktisk omfattning

Omfattningen av praktisk gödsling var som störst under 1970- och 1980-talen då mellan 80 000 och 190 000 hektar gödslades årligen. I början av 1990-talet minskade gödslingen kraftigt under några år ner till 20–25 000 hektar per år, för att bottna på ca 15 000 hektar under åren 2002–2003 (www.skogsstyrelsen.se). En bidragande orsak till den kraftiga nedgången av gödsling kan ha varit den intensiva miljödebatten så då fördes, med ifrågasättande av kvävegödsling. Sedan några år tillbaka har intresset och omfattningen av skogsgödsling ökat markant. Enligt Skogens Gödslings AB gödslades ca 60 000 hektar år 2008, och prognosen för 2009 är att arealen blir ungefär densamma som 2008. Förändringar som ett ökat virkesbehov genom utökad industrikapacitet, en allt dyrare och besvärligare import av rundvirke, ett ökat intresse för skogproduktionsfrågor m.m. torde ligga bakom det nyvaknade intresset för skogsgödsling. En utmärkande faktor är att det är skogsföretagen och övriga större skogsägare som stått för nästan all gödsling genom alla år. Trots den höga lönsamheten i gödsling av äldre skog innan slutavverkning har åtgärden förekommit sparsamt i privatskogsbruket.

1.3 Kunskapsuppbyggnad

Skogsföretagen startade den tillämpade gödslingsforskningen

Vid mitten av 1950-talet började skogsföretagen att intressera sig för gödsling, vilket ledde till att tillämpade fältförsök anlades i ganska stor skala av företagen själva (Hagner m.fl., 1966). Parallellt med anläggandet av försök påbörjades ett utvecklingsarbete för att finna lämpliga metoder för att sprida gödselmedlen. De första tillväxtresultaten från de tillämpade försöken var så lovande att dessa blev startskottet till att den praktiska skogsgödslingen inleddes redan i början på 1960-talet. De grundläggande frågorna om kriterier på lämpliga gödslingsbestånd, om vilka tillväxteffekter som kan förväntas av olika gödselmedel och vid varierande givor, visade sig ganska snart vara mera komplicerade att utreda än vad man först trodde. Företagen beslutade därför att den tillämpade forskningen skulle samordnas, vilket gjordes år 1967 då Institutet för skogsförbättring bildades. Den tillämpade gödslingsforskningen lades 25 år senare över på Skogforsk när detta institut bildades 1992, som en sammanslagning av Institutet för skogsförbättring och Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.

Praktisk gödsling och kunskapsuppbyggnad hand i hand

Skogsföretagens rutiner för beståndsval, gödslingsplanering etc. har utvecklats under åren i takt med uppbyggnaden av kunskaper och praktiska erfarenheter. I och med att den praktiska gödslingen och forskningen allt sedan begynnelsen har pågått parallellt, har det varit oundvikligt att en hel del misstag har begåtts vid den praktiska gödslingen p.g.a. bristande kunskaper. Några exempel är beståndsvalet och bristande samordning mellan gödsling och avverkning. Under den senare delen av 1980-talet hade kunskaperna blivit goda om skogsgödsling. För att samla kunskaperna på ett överskådligt och lättillgängligt sätt utarbetades en "lärobok" i skogsgödsling (Palmér, 1988). Dessutom togs en handledning fram för skogsgödsling (Pettersson m.fl., 1988). Som ett ytterligare steg för bättre skogsgödsling anordnades en stor mängd gödslingskurser för skogsföretagen och spridarentreprenörer under slutet av 1980-talet.

2. Resultat från forskning och utveckling

2.1 Näringsämnen

Tidig inriktning på enbart kväve

Skogsgödslingens tidiga koncentration till näringsämnet kväve (N) betingades av att det tidigt framkom i de tillämpade försöken att samtidig tillförsel av andra ämnen såsom fosfor (P), kalium (K) och magnesium (Mg) inte gav någon tydlig mereffekt jämfört med ren kvävegödsling (Hagner m.fl., 1966; Nohrstedt, 1990; Pettersson, 1994a). Senare resultat från försök anlagda i mitten av 1980-talet uppvisade inte heller någon signifikant mereffekt av allsidig näringstillförsel jämfört med ren kvävetillförsel vid startgödsling (Nohrstedt m.fl. 1993; Pettersson 1994a).

Lägre omgödslingseffekter vid intensiva gödslingsregimer

Under mitten av 1980-talet blev ett ganska stort antal resultat tillgängliga från försök med upprepad kvävegödsling. Resultaten visade att omgödslingseffekterna i flertalet fall blivit lägre än startgödslingseffekten (Pettersson, 1987; 1990a; Jacobson & Nohrstedt, 1993). Detta fenomen var mest accentuerat vid intensiva kvävegödslingsregimer med höga kvävegivor (> 200 kg N/ha) och vid

täta gödslingsintervall (4–6 år). Barranalyser kunde inte påvisa framgödslade näringsbrister i barren. Markanalyser var inte heller till någon vägledning för att förklara de lägre omgödslingseffekterna (Jacobson & Nohrstedt, 1993).

Huvudhypotesen till de lägre omgödslingseffekterna var att ett för litet upptag av något annat näringsämne än kväve begränsade trädens möjligheter att utnyttja det tillförda kvävet fullt ut. För att testa denna hypotes startades projektet ”PK-spåret” (Pettersson, 1990a) med omgödsling av ett stort antal försök med kväve respektive kväve plus andra ämnen som P, K, Mg och mikronäringsämnen.

Ingen signifikant mertillväxt med fullgödsel vid omgödsling

Resultaten från PK-spåret visade att tillväxtreaktionen med enbart N var ungefär lika stor som startgödslingseffekten i merparten av försöken, främst då vid normalstora N-givor och långa gödslingsintervall (Jacobson & Pettersson, 2001). Den ensidiga kvävegödslingen hade inte haft någon effekt på näringskoncentrationen av P, K och Mg i årsbarren. Tillförseln av PKMg tillsammans med N resulterade i en något högre (+6 %), men inte signifikant, tillväxtreaktion jämfört med de rena N-ytorna. En möjlig förklaring till lägre registrerade omgödslingseffekter kan vara att startgödslingen, eller tidigare omgödsling, inducerat en försämring av trädrötternas förmåga att tillgodogöra sig det tillförda omgödslingskvävet. Det är t.ex. känt att finrotsproduktionen minskar vid hög kvävetillförsel (t.ex. Ahlström m.fl., 1988) samt att rotsystemen kan bli ytligare (Persson, 1992). Risken för negativa effekter på rotsystemen och mykorrhizan, och därmed sämre tillväxteffekter, ökar sannolikt då höga kvävegivor samt korta gödslingsintervall används.

Borbristsskador i tall i Norrland

På 1970-talet upptäcktes tillväxtstörningar i vissa kväveomgödslade tallförsök i norra Sverige, men också i praktiskt gödslade tallbestånd i denna landsdel. En gemensam nämnare var att skadorna uppträdde på magra eller medelgoda tallmarker och att korta gödslingsintervall hade tillämpats. Tillväxtstörningarna yttrade sig i form av döda toppknoppar samt barrförluster i den övre delen av trädkronorna. Genom barranalyser kunde det fastställas att dessa skador hade orsakats av en framgödslad brist på mikronäringsämnet bor (Albrektsson m.fl., 1977). De påföljande undersökningarna av borförekomst och borbristsskador visade bl.a. att den naturliga borhalten i barren innan gödsling är lägst i norra Sverige, samt att tillförsel av 1 kg bor/ha är tillräckligt för att upprätthålla eller öka barrenens borhalt efter kvävegödsling (Möller, 1983). Dessa resultat ledde till en övergång till borhaltigt AN-gödselmedel vid all skogsgödsling.

2.2 Gödselmedel

AN-medel ger betydligt högre tillväxteffekt än urea

Under den praktiska gödslingens barndom på 1960-talet användes nästan enbart urea som gödselmedel. Skälet var att urea gav den lägsta gödslingskostnaden genom dess högre N-halt och därigenom lägre spridningskostnad jämfört med ammoniumnitratmedel. Emellertid visade fältförsöken att ammoniumnitrat (AN) gav väsentligt högre tillväxteffekter än urea (Möller, 1972). Det praktiska skogsbruket anpassade sig snabbt till de nya kunskaperna och sedan mitten på 1970-talet har nästan uteslutande AN-gödselmedel använts i skogsbruket.

Tillväxtökningen blir 30–40% högre för AN än för urea vid normala givor (Pettersson, 1994a). Skillnaden i tillväxteffekt till AN:s fördel är störst på svaga marker och vid låga givor. Doseringsförsök har visat att samma maximala effekt kan uppnås för bägge medlen, men att det krävs en betydligt högre kvävegiva med urea. Den lägre effekten med urea beror på att en större andel av kvävet fastläggs i marken vid ureagödsling (t.ex. Nömmik, 1984), vilket medför att det blir mindre

kväve tillgängligt för träden. Dessutom kan en del av det tillförda urea-kvävet försvinna genom ammoniakavdunstning vid ogynnsamma väderbetingelser (t.ex. Melin, 1986).

Kalkammonsalpeter med bor används i dag

I början på 1980-talet påvisades försurningseffekter i bäckar efter gödsling med AN (Möller, 1984). Sådana effekter observerades inte när det alternativa medlet kalkammonsalpeter (CAN) användes (Nohrstedt, 1988). Detta ledde till ett ytterligare byte av gödselmedel, denna gång från borhaltigt AN till borhaltigt CAN. Sedan slutet på 1980-talet har uteslutande detta medel använts vid praktisk gödsling. CAN är ett AN-medel med inblandning av dolomitkalk (18 %) och ger samma tillväxteffekt som AN per kilo N (Jansson, 1985; Pettersson, 1994a).

2.3 Gödslingsintervall

En omgödsling ger ungefär samma tillväxteffekt som en förstagångsgödsling om effekten av den tidigare gödslingen hunnit ebba ut. Om skogen däremot gödslas om innan dess förlorar man den kvarvarande mertillväxten från den första gödslingen (Pettersson, 1987). Den årliga tillväxtökningen blir högre vid intensiva gödslingsregimer, men samtidigt ökar kostnaden per framgödslad kubikmeter med ökande intensitet. Vid jämförelse mellan 10-årigt och 6-årigt intervall blir marginalkostnaden för de extra framgödslade kubikmetrarna vid 6-årigt intervall hög, och vanligtvis betydligt högre än köpkostnaden för dessa virkeskvantiteter på virkesmarknaden (Pettersson, 1987). Intensiva, upprepade gödslingar (<8 åriga intervall) kan bara motiveras för bestånd som har mycket höga virkesvärden.

Skogsföretagen tillämpade korta gödslingsintervall på 4–6 år ända fram till den senare delen av 1980-talet. Resultaten från omgödslingsförsöken (Pettersson, 1987; 1990a; Jacobson och Nohrstedt, 1993) förde med sig att skogsföretagen tämligen omgående förlängde gödslingsintervallet till 10 år eller längre.

2.4 Spridningstidpunkt

En viktig fråga i gödslingens barndom var att fastställa lämplig spridningstidpunkt under året, varför ett antal årstidsförsök utlades i tidigt skede. Resultaten utvisade att tillväxtökningen blev lika stor oberoende av när under vegetationsperioden gödslingen hade utförts (Erkén och Frick, 1969; Möller, 1982; Pettersson, 1994a). Vid spridning vintertid på tjälad mark och snö blev tillväxteffekterna avsevärt mindre. Skogsgödsling bör således endast utföras under vegetationsperioden. Enligt Möller (1982) bör dock alltför sena höstgödslingar med AN undvikas pga. att risken för mycket kraftigt regn veckorna efter gödsling då är som störst. Stora regnmängder under de första veckorna efter gödslingen kan öka kväveutlakningen och reducera tillväxteffekten.

2.5 Uppdelad giva och långsamverkande gödselmedel

Något lägre tillväxteffekt vid uppdelning av kvävegiva

Det var känt redan i början på 1960-talet att endast 20–40 % av det tillförda gödselkvävet tas upp av träden (t.ex. Melin, 1986). På 1970-talet påbörjades en försöksverksamhet med syftet att undersöka olika vägar att öka trädens upptag av gödselkväve. Ett antal försök anlades med syftet att undersöka om verkningsgraden (upptaget), och därmed tillväxteffekten, kunde höjas genom att fördela standardgivan på 150 kg N/ha (i några försök 120 och 240 kg N/ha) på flera spridningstillfällen under ett och samma år, eller på två eller tre på varandra följande år. En uppdelning av kvävegivan gav dock i de flesta fall något lägre tillväxteffekter jämfört med att sprida hela givan vid ett enda tillfälle (Eriksson, 1982; Pettersson, 1984, 1986, 1994a).

Markant lägre tillväxteffekt av långsamverkande gödselmedel

Det anlades också försök med långsamverkande kvävegödselmedel för att studera om detta var en framkomlig väg att höja tillväxteffekten. De medel som prövades var svaveldragerad urea och Osmocote, vilket var ett plastdragerat och AN-baserat NPK-medel. Dessa långsamverkande kvävegödselmedel gav emellertid markant lägre tillväxteffekter jämfört med standardvaran av urea och AN (Eriksson, 1981). Åtgärder som att dela upp kvävegivan på flera spridningstillfällen, eller att använda långsamverkande gödselmedel blev således inte aktuella för de skogsgödslande företagen.

2.6 Ståndortsval

För att erhålla så goda tillväxteffekter som möjligt är det viktigt att försäkra sig om att gödslingsbestånden uppfyller de sju baskraven (se s. 1). Det finns fastmarker där tillväxtreaktionen på kvävegödsling kan bli svag eller utebli (se t.ex. Pettersson, 1994a), och som därför bör undantas från skogsgödsling:

- Marker med bättre ståndortsindex än G30 samt stabila brunjordar
- Marker med välförmultnad, 10–20 cm tjock kärrtorv (ofta dikade granskogar)
- Marker med kraftig skenhälla
- Östra Skånes sandmarker

Marker med högt ståndortsindex, med stabil brunjord eller med välförmultnad kärrtorv har troligen ett tillräckligt högt naturligt kväveutbud. Bestånd på kraftig skenhälla eller tallbestånd på östra Skånes sandmarker har troligen så akut vattenbrist att kvävebrist inte begränsar trädens tillväxt.

I lågproduktiva tallbestånd med ståndortsindex under T16 blir tillväxteffekten i absoluta tal oftast ganska liten p.g.a. lågt virkesförråd och liten löpande tillväxt. Detta motiverar den nedre bonitetsgränsen i baskraven. Rotvärde per kubikmeter och löpande tillväxt är avgörande faktorer för gödslingens lönsamhet på dessa lågproduktiva marker.

2.7 Beståndsval

Svaga och kortvariga effekter i plant- och ungskog

I plant- och ungskogar är volymtillväxteffekten av kvävegödsling starkt avhängig beståndets utvecklingsgrad (Pettersson, 1985). Tillväxteffekten blir mycket liten ($<1 \text{ m}^3\text{sk/ha}$) i plantskog med 1 m höjd oavsett giva i intervallet 50–150 kg N/ha. Vid 5 m höjd blir totaleffekten ca $10 \text{ m}^3\text{sk/ha}$ för gran och contortatall, men endast ca $6 \text{ m}^3\text{sk/ha}$ för tall med AN-givan 150 kg N/ha. ”Fullstora” tillväxteffekter uppnås när bestånden nått 10–12 m höjd och detta faktum ligger bakom baskravet att gödsling bör utföras först när beståndet har uppnått förstagallringsstadiet ($>12 \text{ m}$). I plant- och ungskog är det sannolikt storleken på rot- och barrbiomassan i beståndet som är den avgörande faktorn för hur mycket kväve som kan upptas och nyttiggöras av träden.

Svag och kortvarig effekt i björkskog

För björk är tillväxtreaktionen på kvävegödsling betydligt mer kortvarig och avsevärt lägre ($<50 \%$) än för tall och gran (Jonsson & Möller, 1976). Den avsevärt lägre, och mer kortvariga tillväxtreaktionen för björk är förmodligen en effekt av den årliga förnyelsen av hela trädkronan, vilket betyder förluster

av kväve i lövnedfallet. Den svaga effekten i björk ligger bakom baskravet på högst 20 % lövinblandning i gödslingsbestånden.

Överslutna tallbestånd reagerar bra på gödsling

Hög beståndsslutenhet tycks inte ha någon negativ påverkan på gödslingseffekten. Bestånd med hög slutenhet har oftast hög löpande tillväxt, vilket ger bra gödslingseffekt. I en serie med försök i överslutna tallbestånd blev gödslingseffekten på ogallrade parceller lika stor som förväntat enligt prognosfunktioner för gödslingseffekt (Pettersson, 1981).

Tillväxtökning även i mycket gammal skog

Gödslingsförsök har visat att hög beståndsålder inte är ett hinder för att ett bestånd ska anses vara gödslingsvärt (se t.ex. Pettersson, 1994a). Det finns exempel på 250-årig blandskog med tall och gran som har reagerat bra på gödsling. Beståndets löpande tillväxt är en viktig faktor för gödslingseffektens storlek. I äldre bestånd är tillväxten i avtagande, varför tillväxtökningen i kubikmeter normalt blir lägre än om man gödslar mer växtlig skog i medelålders bestånd. Samtidigt är dock värdetillväxten och rotvärdet per kubikmeter normalt sett hög i den äldre skogen.

2.8 Gödslingseffektens avsättning på det enskilda trädets stam

Ingen formförändring i förstagallringskog och äldre skog

Engångsgödsling i medelålders och äldre tall- och granbestånd påverkade inte stamformen (formkvoten) (Friberg, 1974). Trädens diameter- och höjdtillväxt följdes således åt på samma sätt som vid normal tillväxt. Studier i upprepat gödslade försök tydde inte heller på någon förändring av formkvoten efter omgödslingar (Saramäki, 1980; Jacobson och Pettersson, 2001).

Formförsämring i ung tall och ung contortatall

I ungskogar med tall eller contortatall (primärt träslag) blev höjdtillväxtreaktionen på kvävegödsling ytterst liten, vilket gav upphov till försämrad stamform (Pettersson, 1985). För dessa beståndstyper yttrar sig således gödslingseffekten i att träden blir grövre, men inte högre. I granförsöken blev höjdtillväxtreaktionen däremot signifikant redan från 2 m beståndshöjd, vilket indikerade att gödslingen inte nämnvärt hade påverkat stamformen (Pettersson, 1985).

Ungefär lika stor procentuell tillväxtreaktion i alla diameterklasser

Undersökningar har visat att den procentuella grundytetillväxtreaktionen efter gödsling är i stort sett lika stor i alla diameterklasser i ett bestånd (Pettersson, 1980b; Pettersson, 1981). En tendens fanns dock att de klenare träden hade en något högre procentuell tillväxtreaktion än de grövre träden. Principen för gödslingseffektens fördelning på enskilda träd överensstämmer mycket väl med gallringsreaktionens avsättning på enskilda träd. Flera finska undersökningar (t.ex. Hynynen, 1995; Mäkinen och Isomäki, 2004) har visat att den procentuella gallringsreaktionen är ungefär densamma i alla diameterklasser. Studier av gallringsreaktionen i de svenska tillämpade gödslings- och gallringsförsöken visade på en ungefärlig lika stor procentuell tillväxtreaktion i alla diameterklasser, men med tendensen till något lägre reaktion i de grövsta diameterklasserna (t.ex. Pettersson, 1981), d.v.s. på samma sätt som för gödsling.

2.9 Gödslingens påverkan på virkets kvalitet

Påverkan genom ökad årsringsbredd

Gödsling ger grövre stockar, vilket är positivt för sågtimmerutbytet. I tallbestånd med övervallad kvist ger gödsling en extraproduktion av kvistfritt virke. En skogsgödsling i medelålders och äldre bestånd ger en total diameterökning på 0,4–0,8 cm under 7–11 år. Man kan säga att gödsling upprätthåller diametertillväxten, eftersom åtgärden utförs under senare delen av omloppstiden då diametertillväxten är sjunkande. En viktig fråga inför beslutet om praktisk gödsling var vilka eventuella effekter gödsling hade på virkets kvalitet. Sammanfattning av resultat från ett antal studier av virkeskvaliteten redovisades av Möller (1968). Huvudresultatet var att ved av en viss årsringsbredd från gödlat virke inte skiljer sig från ved ur ogödlat virke av samma årsringsbredd och från samma ståndort. Däremot påverkades kvalitetsegenskaperna av medelårsringsbredd och ståndort.

Små effekter på densiteten

En ökad årsringsbredd ger hos barrträd ett något lättare virke med något lägre hållfasthet (se t.ex. Möller, 1968). Då gödslingsårsringarna sitter långt ut från mårgen i den nedre delen av stammen är det endast det yttre utbytet av timmerstocken som innehåller gödslingsårsringar. Vid massaframställning sjunker fiberutbytet med några enstaka procent i de framgödslade årsringarna (se t.ex. Möller, 1968). De effekter som normal skogsgödsling har på virket är således små, och är sannolikt avsevärt mindre än t.ex. gallringens påverkan. Effekten på de enskilda trädens årsringsbredder blir i regel betydligt högre efter gallring.

2.10 Gödsling av fröträd

Gödsling av fröträd är en åtgärd som kan vara lönsam för självverksamma skogsägare. Rotvärdet per kubikmeter är normalt högt i fröträdsställningar och extra framgödslade kubikmetrar är således värdefulla. Spridningen utförs lämpligen med skyffel och försök visar att det är tillräckligt att sprida gödsel på en radie av 2 m runt varje träd (Pettersson och Palmér, 1989). En giva motsvarande 120–150 kg N/ha är lämplig på den mark som ska behandlas. Vid gödsling av 80 fröträd per hektar blir gödselmedelsåtgången ca 50–60 kg/ha (27 % N-halt i CAN). Fröträds gödsling ger dessutom sannolikt ökad fröproduktion, vilket är gynnsamt för förnyringen.

2.11 Vind- och snöskador

Gödsling ökar risken för vindfällning

Gödsling resulterar i en snabb barmassautbyggnad under 3–4 år. Detta medför tyngre kronor, förhöjd tyngdpunkt och yvigare barrskrud, vilket förstärker vindens kraft på träden. Detta leder i sin tur till att ett kraftigare rotsystem utvecklas för att trädens stabilitet ska bibehållas. Enligt Laiho (1989) sker denna process med utbyggnaden av rötterna senare än ökningen av barmassan. Risken för vindfällning ökar därför under de 3–4 första åren efter gödsling.

I en storskalig inventering av skadorna efter en höststorm i Finland konstaterade Laiho (1989) större avgång i gödslade bestånd än i ogödslade. Vid en indelning av materialet fann författaren att skadefrekvensen var störst tre till fyra år efter gödsling. Därefter avtog skadefrekvensen och när åtta år hade förflutit var skadefrekvensen mindre än i ogödslade bestånd. Detta kan förklaras av att barmassan då är tillbaka på sin normala nivå, medan trädens stabiliserande rötter blivit större.

Laiho (1989) fann också att skaderisken efter gödsling ökar mer hos tall än hos gran. Författaren förklarade detta med att den ljuskrävande tallens krona är förhållandevis högre belägen på stammen än granens krona, samt att tallen har mindre antal barrårgångar, vilket medför att den relativa förändringen av barrmassan blir högre för tall än för gran.

Under de fyra första åren efter ingreppet är gallring en ännu större riskfaktor för vindfällning än gödsling enligt t.ex. Laiho (1989). Gödsling av nygallrade bestånd är således särskilt riskabelt från vindfällningssynpunkt.

Snöskador drabbar träd med ensidiga kronor

Snöskador drabbar i första hand gängliga träd med ensidiga kronor. Sådana träd är särskilt utsatta för snöbrottsskador efter gödsling. Vid gödsling av yngre contortatall har stabiliteten en avgörande betydelse för risken för snöbrott och rotstjälp. Detta visar Skogforsks gödslingsverksamhet tydligt. För de tre försöksbestånd som bedömdes ha stabilitetsproblem vid anläggningen ökade omfattningen av snöbrott och rotstjälp markant på gödslingsytorna.

Motståndskraften mot vind- och snöskador påverkas av skogsskötseln

I ett gödslande skogsbruk är det viktigt för både produktionens och ekonomins skull att behandla bestånden så att de är så stabila som möjligt när gödsling sätts in. Den bästa motståndskraften mot snö- och vindskador erhålls med väl utförda röjningsinsatser samt låggallring (se t.ex. Pettersson, 2008).

2.12 Samordning mellan gödsling och gallring

Försöksverksamheten har visat att det sannolikt finns en positiv samspelseffekt på ca 1–2 kubikmeter per hektar genom att gödsla bestånd som är nygallrade samma år (Möller och Pettersson, 1980; Möller m.fl., 1991). Vid beslut om gödsling av nygallrade bestånd bör man dock väga in den större risken för vindfällning, som kombinationen av gallring och gödsling medför. Viktiga faktorer för riskbedömningen är röjnings- och gallringshistorik, men även sådana faktorer som markegenskaper och beståndets läge i terrängen har betydelse. Helst bör man vänta med gödsling ca 5 år efter gallring så bestånden hunnit stabilisera sig. Eftersom ett baskrav är att inte avverka i bestånd med pågående gödslingseffekt infinner sig då ett problem om man vill gödsla efter förstagallring i bördiga bestånd, eftersom behovet för andragallring kan uppstå redan 8–10 år efter förstagallringen.

2.13 Prognosinstrument för tillväxteffekter

De prognosinstrument som har tagits fram under årens lopp har samtliga byggts på ståndorts- och beståndsfaktorer samt gödslingsbehandling. Varken barr- eller markanalyser har varit till någon hjälp för att beräkna tillväxteffekter efter gödsling.

Prognosfunktioner från 1994

Det första prognosinstrumentet för gödslingseffekter i form av prognoskurvor för volymtillväxtökningen under fem år presenterades 1973 (Möller, 1973). Det nu gällande instrumentet kom 1994. Det består av prognosfunktioner för volymtillväxteffekten av stamved under de fem första åren (Pettersson, 1994a) och prognosfunktioner för total effekt och dess varaktighet samt fördelning över tiden (Pettersson, 1994b). Funktionerna från 1994 ger något lägre tillväxteffekter jämfört med funktionerna från 1980 (Rosvall, 1980; Pettersson, 1980a).

Förhållandevis stor spridning kring funktionerna

Underlaget till de nu gällande funktionerna från 1994 omfattade 961 försöksytor från 234 försökslokaler väl spridda över landet. Faktorer som latitud, höjd över havet, ståndortsindex (=ståndortsfaktorer), trädslag, löpande tillväxt (=beståndsfaktorer) samt gödselmedel och giva utgör de förklarande variablerna i funktionerna. Något förenklat kan man säga att funktionerna ger den genomsnittliga tillväxteffekten som erhållits på provytorna vid olika förutsättningar och gödslingsbehandlingar. Spridningen kring funktionerna var förhållandevis stor. Förmodligen ingick många ytor som hade en överskattad eller underskattad gödslings effekt, vilket torde ha resulterat i en överdriven variation i effekt i såväl materialet som kring funktionerna. För ett antal bestånd sammantaget ska dock funktionerna i genomsnitt ge säkra tillväxteffekter i medeltal. Ur de skogsgödslande företagens synvinkel torde denna säkerhet vara tillfyllest. För de privata skogsägarna är spridningen kring funktionerna en osäkerhetsfaktor vid gödslingsbeslut för enskilda bestånd.

Variationen i effekter kunde inte förklaras av väderleksdata eller markanalyser

På en del provytor i underlaget till prognosfunktionerna var effekten antingen betydligt bättre eller sämre än genomsnittligt enligt funktionerna. För att undersöka om dessa avvikande effekter kunde förklaras av speciella väderleksförhållanden under gödslingsperioden, eller av ståndortsförhållanden genomfördes en studie. Studie visade dock att väderleksdata och markanalyser gav ett mycket litet bidrag för att förklara variationen i tillväxteffekt (Pettersson, 1994a).

Högst tillväxteffekt i Norrland

Vid gödsling av lämpliga bestånd som uppfyller baskraven, med standardgivan 150 kg N/ha i form av AN, erhålls en total tillväxtökning på mellan 15–20 m³/ha i norra Sverige, 13–18 i mellersta och 12–17 i södra. Tillväxteffekten varar längst i norra (8–11 år) och kortast i södra Sverige (7–8 år). Studier av långsiktig tillväxt efter gödsling har inte visat på några signifikanta förändringar (Pettersson och Högbom, 2004). Efter det att gödslingseffekten ebbat ut återgår tillväxten till normal nivå.

Med stigande breddgrad och höjd över havet minskar medeltemperaturen samt vegetationsperiodens längd. Kvävemineraliseringen minskar med ökande kärvhet på klimatet. Depositionen av kväve minskar dessutom kraftigt i en gradient från söder till norr. Antalet barråtgångar på träden är vanligtvis fler i kärva klimatlägen. En generellt sett större kvävebrist och fler barråtgångar torde kunna förklara varför de högsta tillväxteffekterna och den längsta varaktigheten återfinns i norra Sverige. Varaktigheten är 1–2 år längre i gran än i tall, vilket kan bero på att granen bär fler barråtgångar.

Vid jämförbara förhållanden i övrigt blir gödslingseffekten något högre i gran än i tall. Resultaten från gödslingsförsöken i ung contorta pekar på att tillväxteffekten vid högre åldrar kommer att bli åtminstone likvärdig med den i tall och gran. Den största effekten erhålls normalt i bestånd på mellanboniteter. Tillväxteffekten gynnas av hög löpande tillväxt och de största effekterna brukar därför uppnås i medelålders bestånd. Vid utarbetandet av prognosfunktionerna kom variabeln beståndsålder att sakna betydelse som förklarande variabel. Åldern är dock starkt korrelerad med den löpande tillväxten.

Samband mellan giva och effekt

Sambandet mellan kvävegiva och tillväxteffekt är viktigt vid valet av gödslingsgiva. För AN gäller att på svaga marker ökar tillväxteffekten i stort sett rätlinjigt med ökad giva i intervallet 70–250 kg N/ha. På svaga marker nås maximal tillväxteffekt vid 300–350 kg N/ha som AN. På medelgoda och bättre marker är meravkastningen vid ökad AN-giva inom intervallet 150–250 kg N/ha starkt beroende av boniteten.

Låg N-giva ger mindre effekt per kilo N

Vid låga (<70 kg N/ha) eller höga givor blir effekten mindre per kilo tillfört kväve. Att en låg giva ger en mindre effekt per kilo kväve än en normalstor torde främst bero på att markens mikroorganismer konkurrerar med träden om kvävet. Mikroorganismerna är starka medtävlare och tillgodoser först sitt kvävebehov. Vid låga givor tar mikroorganismerna därför hand om en förhållandevis större andel av det tillförda kvävet, och det blir på så sätt en mindre andel över till träden. Det är sannolikt förklaringen till de lägre effekterna vid uppdelning av givan på flera spridningstillfällen.

Ojämn spridning reducerar tillväxteffekten i viss mån

Vid praktisk gödsling blir gödselspridningen alltid mer eller mindre ojämn, även om den är mycket bättre i dag genom navigeringshjälp med GPS. Ojämn spridning reducerar tillväxteffekten i viss mån, framför allt på medelgoda och bättre marker. Orsaken är de krökta sambanden mellan giva och tillväxteffekt. När man bestämmer medelgivan för ett bestånd bör man således ta hänsyn till det aktuella sambandet mellan kvävegiva och tillväxteffekt för ståndorten i fråga samt till förväntad spridningsjämnhet.

God tillförlitlighet för ett antal bestånd sammantaget

Prognosfunktionernas tillförlitlighet har studerats i flera undersökningar av praktiskt uppnådda tillväxteffekter. Överensstämmelsen mellan faktiskt uppnådda effekter och förväntade enligt prognosfunktionerna har varit god i medeltal för de undersökta bestånden (Pettersson, 1982; 1990b; 1997).

Biomassaproduktion

Utöver den effekt som erhålls av stammens volymtillväxtökning torde inte gödsling påverka trädens övriga biomassaproduktion nämnvärt. Visserligen kan N-gödsling påverka tillväxtens allokering mellan exv. produktionen ovan och under jord (Tamm, 1985; Linder, 1989) samt mellan trädens ovanjordsdelar (Axelsson, 1985, Valinger, 1990). Men, med tanke på de gödslingsregimer som används vid praktisk skogsgödsling samt att uppbyggnaden av exv. trädens barrbiomassa efter en gödsling är temporär, torde gödslade trädets totala biomassa inte avvika från ogödslade träd av samma storlek.

2.14 Genomförande och uppföljning av praktisk gödsling

Dålig flyggödsling konstaterades på 1980-talet

I en undersökning vid mitten av 1980-talet avseende spridningsjämnheten vid praktisk gödsling konstaterades att spridningen varit mycket ojämn med fastvingeflyg eller helikopter (Aregger & Pettersson, 1986). Dessutom avvek den uppmätta givan ganska mycket från den planerade i de flesta bestånden. Kunskapen att den praktiska gödslingsspridningen blir ojämn fanns redan på 1960-talet (Hagner m.fl., 1966), men hade fallit i glömska. Undersökningen av Aregger och Pettersson (1986) initierade omgående flera nya spridningsundersökningar. Dessutom utvecklades ett nära samarbete under några år mellan den tillämpade forskningen, gödslingsansvariga på företagen samt spridar-entreprenörer och piloter för att förbättra den praktiska gödslingen genom bättre planering, noggrannare beståndsval och jämnare spridning.

Införandet av GPS-navigering har betytt mycket för helikoptergödslingen

De nya undersökningarna bekräftade en stor spridningsojämnheter vid helikoptergödslingar (Freij och Hellström, 1988a; Freij och Hellström, 1988b), men även på spridningsojämnheter vid traktorgödsling (Freij och Hellström, 1988a). Bristande noggrannhet i navigeringen vid överflygningarna i beståndet konstaterades vara huvudorsaken till den dåliga spridningen vid helikoptergödsling. Navigeringshjälpmedel saknades och plastmarkeringar i toppen på träd i hörnen av gödslingsobjektet fungerade som riktmärken. Problem med fuktskadad gödsel pga. dålig lagring, dåligt kartmaterial med felaktiga arealer, förekomst av svårgödslade ”beståndstarmar” m.m. bidrog också till dåliga gödslingar. Eliminering av dessa problem samt inte minst införandet av GPS-navigering under mitten av 1990-talet har förbättrat helikoptergödslingarna i hög grad.

Traktorgödsling medger ståndortsanpassad gödsling

Vid traktorgödsling är en viss spridningsojämnheter ”inbyggd” genom att traktorn är hänvisad till stickvägar, om inte skogen är gles. I tätare bestånd kan en del träd stå i vägen för spridaren, vilket påverkar jämnheten negativt. Med traktorspridning kan gödslingen ståndortsanpassas genom att variera givan i bestånden, samt att stänga av spridaren då partier som inte är gödslingsvärda passeras.

Valet mellan helikopter och traktor

Helikoptergödsling passar bäst för samlade gödslingsarealer med stora och någorlunda enhetliga bestånd, helst utan insprängda impediment, bäckar m.m. Traktorspridning fungerar bäst i gallrad, inte allför stamtät skog. Bestånden kan vara små och oregelbundna, men de bör ligga nära väg.

Andra brister konstaterade

I samband med spridningsundersökningarna uppmärksammades att en del uttagna gödslingsbestånd inte var riktigt gödslingsvärda. Brister identifierades också i samordningen mellan gödsling och avverkning. Dessutom konstaterades att det överblivna gödslet efter avslutad gödsling spreds i nygödslade bestånd, med dubbel giva och mycket små mereffekter som följd.

Ändrade rutiner hos företagen

Dessa upptäckter ledde till framtagandet av baskraven och till att företagen ändrade sina rutiner. Från att tidigare helt förlitat sig på beståndsregistret övergick företagen till fältbesiktning av de tänkbara gödslingsbestånden. Tveksamma bestånd inventerades från marken. Numera är det vanligt att bestånden inte enbart besiktigas från effektsynpunkt utan även utifrån naturvärdessynpunkt. Dessutom uttogs reservbestånd för överbliven gödsel. Företagen började också systematiskt att följa upp spridningsresultaten med en metod framtagen av Freij och Pettersson (1988). Denna uppföljningsrutin ingår även i Skogforsks handledning för skogsgödsling (Jacobson m.fl., 2005).

3. Gödslingsekonomi

3.1 Mer volym och grövre virke

Skogsgödsling ger mer volym och grövre virke. Utöver den ökade virkesvolymen ökar värdet på hela det stående virkesförrådet när träden blir grövre. Den ökade inkomsten av gödsling består således av två komponenter, volymeffekt och dimensionseffekt. Dimensionseffekten består av följande delar:

1. Grövre träd ger ökat timmerutbyte
2. Grövre timmer betalas bättre
3. Grövre träd är billigare att avverka per m³

Av gödslingsintäkten brukar vanligtvis 60–70 % utgöras av volymökningen medan 30–40 % är en effekt av högre värde per kubikmeter (t.ex. Jacobson m.fl., 2005).

3.2 Gödsling är en investering

Engångsgödsling 10 år före slutavverkning för privata skogsägare

Gödsling är investering, med en tidshorisont på åtminstone ca 10 år (gödsling 10 år före slutavverkning) innan gödslingsintäkten i form av mer avverkningskvantiteter kan realiseras. I normalfallet måste man räntebelasta investeringen, för att kunna bedöma lönsamheten, samt för att kunna jämföra med andra möjliga investeringsalternativ. Med dagens gödslingskostnad (ca 3 000 kr/ha för skogsföretagen) och virkespriser blir den årliga förräntningen av engångsgödsling före slutavverkning normalt i intervallet 7–15 %. För privata skogsägare är det en engångsgödsling ca 10 år före slutavverkning som kan vara ekonomiskt intressant.

Betydligt lägre förräntning vid start i medelålders bestånd och omgödslingar

Vid gödsling tidigare under omloppstiden, och med mer omfattande gödslingsprogram, sjunker den årliga förräntningen dramatiskt (Jacobson och Pettersson, 2003). Detta beror på att gödslingskostnaderna måste belastas under många år, ända fram till dess att investeringen realiseras vid slutavverkning.

Vid gödsling tidigt under omloppstiden, mellan första och andra gallring, kommer tidpunkten för andra gallring något eller några år tidigare. Uttaget i andra gallring bör dock bli detsamma som i alternativet utan gödsling. Värdet av tidsvinsten för gallringsuttaget blir dock mycket liten i sammanhanget, det är först vid slutavverkning som gödslingsvinsten faller ut.

3.3 "SCA-modellen"

Mer omfattande gödslingsprogram som en del skogsföretag tillämpar med start i medelålders bestånd och med omgödslingar, kan motiveras om man kan nyttja gödslingsintäkten utan att behöva räntebelasta kostnaderna. En modell för hur detta kan gå till presenterades av SCA på 1960-talet (Hagner m.fl., 1966). Modellen kan beskrivas på följande sätt:

Den extra tillväxt som ett års gödsling kan förväntas ge räknas in i företagets virkesbalanser och tas ut redan samma år i helt andra bestånd. I inledningsfasen av ett gödslingsprogram ökar därför den årliga slutavverkningsarealen och man får extra skogsvårdskostnader som kan förknippas med gödslingsaktiviteten. Samtidigt startar en förrådsuppbyggnad i gödslade bestånd. Efter 8–10 år börjar avverkningarna att beröra tidigare gödslade bestånd, som har mer och grövre skog än normalt. Efter hand kommer en allt större andel av slutavverkningarna att beröra gödslade bestånd. När gödslingsprogrammet fått genomslag på bred front i den äldre skogen behöver ingen större slutavverkningsareal än normalt tas i anspråk. Slutavverkningarna ger mer och grövre virke per hektar.

Vid tillämpning av SCA-modellen brukar man använda framställningskostnaden, kronor per framgödsblad kubikmeter, som lönsamhetsmått. Med gödslingskostnaden 3 000 kr per ha och en förväntad genomsnittlig tillväxtökning på 15 m³sk/ha blir framställningskostnaden 200 kr per kubikmeter. Framställningskostnaden brukar jämföras med aktuell köpkostnad.

4. Diskussion

4.1 Praktiska hinder för skogsgödsling

Skogsstyrelsens allmänna råd för kvävegödsling

Skogsstyrelsens allmänna råd för kvävegödsling (www.skogsstyrelsen.se) är beträffande möjligheten till gödsling samt totalgivor under en skogsgeneration differentierade på fyra olika landsdelar. Farhågor för negativa miljöeffekter av kväve, samt den atmosfäriska depositionen av kväve ligger bakom landsindelningen.

Gödsling av tallbestånd inte tillåten i Götaland

I hela Götaland (område 1 och 2) avråds från kvävegödsling på fastmark. Inom område 2, den nordöstra delen av Götaland, tillåts dock kvävegödsling med maximalt 150 kg N/ha i grandominerade bestånd under en skogsgeneration, under förutsättning att GROT (grenar och toppar) skördats, eller planeras att skördas, i samband med slutavverkning. I Götaland avråds således från gödsling av tallbestånd. De nuvarande råden är ett hinder för gödsling av de kanske mest lönsamma objekten i södra Sverige, de högkvalitativa slutavverkningsbestånden med tall i inre Småland. En uppluckring av råden för Götaland skulle troligen inte innebära någon större ökning av gödslingsarealen, eftersom de privata skogsägarna är så dominerande i Södra Sverige.

Rekommendation om högsta totalgivor är ett hinder för skogsföretagen

För skogsföretagen i mellersta och norra Sverige är rekommendationerna om högsta totalgiva under en skogsgeneration ett hinder. I mellersta Sverige (område 3) rekommenderas högst 300 kg N/ha och i norra Sverige (område 4) 450 kg N/ha. För sämre och medelgoda ståndortsindex finns utrymme för fyra gödslingar under omloppstiden vid beaktandet av gödslingsintervall på minst 10 år. På de bördigare gödslingsmarkerna finns det utrymme för tre gödslingar. En uppluckring av råden för totalgivor i mellersta och norra Sverige skulle således ge skogsföretagen ökade möjligheter att utnyttja skogsgödslingsåtgärden.

Lönsamheten avgörande

Hur hög lönsamhet en åtgärd har påverkar givetvis omfattningen av åtgärden. Avgörande för skogsgödsling är gödslingskostnad, tillväxtökning och virkespriser. Gödselmedlet står för 70 % av den totala gödslingskostnaden, och priset på skogsgödsel har ökat kraftigt under de senaste åren. Till följd av den ökade gödslingskostnaden är framställningskostnaden per kubikmeter ganska hög i dag (200 kr, utan räntebelastning).

Bristande gödslingskunskaper hos olika aktörer

Generellt sett torde kunskaperna om skogsgödsling vara dåliga hos de privata skogsägarna. Historiskt sett har varken skogsägarföreningar eller Skogsstyrelsen ägnat sig åt gödslingsinformation. Under de senaste åren har skogsägarföreningarna börjat informera om skogsgödsling via skogsägarträffar och

informationsmaterial. Hälften av de privata skogsägarna är dock inte föreningsanslutna, och dessa skogsägare saknar således gödslingsinformatör.

Kunskaperna om skogsgödsling torde i allmänhet vara ganska begränsade hos olika aktörer i det praktiska skogsbruket, fränsett de gödslingsansvariga hos skogsföretagen. Detta kan i sig utgöra ett hinder för saklig och relevant information om skogsgödsling till privata skogsägare. T.ex. är mötena mellan de privata skogsägarna och virkesköpare, skogsinspektorer etc. viktiga för den privata skogsägaren beträffande kunskapsuppbyggnaden i skogsfrågor.

Nedre gräns på 50 hektar för att anlita spridarentreprenör

För att det ska vara lönsamt att anlita en traktorspridarentreprenör krävs att det finns en sammantagen areal på åtminstone 50 hektar inom ett begränsat område. Det krävs sålunda samverkan med andra skogsägare för att en privat skogsägare ska kunna få gödsling utförd. Historiskt har detta arealkrav med säkerhet varit ett stort gödslingshinder för privata skogsägare. Sedan några år tillbaka har skogsägarföreningarna tagit på sig en samordnande roll för att få ihop tillräckligt stora gödslingsarealer. Även skogsföretagen kan ställa upp och hjälpa sina privata virkesleverantörer med gödsling, genom att samordna dessa gödslingar med sina egna. En väl fungerande samordning och samverkan är således viktig för privatskogsbrukets del för att planerade gödslingar verkligen ska komma till stånd.

Finansieringen kan vara ett hinder

Skogsvårdsinsatserna internfinansieras i regel av avverkningsnettona. Det är sannolikt endast i undantagsfall som skogsägare lånar pengar externt, t.ex. på bank, för att genomföra åtgärder som plantering och skogsgödsling. För skogsgödsling i privatskogsbruket är det således viktigt att det finns pengar på skogskontot som kan användas till gödslingsinvestering. Medlen på skogskonto ska täcka plantering, röjning, avbetalning på lån, privat konsumtion etc., varför det kan antas att finansieringen kan vara ett hinder för skogsgödsling för en del intresserade privata skogsägare. I privatskogsbruket är också många fastigheter samägda, vilket också kan utgöra ett hinder för skogsgödsling.

Skogsföretagen drar ner på gödslingsambitionen under lågkonjunktur

Genom årens lopp har gödslingsarealen i landet varierat ganska kraftigt, till stor del beroende på konjunkturläget. I tider med lågkonjunktur och sämre kassaflöden hos företagen har gödslingsarealerna minskat och vice versa.

4.2 Maximal gödslingsareal i framtiden?

Allt för stora gödslingsarealer på 1970- och 1980-talen

Under 1970- och 1980-talen gödslade skogsföretagen i princip alla bestånd som ansågs gödslingsvärda, med täta intervall på 4–6 år, samt med ibland bristande samordning mellan gödsling och avverkning. Som mest uppnåddes en areal på ca 190 000 hektar i landet år 1979. I efterhand, med betydligt bättre kunskaper tillgängliga, kan det konstateras att lönsamheten i många av dessa gödslingar måste ha varit svag. Detta p.g.a. betydande inslag av olämpliga bestånd, avverkningar i bestånd med pågående effekt, för täta gödslingsomdrev och förekomsten av dåliga flyggödslingar. Företagen agerade på de kunskaper och råd som fanns tillgängliga då de praktiska gödslingsbesluten togs. Det kan konstateras att kunskaperna var för dåliga när det gällde saker som t.ex. beståndsval och effekter av olika gödslingsintensitet.

Nuvarande gödslingsrekommendationer ger avsevärt lägre gödslingsarealer än historiskt

De nuvarande råden och rekommendationerna för skogsgödsling, med striktare beståndsval, långa gödslingsintervall samt kravet på samordning mellan gödsling och avverkning sänker den möjliga årsarealen gödsling rejält. Enligt uppgifter från flera skogsföretag gödslar man nu nära nog allt som är möjligt, eftersom man har svårt att finna ytterligare arealer. Med tanke på att det finns utrymme för ytterligare någon gödsling under en skogsgeneration, om Skogsstyrelsens allmänna råd skulle revideras och ge möjlighet till utökad gödsling, kan bedömningen göras att ca 100 000 hektar är den högsta möjliga årliga gödslingen i storskogsbruket.

Drygt 100 000 hektar i årlig maximal gödslingsareal

För privatskogsbrukets torde den praktiskt möjliga gödslingsarealen i landet uppgå till omkring 40 000 hektar per år (Rosvall och Jacobson, 2004). Detta är framräknat för en engångsgödsling under en skogsgeneration av all gödslingsvärd skogsmark. I privatskogsbruket har gödslingsaktiviteterna varit små allt sedan den praktiska gödslingen startades för snart 50 år sedan, något tusental hektar per år. Det finns således en stor potential för ökning av skogsgödsling i privatskogsbruket.

Det faktum att skogsägarföreningarna börjat informera sina skogsägare om gödsling, samt kan bistå med samordningen, kan möjligen få en del privata skogsägare intresserade av gödsling. I övrigt har det inte tillkommit några nya, avgörande skäl för att intressera fler privata skogsägare för skogsgödsling. En hel del privata skogsägare har eftersatt röjning, och dessa skogsägare bör prioritera röjning före gödsling. Ett troligt scenario är att det inte kommer att förändras särskilt mycket när det gäller gödslingsarealer i privatskogsbruket i framtiden. Den högsta, rimliga årsarealen med gödsling i landet torde således inte ligga nämnvärt högre än 100 000 hektar.

4.3 Behov av framtida FoU-insatser

Upprätthålla kompetens

Kunskaperna om skogsgödslingens produktionseffekter liksom om det praktiska genomförandet av åtgärden är goda. Det finns dock flera skäl till att bedriva forskning och utveckling i viss omfattning. Ett skäl är helt enkelt att upprätthålla kunskap och kompetens i skogsgödslingsfrågor. Den tillämpade forskningen är en viktig förmedlare av kunskaper och gödslingsråd till skogsägare.

Kontroll av tillväxteffekter

Genom att varje, eller kanske vartannat år, anlägga gödslingsförsök kan man fortlöpande kontrollera tillförlitligheten hos de befintliga prognosfunktionerna. Sedan några år tillbaka har Skogforsk anlagt sådana försök. I bakgrundsmaterialet till prognosfunktionerna var de färskaste provytorna gödslade 1987. Från ”psykologisk” synpunkt, samt för att kunna ta ”rätta” gödslingsbeslut, torde den här föreslagna övervakande insatsen vara viktig för det gödslande skogsbruket.

Utredning av gödsling i medelålders bestånd med contortatall

I dag finns ca 600 000 hektar med contortatall. Arealmässigt är contortatallena ett mycket betydelsefullt trädslag i vissa delar av Norrland. En hel del av contortabestånden befinner sig nu i gödslingsvärd ålder. Gödsling av yngre contortatall har visat att contortatall reagerar bra på gödsling, men också på att trädstabiliteten kan utgöra ett problem. Det finns således skäl för att utreda tillväxteffekter och stabilitetsfrågor vid gödsling av medelålders contortabestånd.

Nya prognosfunktioner

Prognosfunktionerna är 15 år gamla. Det har tillkommit en hel del gödslingsresultat sedan dess. Nya funktioner skulle ge en bättre täckning av vissa beståndstyper och ålderstadier. Ett samarbete, inkl. utbyte av försöksmaterial med Finland, är troligen fullt möjligt. De nya gödslingsfunktionerna bör utformas så att de enkelt kan infogas i system för avverkningsberäkningar.

För privata skogsägare är det viktigt att prognosfunktionerna och andra gödslingshjälpmedel kan prognostisera tillväxteffekter noggrannare för enskilda bestånd, än vad som nu är fallet. Den fördjupade ståndortsanalysen, och de markkemiska undersökningarna kunde inte förklara avvikande tillväxteffekter i försöksmaterialet till 1994 års prognosfunktioner. Detta bör dock inte utgöra hinder för att göra ett ytterligare försök att ta fram kunskaper för förbättring av tillväxtprognoser för enskilda bestånd. En hårdare sortering på jämförbarheten beträffande bestånds- och ståndortsdata mellan kontroll- och gödslingsytor inom enskilda block bör dock göras jämfört med 1994. Tillväxteffekten efter gödsling är en skattning, baserad på tillväxten på ogödslade kontrolltytor. För att kunna erhålla tillförlitliga gödslingseffekter är det nödvändigt med mycket god jämförbarhet.

Referenser

- Ahlström, K., Persson, H. & Börjesson, I. 1988. Fertilization in a mature Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) – effects on fine roots. *Plant and Soil* 106, 179–190.
- Albrektsson, A., Aronsson, A. & Tamm, C.O. 1977. The effect of forest fertilization on primary production and nutrient cycling in the forest ecosystem. *Silva Fennica*. Vol. 11 (3), 233–239.
- Aregger, M. & Pettersson, F. 1986. Dålig spridningsjämnhet vid flyggödsling (Institutet för skogsförbättring, Gödslingsinformation 1985/86 nr 2), 4s. Uppsala.
- Axelsson, B. 1985. Biomassautvecklingen i Stråsanförsöket. *K. Skogs- o. Lanbr.akad. Tidskr. Suppl.* 17: 40-51.
- Eriksson, A. 1981. Tillväxteffekt efter gödsling med långsamverkande kvävegödselmedel (Institutet för skogsförbättring, Information gödsling nr 1 1981/82), 4 s. Uppsala.
- Eriksson, A. 1982. Ett försök med uppdelad kvävegiva (Institutet för skogsförbättring, Information gödsling nr 3, 1981/82), 4 s. Uppsala.
- Erkén, T. & Frick, P-E. 1969. Kvävegödsling på snö och barmark (Institutet för skogsförbättring, Information gödsling nr 1 1969/70), 4 s. Uppsala.
- Friberg, R. 1974. Jämförelser mellan träds volym-, grundyte- och höjdtillväxt efter gödsling I: Årsbok 1973 (Föreningen skogsträdsförädling och Institutet för skogsförbättring), 76–123. Uppsala.
- Freij, J. & Hellström, C. 1988a. Spridningsteknik vid skogsgödsling - problem och möjligheter. *Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Stencil*, 1988-02-06. 57 s.
- Freij, J. & Hellström, C. 1988b. Ojämn spridning vid helikoptergödsling (Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Resultat nr 4, 1988), 4 s. Stockholm.
- Freij, J. & Pettersson, F. 1988. Uppföljning av skogsgödsling (Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Resultat nr 10, 1988), 4 s. Stockholm.
- Hagner, S., Saraste, J., Johansson, B. & Åhgren, A. 1966. Virkesframställning genom skogsgödsling. I: *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift*, Häfte 2 1966, 103–171. Stockholm.

- Hynynen, J. 1995. Predicting the growth response to thinning for Scots pine stands using individual-tree growth models. *Silvia Fennica* 29 (1995): 225-246.
- Jacobson, S. & Nohrstedt, H.-Ö. 1993. Effects of repeated nitrogen supply on stem growth and nutrients in needles and soil (Skogforsk, Report No 1, 1993), 36 s. Uppsala.
- Jacobson, S. & Pettersson, F. 2001. Growth responses following nitrogen and N-P-K-Mg additions to previously N fertilized Scots pine and Norway spruce stands on mineral soils in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 31:899-909.
- Jacobson, S. & Pettersson, F. 2003. Ny vår för skogsgödslingen? (Skogforsk, Resultat nr 23, 2003), 6 s. Eskilstuna.
- Jacobson, S., Pettersson, F., Högbom, L. & Sikström, U. 2005. Skogsgödsling – en handledning från Skogforsk. 55 s. Gävle.
- Jansson, G. 1985. Tillväxteffekter vid gödsling med ammoniumnitrat och kalkammonsalpeter (Institutet för skogsförbättring, Gödslingsinformation nr 2 1984/85), 4 s. Uppsala.
- Jonsson, S. & Möller, G. 1976. Kvävegödsling av björk (Institutet för skogsförbättring, Information gödsling, nr 2, 1976/77), 4 s. Uppsala.
- Laiho, O. 1989. Gödslingens inverkan på storm- och snöskador. I: Skogsgödslingen och miljön. Centralskogsnämnden Skogskultur.
- Linder, S. 1989. Nutritional Control of Forest Yield. I: Nutrition of trees. The Marcus Wallenberg foundation, Symposia Proceedings 6: 62-87. Falun.
- Melin, 1986. Omsättning och fördelning av gödselkväve i tre barrskogsekosystem i Mellansverige (Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig marklära, Rapport 55 1986), 122 s. Uppsala.
- Mäkinen, H. & Isomäki, A. 2004. Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Norway spruce trees. *Forest Ecology and Management* 201 (2-3): 295-309.
- Möller, G. 1968. Den praktiska skogsmarksgödslingens inverkan på virkets kvalitet (Institutet för skogsförbättring, Information gödsling nr 1, 1968/69), 8 s. Uppsala.
- Möller, G. 1972. Tillväxtökning genom gödsling. Analys av äldre gödslingsförsök. I: Årsbok 1971 (Föreningen skogsträdsförädling, Institutet för skogsförbättring), 50-86. Uppsala.
- Möller, G. 1973. Prognoskurvor för gödslingseffekt i tall och gran (Institutet för skogsförbättring, Information gödsling, nr 2 1972/73), 8 s. Uppsala.
- Möller, G. 1982. Gödslingstidpunktens betydelse för gödslingseffekten. I: Årsbok 1981 (Föreningen skogsträdsförädling, Institutet för skogsförbättring), 46-84. Uppsala.
- Möller, G. 1983. Borbristskador efter upprepad kvävegödsling på fastmark. I: Årsbok 1982 (Föreningen skogsträdsförädling, Institutet för skogsförbättring), 47-70. Uppsala.
- Möller, G. 1984. Den praktiska skogsgödslingens inverkan på avrinningsvattnet. I: Årsbok 1983 (Föreningen skogsträdsförädling, Institutet för skogsförbättring), 67-105. Uppsala.
- Möller, G. & Pettersson, F. 1980. Samspelseffekter mellan gödsling och gallring I: årsbok 1979 (Föreningen Skogsträdsförädling, Institutet för skogsförbättring), 62-116. Uppsala.

- Möller, G., Tveite, B., Gustavsen, H.G. & Pettersson, F. 1991. Gödslingens tidsmässiga anpassning till gallring. Delresultat från en 9-årig samnordisk studie (Institutet för skogsförbättring, Rapport nr 23, 1991), 42 s. Uppsala.
- Nohrstedt, H.-Ö. 1988. Ytvattenkemiska effekter av skogsgödsling med kalkkamonsalpeter i ett försurat område (Institutet för skogsförbättring, Rapport nr 5), 34 s. Uppsala.
- Nohrstedt, H.-Ö. 1990. Tillväxteffekter vid gödsling med olika näringsämnen i barrskog. I: Liljelund, L. E. m.fl., (Ed.). Skogsvitalisering-Kunskapsläge och forskningsbehov. Naturvårdsverket. Solna. Rapport 3813: 71–83.
- Nohrstedt, H.-Ö., Sikström, U. & Ring, E. 1993. Experiments with vitality fertilization in Norway spruce stands in southern Sweden (Skogforsk, Report No. 2, 1993), 36 s. Oskarshamn.
- Nömmik, H. 1984. Skogsgödslingens markpåverkan I: Skogsgödsling och miljön (Sveriges lantbruksuniversitet, Skogsfakta, supplement Nr 5, 1984), 18-24. Uppsala.
- Palmér, C. H. 1988. Skogsgödsling. Fastmarksgödslingens biologi, ekonomi och miljöeffekter. Institutet för skogsförbättring, 47 s. Uppsala.
- Persson, H. 1992. Factors affecting fine root dynamics of trees. SUO 43(4-5): 163-172.
- Pettersson, F. 1980a. Gödslingseffektens fördelning över tiden (Institutet för skogsförbättring; Information gödsling nr 3 1979/80), 6 s. Uppsala.
- Pettersson, F. 1980b. Gödslingseffektens fördelning på diameterklasser (Institutet för skogsförbättring, Information gödsling nr 1 1980/81) 4 s. Uppsala.
- Pettersson, F. 1981. Gödslings- och gallringseffekter i konfliktbestånd (Institutet för skogsförbättring, Information gödsling nr 2 1981/82), 8 s. Uppsala.
- Pettersson, F. 1982. Kontroll av effekt efter praktisk gödsling (Institutet för skogsförbättring, Information gödsling nr 1 1982/83), 4 s. Uppsala.
- Pettersson, F. 1984. Uppdelad kvävegiva (Institutet för skogsförbättring, Information gödsling nr 1 1983/84), 4 s. Uppsala.
- Pettersson, F. 1985. Gödslingseffekter i plant- och ungskog. I: Årsbok 1984 (Föreningen skogsträdsförädling och Institutet för skogsförbättring), 87–116. Uppsala.
- Pettersson, F. 1986. Uppdelning av kvävegivan ökar inte gödslingseffekten (Institutet för skogsförbättring, Information gödsling nr 1, 1986/87), 4 s. Uppsala.
- Pettersson, F. 1987. Förlängt gödslingsomdrev minskar kubikmeterkostnaden (Institutet för skogsförbättring, Gödslingsinformation Nr 3 1986/87), 6 s. Uppsala.
- Pettersson, F. 1990a. PK-spåret (Institutet för skogsförbättring, Information Växtnäring-skogsproduktion Nr 1 1990/91), 4 s. Uppsala.
- Pettersson, F. 1990b. Gödslingseffekter i praktiken – en jämförelse med Skogsförbättrings prognosfunktioner (Institutet för skogsförbättring, Information Växtnäring-skogsproduktion, Nr 3 1990/91), 4 s. Uppsala.

Pettersson, F. 1994a. Predictive functions for impact of nitrogen fertilization on growth over five years (Skogforsk, Report No. 3, 1994), 56 s. Oskarshamn.

Pettersson, F. 1994b. Predictive functions for calculating the total response in growth to nitrogen fertilization, duration and distribution over time (Skogforsk, Report No. 4, 1994), 34 s. Oskarshamn.

Pettersson, F. 1997. Utvärdering av tillväxteffekter i 21 praktiskt gödslade försök hos Stora Skog AB (Skogforsk, Arbetsrapport nr 380, 1997). Uppsala.

Pettersson, F. 2008. Effekter av gallringsform i tallförsöket Kolfallet. Ett underlag för utformningen av olika gallringsstrategier (Skogforsk, Redogörelse Nr 4 2008), 46 s. Gävle.

Pettersson, F., Palmér, C. H. & Freij, J. 1988. Handledning Skogsgödsling. Forskningstiftelsen Skogsarbeten. 32 s. Kista.

Pettersson, F. & Palmér, C.H. 1989. Gödsling av fröträd (Institutet för skogsförbättring, Information Växtnäring – skogsproduktion, nr 1 1989/90), 2 s. Uppsala.

Pettersson, F. & Högbom, L. 2004. Long-term growth effects following forest nitrogen fertilization in *Pinus sylvestris* and *Picea abies* stands in Sweden. *Scand. J. For. Res.* 19:339-347, 2004.

Rosvall, O. 1980. Prognosfunktioner för beräkning av gödslingseffekten I: Årsbok 1979 (Föreningen skogsträdförädling, Institutet för skogsförbättring), 70–130. Uppsala.).

Rosvall, O. & Jacobson, S. 2004. Ökad produktion genom intensifierad föryngring, förädling och gödsling. I: Ökad produktion i familjeskogsbruket – analys av tillväxthöjande och skadeförebyggande åtgärder (Skogforsk, Arbetsrapport nr 574, 2004), 4-25. Uppsala.

Saramäki, J. 1980. The effect of nitrogen fertilization on the stem form of Scots pine. *Commun. Inst. For. Fenn.* 99(4), 1-46.

Tamm, C. O. 1985. DE skogliga bördighetsförsöken. Mål, metoder, tillväxtresultat. *K. Skogs- o. Lanbr.akad. Tidskr. Suppl.* 17: 9-29.

Tamm, C. O. 1991. Nitrogen in terrestrial ecosystems. *Ecol. Studies*, Vol. 8. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 115 pp.

Valinger, E. 1990. Inverkan av gallring, gödsling, vind och trädstorlek på tallars utveckling. *SLU, Inst. för skogsskötsel, Akad. avh.* Umeå.

Bilaga 2

Behovsanpassad gödsling av unga granbestånd

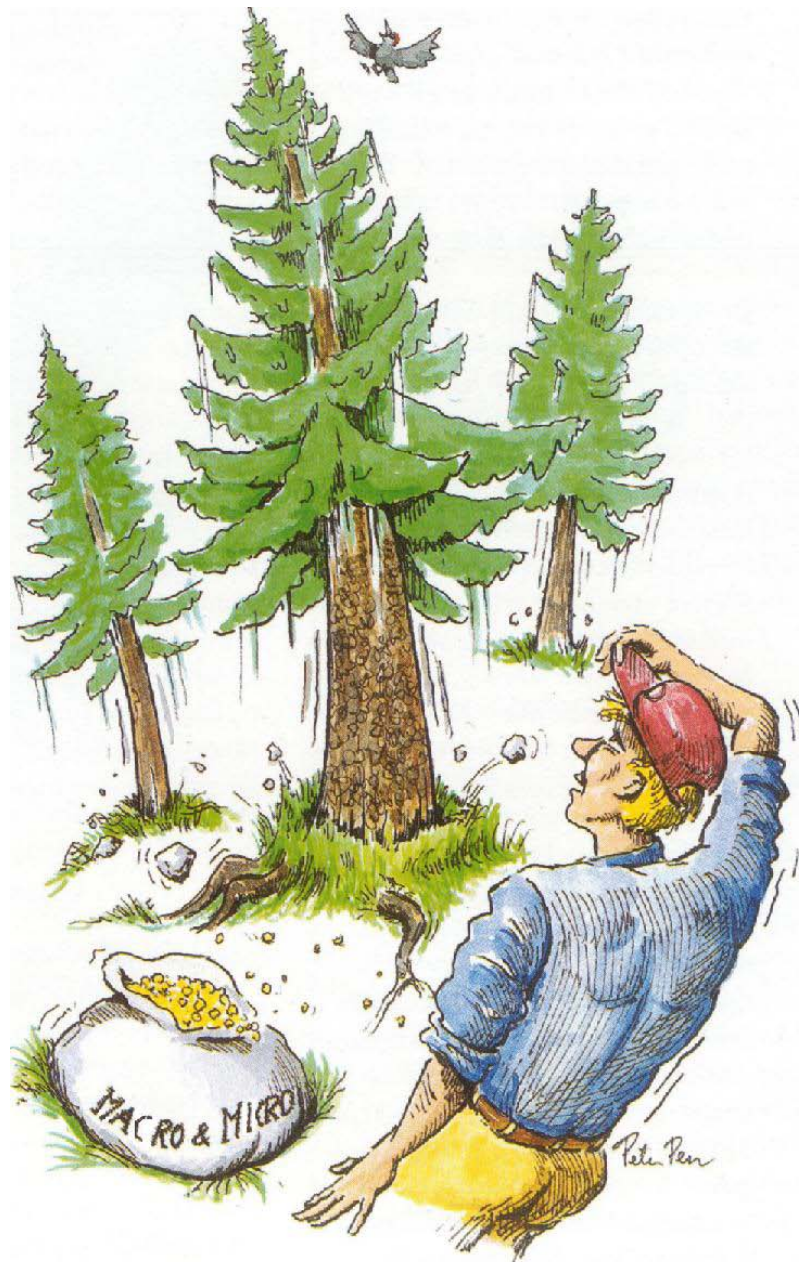


Illustration: Peter Roberntz

Principer för behovsanpassad gödsling (BAG)

Utgångspunkt för den behovsanpassade gödslingen (BAG) är att samtliga näringsämnen skall tillföras i den takt och mängd som träden behöver dem. Principen bygger på fyra antaganden; 1) Optimal "vitalitet" och tillväxt hos en växt kan endast förekomma ifall samtliga essentiella växtnäringsämnen föreligger i rätt proportioner; 2) Inom en stor variationsbredd av näringskoncentrationer i växten är det inte koncentrationen av näringsämnet i sig som avgör dess "vitalitet" utan ämnets koncentration i förhållande till kvävekoncentrationen är minst lika viktig; 3) För att optimera biomassaproduktionen i ett givet klimat bör samtliga essentiella näringsämnen tillföras i förhållande till beståndets näringsbehov. Mängden bör om möjligt också anpassas till aktuell näringstillgång i marken (mineraliseringshastighet minus fastläggning) samt upptag av konkurrerande vegetation; 4) De optimala proportionerna mellan näringsämnen är lika för alla högre växter och kan definieras i förhållande till kväve.

För att i praktiken kunna applicera BAG krävs dels en diagnostisk bladanalys för att fastställa kväve-status samt andra ämnens aktuella proportioner till kvävet. För att sedan beräkna den initiala gödselgivan behövs en uppskattning av hur mycket, och vilken sammansättning av gödselmedel som krävs för att uppnå rekommenderade "börvärden" i relation till stående biomassa och förväntad tillväxt. Med nuvarande kunskap och teknik kan ingen hög precision erhållas i dessa uppskattningar utan en förnyad diagnostisk provtagning krävs för att inför nästa gödslingstillfälle kunna ytterligare finjustera mängd och sammansättning av gödselgivan. Exempel på hur detta genomförts i långliggande försök och i halvpraktisk skala redovisas längre fram i rapporten. Där visas också hur man genom BAG, trots höga gödselgivor ($> 1000 \text{ kg N ha}^{-1}$) kan undvika eller minimera näringsläckage.

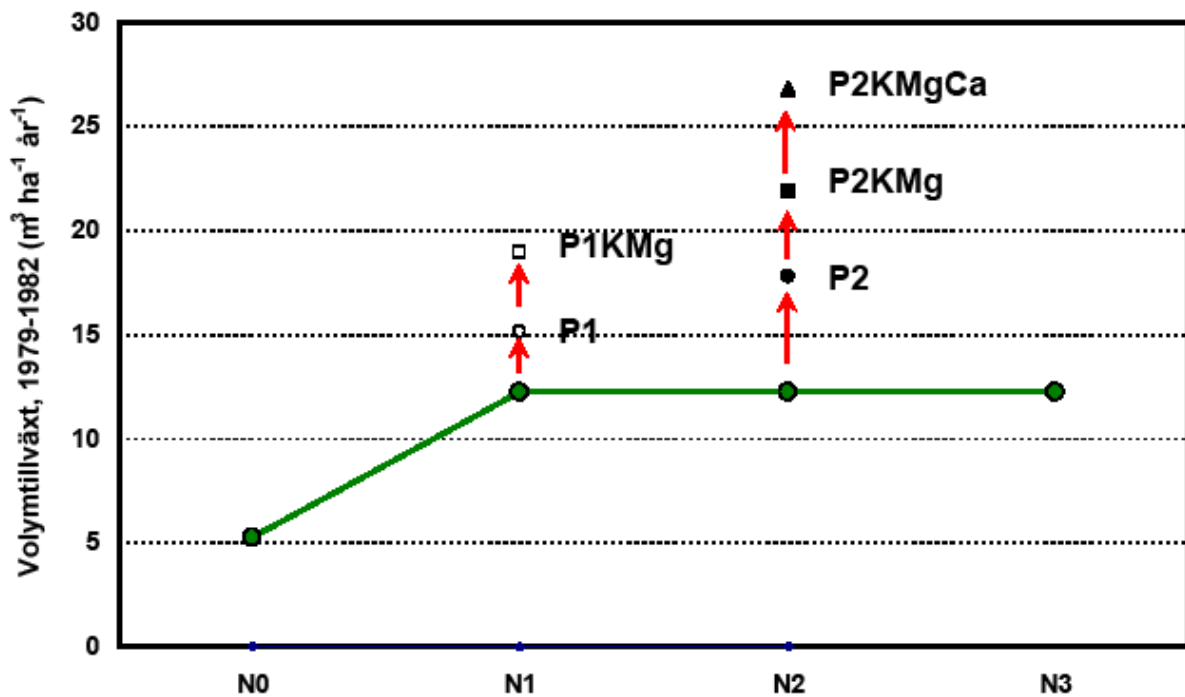
Historik

I slutet av 1800-talet kunde Ebermayer (1876) visa den negative effekten på tillväxten i tyska tallbestånd där man årligen samlade barrförna som användes som strö i ladugårdarna. Henrik Hesselman var en av de första svenska skogsforskarna som tidigt intresserade sig för kväveomsättningen i skogsmark (Hesselman, 1917). Han var också den förste som experimentellt tillförde kvävegödselmedel i skogsbestånd. Även om ytorna oftast var små, och utan upprepningar, och gödselgivorna ibland för höga, så var behandlingseffekterna drastiska (Romell & Malmström 1945). Det tog dock ända fram till mitten av 1950-talet innan man vid Skogsforskningsinstitutet anlade väl designade "intensiva" gödslingsförsök med årliga givor av kväve och andra näringsämnen i två unga granbestånd (Tamm 1968). Målet med dessa försök var att försöka fastställa den optimala barrkvävehalten hos gran samt i vilken omfattning som andra näringsämnen (P, K) påverkade tillväxten. Resultaten visade att en optimal barrhalt av kväve var omkring 1,5% av torrvikten. Effekten av PK var inte lika klar även om det fanns en signifikant effekt på volymtillväxten. Försöken visade dock klart på behovet av långsiktiga fältexperiment för att fastställa biomassaproduktionen i skogsekosystem vid optimal näringstillgång samt att fastställa eventuellt negativa effekter av behandlingarna i form av markförurning, näringsläckage och förändrad biodiversitet.

Med detta som bakgrund anlade Carl Olof Tamm under perioden 1967 – 1974 de "Skogliga bördighetsförsöken" (Tamm *et al.* 1974ab) som bestod av långsiktiga experiment i unga bestånd av gran (Stråsan och Åseda) och tall (Lisselbo och Norrliden). Experimenten var faktoriella med årliga gödslingar med kväve (tre nivåer) kombinerat med övriga makronäringsämnen som gavs vart annat eller vart tredje år (enskilt eller i kombination). Experimenten visade än en gång att kvävetillgången kraftigt begränsar tillväxten i de flesta nordliga barrskogar (Foto 1). När kvävebehovet uppfyllts ökade dock inte tillväxten om inte övriga näringsämnen också tillförts (Figur 1).



Foto 1. Flygbild av bördighetsförsöket "Stråsan" åtta år efter att behandlingarna påbörjats. Försöket var ett faktoriellt experiment där kväve gavs varje år och övriga makro-näringsämnen (P, K, Ca, Mg) vart annat eller vart tredje år (Tamm *et al.* 1974a). Parceller där kväve ingick i behandlingen avtecknar sig tydligt genom den mörkgröna färgen och de täta krontaken. (Fotograf: C.O. Tamm)



Figur 1. Den årliga volymtillväxten ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$) i Stråsan under perioden 1979 – 1982 vid tre kvävegödslingsnivåer (N1, N2, N3) och olika mängder av P, K, Mg, Ca. Behandlingarna påbörjades 1967 och

fram till 1982 hade N1-ytorna gödslats med 750 kg N ha⁻¹ och N2- och N3-ytorna med dubbelt, respektiver tre gånger så mycket. (Efter Linder 1990)

Bördighetsförsöken har genererat en stor mängd ny kunskap om näringsdynamiken i barrskogsekosystem och hur manipulering av näringstillgången påverkar biomassaproduktion, virkesegenskaper, markbiologi, markkemi, markvatten och övrig vegetation. Listan över vetenskapliga publikationer från experimenten är mycket omfattande men en god start kan vara att läsa Tamm (1985, 1991), Aronsson *et al.* (1999), Tamm *et al.* (1999) och Högberg *et al.* (2006).

En central insats för utvecklingen av kunskapen om växters, främst skogsträdens, växtnäringsbehov är den forskning som utfördes av Torsten Ingestad. Hans studier av skogsplantors tillväxt vid optimal och begränsad näringstillgång lade grunden till det som idag kallas behovsanpassad gödning (BAG). Han fastställde det optimala näringsbehovet för barrträdplantor (exv. Ingestad 1959, 1979b), björk (Ingestad 1971, 1979a) och ett flertal andra växter (Ingestad 1977). Baserat på dessa resultat utvecklades en komplett näringslösning som användes i många av landets plantskolor.



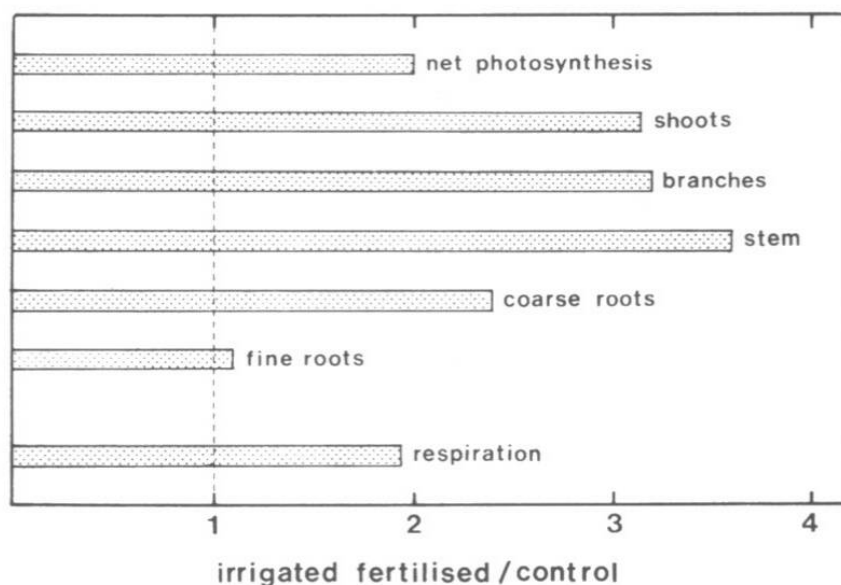
Foto 2. Exponentiell tillväxt hos björkplantor vid olika relativ tillförselhastighet av växtnäring. Plantorna till vänster har haft fri tillgång av en balanserad näringslösning och plantorna till höger har odlats med samma näringslösning men med en relativ tillförselhastighet på 10% per dag. Åldern på den högra plantan i respektive bild är fyra (vänster bild) respektive sju veckor (höger bild). (Foto: T. Ingestad)

I början på 1970-talet initierades ett stort skogligt forskningsprojekt "Barrskogslandskapets ekologi" (Persson 1980) vars mål var att studera en nordlig barrskogs struktur och funktion. Bland de experiment som anlades var ett näringsoptimeringsförsök i ett ungt tallbestånd (Aronsson *et al.* 1977; Aronsson & Elowson 1980). Experimentet var ej ett traditionellt gödslingsförsök utan avsikten var att skapa bestånd med olika näringsstatus och tillväxthastighet som kunde utnyttjas i ekofysiologiska forskningsprojekt avseende kol-, vatten- och näringsdynamik.

En komplett näringslösning baserad på Ingestads resultat tillfördes bestånden varje dag under tillväxtsäsongen och den dagliga givan var anpassad till en antagen till-växtkurva. Trädens närings-status följdes med barranalyser och den årliga mängden applicerat gödselmedel anpassades för att upprätthålla optimal kvävestatus. Däremot gjordes ingen justering av näringslösningens sammansättning.

Inga försök gjordes heller för att anpassa den årliga givan för att undvika näringsläckage, det vill säga att behandlingen var en tillväxtoptimering snarare än en behovsanpassad gödsling. Som en jämförelse fanns även ytor som behandlades som N2-ledet på Stråsan, dvs årlig gödsling med kväve samt kalium och fosfor vart annat år. Förutom obehandlade kontroller ingick även ytor som enbart bevattnades.

Tillväxteffekterna av näringsbevattning var kraftiga och sex år efter att behandlingen påbörjats var stamvedsproduktion nästan fyra gånger högre på de näringsbevattnade ytorna jämfört med kontrollytor



Figur 2. Effekten av näringsbevattning på den årliga fotosyntesproduktionen och fördelningen av assimilant på olika biomassakomponenter i 20-åriga tallbestånd i Jädraås. De redovisade värdena är det relativa förhållandet mellan näringsoptimerade och obehandlade bestånd. Mätningarna utfördes sex år efter att behandlingen påbörjats (Linder & Axelsson 1982).

Ökning i stamvedstillväxt kunde inte enbart förklaras av en ökad fotosyntesproduktion utan en kraftig förändring av allokeringen av det bundna kolet hade också skett med en markant ökning till de ovanjordiska biomassakomponenterna (Figur 2). Den relativa kostnaden för markprocesserna (% av den årliga fotosyntesproduktionen) minskade från två tredjedelar i kontrollbestånden till en tredjedel i de näringsoptimerade. Även årliga givor av fasta gödselmedel gav en kraftig tillväxtökning men enbart bevattning gav ingen effekt.

Baserat på erfarenheterna från Stråsan och Jädraås initierade Korsnäs AB under 1980-talet ett trettiotal praktiska ungskogsgödslingförsök. Försöken lades ut i bestånd med olika ålder, mark- och beståndsförhållande. Vissa bestånd behandlades med olika gödslinggivor men kan inte anses ha varit ett försök med BAG. De flesta bestånden gödslades under 4 - 5 år men behandlingarna upphörde 1989, vilket var för tidigt och inoptimalt för att få full gödseffekt i ungskog (Bergh & Willén 2006).

Det internationella intresset för experimenten i Jädraås var stort och under 80-talet anlades experiment enligt den "Svenska modellen" med *Pinus radiata* i Australien (Linder *et al.* 1987) och *Eucalyptus globulus* i Portugal (Pereira *et al.* 1989; 1994). Liksom i Jädraås gav näringsoptimering en mycket kraftig ökning av stamvedsproduktionen och översteg klart befintliga produktionstabeller. Full tillväxteffekt erhöles dock i dessa försök endast när näringstillförseln kombinerades med bevattning.

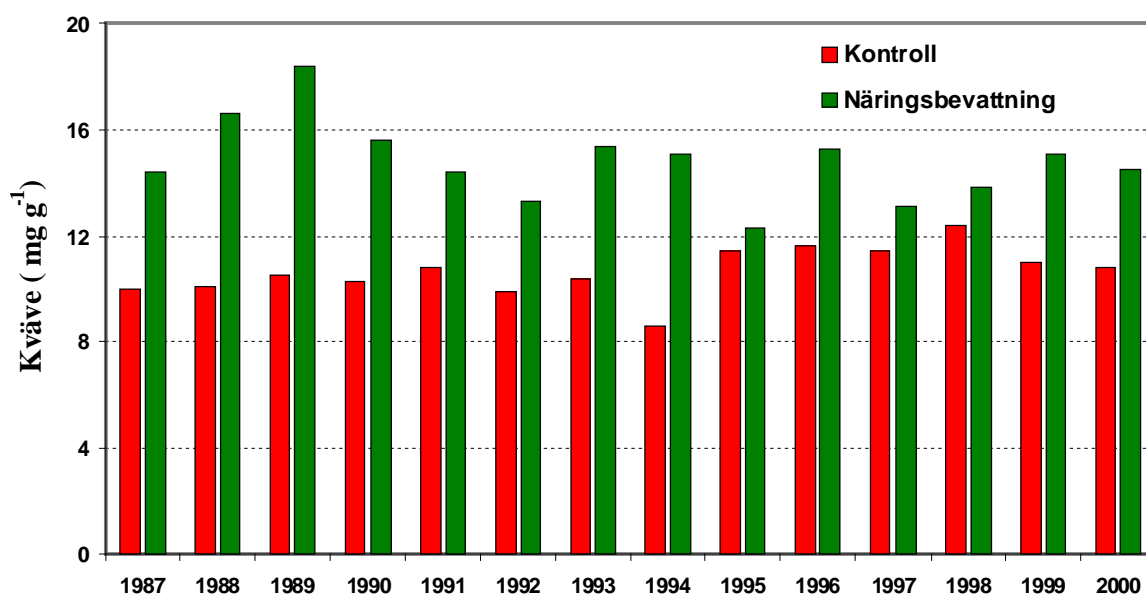
I slutet av 1980-talet anlades en ny generation produktionsoptimeringsexperiment i unga granbestånd i Västerbotten (Flakaliden) och Småland (Asa) vilka fortfarande (2009) pågår. Målet med dessa experiment är att fastställa den potentiella produktionskapaciteten hos gran då endast klimatet och

genetiken sätter begränsningarna (Linder 1990; Linder & Flower-Ellis 1992). Till skillnad från de tidigare försöken ingår också ett krav på att näringsläckage skall undvikas. Två näringsoptimeringsled ingår i experimentet, ett där en komplett näringslösning (IL) ges varannan dag under tillväxtsäsongen (juni – augusti) och ett där en komplett mix av fasta gödselmedel (F) ges årligen i början av växtsäsongen. Bevattning sker för att hålla markvattentillgången på en icke tillväxtbegränsande nivå.

Beståndens näringsstatus följs med upprepade barranalyser under året och jämförs med uppsatta ”börvärden” som anses optimala (Tabell 1). För att kontrollera att inget läckage förekommer insamlas markvatten rutinmässigt under rotzonen och analyseras på innehåll av näringsämnen (Grip 2006). Baserat på denna information anpassas sedan mängd och sammansättning av näringsstillförseln under det kommande året. Trots de stora mängder kväve ($> 1100 \text{ kg N ha}^{-1}$) och andra näringsämnen (Tabell 2) som tillförts har inga eller ytterst små mängder näringsämnen uppmäts i markvätskan (Grip 2006).

Tabell 1. Optimala ”börvärden” för näringsämnen i ettåriga granbarr som används i experimenten på Flakaliden och i Asa. Koncentrationen av kväve [N] anges i mg g^{-1} (strukturell vikt) och andra värden i procent av kväve (per vikt). Baserat på nya forskningsresultat ändrades några börvärden 1990 och 1993. För att beräkna [N] uttryckt per total torrsvikt, under perioder då ingen stärkelse lagras i barr, skall [N] minska med ca 10%. För ytterligare information se Linder (1995) och Bergh *et al.* (1999)

	Makronäringsämnen						Mikronäringsämnen					
	N	P	K	Ca	S	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu	B	Mo
1987	[20]	15	45	7	6	5	0.4	0.7	0.3	0.03	0.05	0.007
1990	[18]	10	35	2.5	5	4	0.4	0.7	0.3	0.03	0.05	0.007
1993	[18]	10	35	2.5	5	4	0.05	0.2	0.05	0.03	0.05	0.007

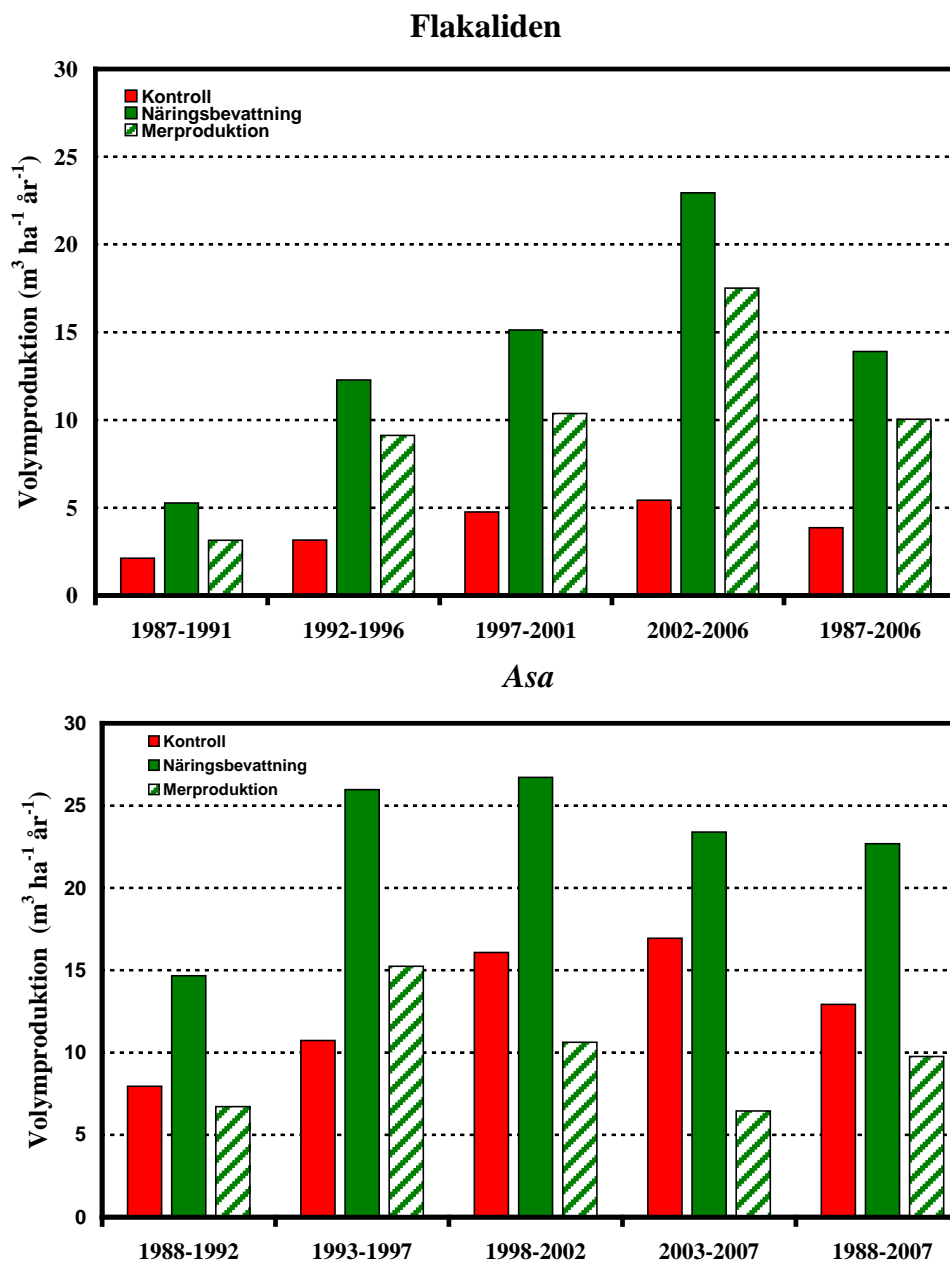


Figur 3. Kvävekoncentrationen (mg N g^{-1} torrsvikt) i ettåriga granbarr på obehandlade och näringsbevattnade ytor i Flakaliden under perioden 1987 till 2000. Börvärdet som var $\sim 16 \text{ mg N g}^{-1}$ torrsvikt överskreds under det andra och tredje året vilket indikerade att den initiala givan på $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ översteg det faktiska behovet, varför den årliga givan av N reducerades till 75 kg N ha^{-1} . Barrproverna togs på senhösten och mellanårsvariationen i barrhalter avspeglar i huvudsak ”årsmånen” för tillgängligt markkväve under hösten.

Tabell 2. Mängden makronäringsämnen (N, P, K, Ca, Mg och S) som tillförts de näringsbevattnade (IL) och fastgödslade (F) bestånden i Flakaliden och Asa under perioden 1987 – 2003. Den årliga mängden och sammansättningen av gödselmedlet avpassades i relation till barrhalter (Figur 3) och börvärden (Tabell 1). För ytterligare information se Linder (1995) och Bergh *et al.* (1999)

Ämne Behandling	Kväve		Fosfor		Kalium		Kalcium		Magnesium		Svavel	
	IL	F	IL	F	IL	F	IL	F	IL	F	IL	F
Flakaliden	1350	1300	212	232	592	592	79	113	116	125	53	137
Asa	1100	1100	346	344	674	687	72	71	165	189	99	206

Effekten av den behovsanpassade gödningen (BAG) gav drastiska effekter på volymtillväxten under den första femårsperioden i såväl Flakaliden som Asa (Figur 4). Under denna period var behandlings-effekten lika stor i fastgödselledet som med näringsbevattning. Liksom i näringsoptimeringsförsöket med tall i Jädraås (Linder & Axelsson 1972) var en stor del av den ökade stamvedsproduktionen effekten av en förändrad fördelning av assimilerat kol till biomassa över och under mark (Bergh *et al.* 1999). Under de följande åren, när bestånden nått full slutenhet, var det dock i Asa en effekt av bevattning, där produktionen vissa år reducerades på grund av låg nederbörd. På Flakaliden ökade den årliga volymproduktionen stadigt under de första 20 åren av försöksperioden (1987 – 2006) men nådde sitt maximum på Asa efter 15 år (Figur 4). Det var en nedgång i produktion i samtliga behandlingsled i Asa under den sista femårsperioden. Orsaken är troligen ”sviter” efter stormen Gudrun samt en massiv kottsättning vilket tillsammans reducerat barrmassan och därmed produktionen under ett flertal år. Under de senaste åren har dock en återhämtning kunnat noteras. Den genomsnittliga merproduktionen under de första 20 åren av BAG har varit $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ i såväl Flakaliden (G22) som i Asa (G32).



Figur 4. Årlig stamvedsproduktion i unga granbestånd med behovsanpassad gödsling (BAG) i Flakaliden (Västerbotten) och Asa (Småland) uttryckt som årlig volymproduktion ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$) per femårsperiod under försökens första 20 år. Den årliga merproduktionen för respektive period visas med streckade staplar. Resultaten avser obehandlade kontrolltytor och tytor som näringsbevattnats varannan dag under tillväxtsången (juni – augusti).

Produktionspotential hos gran i Sverige

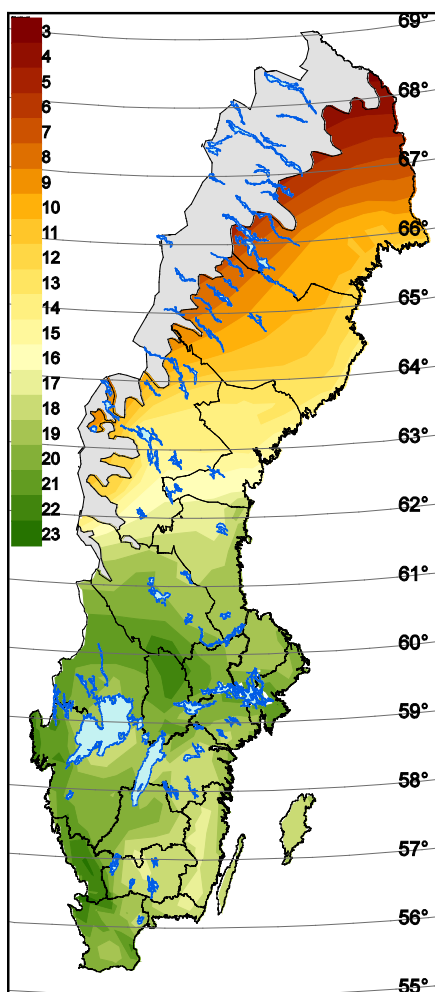
Med utgångspunkt från de långsiktiga experimenten i Flakaliden och Asa, kombinerat med klimatdata för landet, är det möjligt att med hjälp av en processbaserad simuleringsmodell uppskatta den potentiella produktionen hos gran i Sverige (Bergh *et al.* 2005).

Den teoretiska produktionspotentialen hos våra barrträd styrs av mängden solljus under vegetationsperioden och mängden barr som kan absorbera ljuset. Vid jämförelse mellan mängden absorberat ljus under vegetationsperioden och stamvedsproduktionen erhålls ett starkt linjärt samband (Bergh *et al.*

1999, 2005). I norra Sverige är vattentillgången (nederbörd - avdunstning) under sommarmånaderna vanligtvis inte begränsande för produktionen. Så är dock inte alltid fallet i södra Sverige, särskilt inte i de östra delarna, där vattentillgången under sommaren ibland kan minska produktionen markant.

Generellt kan man säga att den potentiella produktionen ligger högt över den aktuella var man än befinner sig i Sverige (Figur 5). Rent teoretiskt skulle BAG kunna öka produktionen med cirka $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ för de flesta regioner inom Sverige och i relativa tal skulle ökningen vara allra störst i Sveriges mellersta och norra delar.

Omloppstidens längd är starkt beroende av tillväxthastigheten och kommer därför att kraftigt förkortas ifall man optimerar tillförseln av näringsämnen enligt principen BAG. Idag avverkas en G18 - G20 i norra Sverige efter ca 130 - 150 år och en G32 - G34 i södra Sverige efter 75 - 100 år. Skulle man öka tillväxten hos gran enligt potentialkartorna skulle omloppstiden kunna förkortas med ca 40 - 60 år i norra och 20 - 30 år i södra Sverige (Bergh *et al.* 2005).



Figur 5. Potentiell stamvedsproduktion ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$) under en omloppstid för granbestånd som gödslas enligt principen "behovsanpassad gödning (BAG)". Skattningen är baserad på resultat från experiment där BAG använts samt klimatdata från SMHI.

Internationella experiment med BAG

Det internationella intresset av experimenten med BAG i Flakaliden och Asa är stort och har lett till många samarbetsprojekt vilket med tydlighet framgår av den publiceringslista som återfinns i slutet av

rapporten. Även om den föreliggande rapporten fokuseras på BAG av ung granskog i Sverige finns det inget som talar emot att principen inte är generell och kan appliceras på andra trädslag. Detta har visats genom ett flertal BAG experiment enligt ”The Swedish model” som anlagts i andra länder. Det första anlades av Prof. Lee Allen med loblolly pine (*Pinus taeda*) i North Carolina, USA (Albaugh *et al.* 1998) och har sedan följts av experiment med maritime pine (*Pinus pinaster*) i Frankrike (Trichet *et al.* 2008), och flooded gum (*Eucalyptus grandis*) i Sydafrika (Campinon *et al.* 2006). Det senaste tillskottet är att i Hawkesbury Forest Experiment utanför Sydney i Australien behandlas Sydney blue gum (*Eucalyptus saligna*) och Mugga ironbark (*Eucalyptus sideroxylon*) med ett fullskaligt BAG-experiment.

Förutom den publicering som analyserat olika aspekter av BAG har det från experimenten i Flakaliden publicerats ytterligare ett 100-tal uppsatser där infrastrukturen och de långa mätserierna utnyttjats för att studera olika aspekter av struktur och funktion i en medelålders boreal granskog.

BAG utnyttjas inte bara för att fastställa den potentiella produktionsnivån hos ett trädslag i ett visst klimat utan är också ett kraftfullt forskningsverktyg för att bättre kunna studera andra produktionsfaktorerers inverkan på skogens struktur och funktion. Ett sådant aktuellt område är eventuella effekter av klimatförändringar och kvävedeposition på skogsekosystemets kol- och näringsdynamik.

Tillämpad vidareutveckling av BAG

I mitten av 90-talet såg skogsnäringen behov att utveckla nya skogsskötselmetoder för att öka tillväxten av skogsråvara och kunna bibehålla avverkningsnivåerna. De resultat som försöken i Flakaliden och Asa redan då visat gjorde att man tog initiativet till en utredning avseende behovet av forsknings- och utvecklingsarbete för en intensivare ungskogsskötsel (Vollbrecht 1996). Utredningen lade grunden till ett temaforskningsprogram, *Fiberskog*, som finansierades gemensamt av skogsfakulteten och skogsindustrin.

Målsättningen inom *Fiberskog* var att utveckla riktlinjer samt ett beslutsunderlag om hur hög produktion av gran kan bedrivas i praktiken. Inom programmet studerades effekter av BAG på biomassaproduktion, miljö, föryngring, skogsskötsel, vedegenskaper, planering, och ekonomi. Inledningsvis utnyttjades i stor utsträckning den pågående verksamheten i Flakaliden och Asa men ett nytt BAG-experiment anlades också på bördig åkermark i Hjuleberg (Halland). I Hjuleberg kompletterades behandlingarna också med studier av möjligheten att utnyttja aska och slam som ”gödselmedel”.

Efter en positiv utvärdering av den första programperioden (1997 – 2000) förlängdes programmet med ytterligare en period (2001 – 2006). Förutom i ett antal vetenskapliga publikationer sammanfattades huvudresultaten i en slutrapport (Bergh (ed) 2000). Ytterligare information återfinns på *Fiberskogs* hemsida <<http://www-fiberskog.slu.se>>.

Under den andra programperioden anlades två nya försöksserier med balanserad näringstillförsel; (i) *Intervallförsöken* (2002) som är fem geografiskt spridda försök där man studerar gödslingsintervalllets inverkan på produktion, ekonomi och miljö och (ii) *bolagsförsöken* (2003) med syfte att följa produktion, ekonomi och miljöeffekter vid praktisk operationell drift (Figur 6). Den andra programperiodens resultat finns sammanfattade i Bergh & Oleskog (2006).

Efter den andra programperiodens slut har delar av de tidigare projekten inom *Fiberskog* drivits vidare med annan finansiering och från 2009 ingår de långsiktiga intervallförsöken i det nya tvärvetenskapliga forskningsprogrammet *Future Forests* <<http://futureforests.se>> där BAG kommer att testas på större arealer än tidigare i de nya ”produktionsparker” som 2009 etablerats i norr (Västerbotten) och söder (Småland).



Figur 6. Spridning inom landet av basförsök (●), intervallförsök (■) och bolagsförsök (▲).

Intervallförsök

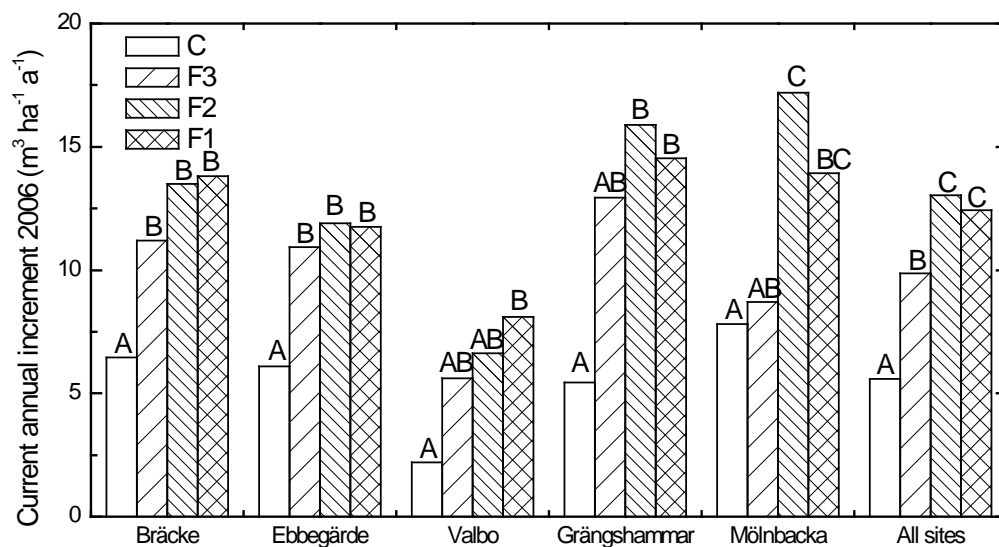
I näringsoptimeringsförsöken i Flakaliden och Asa har man årligen reglerat trädens näringsstatus i förhållande till uppsatta börvärden, vilket inneburit att de årliga gödselgivorna varit relativt låga och att näringsläckage till grundvattnet har undvikits.

I praktiskt skogsbruk blir årlig gödsling ett alltför intensivt och därmed dyrbart skötselprogram. Gödsling vartannat eller vart tredje år kan dock vara ett tänkbart alternativ som är ekonomiskt realistiskt. Den fråga som ställs i intervallförsöken är om man kan erhålla samma tillväxteffekt om man gödslar med något eller några års mellanrum och hur mycket av den potentiella produktionen som förloras ifall man förlänger tiden mellan omgödslingarna. Om man gödslar med något eller några års mellanrum krävs det dock att man tillför större näringsmängd vid varje tillfälle för att kunna upprätthålla önskad näringsstatus och därmed bibehålla en hög produktionsnivå. En kärnfråga i en framtida praktisk tillämpning av BAG är hur man ska anpassa näringsgivan vid olika gödslingsintervall för att minimera risken av näringsläckage till grundvattnet utan att förlora alltför stor andel av den potentiella produktionen.

I intervallförsöken ingår förutom obehandlade kontroller försöksled som gödslas varje år (F1), vart annat år (F2) eller vart tredje år (F3). I F1-leden har kvävegivan varit $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ under de tre första åren och därefter $75 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Vid gödsling vartannat år (F2) har N-givan initialt varit 150 kg N ha^{-1} och därefter $125 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, och vid gödsling vart tredje år (F3) har givan första året varit 180 kg N ha^{-1} och vid omgödsling 150 kg N ha^{-1} . Under den första femårsperioden har F1-leden erhållit största näringsgivan, 450 kg N ha^{-1} , F2: 400 kg N ha^{-1} och F3: 330 kg N ha^{-1} . Övriga näringsämnen har också tillförts. När försöken anlades installerades lysimetrer för att kunna provta och analysera markvattenkemin. Inget läckage har förekommit i F1-leden men efter första årets gödsling

av F2- och F3-leden med 150, respektive 180 kg N ha⁻¹ fanns förhöjda halter av nitrat i markvattnet (Grip 2006). Eftersom näringsläckage skall undvikas har därför kvävemängden vid respektive omgödsling minskats.

Vid försöksstarten 2002 var granbestånden 2 - 5 meter höga och tillväxten ca 2 m³ ha⁻¹ år⁻¹. Jämfört med de andra lokalerna var Mölnbacka (Värmland) något förväxande i termer av stående volym, medan Valbo (Gästrikland) låg något efter de övriga. Detta är sannolikt orsaken till en del av de skillnader som uppmättes efter fem års behandling (Figur 7). Den löpande tillväxten 2006 var i medeltal densamma (ca 14 m³ ha⁻¹ år⁻¹) vid gödsling varje år (F1) eller vart annat år (F2). Tillväxten i bestånd som gödslats vart tredje år (F3) var drygt 10 m³ ha⁻¹ år⁻¹ medan de ogödslade kontrollerna (C) hade en löpande tillväxt på ca 5 m³ ha⁻¹ år⁻¹. Det är dock för tidigt att säga något säkert om skillnader mellan de olika behandlingarna eftersom försöken fortfarande är i sin linda. Produktionsnivån för gödsling varje (F1) och vartannat år (F2) är dock hittills i paritet med försöken i Flakaliden och Asa.



Figur 7. Löpande tillväxt (m³ ha⁻¹ år⁻¹) för de olika behandlingarna i intervallförsöken samt löpande tillväxten som medelvärde för de fem försökslokalerna. Behandlingarna är ogödslad (C), gödsling varje (F1), vart annat (F2), eller vart tredje år (F3). Första gödslingstillfället i samtliga försöksled var 2002 och redovisade värden är från revision 2006. Staplar med samma bokstav är ej signifikant skilda. (Från Bergh *et al.* 2008)

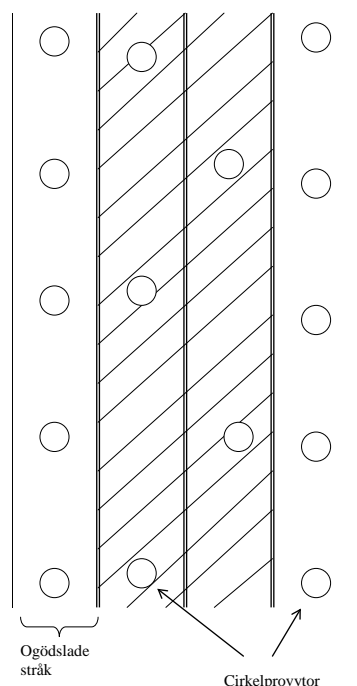
Bolagsförsök

Som ett praktiskt komplement till intervallförsöken har anlagts en serie ”bolagsförsök” som sker i större och mer praktisk skala. Sex försök, med god geografisk spridning, anlades under våren 2003. Försöken är belägna i Toftaholm i Ljungbytrakten, Bullsäng i närheten av Tranemo, Gullspång, Hällefors och Gällivare. Dessa försök finansieras av respektive markägare (Södra, Skogssällskapet, Sveaskog, Bergvik). Ytterligare två bolagsförsök anlades under 2004 i Gullspång (Skogssällskapet) och Vendel (Bergvik).

Bolagsförsöken följer i princip F2-ledet i intervallförsöken och gödslingen sker med traktor i ett GIS-planerat stickvägssystem vartannat år. För att kunna utvärdera försöken har 40 cirkelprovytor (ett bestånd per område) lagts ut i gödslade (10 st) och ogödslade stråk (10 st) med 40 meters bredd (Figur 8). I cirkelprovytorna har lysimetrar installerats där prov av markvattnet tas för analys varje höst efter gödsling. För att kunna detektera eventuellt läckage tas även vattenprover i bäckar som eventuellt finns nedströms i försöksområdena. Barrprov tas för näringsanalys varje höst efter gödsling. Gödsling

är planerad att ske vartannat år fram till dess att bestånden sluter sig vilket kan ta 6 - 10 år beroende på var i landet man befinner sig och på utgångsläget i de gödslade bestånden.

Bolagsförsöken är liksom intervallförsöken ännu i sin linda men liknar i mångt och mycket praktisk drift. Tillväxtmässigt har bolagsförsöken uppvisat gödslingseffekter av samma storleksordning som i de tidigare mer välkontrollerade experimenten. Däremot har ca 10% av arealen inte kunnat gödulas av praktiska skäl (hällmark, diken, mm) och dessutom har körstråken i ungskogen sannolikt lett till viss minskning av arealproduktionen.



Figur 8. Principskiss på hur bolagsförsöken är utformade och provytorna är utlagda. Varje stråk har en bredd av 40 meter.

Praktisk tillämpning av BAG

Anpassning av skogsskötselåtgärder vid behovsanpassad gödning (BAG)

Näringsstillförseln vid BAG sker i form av ett fullgödselmedel där mängd och sammansättning baseras på analyser av näringsinnehåll i barrprover som tagits i det aktuella beståndet. För gran är riktvärdet att barren ska innehålla ~ 1,5% kväve av barrrens torrsvikt (Jfr. Figur 3). Behovet av övriga växnäringsämnen (makro- och mikro) kan beräknas med hjälp av börvärden som är satta i relation till kväveinnehållet (Linder 1985). Vid beräkning av startgivan bör hänsyn även tas till bonitet och beståndsstruktur (slutenhet, barmassa, etc.).

För att uppnå optimal tillväxteffekt under ungskogsfasen bör gödslingen ske vartannat år, från att träden är cirka 2 - 3 m fram till att beståndet slutit sig. Därefter kan gödslingsintervallen minskas markant. Ett granbestånd anses slutet när beståndet är i övre delen av kurvan i befintliga gallringsmallar. Med stöd av dagens kunskap och erfarenheter bedöms att ett bestånd i södra Sverige kan komma att gödulas 4 - 5 gånger under ungskogsfasen och att ytterligare ett par gånger kan behövas i norra Sverige. Eftersom de äldsta experimenten med BAG i granbestånd endast är drygt 20 år gamla (Flakaliden och Asa) finns det ingen praktisk erfarenhet från BAG i medelålders och äldre bestånd.

Det är därför ytterst angeläget att dessa och senare experiment kan drivas vidare och generera ny kunskap och erfarenhet som kan appliceras i praktisk tillämpning.

Eftersom balanserad näringstillförsel innebär en kraftig bonitetshöjning bör skötselmetoder som används för att sköta bestånd på väldigt produktiva ståndorter vara lämpliga att även användas i bestånd behandlats med BAG. För att minimera näringsläckage i samband med gallringar och slutavverkning bör exempelvis gödsling ej ske alltför tätt inpå den planerade åtgärden. Risken för näringsläckage kan även minskas vid gallring och avverkning genom skörd av GROT (grenar och toppar). Skötseln vid balanserad näringstillförsel kommer dock slutligen att bero på skogsägarens långsiktiga målsättning och vad som bedöms som ekonomiskt optimalt.

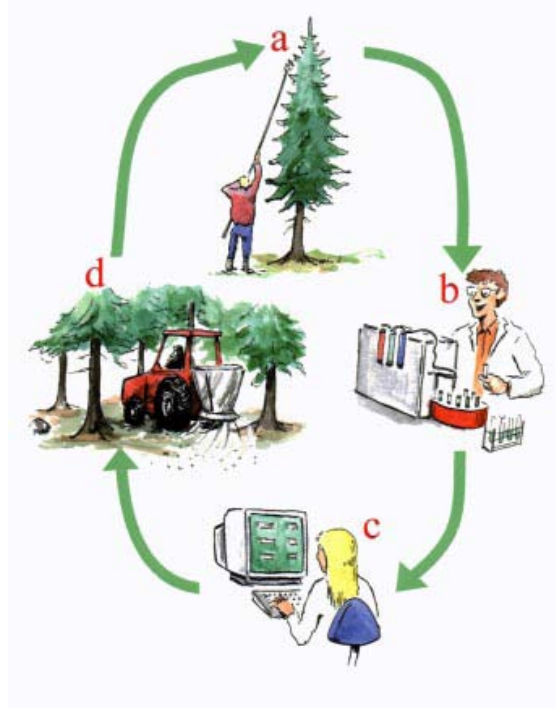
Val av bestånd

Behovsanpassad gödsling (BAG) bör endast utföras i bestånd där den inte medför eller riskerar negativ påverkan på områden med höga natur- och kulturvärden. Marken bör sedan tidigare vara nyttjad för konventionellt produktionsskogsbruk och vara klassificerad som frisk fastmark med ett tillräckligt jorddjup. Bestånden ska vara grandominerande och välföryngrat utan stora luckor. Jordtexturen bör vara klassificerad som sandig-moig eller finare och inte genomsläpplig. Som genomsläppliga räknas jordar av grovsand, sandiga moräner och grövre jordarter. Marken bör ha en tydlig B-horisont, vilken har god potential att binda eventuellt läckande näringsämnen. Läget i terrängen bör vara sådant att det kan karakteriseras som ett inströmningsområde. Utströmningsområden bör undvikas eftersom det kan innebära förhöjd risk för näringsläckage. Lavdominerade marker ska inte ungskogsgödas, d.v.s. marker där lavar utgör mer än 50% av bottenkiktet. I övrigt bör hänsyn tas till de begränsningar som anges i Skogsstyrelsens allmänna råd punkt 3.2-3.4.

När kan BAG introduceras i full skala

Balanserad och behovsanpassad gödsling (BAG) vilar efter decennier av forskning och försöksverksamhet på en god vetenskaplig grund. Metoden kan redan nu etableras i pratisk skala och stora produktionsökningar kan erhållas med minimal risk för icke önskvärda näringsläckage till grundvatten eller kringliggande vattendrag. Den pågående långsiktiga försöksverksamheten har en god geografisk spridning och utgör ryggraden för en snabb och säker anpassning av BAG till praktisk tillämpning. Utifrån ny kunskap och erfarenhet kan och bör man kontinuerligt följa upp, anpassa och modifiera metoden.

Med det krav på lämpliga marker och bestånd som beskrivits ovan kan man med hjälp av Riksskogstaxeringen beräkna att det under de närmaste 10 åren finns 300 000 ha ungskog som är lämpliga för BAG. Med antagandet att skogsbruket i framtiden bedrivs ungefär som idag, med avseende på avverkningsmogen ålder, trädslagsval, etc., så kan man räkna med att ungefär samma areal blir tillgänglig även under efterföljande 10-årsperioder. Att utöka BAG till att omfatta 5% av skogsmarksarealen skulle då ta minst 40 år.



Figur 9. Arbetsgången vid praktisk tillämpning av behovsanpassad gödsling (BAG). Skogsägaren tar barrprov (a) som analyseras på ett laboratorium avseende näringsinnehåll, (b). Resultaten läggs in i ett beräkningsprogram (c) som beräknar mängd och sammansättning av det gödselmedel som bör ges (d) för att täcka näringsbehovet hos träden utan risk för näringsläckage till grundvattnet. (Illustration Peter Roberntz)

Risken för skador vid BAG

Vid konventionell gödsling föreligger den största risken för stormskador under de första åren efter gödslingstillfället. Orsaken till detta är att den första reaktionen på en gödsling är att barmmassan ökar snabbare än de grova rötterna vilket försämrar stabiliteten till dess en ny balans inom trädet kunnat etableras. Vid BAG torde dock risken för stormfällning vara avsevärt lägre eftersom åtgärden påbörjas i ungskogsfasen och träden kommer tidigt att etablera en balans mellan grovrötter och biomassan ovan jord. Stormfällningar sker oftast i nygallrade medelålders- och äldre bestånd. Ett skötselprogram med färre gallringar och förkortade omloppstider, där den stormkänsliga perioden förkortas, borde minska risken för stormfällningar, vilket talar för att stormskadorna snarare skulle minska än öka vid BAG.

Under de mer än 20 år som experimenten med BAG bedrivits i Flakaliden och Asa har de behandlade bestånden ej drabbats av några abiotiska eller biotiska skador som kan relateras till behandlingarna. Det är dock viktigt att kontinuerligt följa experimenten för att tidigt kunna registrera och rapportera eventuella abiotiska och/eller biotiska skador förorsakade av BAG.

Referenser

Albaugh, T.J., Allen, H.L., Dougherty, P.M., Kress, L.W., King, J.S., 1998. Leaf area and above- and belowground growth responses of loblolly pine to nutrient and water additions. *Forest Science*. 44: 317-328

Aronsson, A. & Elowson, S. 1980. Effects of irrigation and fertilization on mineral nutrients in Scots pine needles. *Ecological Bulletins (Stockholm)* 32: 219-228.

- Aronsson, A., Elowson, S. & Ingestad, T. 1977. Elimination of water and mineral nutrition as limiting factors in a young Scots pine stand. I. Experimental design and some preliminary results. *Swedish Coniferous Forest Project, Technical Report 10*, 38 pp.
- Aronsson, A. Flower-Ellis, J.G.K, Popovic, B. & Tamm, C.O. 1999. Details of soil, stand and responses to fertilizer treatments on the pine (*Pinus sylvestris* L.) sites Norrliden (1971-1989) and Lisselbo (1969-1988). *Dept. for Production Ecology, Faculty of Forestry, SLU. Report No.5*, 51 pp.
- Bergh, J. (ed) 2000. Fiberskog –en rapport från ett forskningsprogram om intensivodling av gran. *Department for Production Ecology, Rapport No. 6*. ISSN 1401-5625.
- Bergh, J. & Oleskog, G. (eds) 2006. Slutrapport för Fiberskogsprogrammet. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, Arbetsrapport 27*, 129 pp. ISBN 91-576-7161-3.
- Bergh, J. & Willén, P. 2006. Utvärdering av Korsnäs AB's försök med gödsling i ungskog. *Institutionen för Sydsvensk Skogsvetenskap, Institutionsrapport 26*. ISBN 91-576-6890-6.
- 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. *Forest Ecology and Management* 119: 51-62.
- Bergh, J., Linder, S. & Bergström, J. 2005. Potential production for Norway spruce in Sweden. *Forest Ecology and Management* 204: 1-10.
- Bergh, J., Nilsson, U., Grip, L., Hedwall, P-O. & Lundmark, T. 2008. Effects of fertilisation interval on foliar chemistry, production and nutrient leakage in young Norway spruce stands in Sweden. *Silva Fennica* 42: 721–733.
- Campion, J.M., Nkosana, M. & Scholes M.C. 2006. Biomass and N and P pools in above- and below-ground components of an irrigated and fertilised *Eucalyptus grandis* stand in South Africa. *Australian Forestry* 69: 48–57.
- Ebermayer, E. 1876. *Die gesamte Lehre der Waldstreu mit Rücksicht auf die chemische Statik des Waldbaues*. Berlin
- Grip, H. 2006. Miljöeffekter av intensivodling. Effekter på näringsläckage. In: Bergh, J. & Oleskog, G. (eds) Slutrapport för Fiberskogsprogrammet, pp. 38-60. Sveriges lantbruks-universitet, *Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, Arbetsrapport 27*. ISBN 91-576-7161-3.
- Hesselman, H. 1917. Studien über die Nitratbildung in natürlichen Böden und ihre Bedeutung in pflanzenökologischer Hinsicht. *Meddelande från Statens Skogsförsöksanstalt* 13-14: 297-528. ...
- Högberg, P., Fan, H., Quist M., Binkley ,D. & Tamm C.O. 2006. Tree growth and soil acidification in response to 30 years of experimental nitrogen loading on boreal forest. *Global Change Biology*, 12, 489-499.
- Ingestad, T. 1959. Studies on the nutrition of forest tree seedlings. II. Mineral nutrition of spruce. . *Physiologia Plantarum* 12: 568-593.
- Ingestad, T. 1971. A definition of optimum nutrient requirements in birch seedlings, II. *Physiologia Plantarum* 24: 118-125.
- Ingestad, T. 1977. Nitrogen and plant growth; maximum efficiency of nitrogen fertilizers. *Ambio*. 6: 146-151.
- Ingestad, T. 1979a. Nitrogen stress in birch seedlings, II. N, K, P, Ca, and Mg nutrition. *Physiologia Plantarum* 45: 149-157.

- Ingestad, T. 1979b. Mineral nutrient requirements of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. *Physiologia Plantarum* 45: 373-380.
- Linder, S. 1990. Nutritional control of forest yield. In: 'Nutrition of Trees'. The Marcus Wallenberg Foundation Symposia Proceedings 6: 62-87. ISSN 0282-4647
- Linder, S. 1995. Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in Norway spruce. *Ecological Bulletins (Copenhagen)* 44: 178-190.
- Linder, S. & Axelsson, B. 1982. Changes in carbon uptake and allocation patterns as a result of irrigation and fertilization in a young *Pinus sylvestris* stand. In: R H Waring (ed.) *Carbon Uptake and Allocation in Subalpine Ecosystems as a Key to Management*, pp. 38-44. For. Res. Lab., Oregon State University, Corvallis, U.S.A.
- Linder, S. & Flower-Ellis, J.G.K. 1992. Environmental and physiological constraints to forest yield. In: A. Teller, P. Mathy & J.N.R. Jeffers (eds) *Responses of Forest Ecosystems to Environmental Changes*, pp. 149-164. Elsevier Applied Science. ISBN 1-85166-878-0
- Linder, S., Benson, M.L., Myers, B.J. & Raison, R.J. 1987. Canopy dynamics and growth of *Pinus radiata*. I. Effects of irrigation and fertilisation during a drought. *Canadian Journal of Forest Research*, 10: 1157-1165
- Pereira, J.S., Linder, S., Araújo, M.C., Pereira, H., Ericsson, T., Borralho, N. & Leal, L.C. 1989. Optimization of biomass production in *Eucalyptus globulus* plantations — a case study. In: Pereira, J.S. and Landsberg, J.J. (eds) *Biomass Production by Fast-Growing Trees*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 101–121.
- Pereira, J.S., Madeira, M.V., Linder, S., Ericsson, T., Tomé, M. & Araújo, M.C. 1994. Biomass production with optimised nutrition in *Eucalyptus globulus* plantations. In: Pereira, J.S. & Pereira, H. (eds) *Eucalyptus for Biomass Production*. Commission of the European Communities, Lisbon, pp. 13–30.
- Persson, T. 1980 (ed). Structure and Function of Northern Coniferous Forests. *Ecological Bulletins (Stockholm)* 32, 609 pp.
- Romell, L.-G. & Malmström, C. 1945. The ecology of lichen-pine forests. Experiments (1922 – 1942) by the late Dr. H. Hesselman. *Meddelande från Statens Skogsförsöksanstalt* 34: 541-625.
- Tamm, C.O. 1968. An attempt to assess the optimum nitrogen level in Norway spruce under field conditions. *Studia Forestalia.Suecica*. 61:1-67.
- Tamm, C.O. 1985. De skogliga bördighetsförsöken. Mål, metoder, tillväxtresultat. The Swedish optimum nutrition experiments in forest stands. Aims, methods, yield results. *Kungliga Skogs- och Vetenskapsakademiens Tidskrift, Supplement* 17:9-29.
- Tamm, C.O. 1991. Nitrogen in Terrestrial Ecosystems. Questions of Productivity, Vegetational Changes, and Ecosystem Stability. *Ecological Studies* 81, 115 pp. Springer-Verlag 1991.
- Tamm, C.O., Aronsson, A. & Burgtorf, H. 1974a. The optimum nutrition experiment Stråsan. A brief description of an experiment in a young stand of Norway spruce (*Picea abies* Karst.). *Dept of Forest Ecology and Forest Soils, Royal College of Forestry, Stockholm. Research Notes* 17, 29 pp.
- Tamm, C.O., Nilsson, Å. & Wiklander, G. 1974b. The optimum nutrition experiment Lisselbo. A brief description of an experiment in a young stand of Scots pine (*Pinus silvestris* L.), *Dept of Forest Ecology and Forest Soils, Royal College of Forestry, Stockholm Research Notes*.18. 25 pp.
- Tamm, C.O., Aronsson, A., Popovic, B. & Flower-Ellis, J.G.K. 1999. Optimum nutrition and nitrogen saturation in Scots pine stands. *Studia Forestalia.Suecica* 206, 128 pp.

Trichet, P., Loustau, D., Lambrot, C. & Linder, S. 2008. Manipulating nutrient and water availability in a maritime pine plantation: effects on growth, production, and biomass allocation at canopy closure. *Annales of Forest Science* 65: 814, DOI: 10.1051/forest:2008060

Vollbrecht, G. 1996. Fiberskog – förutsättningar samt forsknings- och utvecklingsbehov. *Sveriges lantbruksuniversitet, Skogsvetenskapliga fakulteten, Rapport 16.*

Publikationer som helt eller delvis baseras på försöken med behovsanpassad gödsling (BAG) i Flakaliden och Asa

INTERNATIONELLA TIDSKRIFTER

Albaugh, T.J., Bergh, J., Lundmark, T., Nilsson, U., Stape, J.L., Allen, H.L. & Linder, S. 2009. Do biological expansion factors adequately estimate stand-scale aboveground component biomass for Norway spruce? *Forest Ecology and Management* (In press)

Andersson, P. & Berggren D. 2005. Amino acids, total organic and inorganic nitrogen in forest floor soil solution at low and high nitrogen input. *Water, Air & Soil Pollution* 162: 369-384.

Andersson, P., Berggren, D. & Nilsson, I. 2002. Indices for nitrogen status and nitrate leaching from soils under Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) stands in Sweden. *Forest Ecology and Management* 157: 39-53.

Anttonen, S., Manninen, A.-M., Saranpää, P., Kainulainen, P., Linder, S. & Vapaavuori, E. 2002. Effects of long-term nutrient optimisation on stem wood chemistry in *Picea abies*. *Trees* 16: 386-394.

Bergh, J. & Linder, S. 1999. Effects of soil warming during spring on photosynthetic recovery in boreal Norway spruce stands. *Global Change Biology* 5: 245-253.

Bergh, J., McMurtrie, R.E. & Linder, S. 1998. Climatic factors controlling the productivity of Norway spruce: a model-based analysis. *Forest Ecology and Management* 110: 125-139.

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. *Forest Ecology and Management* 119: 51-62.

Bergh, J., Linder, S. & Bergström, J. 2005. Potential production for Norway spruce in Sweden. *Forest Ecology and Management* 204: 1-10.

Börjesson, P., Gustavsson, L., Christersson, L. & Linder, S. 1997. Future production and utilization of biomass in Sweden: Potentials and CO₂ mitigation. *Biomass and Bioenergy* 13: 399-412.

Cao, T., Valsta, L., Härkönen, S., Saranpää, P. & Mäkelä, A. 2008. Effects of thinning and fertilization on wood properties and economic returns for Norway spruce. *Forest Ecology and Management* 256: 1280-1289.

Dahlman, L., Persson, J., Näsholm, T. & Palmqvist, K. 2003. Carbon and nitrogen distribution in the green algal lichens *Hypogymnia physodes* and *Platismatia glauca* in relation to nutrient supply. *Planta* 217: 41-48.

Dambrine, E., Martin, F., Carisey, N., Granier, A., Hällgren, J.-E. & Bishop, K. 1995. Xylem sap composition: A tool for investigating mineral uptake and cycling in adult spruce. *Plant and Soil* 168-169: 233-241.

Demoling, F., Nilsson, L.O. & Bååth, E. 2008. [HBacterial and fungal response to nitrogen fertilization in three coniferous forest soilsH](#). *Soil Biology and Biochemistry* 40: 370-379.

- Eklund, L., Säll, H. & Linder, S. 2003. Enhanced growth and ethylene increases spiral grain formation in *Picea abies* and *Abies balsamea* trees. *Trees* 17: 81-86.
- Eliasson, P.E., McMurtrie, R.E., Pepper, D.A., Strömngren, M., Linder, S. & Ågren, G.I. 2005. The response of heterotrophic CO₂ flux to soil warming. *Global Change Biology* 11: 167-181.
- Ewers, B.E., Oren, R., Phillips, N., Strömngren, M. & Linder, S. 2001. Mean canopy stomatal conductance responses to water and nutrient availabilities in *Picea abies* and *Pinus taeda*. *Tree Physiology* 21: 841-850.
- Flower-Ellis, J.G.K. 1993. Dry-matter allocation in Norway spruce branches: A demographic approach. *Studia Forestalia Suecica* 191: 51-73.
- Fransson, P.M.A., Taylor, A.F.S. & Finlay, R.D. 2000. Effects of continuous optimal fertilisation upon belowground ectomycorrhizal community structure in a Norway spruce forest. *Tree Physiology* 20: 599-606.
- Gerten, D., Luo, Y., Le Maire, G., Parton, J.W., Keough, C., Weng, E., Beier, C., Ciais, P., Cramer, W., Dukes, J.S., Emmett, B., Hanson, P.J., Knapp, A., Linder, S., Nepstad, D. & Rustad, L. 2008. Modelled effects of precipitation on ecosystem carbon and water dynamics in different climatic zones. *Global Change Biology* 14: 2365-2379
- Högberg, P. 2007. Nitrogen impacts on forest carbon. *Nature* 447: 782-783.
- Hyvönen, R., Ågren, G.I., Linder, S., Persson, T., Cotrufo, M.F., Ekblad, A., Freeman, M., Grelle, A., Janssens, I.A., Jarvis, P.G., Kellomäki, S., Lindroth, A., Loustau, D., Lundmark, T., Norby, R.J., Oren, R., Pilegaard, K., Ryan, M.G., Sigurdsson, B.D., Strömngren, M., van Oijen, M. & Wallin, G. 2007. The likely impact of elevated [CO₂], nitrogen deposition, increased temperature, and management on carbon sequestration in temperate and boreal forest ecosystems: a literature review. *New Phytologist* 173: 463-480.
- Hyvönen, R., Persson, T., Andersson, S., Olsson, B., Ågren, G.I. & Linder, S. 2008. Impact of long-term nitrogen addition on carbon stocks in trees and soils in northern Europe. *Biogeochemistry* 89: 121-137.
- Iivonen, S., Kaakinen, S., Jolkkonen, A., Vapaavuori, E. & Linder, S. 2006. Influence of long-term nutrient optimisation on biomass, carbon and nitrogen acquisition and allocation in Norway spruce. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 1563-1571.
- Jarvis, P.G. & Linder, S. 2000. Constraints to growth of boreal forests. *Nature* 405: 904-905.
- Kaakinen, S., Piispanen, R., Lehto, S., Metsometsä, J., Nilsson, U., Saranpää, P., Linder, S. & Vapaavuori, E. 2009. Wood chemistry and fibre length of Norway spruce in a long-term nutrient optimization experiment. *Canadian Journal of Forest Research* 39: 410-419
- Kostiainen, K., Kaakinen, S., Saranpää, P., Linder, S., Sigurdsson, B. & Vapaavuori, E. 2004. Effect of elevated [CO₂] on stem wood properties of mature Norway spruce grown at different soil nutrient availability. *Global Change Biology* 10: 1526-1538.
- Landsberg, J.J., Waring, R.H. & Coops, N.C. 2003. Performance of the forest productivity model 3-PG applied to a wide range of forest types. *Forest Ecology and Management* 172: 199-214.
- Lestander, T.A. & Rhén, C. 2005. Multivariate NIR spectroscopy models for moisture, ash and calorific content in biofuels using bi-orthogonal partial least squares regression. *The Analyst* 130: 1182-1189.
- Lindberg, N. & Persson, T. 2004. Effects of long-term nutrient fertilisation and irrigation on the microarthropod community in a boreal Norway spruce stand. *Forest Ecology and Management* 188: 125-135.

- Linder, S. 1995. Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in Norway spruce. *Ecological Bulletins (Copenhagen)* 44: 178-190.
- Luo, Y. 2007. Terrestrial carbon-cycle feedback to climate warming. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 38: 683–712.
- Luo, Y., Gerten, D., Le Maire, G., Parton, W.J., Weng, E., Zhou, X., Keough, C., Beier, C., Ciais, P., Cramer, W., Dukes, J.S., Emmett, B., Hanson, P.J., Knapp, A., Linder, S., Nepstad, D. & Rustad, L. 2008. Modelled Interactive Effects of precipitation, temperature, and CO₂ on ecosystem carbon and water dynamics in different climatic zones. Part II: interactive effects of precipitation, temperature, and CO₂. *Global Change Biology* 14: 1986-1999.
- Lundgren, C. 2004a. Cell wall thickness and tangential and radial cell diameter of fertilized and irrigated Norway spruce. *Silva Fennica* 38: 95-106.
- Lundgren, C. 2004b. Microfibril angle and density patterns of fertilized and irrigated Norway spruce. *Silva Fennica* 38: 107-117.
- Lundmark, T. Bergh, J., Strand, M. & Koppel, A. 1998. Seasonal variation of maximum photochemical efficiency in boreal Norway spruce stands. *Trees* 13: 63-67.
- Majdi, H. 2001. Changes in fine root production and longevity in relation to water and nutrient availability in a Norway spruce stand in northern Sweden. *Tree Physiology* 21: 1057-1061.
- Majdi, H. & Andersson, P. 2005. Fine root production and turnover in a Norway spruce stand in northern Sweden: effects of nitrogen and water manipulation. *Ecosystems* 8: 191-199.
- Majdi, H. & Öhrvik, J. 2004. Interactive effects of soil warming and fertilization on root production, mortality, and longevity in a Norway spruce stand in northern Sweden. *Global Change Biology* 10: 182-188.
- Mäkinen, H., Saranpää, P. & Linder, S. 2001. Effect of nutrient optimisation on branch characteristics in *Picea abies* (L.) Karst.. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 354-362.
- Mäkinen, H., Saranpää, P. & Linder, S. 2002a. Wood-density variation of Norway spruce in relation to nutrient optimization and fibre dimensions. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 185-194.
- Mäkinen, H., Saranpää, P. & Linder, S. 2002b. Effect of growth rate on fibre characteristics in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Holzforschung* 56: 449-460.
- Mäkinen, H., Ojansuu, R., Sairanen, P. & Yli-Kojola, H. 2003. Predicting branch characteristics of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from simple stand and tree measurements. *Forestry* 76: 525-546.
- Mäkinen, H, Jaakkola, T., Piispanen, R. & Saranpää, P. 2007a. Predicting wood and tracheid properties of Norway spruce. *Forest Ecology and Management*. 241: 175-188.
- McMurtrie, R.E., Medlyn, B.E., Dewar, R.C. & Jeffreys, M.P. 2000. Effects of elevated [CO₂] on forest growth and carbon storage: A modelling analysis of the consequences of changes in litter quality/quantity and root exudation. *Plant and Soil* 224: 135-152.
- McMurtrie, R.E., Medlyn, B.E. & Dewar, R.C. 2001. Increased understanding of nutrient immobilisation in soil organic matter is critical for predicting the carbon sink strength of forest ecosystems over the next 100 years. *Tree Physiology* 21: 831-839.
- Medhurst, J., Parsby, J., Linder, S., Wallin, G., Ceschia E. & Slaney, M. 2006. A whole-tree chamber system for examining tree-level physiological responses of field-grown trees to environmental variation and climate change. *Plant, Cell and Environment* 29: 1853-1869.

- Medlyn, B.E., McMurtrie, R.E., Dewar, R.C. & Jeffreys, M.P. 2000. Soil processes dominate the long-term response of forest net primary productivity to increased temperature and atmospheric CO₂ concentration. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 873-888.
- Näsholm, T., Edfast, A.-B. & Ericsson, A. & Nordén, L-G. 1994. Accumulation of amino acids in boreal coniferous forest plants in response to increased nitrogen availability. *New Phytologist* 126: 137-143.
- Nilsson, M.C., Wardle, D.A. & DeLuca, T.H. 2008. Belowground and aboveground consequences of interactions between live plant species mixtures and dead organic substrate mixtures. *Oikos* doi: 10.1111/j.2007.0030-1299.16265.x, Published on line
- Nilsson, U. & Hällgren, J.-E. 1993. Changes in growth allocation owing to competition for light in young fertilized Norway spruce trees. *Forest Ecology and Management* 62: 157-172.
- Nohrstedt, H.-Ö. 2001. Response of coniferous forest ecosystems on mineral soils to nutrient additions: A review of Swedish experiences. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 16: 555-573.
- Nordin, A & Näsholm, T. 1997. Nitrogen storage forms in nine boreal understory plant species. *Oecologia (Berlin)* 110: 487-492.
- Olsson, P., Linder, S., Giesler, R. & Högberg, P. 2005. Fertilization of boreal forest reduces both autotrophic and heterotrophic soil respiration. *Global Change Biology* 11: 1745-1753.
- Palmqvist, K. 2000. Carbon economy in lichens. Tansley Review No 117. *New Phytologist* 148: 11-36.
- Palmqvist, K., Dahlman, L., Valladares, F., Tehler, A., Sancho, L.G. & Mattsson, J.-E. 2002. CO₂ exchange and thallus nitrogen across 75 contrasting lichen associations from different climate zones. *Oecologia* 133: 295-306.
- Palmroth, S., Stenberg, P., Smolander, S., Voipio, P. & Smolander, H. 2002. Fertilization does not increase light-interception efficiency of *Picea abies* shoots. *Tree Physiology* 22: 1185-1192.
- Pepper, D.A., Del Grosso, S.J., McMurtrie, R.E. & Parton, W.J. 2005. Simulated carbon sink response of shortgrass steppe, tallgrass prairie and forest ecosystems to rising [CO₂], temperature and nitrogen input. *Global Biogeochemical Cycles* 19: 1-20. doi:10.1029/2004 GB002226.
- Pepper, D.A., Eliasson, P.E., McMurtrie, R.E., Corbeels, M., Ågren, G.I., Strömberg, M., Linder, S. 2007. Simulated mechanisms of soil N feedback on the forest CO₂ response. *Global Change Biology* 13: 1265-1281.
- Peura, M., Müller, M., Serimaa, R., Vainio, U., Sarén, M.-P., Saranpää, P. & Burghammer, M. 2005. Structural studies of single wood cell walls by synchrotron X-ray microdiffraction and polarised light microscopy. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 238: 16-20.
- Peura, M., Müller, M., Vainio, U., Sarén, M.-P., Saranpää, P. & Serimaa, R. 2008a. X-ray microdiffraction reveals the orientation of cellulose microfibrils and the size of cellulose crystallites in single Norway spruce tracheids. *Trees* 22: 49-61.
- Peura, P., Sarén, M.P., Laukkanen, J., Nygård, K., Andersson, S., Saranpää, P., Paakkari, T., Hämäläinen, K. & Serimaa, R. 2008b. The elemental composition, the microfibril angle distribution and the shape of the cell cross-section in Norway spruce xylem. *Trees* 22: 499-510.
- Phillips, N., Bergh, J., Oren, R. & Linder, S. 2001. Effects of nutrition and soil water availability on water use in a Norway spruce stand. *Tree Physiology* 21: 851-860.
- Remén, C., Persson, T., Finlay, R. & Ahlström, K. 2008. Responses of oribatid mites to tree girdling and nutrient addition in boreal coniferous forests. *Soil Biology & Biochemistry* 40: 2881-2890.

- Rhén, C. 2004. Chemical composition and gross calorific value of the above-ground biomass components of young *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19: 72-81.
- Rhén, C., Öhman, M., Gref, R. & Wästerlund, I. 2007. Effect of raw material composition in woody biomass pellets on combustion characteristics. *Biomass & Bioenergy* 31: 66-72.
- Roberntz, P. 1999. Effects of long-term CO₂ enrichment and nutrient availability in Norway spruce I: Phenology and morphology of branches. *Trees* 13: 188-198.
- Roberntz, P. 2001. Atmospheric carbon dioxide concentration, nitrogen availability, temperature and the photosynthetic capacity of current-year Norway spruce shoots. *Tree Physiology* 21: 931-940.
- Roberntz, P. & Linder, S. 1999. Effects of long-term CO₂ enrichment and nutrient availability in Norway spruce II: Foliar chemistry. *Trees* 14: 17-27.
- Roberntz, P. & Stockfors, J. 1998. Effects of elevated CO₂ concentration and nutrition on net photosynthesis, stomatal conductance and needle respiration of field grown Norway spruce trees. *Tree Physiology* 18: 233-241.
- Rosengren, U., Göransson, H., Jönsson, U., Stjernquist, I., Thelin, G. & Wallander, H. 2006. Functional biodiversity aspects on the nutrient sustainability in forests - Importance of root distribution. *Journal of Sustainable Forestry* 21: 77-100.
- Rustad, L.E. 2008. The response of terrestrial ecosystems to global climate change: Towards an integrated approach. *Science of The Total Environment* 404: 15 222-235.
- Rustad, L.E., Campbell, J.L., Marion, G.M., Norby, R.J., Mitchell, M.J., Hartley, A.E., Cornelissen, J.H.C., Gurevitch, J. & GCTE-NEWS*. 2001. A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. *Oecologia* 126: 543-562. *GCTE-NEWS = Global Change and Terrestrial Ecosystems Network of Ecosystem Warming Studies.
- Sandberg, K. & Sterley, M. 2009. Separating Norway spruce heartwood and sapwood in dried condition with near-infrared spectroscopy and multivariate data analysis. *European Journal of Forest Research*. 128: 475-481.
- Sarén, M., Serimaa, R., Andersson, S., Saranpää, P., Keckes, J. & Fratzi, P. 2004. Effect of growth rate on mean microfibril angle and cross-sectional shape of tracheids of Norway spruce. *Trees* 18: 354-362.
- Sarén, M.-P., Peura, M. & Serimaa, R. 2005. Interpretation of microfibril angle and distribution in wood using microdiffraction experiments on single cells. *Journal of X-ray Science and Technology* 13; 191-197.
- Sarén, M.P., Serimaa, R. & Tolonen, Y. 2006. Determination of fiber orientation in Norway spruce using X-ray diffraction and laser scattering. *Holz als Roh- und Werkstoff* 64: 183-188.
- Sigurdsson, B.D., Roberntz, R., Freeman, M., Næss, M., Saxe, H., Thorgeirsson, H. & Linder, S. 2002. Impact studies on Nordic forests: effects of elevated CO₂ and fertilisation on gas exchange. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 779-788.
- Stenberg, P., Linder, S. & Smolander, H. 1995. Variation in the ratio of shoot silhouette area to needle area in fertilized and unfertilized Norway spruce trees. *Tree Physiology* 15: 705-712.
- Stenberg, P., Kangas, T., Smolander, H. & Linder, S. 1999. Shoot structure, canopy openness, and light interception in Norway spruce. *Plant, Cell and Environment* 22: 1133-1142.

- Stockfors, J. 2000. Temperature variations and distribution of living cells within tree stems: implications for stem respiration modeling and scale-up. *Tree Physiology* 20: 1057–1062.
- Stockfors J. & Linder S. 1998a. The effect of nutrition on the seasonal course of needle respiration in Norway spruce stands. *Trees* 12: 130-138.
- Stockfors J. & Linder S. 1998b. Effect of nitrogen on the seasonal course of growth and maintenance respiration in stems of Norway spruce trees. *Tree Physiology* 18: 155-166.
- Strand, M. 1995. Inhibition of photosynthesis in current-year-needles unfertilized and fertilized Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) during autumn and early winter. *Trees* 9: 332-340.
- Strand, M. 1997. Effects of mineral nutrient content on oxygen exchange and chlorophyll a fluorescence in needles of Norway spruce. *Tree Physiology* 17: 221-230.
- Strand, M. & Lundmark, T. 1995. Recovery of photosynthesis in 1-year-old needles of unfertilized and fertilized Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) during spring. *Tree Physiology* 15: 151-158.
- Strömgren, M. & Linder, S. 2002. Effects of nutrition and soil warming on stemwood production in a boreal Norway spruce stand. *Global Change Biology* 8: 1194-1204.
- Ward, E.J., Oren, R., Sigurdsson, B.D., Jarvis, P.G. & Linder, S. 2008. Fertilization effects on mean stomatal conductance are mediated through changes in the hydraulic attributes of mature Norway spruce trees. *Tree Physiology* 28: 579–596.

BÖCKER, BOKKAPITEL OCH PROCEEDINGS

- Anttonen, S., Manninen, A.-M., Saranpää, P., Kainulainen, P., Lundmark, T., Linder, S. & Vapaavuori, E. 2001. Long-term nutrient optimisation affects the chemical composition of Norway spruce stem wood. In: K. Radoglou (ed) *Forest Research: A Challenge for an Integrated European Approach*, Volume II: 643-648. ISBN 960-869-47-4-4
- Bertills, U. & Näsholm, T. (eds) 2000. *Effects of Nitrogen Deposition on Forest Ecosystems*. Swedish Environmental Protection Agency, Report 5067, 160 pp. ISBN 91-620-5067-2. Also available in Swedish.
- Freeman, M. & Linder, S. 2001. Regional impact assessment - Boreal Forests. In: Kramer, K. & Mohren, F. (eds) *Long-term Effects of Climate Change on Carbon Budgets of Forests in Europe*. Alterra-report 194: 197-203.
- Freeman, M., Morén, A.-S., Strömgren, M. & Linder, S. 2005. Chapter 3: Climate change impacts on forests in Europe: Biological impact mechanisms. In: Kellomäki, S. & Leinonen, S. (eds) *Management of European Forests Under Changing Climatic Conditions*. Research Notes 163, University of Joensuu, Forest Faculty, pp. 46-115. ISBN 952-458-652-5
- Gobran, G.R., Turpault, M.-P. & Courchesne, F. 2005. Contribution of rhizospheric processes to mineral weathering in forest soils. In: Huang P.M & Gobran G.R. (eds) *Biogeochemistry of Trace Elements in the Rhizosphere*. Elsevier B.V. ISBN-13: 978-0-444-51997-9
- Gregory, P., Campbell, B., Goudriaan, J., Hunt, T., Ingram, J., Landsberg, J.J., Linder, S., Stafford Smith, M., Sutherst, B. & Valentin, C. 1999. Managed production systems. In: Walker, B.H., Steffen, W.L., Canadell, J. & Ingram, J.S.I. (eds) *The Terrestrial Biosphere and Global Change, Implications for Natural and Managed Ecosystems*, pp. 229-270. Cambridge University Press.
- Högberg, P., Bengtsson, G., Berggren, D., Högberg, M., Nilsson, I., Nohrstedt, H.-Ö., Persson, T. & Sjöberg, M. 2000. How are the nitrogen dynamics of forest soils affected? In: Bertills, U. & Näsholm, T. (eds) *Effects of Nitrogen Deposition on Forest Ecosystems*, pp. 29-52. Swedish Environmental Protection Agency, Report 5067. ISBN 91-620-5067-2

- Högberg, P., Nordgren, A., Högberg, M.N., Ottosson-Löfvenius, M., Bhupinderpal-Singh, Olsson, P. & Linder, S. 2005. Fractional contributions by autotrophic and heterotrophic respiration to soil-surface CO₂ efflux in boreal forests. In: Griffiths, H. & Jarvis, P.G. (eds) *The Carbon Balance of Forest Biomes*, pp. 251-267. Taylor & Francis Group, U.K. ISBN 1-8599-6214-9
- Jarvis, P.G. & Linder, S. 2007. Forests remove carbon dioxide from the atmosphere: spruce forest tales! In: Freer-Smith, P.H, Broadmeadow, M.S.J. & Lunch, J.M. (eds) *Forestry and Climate Change*, pp. 60-72. CAB Publishing, Wallingford, UK
- Jarvis, P.G., Linder, S. & Huttunen, S. 2001. Water, nutrients and carbon; altitude and ageing. In: Huttunen, S., Heikkilä, H., Bucher, J., Sundberg, B., Jarvis, P.G. & Matyssek, R. (eds) *Trends in European Forest Tree Physiology Research. Cost Action E6: EUROSILVA*, pp. 229-240. Kluwer Academic Publications. ISBN 1-4020-0023-5
- Jarvis, P.G., Ibrom, A. & Linder, S. 2005. Carbon forestry – Managing forests to conserve carbon. In: Griffiths, H. & Jarvis, P.G. (eds) *The Carbon Balance of Forest Biomes*, pp. 331-349. Taylor & Francis Group, U.K. ISBN 1-8599-6214-9
- Kellomäki, S. & Leinonen, S. (eds) 2005. *Management of European Forests Under Changing Climatic Conditions*. Research Notes 163, University of Joensuu, Forest Faculty, 427 pp. ISBN 952-458-652-5
- Lee, H.S.J., Overdieck, D. & Jarvis, P.G. 1998. Biomass, growth and carbon allocation. In: P.G. Jarvis (ed) *European Forests and Global Change*, pp. 126-191. Cambridge University Press.
- Linder, S. 1990. Nutritional control of forest yield. In: 'Nutrition of Trees'. The Marcus Wallenberg Foundation Symposia Proceedings 6: 62-87. ISSN 0282-4647
- Linder, S. 1992. The relationship between nutrition and biomass production in Swedish coniferous stands. In: Y. Yupo & Z. Jiangling (eds) *Protection and Management of Mountain Forests*, pp. 170-178. Science Press, Beijing, New York. ISBN 7-03-003239-X/Q.420
- Linder, S. & Flower-Ellis, J.G.K. 1992. Environmental and physiological constraints to forest yield. In: A. Teller, P. Mathy & J.N.R. Jeffers (eds) *Responses of Forest Ecosystems to Environmental Changes*, pp. 149-164. Elsevier Applied Science. ISBN 1-85166-878-0
- Linder, S. & Kellomäki, S. (eds) 1993. Management of Structure and Productivity of Boreal and Subalpine Forests. *Studia Forestalia Suecica* 191, 94 pp.
- Linder, S. & McDonald, A.J.S. 1994. Plant nutrition and the interpretation of growth response to elevated concentrations of atmospheric carbon dioxide. In: E.D. Schulze & H.A. Mooney (eds) *Design and Execution of Experiments on CO₂ Enrichment*, pp. 73-82. Ecosystem Research Report No 6. EUR 15110. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Linder, S. & Murray, M. 1998. Do elevated CO₂ concentrations and nutrients interact? In: P.G. Jarvis (ed) *European Forests and Global Change*, pp. 215-235. Cambridge University Press.
- Linder, S., McMurtrie, R.E. & Landsberg, J.J. 1995. Global change impacts on managed forests. In: B.H. Walker & W.L. Steffen (eds) *Global Change and Terrestrial Ecosystems*, pp 275-290. IGBP Book Series No. 2. Cambridge University Press.
- Linder, S., Bergh, J. & Lundmark, T. 2008. Fertilization for more raw material from the forest! In: Johansson, B. (ed) *Bioenergy - for what and how much?*, pp. 215-227. *Forskningsrådet Formas*. ISBN 978-91-540-6006-1 (Also available in Swedish and Russian)
- Lindroth, S. & Linder, S. 1992. Yield optimisation in young Norway spruce stands. In: A. Teller, P. Mathy & J.N.R. Jeffers (eds) *Responses of Forest Ecosystems to Environmental Changes*, pp. 814-815. Elsevier Applied Science. ISBN 1-85166-878-0

Mäkinen, H., Mäkelä, A. & Hynynen, J. 2007. Predicting wood and branch properties of Norway spruce as a part of a stand growth simulation system. In: Van Acker, J. & Usenius, A. (eds). *Modelling the wood chain: Forestry - Wood industry - Wood product markets*, pp. 11-20. Proceedings of the COST Action E44 conference, Helsinki, Finland, 17-19 September 2007.

Peura, M., Serimaa, R., Sarén, M.-P., Saranpää, P. & Müller, M. 2004. The orientation of cellulose microfibrils in single tracheids and solid wood samples as measured by x-ray diffraction. In: Schmitt, U., Ander, P., Bernett, J., Emons, A., Jeronimidis, G., Saranpää, P. & Tschegg, S. (eds) *Wood Fiber Cell Walls: Methods to Study their Formation, Structure and Properties*. OPOCE, EC, Brussels ISBN 91-576-6803-5.

Sandberg, K. 2007. Moisture content gradients in young spruce during liquid water sorption in end grain measured with CT scanning. In: Johnsson, H. (ed) *Proceedings from the Nordic Workshop in Wood Engineering*, pp. 64-81. Luleå University of Technology, Research Report Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Structural Engineering, 2007:06 - ISSN: 1402-1528 - ISRN: LTU-FR--07/06—SE.

Saranpää, P., Pesonen, E., Sarén, M., Andersson, S., Siiriä, S., Serimaa, S.R. & Paakkari, T. 2000. Variation of the properties of tracheids in Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.). In: R. Savidge, Barnett, J. & Napier, R. (eds) *Cell and Molecular Biology of Wood Formation*, pp. 337-345. BIOS Scientific Publishers Ltd, Oxford. EB, London

AVHANDLINGAR (Helt eller delvis baserade på resultat från experimenten i Flakaliden och Asa)

Andersson, P. 2002. Nitrogen turnover in Swedish spruce forest ecosystems. Effects of nitrogen deposition. *Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria* 342, 37 pp. Doctoral thesis. ISBN 91-576-6194-4

Andrist, Y. 2001. Carbon and nitrogen processes in spruce forest soils as affected by fertilisation and atmospheric stress. A comparison of Swedish and German sites. *Department of Ecology and Environmental Research, SLU*, Graduate thesis 2001:1, 48 pp.

Bergh J. 1997. Climatic and Nutritional Constraints to Productivity in Norway Spruce. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 37, 34 pp. Doctoral thesis. ISBN 91-576-5321-6

Ceschia E. 2001. Environmental effects on spatial and seasonal variations of stem respiration in European beech and Norway spruce. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 219, 56 pp. Doctoral thesis. ISBN 91-576-6303-3.

Dahlman, L. 2003. Resource acquisition and allocation in lichens. PhD-thesis, Department of Ecology and Environmental Science, Umeå University, SE-901 87 Umeå, 60 pp. ISBN 91-7305-496-8

Eliasson, P. 2007. Impacts of climate change on carbon and nitrogen cycles in boreal forest ecosystems. Doctoral Thesis. Department of Ecology, SLU, Uppsala. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae* 2007: 89, 41 pp. ISSN 1652-6880, ISBN 978-91-576-7388-6

Fares, S. 2003. Study on soil respiration and its autotrophic and heterotrophic components separation in controlled and fertilized stands of Norway Spruce in the boreal forest. Master thesis, Università degli studi della Tuscia, Facoltà di Agraria, 195 pp.

Fransson, P.M.A. 2002. Responses of ectomycorrhizal fungi to changes in carbon and nutrient availability. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 235, 40 pp. Doctoral thesis. ISBN 91-576-6319-X.

Fröberg, M. 2004. Processes controlling production and transport of dissolved organic carbon in forest soils. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria* 475, 39 pp. Doctoral thesis. ISSN 1401-6249, ISBN 91-576-6760-8.

- Göttlicher, S. 2007. On the tree-root-soil-continuum - temporal and spatial coupling of the belowground carbon flux. Doctoral Thesis. Department of Forest Ecology and Management, SLU, Umeå. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae* 2007:43, 55 pp. ISBN 978-91-576-7342-8
- Kellner, O. 1993. Effects of fertilization on forest flora and vegetation. - Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science 464, 32 pp. *Acta Universitatis Upsaliensis*, Uppsala 1993. ISSN 0282-7468
- Kostiainen, K. 2007. Wood properties of northern forest trees grown under elevated CO₂, O₃ and temperature. University of Oulu, Department of Biology, *Dissertationes Forestales* 47, 36 pp. ISSN 1795-7389, ISBN 978-951-651-182-8
- Lindberg, N. 2001. Impact of climate change on soil fauna diversity - effects of experimental drought, irrigation, soil warming and nutrient addition. *Department of Ecology and Environmental Research, SLU*. Licentiate thesis 3, 23 pp. ISSN 1403-770X
- Lindberg, N. 2003. Soil fauna and global change. Responses to experimental drought, irrigation, fertilisation and soil warming. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 270, 37 pp. Doctoral thesis. ISBN 91-576-6504-4
- Lundgren, C. 2003. Wood and fibre properties of fertilized Norway spruce. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 288, 32 pp. Doctoral thesis. ISBN 91-576-6522-2.
- Lundmark, T. 1996. Photosynthetic responses to frost and excessive light in field-grown Scots pine and Norway spruce. Doctoral thesis, *Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture, Umeå* 1996, 44 pp. ISBN 91-576-5112-4
- Nilsson, U. 1993. Competition in young stands of Norway spruce and Scots pine. Doctoral thesis, *Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture, Umeå* 1993, 33 pp. ISBN 91-576-4663-5
- Nordin, A. 1998. Physiological ecology of nitrogen utilisation by forest plants. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 76, 46 pp. Doctoral thesis. ISBN 91-576-5601-X
- Olsson, P. 2006. Effects of fertilisation on rhizospheric and heterotrophic soil CO₂ efflux in boreal Norway spruce stands. Licentiate thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Forest Sciences, Department of Forest Ecology, Umeå. Stencilserie No. 113, 29 pp. ISSN 1104-1870, ISRN SLU-SEKOL-STL-113-SE
- Peura, M. 2007. Studies on the cell wall structure and on the mechanical properties of Norway spruce. Academic Dissertation, University of Helsinki Report Series in Physics, HU-P-D146, *Report Series in Physics* HU-P-D146, 44 pp. ISSN 0356-0961, ISBN 978-952-10-3257-8
- Roberntz, P. 1998. Effects of elevated CO₂ and nutrition on gas exchange and foliar chemistry in Norway spruce. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 67, 46 pp. Doctoral thesis. ISBN 91-576-5601-0
- Rhén, C. 2006. Basic Studies on the characterization, pelletising and pellet combustion of spruce woody fuel. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*. Doctoral Thesis 2006: 83, 45 pp. ISSN 1652-6880, ISBN 91-576-7132-X
- Sandberg, K. 2009. Norway spruce heartwood - Properties related to outdoor use. PhD-thesis, Luleå University of Technology, Skellefteå, Division of Wood science and technology, 50 pp. ISSN: 1402-1544, ISBN 978-91-86233-60-0
- Säll, H. 2002. Spiral grain in Norway spruce. *Acta Wexionensia* No. 22, 171 pp. Växjö University Press, ISBN 91-7636-356-2

Sarén, M.-P. 2006. Characterisation of properties of coniferous wood tracheids by x-ray diffraction, laser scattering and microscopy. Doctoral thesis, University of Helsinki, Report Series in Physics, HU-P-D127, 56 pp. ISSN 0356-0961, ISBN 952-10-2109-8

Sigurdsson, B.D. 2001. Environmental control of carbon uptake and growth in a *Populus trichocarpa* plantation in Iceland. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 174, 64 pp. Doctoral thesis. ISBN 91-576-6058-1

Stefánsdóttir, H.M. 2006. Effects of elevated carbon dioxide concentration and temperature on needle morphology and shoot growth in Norway spruce. Graduate thesis, Biology Department, University of Iceland, Reykjavik, 47 pp.

Stockfors, J. 1997. Respiratory losses in Norway spruce: the effect of growth and nutrition. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 20, 41 pp. Doctoral thesis. ISBN 91-576-5304-6

Strömgren, M. 2001. Soil-surface CO₂ flux and growth in a boreal Norway spruce stand. Effects of soil warming and nutrition. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 220, 44 pp. Doctoral thesis. ISBN 91-576-6304-1

RAPPORTER PÅ ENGELSKA

Bergh, J., Linder, S. & Bergström, J. 1999. Intensive cultivation of spruce – unexploited possibilities. *FaktaSkog* Nr. 2, 4 pp. ISSN 1400-7789. (also available in Swedish)

Bergh, J., Linder, S. & Räisänen, J. 1999. Likely responses of global change to productivity of coniferous forests in Sweden, using SWECLIM's climatic scenarios. *SWECLIM's Newsletter* no. 5: 6-11.

Broadmeadow, M. & Jarvis, P.G. 1999. Chapter 2: Description of forest stand sites. In: P.G. Jarvis (ed) *Predicted Impacts of Rising Carbon Dioxide and Temperature on Forests in Europe at Stand Scale*, pp. 9-18. Final Report for ECOCRAFT (Environment R&D Contracts ENV4-CT95-0077 & IC20-CT96-0028).

Flower-Ellis, J.G.K. 1996. Crown structure and phytomass distribution in Scots pine and Norway spruce trees: 1. Computer-based field sampling routines. *Swedish University of Agricultural Sciences, Department for Production Ecology, Report 2*, 79 pp. ISSN 1401-5625.

Gay, C., Tamm, C.O., Aronsson, A., Flower-Ellis, J.G.K. & Linder, S. 1994. A user's manual for the Ekologen Database System. *Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Ecology and Environmental Research, Report 59*, 118 pp. ISSN 0348-422x.

Gerten, D., Luo, Y. & Parton, B. 2006. The EPRECOT modelling study, Handout at TERACC workshop in Elsinore, Denmark, 22-25 May 2006, 8 pp.

Jarvis, P.G. (ed) *Predicted Impacts of Rising Carbon Dioxide and Temperature on Forests in Europe at Stand Scale*, 354 pp. Final Report for ECOCRAFT (Environment R&D Contracts ENV4-CT95-0077 & IC20-CT96-0028).

Linder, S., Kellomäki, S. & Marek, M. 1999. Chapter 11: Description of new facilities. In: Jarvis P.G. (ed) *Predicted Impacts of Rising Carbon Dioxide and Temperature on Forests in Europe at Stand Scale*, pp. 308-325. Final Report for ECOCRAFT (Environment R&D Contracts ENV4-CT95-0077 & IC20-CT96-0028).

Olson, R.J., Johnson, K.R., Zheng, D.L. & Scurlock, J.M.O. 2001. Global and Regional Ecosystem Modeling: Databases of Model Drivers and Validation Measurements. *ORNL Technical Memorandum TM-2001/196*, 84 pp. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A.

Persson, T. & Andersson, S. 2002. Organic matter decomposition as affected by abiotic factors and substrate quality. *LUSTRA Progress Report 1999-2002*, pp. 125-130.

Remén, C. & Persson, T. 2006. Oribatid mite response to reduced mycorrhizal biomass - a field experiment. Abstracts from the 11th Nordic Soil Zoology Symposium and PhD course, Akureyri, Iceland 28 – 31 July 2006. *Agricultural University of Iceland, Publication no. 9*, pp. ISSN 1670-5785

Saranpää, P., Linder, S., Nilsson, U. & Vapaavuori, E. 2004. Impact of forest management and climate on wood quality. In: Paavilainen, L. & Humala, I. (eds) *Wood Material Science Yearbook 2004*. Report 1/2004. Helsinki, pp. 24-31. ISBN 952-457-162-5

Saranpää, P., Linder, S., Nilsson, U. & Vapaavuori, E. 2005. Impact of forest management and climate on wood quality. In: Johansson, B. & Larsson, B. (eds) *Wood Material Science Year Book 2005*, pp. 27-42. ISBN 91-540-5939-9.

Saranpää, P., Linder, S., Nilsson, U. & Vapaavuori, E. 2006. Impact of forest management and climate on wood quality. In: Paavilainen, L. & Helander, P. (eds). *Wood Material Science and Engineering Year Book 2006*. Report 1/2006. Helsinki, pp. 29-48. ISBN 952-457-222-2.

Saranpää, P., Linder, S., Nilsson, U. & Vapaavuori, E. 2007. Impact of forest management and climate on wood quality (IMWO). In: Poppius-Levlin, K. & Johansson, B. (eds) *Wood Material Science and Engineering Final Report*, pp. 49-66. ISBN 978-91-540-5993-5.

Schulze, E.-D. Zimmerman, R. & Boerner, A. (eds) 2003. FORCAST, Forest Carbon-Nitrogen Trajectories. Final Report to the EU, (Contract EVK2-CT 1999-00035) , 53 pp.

Warr, B. 1996. Flakaliden Fine Root Study – July 1996. University of Reading, Department of Soil Science, 17 pp.

PUBLIKATIONER PÅ SVENSKA

Andersson, M., Bergh, J., Börjesson, P., Dahlin, B. & Sallnäs, O. 2001. Biobränsleproduktion genom näringsoptimerat skogsbruk. *Energimyndigheten ER 7:2001*, 46 pp. ISSN 1403-1892

Bergh, J. (ed) 2000a. Fiberskog – rapport från ett forskningsprogram om intensivodling av gran. *Swedish University of Agricultural Sciences, Department for Production Ecology, Report 6*, 66 pp. ISSN 1401-5625.

Bergh, J. & Linder, S. 2000. Produktionspotentialen på intensivodlade marker. In: J. Bergh (ed) *Fiberskog. Swedish University of Agricultural Sciences, Department for Production Ecology, Report 6: 20-32*. ISSN 1401-5625.

Bergh, J. & Linder, S. 2006. Grundläggande försök med balanserad näringstillförsel i ungskog av gran. In: Bergh, J. & Oleskog, G. (eds) *Slutrapport för Fiberskogsprogrammet*, pp. 1-14. Sveriges lantbruksuniversitet, *Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, Arbetsrapport 27*. ISBN 91-576-7161-3.

Bergh, J. & Oleskog, G. (eds) 2006. Slutrapport för Fiberskogsprogrammet. Sveriges lantbruksuniversitet, *Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, Arbetsrapport 27*, 129 pp. ISBN 91-576-7161-3.

Bergh, J., Linder, S. & Bergström, J. 1999. Intensivodling av gran - en outnyttjad möjlighet (Intensive cultivation of spruce – unexploited possibilities) *FaktaSkog* Nr. 2, 4 pp. ISSN 1400-7789. (Also available in English)

Bergh, J., Linder, S., Morén, A-S., Grelle, A., Lindroth, A. & Roberntz, P. 2000b. Skogens kolbalans - många faktorer inverkar. *FaktaSkog* Nr. 15, 4 pp. ISSN 1400-7789.

- Bergh, J. et al. 2006. Syntesrapport av Slutrapport för Fiberskogsprogrammet. *Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, Arbetsrapport 28*, 19 pp. ISBN 91-576-7161-3
- Bertills, U. & Näsholm, T. (eds) 2000. *Effekter av kvävededfall på skogsekosystem*. Naturvårdsverket, Rapport 5066, 154 pp. ISBN 91-620-5066-4
- Egnell, G., Nohrstedt, H.-Ö., Weslien, J., Westling, O. & Örlander, G. 1998. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. *Skogsstyrelsens förlag, Rapport 1998(1)*, 170 pp. ISSN 1100-0295
- Egnell, G., Westling, O., Dahlberg, A., Bergh, J. & Rytter, L. 2006. Miljöeffekter av skogsbränsleuttag och askåterföring i Sverige. En syntes av Energimyndighetens forskningsprogram 1997 till 2004. Statens energimyndighet, ER2006:44, 211 pp. ISSN 1403-1892
- Enander, K.G. 2007. Ekologi, skog och miljö. Vetenskap och idéer under 300 år. Sveriges lantbruksuniversitet, *Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Rapport 4*, 262 pp. ISSN 1654-2452.
- Eriksson, H., Bergh, J., Sonesson, J., Blennow, K., Bergquist, J., Nylinder, M., Bylund, H., Schroeder, M., Stenström, E., Barklund, P., Kalén, C., Rosenqvist, P., Josefsson, M., Berggren, U. & Svensson, S.A. 2007. Svenskt skogsbruk möter klimatförändringar. Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen. SOU 2007:60, Bilaga B 18.
- Fransson, P. 2000. Skogsgödsling och mykorrhizasvampar. *FaktaSkog* Nr. 7, 4 pp. ISSN 1400-7789.
- Giesler, R., Grip, H., Magnusson, T. & Hånell, B. 2000. Miljöeffekter vid näringsoptimering med konventionella gödselmedel och pelleterat slam. In: Bergh, J. (ed) *Fiberskog. Swedish University of Agricultural Sciences, Department for Production Ecology, Report 6*: 33-43. ISSN 1401-5625.
- Grip, H. 2006. Miljöeffekter av intensivodling. Effekter på näringsläckage. In: Bergh, J. & Oleskog, G. (eds) *Slutrapport för Fiberskogsprogrammet*, pp. 38-60. Sveriges lantbruks-universitet, *Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, Arbetsrapport 27*. ISBN 91-576-7161-3.
- Högberg, P., Bengtsson, G., Berggren, D., Högberg, M., Nilsson, I., Nohrstedt, H.-Ö., Persson, P. & Sjöberg, M. 2000. Hur påverkas kvävedynamiken i skogsmarken? In: Bertills, U. & Näsholm, T. (eds) *Effekter av kvävededfall på skogsekosystem*, pp. 29-52. Naturvårdsverkets Förlag. ISBN 91-620-5066-4
- Linder, S. 1997. Virkesproduktionens gränser. *Kungliga Skogs- och Vetenskapsakademiens Tidskrift* 135(10): 21-27.
- Linder, S. 1998. Hur påverkas skogsproduktionen av klimatförändringar? *Kungliga Skogs- och Vetenskapsakademiens Tidskrift* 137(8): 53-58.
- Linder, S. & Bergh, J. 1996. Näringsoptimering - granen växer ur produktionstabellerna. *FaktaSkog* Nr. 4, 4 pp. ISSN 1400-7789.
- Linder, S. & Bergh, J. 1997. Näringsoptimering – granen växer ur produktionstabellerna. *Kungliga Skogs- och Vetenskapsakademiens Tidskrift* 136(5): 41-48.
- Linder, S & Lindroth, A. 2001. Kan skogen begränsa växthuseffekten? *Miljöforskning* 2: 8-10.
- Linder, S., Lundmark, T. & Bergh, J. 2007. Gödsling för mer bioråvara från skogen. (Fertilisation for more biofuel from the forest). In: Johansson, B. (ed) *Bioråvaror – till vad och hur mycket? Formas Fokuserar* 11: 199-210.

Lundgren, C. 2000. Ved- och fiberegenskaper vid intensivodling. In: J. Bergh (ed) Fiberskog. *Swedish University of Agricultural Sciences, Department for Production Ecology, Report 6*: 44-52. ISSN 1401-5625.

Lundgren, C. 2004. Intensivodling av gran – Tillväxten ökar mer än veden förändras. *FaktaSkog 6*, 4 pp. ISSN 1400-7789.

Lundgren, C. 2006. Fiberskog som vedråvara. In: Bergh, J. & Oleskog, G. (eds) Slutrapport för Fiberskogsprogrammet, pp. 96-105. Sveriges lantbruksuniversitet, *Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, Arbetsrapport 27*. ISBN 91-576-7161-3.

Nilsson, I., Andersson, P., Berggren, D. & Sjöberg, G. 1991. Experimentella studier av kväve-mineralisering och nitrifikation samt modellsimulering av kvävemättnadstillstånd. Slutrapport till SNV, (Dnr 802-000409-96-1-FF), 15 pp.

Nordborg, F., Bergh, J., Johansson, U. & Nilsson, U. 2000. Skogsskötsel för intensivodlade marker In: J. Bergh (ed) Fiberskog. *Swedish University of Agricultural Sciences, Department for Production Ecology, Report 6*: 53-66. ISSN 1401-5625.

Palmér, C.H. 2008. Balanserad gödsling – ny möjlighet i skogen? *KSLA Nytt & Noterat 2*: 7.

Rosengren, U. & Stjernquist, I. 2004. Gå på djupet! Om rotdjup och rotproduktion i olika skogstyper. *SUFOR-rapport*, 55 pp. ISBN 91-576-6617-2

Ståhl, P.H. 2009. HUProduktionshöjande åtgärderUH. *Skogsskötselserien 16*, 77 pp. Skogsstyrelsens förlag.

Bilaga 3

Förädlat material och kloner

Bo Karlsson, Skogforsk

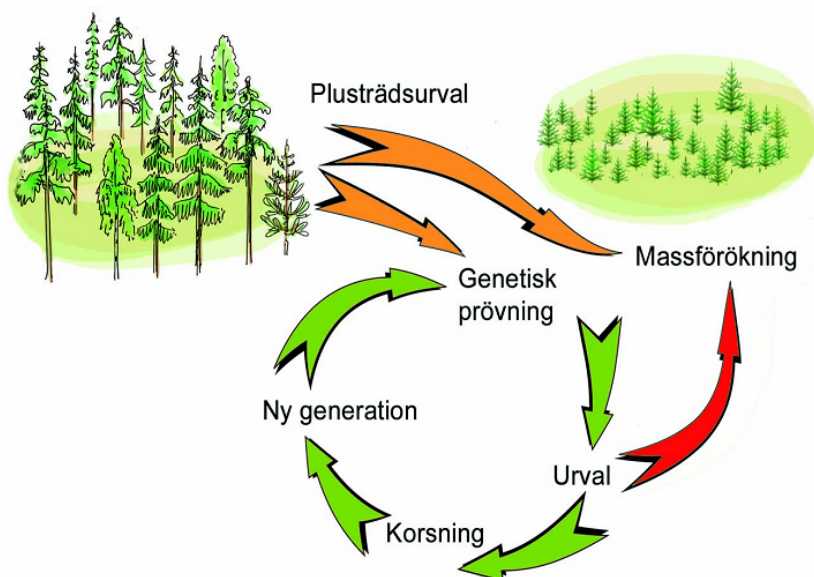
Innehåll

Innehåll.....	2
1. Definition av förädlat material	4
2. Förädlingsnivåer.....	4
3. Förädlingsmål.....	4
Ökad värdeproduktion i brukade granskogar	5
Beredskap för klimatförändringar	5
Långsiktig förvaltning och utveckling av granens genetiska variation	6
4. Förädlingsnivåer.....	6
Provenienser	6
Fröplantager	7
Vegetativt förökad gran (kloning).....	8
5. Principer för användning av klonad gran.	8
Klonvis förökning.....	8
Bulkförökning	9
6. Förökningsmetoder.....	9
Rotade sticklingar.....	9
Somatisk embryogenes.....	9
Tidsaspekter	12
7. Praktisk tillämpning	12
Skötselmodell och förväntad produktion.....	12
Ståndortsval för användning av klonad gran	12
Gödsling av klonade skogar	12
10. Risker för abiotiska skador.....	13
11. Genetiska risker.....	13
12. Problem och möjligheter för praktisk tillämpning - vilka praktiska hinder finns idag?.....	13

Plantpriset.....	13
Lagstiftning	14
Fröbrist	14
När skulle metoden kunna användas i full skala?	15
Referenser.....	15

1. Definition av förädlat material

Med förädlat material avses skogsodlingsmaterial som genom selektion och testning besitter en genetisk överlägsenhet över ortens proveniens (Figur 1). Proveniensförflyttning är den mest primitiva formen av genetisk förbättring av skogsodlingsmaterialet och användning av testade och selekterade kloner den mest avancerade. En än mer avancerad form är kloner vars genom modifierats artificiellt s.k. GMO behandlas inte här eftersom en praktisk användning bedöms vara tidsmässigt alltför avlägsen.



Figur 1. Förädlingscykeln: Urval – korsning – testning – nytt urval o.s.v.

2. Förädlingsnivåer

Den genetiska förädlingsnivån anges oftast som en procentuell vinst. Normalt avses mertillväxten jämfört med ortset skogsodlingsmaterial d.v.s. den genetiska konstitution man skulle fått på plantmaterialet om man hade självföryngrat ett bestånd. Denna skattning av mertillväxten är grundad på mätningar i unga avkommeprövningar eller klontester, men forskning visar att tidiga mätningar (ca 20 % av omloppstiden) ger bra indikationer för att skatta vinsten i arealproduktion under omloppstiden.

3. Förädlingsmål

Det är många enskilda egenskaper som kan påverkas med genetik, men granförädlingen kan sammanfattas i tre övergripande huvudmål. Dessa är:

1. Ökad värdeproduktion i brukade granskogar
2. Beredskap för kommande klimatförändringar
3. Långsiktig förvaltning och utveckling av granens genetiska diversitet

Vart och ett av de tre målen har olika tidshorisonter. En ökad värdeproduktion kan direkt omsättas i befintligt skogsbruk och nyttiggöras inom en omloppstid. Beredskapen för kommande klimatförändringar och effekterna av en omsorgsfull förvaltning av den genetiska variationen kan

nyttiggöras först på mycket lång sikt genom att garantera genetisk diversitet för uthållig och flexibel förädling och för naturlig utveckling av arten i en avlägsen framtid.

Ökad värdeproduktion i brukade granskogar

Ökad värdeproduktion i det nya skogsodlingsmaterialet av gran åstadkommer man genom att påverka egenskaper som styr överlevnad, sundhet, tillväxt och kvalitet.

Överlevnad och skadefrihet

En hög överlevnad är av stor vikt för att såväl produktion och kvalitetsdaning ska lyckas. Överlevnaden är ofta en funktion av andra egenskaper som var för sig kan vara starkt genetiskt styrda. Skottskjutningen t.ex. är starkt genetiskt styrd och påverkar risken att drabbas av frostsador på försommaren.

Produktion

Såväl höjdtillväxt och diameterutveckling är egenskaper som i hög grad styrs genetiskt. Naturligtvis påverkas produktionen av andra genetiskt styrda egenskaper som t.ex. tillväxtrytm, en senare tillväxtavslutning ger trädet möjlighet att utnyttja tillväxtsäsongen längre än de som avslutar tillväxten tidigt. Å andra sidan kan en för sen tillväxtavslutning innebära risk för höstfrostsador.

Kvalitet

Granens kvalitet är starkt styrd av planteringsförband och skötsel. Det gäller framför allt en så viktig kvalitetspåverkande egenskap som årsringsbredd. Det finns dock stora möjligheter att påverka förutsättningarna för en god kvalitetsdaning med hjälp av genetik. Exempel på egenskaper som är starkt genetiskt styrda är t.ex. grenvinkel och krokighet. Även grendimensioner och antal har ett visst mått av genetisk styrning, medan en egenskap som t.ex. sprötkvist kan variera i fråga om genetisk styrning. På vissa lokaler där sprötkvistförekomsten beror på frostsador finns en genetiskt bakomliggande orsak medan det på andra lokaler inte går att hitta genetiska orsaker. Inre vedkvalitet som t.ex. veddensitet är också starkt genetiskt styrd.

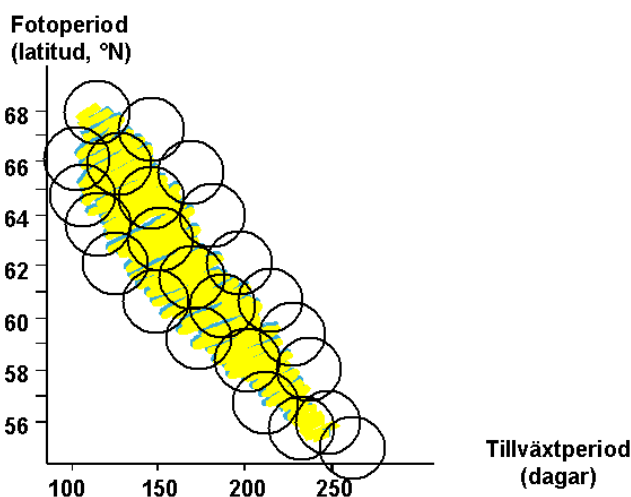
Frostsador

I södra Sverige drabbas en del granplanteringarna av försommarfroster, en eller flera gånger under de första 10 åren. Effekten av dessa froster kan variera avsevärt beroende på plantornas egenskaper. Resultat från SkogForsks granförsök visar att både tillväxt och kvalitet påverkas märkbart. Granar som har skadats av försommarfrost i unga år får t.ex.: fler sprötkvistar, större frekvens dubbeltoppar, fler krokiga rotstockar, sämre volymproduktion.

Förädlad gran, med en skottskjutningstidpunkt som är anpassad till lokalklimatet ökar chanserna till ett lyckat bestånd.

Beredskap för klimatförändringar

Ett viktigt långsiktigt mål är att hålla en beredskap för kommande klimatförändringar. Eftersom ingen med säkerhet kan förutsäga hur klimatförändringarna kommer att påverka odlingsförutsättningarna för granen i framtiden är det viktigt att bedriva förädlingen på ett sätt som ger stor flexibilitet när det gäller egenskaper som är viktiga för granens klimatanpassning. Exempel på egenskaper som är viktiga är t.ex. skottskjutning på våren och tillväxtavslutning på hösten. Ambitionen att ha en förädlingsstrategi som syftar till att bevaka klimatförändringar illustreras i Figur 2 där populationerna delvis ligger utan för nuvarande klimatgränser. Förädlingens strategi att alltid testa nya sorter på minst 4 lokaler och selektera generalister, alltså sådana som går generellt bra i olika miljöer, är också ett sätt att möta en osäker framtid.



Figur 2. Diagram som visar de olika delpopulationernas fördelning i Sverige. Det gulfärgade området är Sverige med dagens klimatgränser. Det faktum att ringarna delvis ligger utanför dessa gränser markerar beredskap för klimatförändringar.

Långsiktig förvaltning och utveckling av granens genetiska variation

Den svenska skogsträdsförädlingen är unik så till vida att den kombinerar förädling med en aktiv förvaltning av de genetiska resurserna inom olika delpopulationer. Tack vare att populationerna är rätt dimensionerade och genetiskt separerade från varandra kommer den totala genetiska variationen bevaras på en hög nivå. Det är en förutsättning för att kunna fortsätta att åstadkomma vinster i förädlingen. Svensk skogsträdsförädling är dimensionerad för att kunna fortsätta till nästa istid utan att väsentlig genetisk variation går förlorad

4. Förädlingsnivåer

Provenienser

Med ordet proveniens menas den plats varifrån ett skogsodlingsmaterial har hämtats. Från att ha omfattat enbart beståndsfröpartier används nu termen proveniens även för förädlad material från t.ex. fröplantager.

De rekommendationer om förflyttning och användning av granprovenienser som finns i skogsstyrelsens författningssamling (Anon. 1993) är grundade på framför allt två serier med granproveniensförsök. Det ena planterades 1964 i ett internationellt forskningssamarbete (Persson & Persson 1992) och det andra planterades 1969 (Werner & Karlsson 1981). Gemensamt för båda

serierna är slutsatsen att nordförflyttad gran får en ökad produktion. Detta kan förklaras dels med den senare skottskjutningen som medför en mindre risk för skador av försommarfrost, och dels p.g.a. att den utnyttjar den längre tillväxtsåongen på sensommaren.

Ett rimligt antagande för gran i Sverige som helhet är att vinsten av lämplig proveniens och första generationens fröplantager är av samma storleksordning, d.v.s. ca 10 %.

Fröplantager

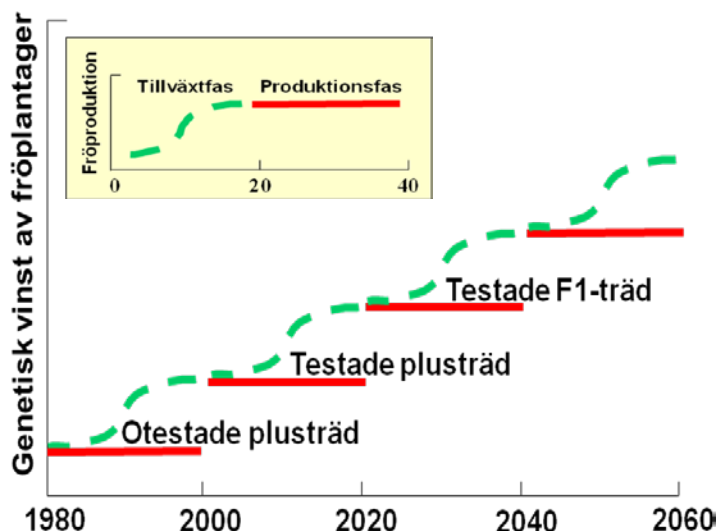
En fröplantage består av kloner som har testats i avkommeprövning eller klontest. Normalt finns det 15-40 kloner i en fröplantage som anlagts med testat material. Träden förökas upp i tillräcklig mängd genom ympning med en vanlig granplanta som grundstam eller genom sticklingförökning och blir på så sätt rotäkta.

Plantagens storlek ligger normalt på mellan 5 och 20 ha. Om plantagen är mindre än 5 ha anses mängden pollen i plantagen bli för liten för att en tillfredsställande andel av producerade frön ska vara pollinerade med pollen från plantageklonerna.

Den genetiska vinsten för plantor uppdragna från plantagefrö kan förenklat beräknas som medelvärdet av de ingående klonernas avelsvärden. Det praktiska utfallet överensstämmer inte till fullo med det teoretiska, p.g.a. att kloners bidrag avseende pollen och honblommor är olika stort. Därtill får man även in pollen från oförädlade bestånd. Till den genetiska överlägsenheten ska läggas en fysiologisk positiv fröeffekt som framför allt ger jämnare odlingar i plantskolan.

Forskning har visat att granfröplantager oftare ger riklig blomning och skörd om plantagen ligger i ett område med ett varmt och torrt sommarklimat. I Sverige ligger de bäst fungerande fröplantagerna på Österlen i Skåne och på Öland.

Det är viktigt att anlägga nya fröplantager efterhand som nya vinster genereras i förädlingen (Figur 3). En ny omgång fröplantager (30) är under anläggning i Sverige. Vinsterna kommer att öka jämfört med tidigare plantageomgångar (Figur 4) (Rosvall m.fl. 2001).



Figur 3. Nya fröplantager synkroniseras med förädlingspopulationer i en 20-årig cykel. Förädlingsarbetet har en cykeltid på omkring 20 år. En fröplantage har en etablerings- och tillväxtfas på cirka 20 år och en lika lång produktionsperiod. Genom att för en plantagezon alltid ha plantager i både produktionsfas och tillväxtfas kan förädlingsframstegen tillgodogöras så snabbt som möjligt.



Figur 4. Nuvarande realiserade vinster från andra omgången (över strecket) fröplantager och beräknade vinster från tredje omgången (30) under strecket.

Vegetativt förökad gran (kloning)

Det mest effektiva sättet att utnyttja genetiska fördelar är att använda vegetativt förökad skogsodlingsmaterial, t.ex. sticklingar. Till skillnad från fröförökat material kan önskvärda egenskaper bevaras utan att oönskad genetisk variation "späder ut" egenskapen. Eftersom den vegetativa förökningen ger plantor som är genetiskt exakta kopior av varandra finns ingen genetisk variation för en viss egenskap inom klonen. Den genetiska variation som ändå är önskvärd inom ett bestånd fås genom att ett tillräckligt stort antal kloner blandas i ett och samma plantparti. Det är också viktigt att komma ihåg att miljön skapar en stor variation i ett bestånd. Därför är det ofta svårt att hitta flera individer som har identiskt utseende i beståndet (Högberg et al. 1995).

Med klonad gran avses här vegetativt förökad gran. Det är viktigt att skilja på vegetativ förökning där förökningen avser vissa selekterade kloner med önskade egenskaper och där förökningen görs utan att särskilja kloner under förökningen s.k. bulkförökning.

5. Principer för användning av klonad gran.

Klonvis förökning

Vid klonvis förökning särhålls enskilda kloner under förökningen. Normalt har klonerna selekterats för förökning på önskvärda meriter. Meriterna kan vara fenotypiskt bedömda på en moderplanta t.ex. skottskjutningstidpunkt som är mycket starkt genetiskt styrd och förändrar sig lite med ökande ålder. Andra egenskaper är testade efter många (6-15) år i fältförsök på flera lokaler t.ex. tillväxt och kvalitetsegenskaper. De kloner som uppfyller kraven väljs ut och klonerna förökas sedan klonvis i plantskolan. På så vis får man ett plantmaterial med mycket exakt definierbara egenskaper. Korskogsbruk med testade kloner startades i Tyskland under 1970-talet (Kleinschmit et al., 1973) och

introducerades i Sverige under 1970-90 talet (Karlsson, 2000). I Sverige har tre olika projekt drivits. Hilleshög (numera Södra Odlarna) startade ett projekt 1975 där kloner ur bruksprovenienser valdes ut och testades i stor skala, ca. 6000 kloner testades (Bentzer, 1981). Ett annat sydsvenskt projekt startade i slutet på 1970-talet av Skogsstyrelsen och Domänverket. I det projektet testades över 9000 kloner i fältförsök (Karlsson, 1993). Ett mellansvenskt projekt startade 1989 och har valt ut nästan 5000 kloner som fälttestas (Hannerz & Wilhelmsson 1992). Syftet med alla tre projekten var att producera stora mängder vältestade högproducerande kloner efter avslutad testperiod. Emellertid ledde bl.a. problem med dålig rotning till alltför höga plantpriser varför projekten avslutades under 1990-talet.

En viktig lärdom från de tre projekten är att problemen med klonåldrande under testtiden måste lösas för att kunna producera sticklingar till en tillräckligt låg kostnad.

Bulkförökning

Vid bulkförökning förökas ett varierande antal kloner utan att enskilda kloners identitet bevaras under förökningsprocessen. Normalt används bulkförökning när man önskar ett stort antal plantor ett begränsat fröparti. Det kan röra sig om enskilda korsningsfamiljer mellan selekterade elitföräldrar eller ett fröparti från en fröplantage som plockats enbart på önskad föräldrakloner s.k. särplockning. Det medför att ett begränsat fröparti kan utnyttjas på en större areal.

6. Förökningsmetoder

Gran kan förökas vegetativt genom produktion av rotade sticklingar eller genom somatisk embryogenes.

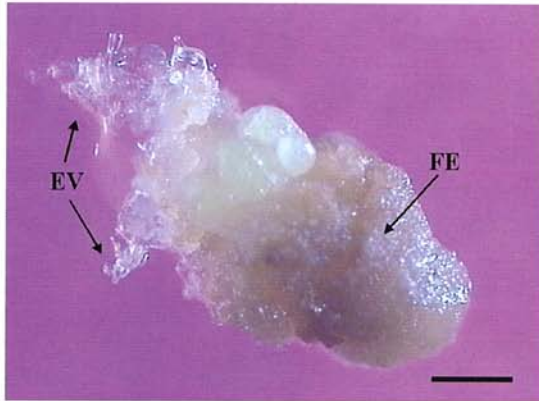
Rotade sticklingar

De första försöken att framställa sticklingar av gran gjordes i Tyskland och beskrevs av Pfifferling (1830) (i Kleinschmidt et al., 1973). Under 1970 och 80 talet blev metoden kommersiellt använd i Sverige (Karlsson, 2000). Rotningen kan utföras under vårvintern av förvedade och invintrade sticklingar skördade under vinterhalvåret eller som halvförvedade ännu ej invintrade sommarsticklingar under augusti/september. Sticklingförökning har en begränsning p.g.a. att moderplantorna som sticklingarna skördas på måste vara tillräckligt juvenila. När juveniliteten avtar minskar rotningförmågan och den apikala dominansen avtar. Detta har varit ett problem i de klonskogsbruksprojekt som har drivits i Sverige eftersom åldrandet av klonerna under testtiden i fält innebar att plantbildningsprocenten avseende acceptabla plantor blev alltför låg och därmed oacceptabelt höga plantkostnader. Under en 20-årsperiod planterades mer än 25 miljoner rotade gransticklingar i framför allt Sydsverige. Merparten av dessa var klonvis förökade men inte speciellt hårt selekterade.

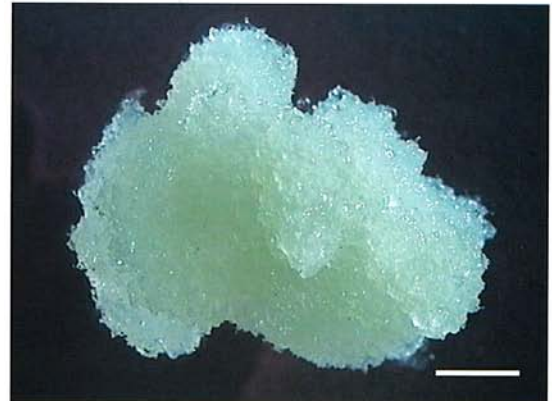
Somatisk embryogenes

Denna metod utgår från ett vanligt embryo från ett frö. Genom att i laboratoriet behandla detta embryo med tillväxthormoner initieras en "oorganiserad" tillväxt av cellvävnad (Devillard & Högberg, 2004). När tillräcklig mängd har erhållits av denna vävnad tillsätts ett annat hormon som gör att cellvävnaden organiserat börjar bilda nya "somatiska" embryon, var och ett med barr och rotanlag, färdiga att bilda var sin ny granplanta. En mycket stor fördel med denna förökningsmetod jämfört med sticklingar är att den vävnaden kan lagras i flytande kväve (-196°C). Det möjliggör lagring under tiden klontestning pågår i fält, vilket innebär att problemen med klonåldrande minskar. Metoden har för gran utvecklats i samarbete mellan SLU och Skogforsk. Tillvägagångssättet framgår av Figur 5 (Devillard & Högberg, 2004). Somatisk embryogenes är en idag fungerande metod för kloning av gran men momenten måste

rationaliseras och automatiseras för att komma ner till rimliga plantpriser. Praktiska projekt med syfte att klontesta och massföra testade kloner producerade genom somatisk embryogenes pågår för närvarande.



Steg 1. Initieringen startar i slutet av juli/början av augusti genom att ett embryo plockas ut ur ett omoget frö och läggs på ett sterilt näringsmedium i en petriskål. Genom att tillsätta tillväxthormoner stimuleras cellerna i embryot att bilda vävnad med potential att utveckla nya embryon. Sådan vävnad kallas embryogen. Bilden visar ett isolerat fröembryo (FE) med embryogen vävnad (EV) (strecket är i verkligheten 0,5 mm). Foto: Christine Devillard



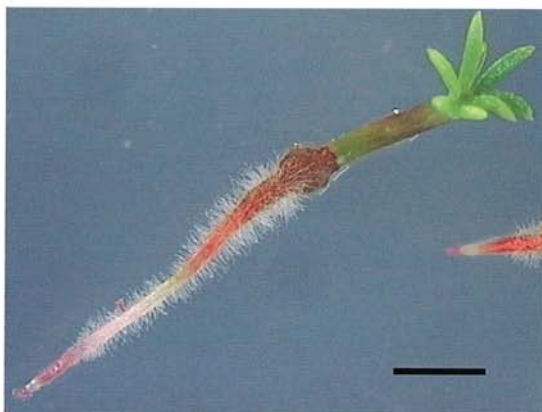
Steg 2. Prolifereringen är beteckningen för det steg under vilket vävnadskulturen växer. Det är nu den egentliga förökningen sker. Var fjortonde dag flyttas vävnadskulturerna till petriskålar med nytt medium. Tillväxten av vävnaden är ofta hög och en fördubbling av mängden vävnad per 14-dagarsperiod är vanlig. Bilden visar en embryogen kultur med ett stort antal somatiska embryon (strecket här är 3 mm). Foto: Christine Devillard



Steg 3. När önskad mängd embryogen vävnad har producerats vidtar **mognaden**. Vävnaden läggs på ett medium med hormonet abscissinsyra (förkortat ABA). Då börjar vävnaden utvecklas till nya embryon, s.k. somatiska embryon. Processen tar ca sju veckor. Mognadsfasen är viktig eftersom den påverkar embryots kvalitet och i förlängningen resultatet av den fortsatta groningen och plantutvecklingen. Bilden visar somatiska embryon under mognad (strecket är 1 cm långt). Foto: Christine Devillard



Steg 4. För att få en så jämn groningen som möjligt genomgår dessa mogna somatiska embryon därefter en viss grad av torkning (s.k. partiell torkning). Under denna process, som tar tre veckor, minskas embryonas vattenhalt på ett kontrollerat sätt. Bilden visar mogna somatiska embryon under partiell torkning (strecket är 1 cm). Foto: Christine Devillard



Steg 5. Efter partiell torkning läggs embryona på ett hormonfritt näringsmedium. **Groningsprocessen** startar när embryots rot börjar växa. Efter ca tre månader kan plantorna sedan föras över till växthus. Bilden visar en somatisk embryoplanta under groningen (strecket är 2,5 mm). Foto: Christine Devillard



Steg 6. När de somatiska embryoplantorna nått tillräcklig storlek vidtar **aklimatiseringen**. Då flyttas de från den sterila miljön på laboratoriet, planteras i vanliga odlingskassetter och sätts ut i den osterila miljön i växthus. Från början hålls luftfuktigheten hög i växthus, varefter plantorna gradvis vänjs till lägre luftfuktigheter. Efter tre-fyra veckor är plantorna aklimatiserade till standardbetingelser varefter odlingen kan fortsätta med vanliga skötselrutiner. Bilden visar plantor framställda *in vitro* från somatiska embryon (strecket är 1 cm). Foto: Christine Devillard

Figur 5. Somatisk embryogenes steg för steg. Ur (Devillard & Högberg, 2004)

Tidsaspekter

Material med olika förädlingsnivå tar olika lång tid att generera när ett beslut har tagits (Tabell 1). Vegetativt förökat material jämförs i tabellen med fröförökat skogsodlingsmaterial som är det alternativ som står till buds när det inte finns eller p.g.a. restriktioner inte är möjligt att använda vegetativt förökade plantor. Användning av förflyttade provenienser och fröplantager av omgång 1 och 2 finns normalt tillgängliga utan väntetid. Fröplantagefrö från 3:e omgångens plantager finns tillgängligt ca 15 år från plantageanläggning. Vegetativ bulkförökning av testade fröpartier kan finnas tillgängliga efter 3 år medan väntetiden för testade kloner blir ca 10 år på grund av en minst sexårig fälttestning.

Tabell1. Genetisk vinstnivå och väntetid på skogsodlingsmaterial från det att beslut har tagits om att använda för skogsodling.

Material	Genetisk	
	nivå (%)	Väntetid (år)
Proveniensförflyttning	10	0
Fröplantager omg 1	10	0
Fröplantager omg 2	15	0
Fröplantager omg 3	25-30	0-15
Vegetativ bulkförökning av testade familjer	30-35	3
Klonskogsbruk med testade kloner	30-40	10

Beroende på vilken vegetativ förökningsmetod som används variera tiden som det tar att föröka upp ett material till stora plantkvantiteter. Sticklingar är ett långsamt sätt att föröka upp material speciellt fröpartierna är begränsade, medan somatisk embryogenes teoretiskt sett inte har några begränsningar i möjligt antal plantor efter 3 år (Högberg personlig kontakt).

7. Praktisk tillämpning

Skötselmodell och förväntad produktion

Förädlad eller klonad gran skiljer sig inte principiellt från normalt granskogsbruk. Skötselåtgärderna under en omloppstid ska därför anpassas till odlingsmaterialets förädlingsnivå. Det förädlade materialets förväntade merproduktion kan omvandlas till ett förväntat högre ståndortsindex för aktuell mark.

Ståndortsval för användning av klonad gran

Valet av ståndort för plantering av vegetativt förökad gran skiljer sig inte principiellt från val av ståndorter för gran i övrigt. Ett selekterat plantmaterial med en ökad produktionsförmåga kan anses öka produktionen proportionellt oberoende ståndortsindex. Om ekonomiska kalkyler där räntan beaktas kommer lönsamheten att bli högre på goda ståndorter med högre produktion och kortare omloppstider.

Gödsling av klonade skogar

För att ytterligare öka effekten av klonskogsbruk finns möjlighet att gödsla i skogar med utvalda kloner. I en undersökning av Sonesson m.fl. (2005) gjordes försök med gödsling i klontester med 985 kloner på tre försökslokaler. Slutsatsen från den undersökningen var att det finns ett relativt kraftigt samspel mellan klon och gödsling, dvs olika kloner reagerar olika starkt på gödsling. Den

sammanlagda effekten på höjdtillväxten av gödsling och genetiskt urval är större än vad som kan förväntas additivt men inte helt multiplikativ. För att kunna utnyttja samspelet måste klonurvalet göras i gödslade försök. Dessutom verkar genetiska variationen uttryckas bättre vid gödsling. Resultaten bygger på enbart två års höjdtillväxt efter gödsling varför de bör tolkas med försiktighet. Det finns dock inga skäl att misstänka att resultaten inte skulle vara åtminstone additiva. Om så är fallet kan gödsling utnyttjas i kombinationen förädling följt av vegetativ bulkförökning utan isärhållning av enskilda kloner.

10. Risker för abiotiska skador

Risken för abiotiska skador skiljer sig inte avsevärt från de som finns vid gängse användning av gran i svenskt skogsbruk. I viss mån skulle riskerna vad beträffar t.ex. frostsador kunna betraktas som mindre eftersom detaljkunskapen är bättre än för oförädlad material.

Sticklingförökade granars stormstabilitet studerades efter stormen Gudrun år 2005. Resultatet från den undersökningen var att sticklingar och fröplantor inte skilde sig i skadegrad i de försök där de jämfördes som planttyper (Karlsson, 2007).

Det kan tänkas att det finns en gräns för vattenförsörjningen vid plantering av mycket högproduktiva skogsodlingsmaterial av gran på alltför torra ståndorter.

11. Genetiska risker

Användning av vegetativt förökade plantor i allmänhet och enskilda kloner i synnerhet förknippas ofta med risker. En konsekvensutredning har utvärderat klonskogsbruk med gran i Sverige (Sonesson et al., 2001). En fråga som ofta dyker upp är osäkerheten om huruvida den genetiska basen är tillräcklig stor. Det är viktigt att kunna avväga diversiteten i förhållande till produktionen eller maximera produktionen vid en given diversitet (Lindgren, 1998). Skogsträdsförädlingen i Sverige har en förädlingspopulation som är dimensionerad att garantera den genetiska variationen för framtiden och variationen på beståndsnivå garanteras genom att det förädlade fröet produceras i fröplantager med tillräckligt stort klonantal (Danell, 1993). För användning av klonat material råder idag liberala regler upp till en viss arealbegränsning (Anon., 2002). Det ligger dock i skogsbrukets intresse att dimensionera klonmaterialet så att en tillräcklig diversitet erhålls på beståndsnivå. För närvarande utreds eventuella risker med användning av förädlad material av prof. Dag Lindgren inom ett regeringsuppdrag om förädlad material (Regeringsbeslut 21 (Jo2008/1883)).

12. Problem och möjligheter för praktisk tillämpning - vilka praktiska hinder finns idag?

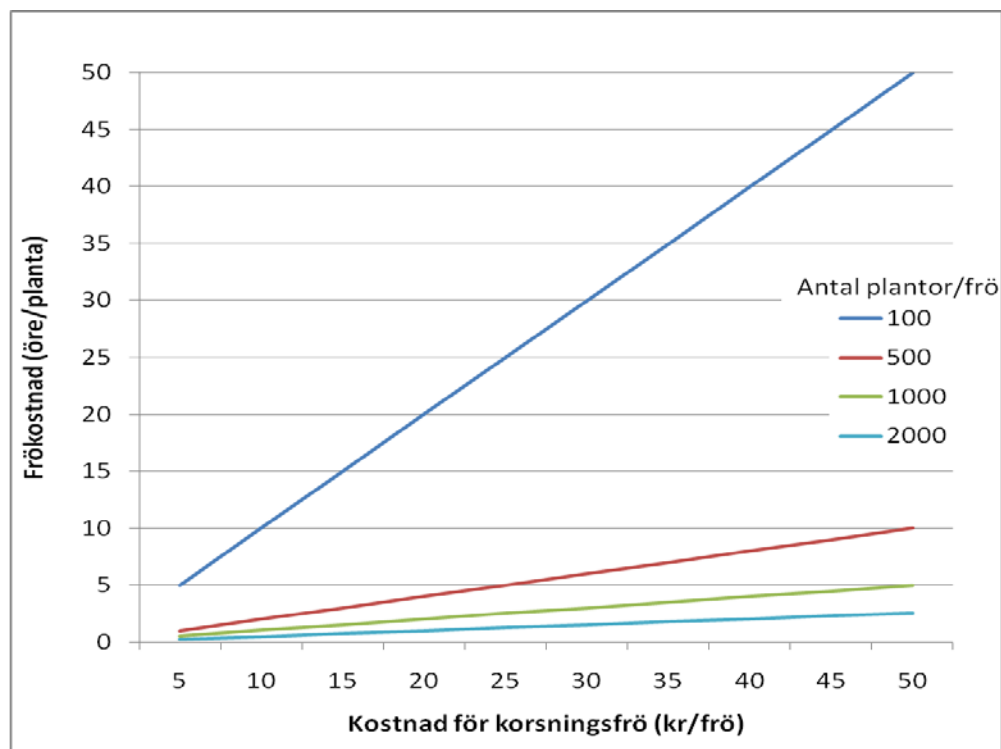
Plantpriset

En förutsättning för att konceptet, intensivskogsbruk med förädlad gran, ska kunna implementeras och därmed erhålla förväntade produktionsvinster är att plantor av de mest avancerade förädlingsformerna finns tillgängliga.

Det snabbaste alternativet att producera plantor med en högre förädlingsnivå än konventionellt fröplantagefrö är vegetativ bulkförökning av selekterade fröpartier med dokumenterat goda egenskaper. Dessa fröpartier alltid kommer att vara en bristvara varför en effektiv förökning är en förutsättning. Uppförökning av fröpartier med hjälp av sticklingar är en känd metod som har använts i praktisk plantproduktion intermitterande från 1980-talet och framåt. Plantbildningsprocenten har uppvisat stor variation från gång till gång. Det finns många orsaker till denna variation. Moderplantornas ålder

och fysiologiska status har visat sig betydelsefull för såväl produktionen av sticklingris som rotningsprocent och apikal dominans hos den rotade sticklingen. Plantbildningsprocenten är av stor betydelse för plantkostnaden.

En annan faktor som påverkar plantkostnaden är kostnaden för fröpartiet som används som utgångsmaterial. Denna är dock av liten betydelse om en hygglig förökningsfaktor (plantor/frö) kan uppnås. Figur 6 visar hur plantkostnaden påverkas av kostnaden för ett genetiskt högvärdigt frö.



Figur 6. Frökostnad per planta vid vegetativ förökning av selekterade fröpartier.

Lagstiftning

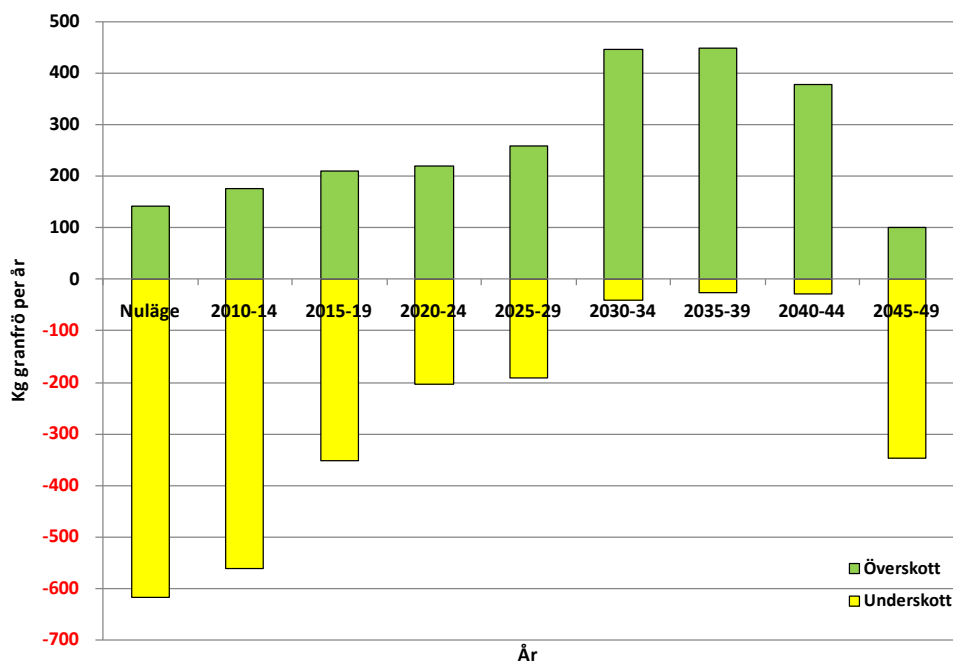
Användning av vegetativt förökat skogsodlingsmaterial regleras i skogsvårdslagen (Anon. 2002). Där föreskrivs att maximalt 5 % av arealen på varje brukningsenhet får utgöras av vegetativt förökat skogsodlingsmaterial. På mindre brukningsenheter får dock alltid högst 20 ha skogsodlas med klonförökat material även om 5 % regeln överskrids. Dessa regler kan då inte sägas utgöra något hinder på mindre privata fastigheter medan det på större fastigheter och juridiska skogsinnehav kan vara en begränsning. Definitionen av en ”brukningsenhet” är här avgörande för hur stora arealer som kommer att finnas tillgängliga. I områden med stor frekvens marker med höga ståndortsindex kommer lagstiftningen att kunna utgöra en allvarlig begränsning.

Liksom för användning av främmande träslag finns också en anmälningskyldighet vid beståndsanläggning med vegetativt förökat skogsodlingsmaterial. Anläggning av bestånd större än 0,5 ha måste anmälas minst till Skogsstyrelsen minst 6 veckor före plantering.

Fröbrist

Det idag största hindret för närvarande för att utnyttja konventionellt realiserbara förädlingsvinster fullt ut är brist på förädlad frö från befintliga fröplantager. Denna brist är speciellt uttalad för gran och kommer att bestå under lång tid framåt (Almqvist et al 2009). Figur 7 visar prognostiserad fröbrist.

Fröbrist medför också att särplockning av de bästa klonerna i en fröplantage inte möjlig/lämplig eftersom genetiska vinsten på resterande frö reduceras.



Figur 8. Över- och underskott av frö från granfröplantager för hela Sverige fram till 2050 vid skötsel enligt basalalternativet, d.v.s. nuvarande skötselintensitet. Att det finns både över- och underskott samtidigt beror på att vissa zoner har överskott på frö, medan andra har underskott. 100 kg frö motsvarar ca. 10 milj. Plantor.

Det finns tillämpbar kunskap att avhjälpa fröbristen. Olika metoder att öka skördarna i befintliga fröplantager ger dock bara en ökad mängd frö med den begränsade förädlingsvinst som kan uppnås i första och andra omgångens fröplantager. Om mängden skogsodlingsmaterial med högre förädlingsvinst ska ökas måste vegetativ förökning av högförädlad frö användas.

När skulle metoden kunna användas i full skala?

Det finns redan idag ett genetiskt utgångsmaterial för gran som kan ge produktionsvinster på mer än 30 % på jämfört med oförädlad odlingsmaterial. Om befintlig förökningsteknik används kan det på 3-5 år sikt finnas ett planmaterial i stor skala.

Referenser

Almqvist, C., Wennström, U. & Karlsson, B. 2009. Hur öka tillgången på förädlad skogsodlingsmaterial. Analys av fröförsörjningsläget per fröplantagezon och förslag till åtgärder för att öka fröproduktionen. Manuskript. Skogforsk.

Anonymus 1993. Skogsstyrelsens författningssamling 1993:2. Jönköping.

Anonymus 2002. Skogsstyrelsens författningssamling ISSN 0347-5212, 2002:3. Jönköping.

- Bentzer, B.G. 1993. Strategies for clonal forestry with Norway spruce. In Clonal Forestry II. Conservation and Application. Edited by M.R. Ahuja and W.J. Libby. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. pp 120-138.
- Danell, Ö. 1993. Breeding programmes in Sweden - General approach. In Progeny testing and breeding strategies. Proceedings of the Nordic Group for Tree Breeding, Edinburgh, Scotland. 6-10 October 1993. Supplement. Edited by S.J. Lee. Forestry Commission, Edinburgh.
- Devillard, C., Högberg, K-A. 2004. Somatiska embryon - morgondagens granplantor för intensivskogsbruk. Resultat nr 07. Skogforsk
- Hannerz, M. and Wilhelmsson, L. 1992. Mellansvenskt klonskogsbruk med gran. Information Skogsträdsförädling. Uppsala. 3.
- Högberg, K.A. Eriksson, U. Werner, M. 1995. Vegetativ förökning och klonskogsbruk – med tonvikt på gran. Skogforsk, Redogörelse Nr. 12:1995. Uppsala.
- Karlsson, B. 1993. Twenty years of clonal forestry in Sweden. In Norway spruce provenances and breeding. Proceedings of the IUFRO S2.2-11 symposium in Latvia. Edited by V. Rone. Latvian Forestry Research Institute, Riga. pp 208-212.
- Karlsson, B. 2000. Clone Testing and Genotype x Environment Interaction in *Picea abies*. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 162. Doctoral thesis. ISSN 1401-6230. pp 47.
- Karlsson, B. 2007. Inverkan av plantmaterialets genetik på stormfällning av skog i Götaland. Populärvetenskaplig resultatsammanfattning på svenska. Formas diarienummer: L 239-2005-382.
- Kleinschmit, J., Muller, W. Schmidt, J. and Racz, J. 1973. Entwicklung der Stecklingsvermehrung von Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) zur Praxisreife. Silvae Genet. 22: 4-15.
- Lindgren, D. 1998. Balansen mellan produktion och genetisk mångfald. Fakta Skog Nr 7. Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Persson, A. Persson, B. 1992. Survival, growth and quality of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) provenances at three Swedish sites of the IUFRO 1964/68 provenance experiment. Institutionen för skogsproduktion. Sveriges Lantbruksuniversitet. Garpenberg.
- Pfifferling. 1830. Erfahrungen über die Nachzucht der Fichte durch Steckreiser. Neue Jahrbücher der Forstkunde. 7: 54-62.
- 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, Redogörelse nr 01, 2001
- Sonesson, J. Bradshaw, R. Lindgren, D. Ståhl, P. 2001. Ecological evaluation of clonal forestry with cutting-propagated Norway spruce. Skogforsk, Report No. 1:2001. Uppsala.
- Sonesson, J. Berlin, M. Hannerz, M. Bergh, J. Nilsson, U. 2005. Intensivodling av gran genom gödsling av genetiskt förbättrade träd. Slutrapport av projekt 60:2 till Föreningen Skogsträdsförädling. Opublicerad.
- Werner, M. Karlsson, B. 1981. Resultat från 1969 års granprovenienser i Syd- och Mellansverige. Institutet för Skogsförbättring, årsbok 1982. 90-158. Uppsala

Bilaga 4

Möjligheterna till höjning av skogsproduktionen i Sverige genom dikesrensning, dikning och gödsling av torvmarker

Björn Hånell, Institutionen för skogens ekologi och skötsel, SLU

Innehåll

Förord.....	1
1. Inledning.....	2
1.1 Bakgrund.....	2
1.2 Syfte.....	2
2. Material och metoder.....	2
2.1 Definitioner.....	2
2.2 Ansatser.....	3
3. Resultat.....	3
3.1 Torvmarksarealer och skogsdikningens omfattning i Sverige.....	3
3.2 Produktionshöjning genom rensning av gamla skogsdiken och ev. kompletteringsdikning, viss nydikning samt gödsling.....	9
4. Diskussion.....	22
4.1 Jämförelser med andra beräkningar av de våta markernas skogliga produktionspotential och osäkerheter i gjorda bedömningar.....	22
4.2 Tid för genomförande av beskrivna åtgärder.....	23
4.3 Skogsproduktionen på de torvtäckta markerna kan ökas ännu mer.....	23
5. Sammanfattning och slutsatser.....	24
Referenser.....	25

Bilaga 1. Årlig tillväxt, $m^3sk\ ha^{-1}$, på dikad och odikad torvmark som är produktiv skogsmark.

Förord

Föreliggande studie baseras till väsentlig del på uppgifter som samlats in vid Riksskogstaxeringen under åren 2003 – 2007. Urval och sammanställningar av begärda uppgifter har gjorts med stor hjälp av analytiker Jonas Dahlgren, avdelningen för skoglig statistikproduktion vid institutionen för skoglig resurshushållning, SLU i Umeå.

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Hösten 2008 uppdrog Jordbruksdepartementet åt Sveriges lantbruksuniversitet att utreda möjligheterna till intensivodling av skog på nedlagd jordbruksmark och på skogsmark som saknar höga naturvärden. En del av detta uppdrag består i att redovisa hur stort bidrag till en ökad biomassaproduktion via intensivodling som kan beräknas komma från torvmarker. Det är denna del av uppdraget som behandlas i det följande.

1.2 Syfte

Föreliggande redovisning syftar till att ange den skogsproduktion som kan påräknas från dikesrensning och (ev.) kompletteringsdikning på gamla dikningsområden, viss dikning av redan beskogade men odikade torvmarker, samt från gödsling av skog på väl-dränerade torvmarker.

2. Material och metoder

2.1 Definitioner

En väsentlig del av underlaget till gjorda beräkningar och bedömningar av den skogsproduktion som kan förväntas efter intensivare nyttjande av torvmarker har hämtats från uppgifter som insamlats via Riksskogstaxeringen (RT) under åren 2003 – 2007 (Anon. 2008). Även sammanställningar från tidigare insamlat material vid RT har använts, särskilt från perioderna 1978-82, 1983-88 och 1997-2001.

Det hade varit önskvärt att kunna presentera areal- och produktionsuppgifterna i denna studie fördelade på de (åtta) ståndortstyper som ingår i boniteringssystemet för torvmarker och som definieras och benämns med ledning av karakteristiska indikatorväxter i fältskiktet (Hånell, 1988; 2008). Detta låter sig emellertid inte göras eftersom den registrering av fältvegetationen som gjorts vid RT under senare år helt följer boniteringssystemet för fastmarker. I ett försök att så nära som möjligt efterlikna de ståndortstyper som utgör bonitetsklasser på torvmarker har materialet indelats i sju ståndortstyper med fallande bonitet enligt följande.

1. Höga örter – ståndorter där fältskiktet domineras av högvuxna örter med eller utan ris. Avser registreringar med koderna 01, 02, och 03 i taxeringsinstruktionen.
2. Låga örter – ståndorter där fältskiktet domineras av lågvuxna örter, bredbladiga och smalbladiga gräs (koderna 04, 05, 06, 07, 08, 09)
3. Blåbär-fräken – ståndorter där fältskiktet domineras av blåbär och fräkenväxter (koderna 12, 13)
4. Högstarr – ståndorter där fältskiktet domineras av högvuxna starrarter (kod 10)
5. Bättre ris – ståndorter där fältskiktet domineras av lingon, odon, skvattram, rosling och tranbär (koderna 14, 16).
6. Lågstarr – ståndorter där fältskiktet domineras av lågvuxna starrarter (kod 11).
7. Sämre ris – ståndorter där fältskiktet domineras av kråkbär och ljung (kod 15).

I detta arbete används växtplatsens skogliga produktionsförmåga för att särskilja (produktiv) *skogsmark*, vars medelproduktion är minst $1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, och (oväxtliga) *myrimpediment* vars produktion är lägre än så.

2.2 Ansatser

En investering i aktiva åtgärder för att öka skogsproduktionen på landets torvmarker betyder i praktiken satsningar på att förbättra dessa växtplatsers produktionsförmåga. Det innebär i sin tur åtgärder inriktade på två av växtplatsens egenskaper som (tillsammans med de klimatiska förutsättningarna) är avgörande för skogsproduktionen storlek. Det är *växtplatsens vatten- och näringsförhållanden*. Vilka åtgärder som kommer ifråga på den enskilda växtplatsen beror på den aktuella situationen, dvs. om marken är nöjaktigt dränerad och om dess förråd av växtnäring är tillräckligt för god skogsproduktion, eller inte. I de flesta odikade torvmarker är grundvattenståndet i marken så högt att det blir syrebrist även nära markytan. Vattnet tar syrets plats och växter (inklusive träd) kan inte andas. För god trädväxt på torvmarker krävs därför i de flesta fall att vattenståndet sänks, genom dikning, så att syre kan tränga ner till det djup som huvuddelen av trädens rotsystem utnyttjar. Det vill säga att grundvattenståndet inte bör vara närmare markytan än omkring en halv meter (Heikurainen, 1964; Braekke, 1983; Paavilainen och Päivänen, 1995). För att åstadkomma en sänkning av vattenståndet till den nivån, där vattnet naturligt står högre än så, krävs en dränering av en viss intensitet. Det faktum att avståndet mellan dikena i många gamla dikningsföretag är för stort för att klara det kravet måste beaktas i denna undersökning.

Eftersom skogsdikning på torvtäckta marker praktiserats under lång tid i Sverige finns anledning att skilja mellan dikade och odikade marker när åtgärdsbehoven för att höja skogsproduktionen ska skraddarsys. När det gäller skogsgödsling däremot, har den till helt övervägande del skett i fastmarksskogar och någon uppdelning i gödslade och ogödslade torvmarker behöver inte göras. Eftersom ingen vittring av bergartsbildande mineral förekommer i torv sker där heller ingen kompensation för de mineralnäringsämnen som konsumeras av träd. Praktiskt taget alla torvmarker har därför så begränsade förråd av växtnäringsämnen, särskilt fosfor (P) och kalium (K), att det är för litet för hög och uthållig skogsproduktion (Magnusson och Hånell, 1996; Magnusson, 2009). Med undantag för de allra bördigaste torvmarkerna, som karaktäriseras av en dominans av högvuxna och lågvuxna örter (jfr ovan), kan tillförsel av växtnäringsämnen via gödsling förväntas resultera i en påtaglig ökning av skogstillväxten.

När det gäller dikade torvmarker, kan graden av nöjaktig dränering skattas genom att jämföra aktuell bonitet med dikningsboniteten. I de fall aktuell bonitet är klart lägre kan man på goda grunder anta att dräneringen behöver förbättras. Det kan göras genom *rensning av befintliga diken* och/eller *komplettering med nya diken* till det gamla dikessystemet. Därefter kan en produktionsökning utöver dikningsboniteten åstadkommas genom *gödsling*. På de dikade torvmarker där dikessystemet är tillräckligt effektivt utformat för att hålla grundvattenståndet på önskat minimidjup över hela växtplatsen, reduceras de skogsproduktionshöjande ansträngningarna till enbart gödsling. Ifråga om odikade torvmarker kan dessa bidra till en ökning av skogsproduktionen genom att en viss andel tas i anspråk genom *markavvattning* och (därefter) *gödsling*.

3. Resultat

3.1 Torvmarksarealer och skogsdikningens omfattning i Sverige

Omkring en fjärdedel av landarealen i Sverige, 10 miljoner hektar, är täckt av ett mer eller mindre mäktigt lager av torv (Hånell, 1990). Merparten, ca sex miljoner ha, utgörs av torvmarker som definieras av att torvens mäktighet är 30 cm eller mer. Omkring hälften av de torvtäckta markerna (fem miljoner ha), och därav knappt två miljoner ha torvmark, ingår i den produktiva

skogsmarksarealen, dvs. den årliga skogsproduktionen överstiger en kubikmeter per ha. Den andra hälften av de torvtäckta markerna, inklusive ca fyra miljoner ha torvmark, utgörs av impediment där skogsproduktionen understiger en kubikmeter per ha och år.

Den nuvarande fördelningen av marker med grunda och djupa torvtäcken på skogligt produktiva och improduktiva växtplatser beror till icke oväsentlig del på de ansträngningar som gjorts för att överföra myrimpediment till produktiv skogsmark och för att öka skogsproduktionen på redan produktiv mark, via dikning. Egentlig skogsdikning började på 1850-talet på några bruksmarker i Uppland i samband med att trävaruexport och uppblomstrande skogsindustri lett till en förändrad grundsyn på skogen. Inget statligt stöd till skogsdikning utgick under 1800-talet och åtgärdens omfattning var liten ända fram till sekelskiftet. Därefter ökade dikningsverksamheten påtagligt. Skälen var då inte enbart att höja skogsproduktionen och vinna ny mark utan också att skydda frisk mark från en förmodad, raskt fortskridande försumpning. Svenska Mosskulturforeningen (bildad 1886) främjade skogsdikningen, som också ökade till följd av den lag (från 1906) som förhindrade norrländska skogsbolag att genom köp förvärva nya skogsfastigheter. Eftersom skogsdikning var en synnerligen arbetsintensiv åtgärd då alla diken grävdes för hand, och en övergripande plan för dikningsverksamheten saknades, kom dess omfattning i högsta grad att påverkas av konjunkturvaxlingarna. Således dikades ytterst litet under de båda världskrigen, allra minst åren 1917 och 1945, medan en (hittills oöverträffad) topp i verksamheten nåddes (1933) under depressionen däremellan. Statliga anslag för skogsdikning ställdes då till förfogande (*för afvattning af mark i ändamål af skogsbörd*) för att lindra arbetslösheten. Anslagen var sådana att även mark som hade liten eller ingen lämplighet för skogsproduktion kom att dikas. De ledde till utförandet av ca 23 000 dikningsföretag med en sammanlagd beräknad båtnadsareal av mer än en kvarts miljon hektar. Handgrävningen upphörde på 1950-talet. Istället togs diken upp genom sprängning och senare (helt och hållet) med grävmaskin. Det statliga anslaget för skogsdikning efter andra världskriget stimulerade till dikning av 10 000 – 15 000 ha per år fram till början av 1990-talet då bidraget upphörde. Viss dikning utfördes också utan bidrag under den tid sådant fanns att söka och den dikning som skett därefter har således helt bekostats med privata medel. På 1970-talet började en annan form av skogsdikning att få omfattning – skyddsdikningen. Den utförs för att förhindra försumpning i hyggesfasen och därmed underlätta skogsförnyringen. För att få utföra den traditionella skogsdikningen, som numera kallas markavvattning, krävs sedan 1986 tillstånd från länsstyrelsen. Ansökan om tillstånd är förenad med en kostnad som beror av storleken på dikningsföretaget. Efter tillståndspliktens införande råder dessutom i praktiskt taget hela södra Sverige ett principiellt förbud mot markavvattning. Från detta kan dock dispens erhållas (från länsstyrelsen) om särskilda skäl finns. (Synnerliga skäl krävs alltså inte). Om dispens erhålls, kan tillstånd för den tilltänkta markavvattningen sökas.

Efter införandet av tillståndsplikten för markavvattning och bestämmelserna om det principiella förbudsområdet minskade markavvattningen för ökad skogsproduktion kraftigt (jfr figur 1) och omfattningen är för närvarande ytterst blygsam.

Det är betecknande för skogsdikningen i Sverige att den aldrig bedrivits enligt klara riktlinjer i ett samlat program för att tillgodose ett förutsett behov av skogsråvara på kort eller lång sikt.

Två olika uppgiftskällor står till buds för beräkning av den skogsdikade arealen i landet. Det är dels sammanställningar av längden upptagna diken, dels registreringar av dikning i Riksskogstaxeringens material. Båda källorna har brister som måste beaktas för att vilseledande beskrivningar av utförd dikning ska undvikas. De första uppgifterna om grävda skogsdiken som rapporterats till myndigheterna är från 1873 då Kungliga Domänstyrelsen bildades (figur 1). Dikningen dessförinnan är okänd men var sannolikt av liten omfattning. Statistiken är bristfällig ifråga om dikningen på privat mark före 1905, då skogsvårdsstyrelsernas verksamhet började. Endast en liten eller ingen del av dikningen i bolagsskogarna ingår från denna tid. Inte heller för perioden 1911 – 20 är dikningen i dessa skogar dokumenterade i sin helhet. Den fram till dess utförda, men inte rapporterade dikningen torde som mest uppgå till 100 000 ha.

Uppgifterna om upptagen dikeslängd kan omräknas till dikad areal, under förutsättning att sambandet mellan längd och areal generaliseras. Vanligen antas en kilometer dike avvattna fem hektar mark, dvs. ett medelavstånd av 50 m mellan diken förutsätts. Denna schablon kan dock inte utan vidare tillämpas på de värden som anges av staplarna i figur 1. Dessa innehåller också dikesrensningar, kompletteringsdikningar och omdikningar. Rensningar ingår i uppgifterna redan från 1920-talet, medan dikningar på redan dikad mark i ökande grad gäller tiden efter andra världskriget. Även en hel del av skyddsdikena har tagits upp på gamla dikningsföretag. Således innebär inte all dikning att ny, orörd mark tagits i anspråk. Staplarna i figuren motsvarar sammanlagt ca 407 000 km diken, varav omkring 127 000 km bäckrensning och skyddsdikning. Det bör observeras att rensningarna och dikningarna till en del utförts på mark som inte har varit torvtäckt.

I Riksskogstaxeringens material ingår registreringar för alla slags diken, oberoende av ålder och markägarkategori. Med detta som grund för skattning av dikad areal försvinner också risken för att ett och samma område räknas som dikat mer än en gång. Vid taxeringen anges dikad mark om ett dike som dränerar eller har dränerat marken observeras inom 25 m från utlagd provytas centrum. Om avståndet från dike till ytcentrum är längre än så klassificeras marken som odikad. Det är dock helt klart att verkansområdet hos vissa diken sträcker sig längre än 25 m. Den beräkning av arealen dikad torvmark och våt fastmark som kan göras med taxeringsmaterialet, och som leder till ca 1,5 miljoner ha, är därför sannolikt en underskattning. *Med stöd av de två redovisade uppgiftskällorna kan mellan en och en halv och två miljoner hektar torvtäckt mark i landet bedömas ha tagits i anspråk genom skogsdikning.*

Den sammanlagda arealen torvmarker, både dikade och odikade, kan på basen av de senast tillgängliga taxeringsuppgifterna (RT 2003-07) anges till ca 6 miljoner ha, varav ca 1,7 miljoner ha ingår i den produktiva skogsmarksarealen och resterande dryga fyra miljoner ha utgör improduktiv myr (tabell 1).

De dikade torvmarkerna omfattar drygt en miljon hektar, varav omkring två tredjedelar ingår i den produktiva skogsmarksarealen (tabell 2). Det betyder att 350 000 ha dikad torvmark utgör improduktiva myrar, dvs. helt misslyckade skogsdikningsföretag. Hälften av dessa återfinns i Norra Norrland.

Tabell 1. Areal dikad och odikad torvmark i Sverige som är skogsmark (a) och myrimpediment (b). Fördelning på ståndortstyper och landsdelar. (1000 ha)

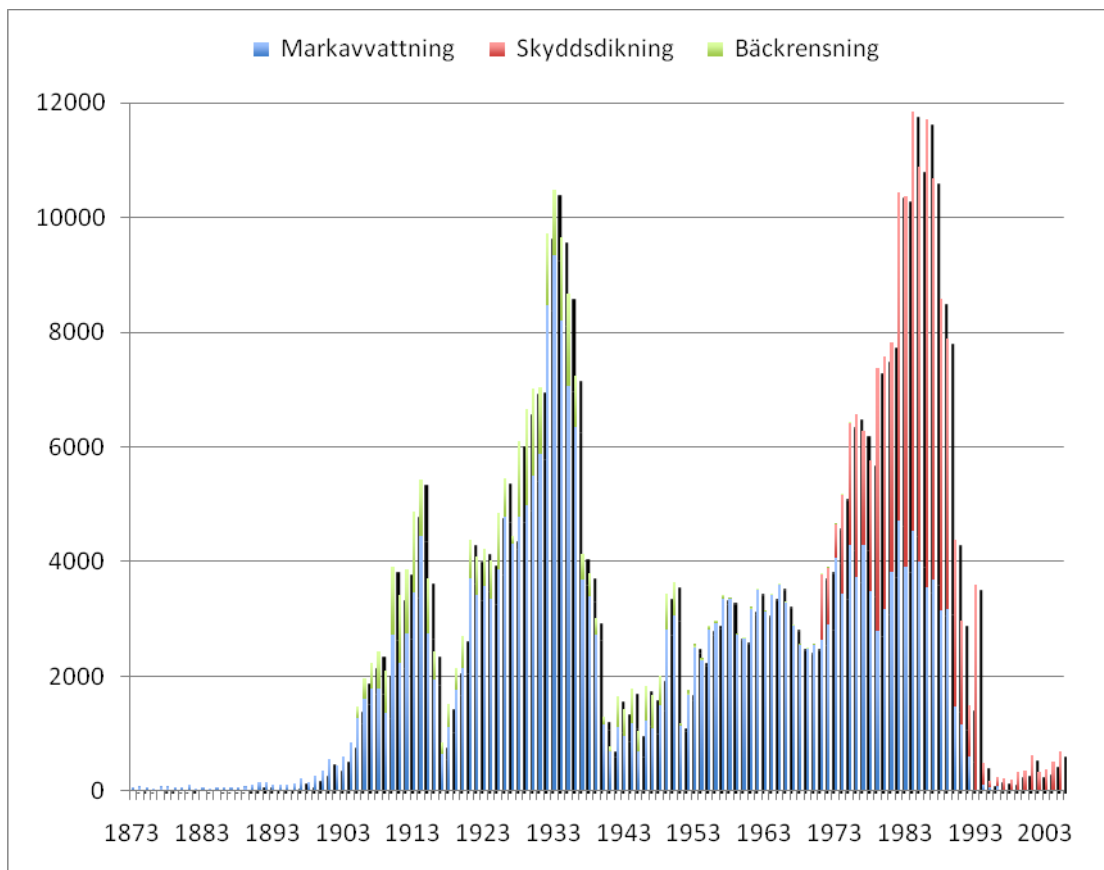
	Högört	Lågört	Blåbär- Fräken	Hög- starr	Bättre ris	Lågstarr	Sämre ris	Summa
<i>(a) skogsmark</i>								
Norra Norrland	9	73	123	8	77	27	19	336
Södra Norrland	81	89	114	4	63	13	13	377
Svealand	45	87	154	16	64	25	22	413
Götaland	48	179	200	34	66	77	4	608
<i>Hela Landet</i>	<i>183</i>	<i>428</i>	<i>591</i>	<i>62</i>	<i>270</i>	<i>142</i>	<i>58</i>	<i>1734</i>
<i>(b) myr</i>								
Norra Norrland	34	110	94	600	197	1039	127	2201
Södra Norrland	57	86	50	160	71	552	87	1063
Svealand	7	49	12	113	61	337	91	670
Götaland	2	43	2	70	9	148	22	296
<i>Hela Landet</i>	<i>100</i>	<i>288</i>	<i>158</i>	<i>943</i>	<i>338</i>	<i>2076</i>	<i>327</i>	<i>4230</i>
<i>Summa</i>								
Norra Norrland	43	183	216	608	275	1066	146	2537
Södra Norrland	138	175	164	164	134	564	100	1439
Svealand	52	136	165	129	125	361	113	1081
Götaland	50	222	202	104	75	224	26	903
<i>Hela Landet</i>	<i>283</i>	<i>716</i>	<i>747</i>	<i>1005</i>	<i>609</i>	<i>2215</i>	<i>385</i>	<i>5960</i>

Tabell 2. Areal dikad torvmark i Sverige som är skogsmark (a) och myrimpediment (b). Fördelning på ståndortstyper och landsdelar. (1000 ha)

	Högört	Lågört	Blåbär- Fräken	Hög- starr	Bättre ris	Lågstarr	Sämre ris	Summa
<i>(a) skogsmark</i>								
Norra Norrland	3	49	48	5	40	12	10	167
Södra Norrland	34	41	34	1	24	2	3	139
Svealand	30	43	48	3	15	4	4	147
Götaland	37	115	87	12	25	16	1	293
<i>Hela Landet</i>	104	248	217	21	104	34	19	746
<i>(b) myr</i>								
Norra Norrland	2	25	10	22	32	70	23	184
Södra Norrland	0	15	6	3	8	32	11	75
Svealand	2	5	0	8	10	15	12	52
Götaland	0	9	1	7	1	13	8	39
<i>Hela Landet</i>	4	54	17	40	42	130	54	350
<i>Summa</i>								
Norra Norrland	5	74	58	27	72	82	33	351
Södra Norrland	34	56	40	4	32	34	14	214
Svealand	32	48	49	11	25	19	16	200
Götaland	37	124	88	19	26	29	9	332
<i>Hela Landet</i>	108	302	235	61	155	164	72	1097

Tabell 3. Areal odikad torvmark i Sverige som är skogsmark (a) och myrimpediment (b). Fördelning på ståndortstyper och landsdelar. (1000 ha)

	Högört	Lågört	Blåbär- Fräken	Hög- starr	Bättre ris	Lågstarr	Sämre ris	Summa
<i>(a) skogsmark</i>								
Norra Norrland	6	24	75	3	37	15	9	169
Södra Norrland	47	48	80	3	39	11	10	238
Svealand	15	44	106	13	49	21	18	266
Götaland	11	64	113	22	41	61	3	315
<i>Hela Landet</i>	79	180	374	41	166	108	39	988
<i>(b) myr</i>								
Norra Norrland	32	85	84	578	165	969	104	2017
Södra Norrland	57	71	44	157	63	520	76	988
Svealand	5	44	12	105	51	322	79	618
Götaland	2	34	1	63	8	135	14	257
<i>Hela Landet</i>	96	234	141	903	296	1946	273	3880
<i>Summa</i>								
Norra Norrland	38	109	159	581	202	984	113	2186
Södra Norrland	104	119	124	160	102	531	86	1226
Svealand	20	88	118	118	100	343	97	884
Götaland	13	98	114	85	49	196	17	572
<i>Hela Landet</i>	175	414	515	944	453	2054	313	4868



Figur 1. Skogsdikningens omfattning i Sverige. Antal km diken med fördelning på markavvattning och skyddsdikning, samt rensade bäckar.

3.2 Produktionshöjning genom rensning av gamla skogsdiken och ev. kompletteringsdikning, viss nydikning samt gödsling.

3.2.1. Dikesrensning och kompletteringsdikning

Det står klart att många skogsdiken i landet är i behov av rensning, men underlaget för att beräkna omfattningen av detta behov är osäkert. Vid Riksskogstaxeringen görs en enkel registrering av dikenans kvalitet i två klasser, "fungerar idag" och "fungerar ej idag". Några särskilda upplysningar till ledning för vad bedömningen ska grundas på ges inte i taxeringsinstruktionen. Av materialet från 1997-2001 framgår att ej fungerande diken hör samman med drygt 200 000 ha dikad torvtäckt skogsmark (Hånell, 2004). I den arealen ingår ca 120 000 ha torvmark (tabell 4). Resten är våt fastmark (som inte behandlas här). Eftersom syftet med dikesrensning primärt är att förbättra växtplatsens dräneringsgrad kan bedömningen av rensningsbehovet inte enbart göras med stöd av uppgifterna om huruvida dikena bedöms fungera eller ej. Det är ingalunda säkert att dräneringsgraden är nöjaktig på de växtplatser som bedömts ha fungerande diken.

Ett resultat av en lyckad skogsdikning är att de s.k. sumpmossorna, dvs. vitmossor, björnmossor och brunmossor, ersätts av friskmarksmossor (väggmossa, husmossa, m.fl.). Omvänt gäller att riklig förekomst av sumpmossor på dikad mark är en stark indikation på undermålig dränering. Haveraaen (1969) som studerade gamla dikningsområden i Nord-Trøndelag i centrala Norge, fann att dräneringen var otillräcklig för god skogsväxt om mer än 20 % av bottenskiktet utgjordes av sumpmossor. I den analys av taxeringsmaterialet från 2003-07 som gjorts i den här rapporterade studien kan utläsas att

merparten (nästan 300 000 ha) av arealen torvmark som är skogsmark med fungerande diken, totalt ca 542 000 ha, har dominans (dvs. > 50 %) av sumpmossor i bottenskiktet (tabell 5, figur 3).

Tabell 4. Dikad skogsmark, ej fungerande diken. Fördelning på dominerande fältvegetation, markslag och landsdelar. 1000 ha. (Från Hånell, 2004).

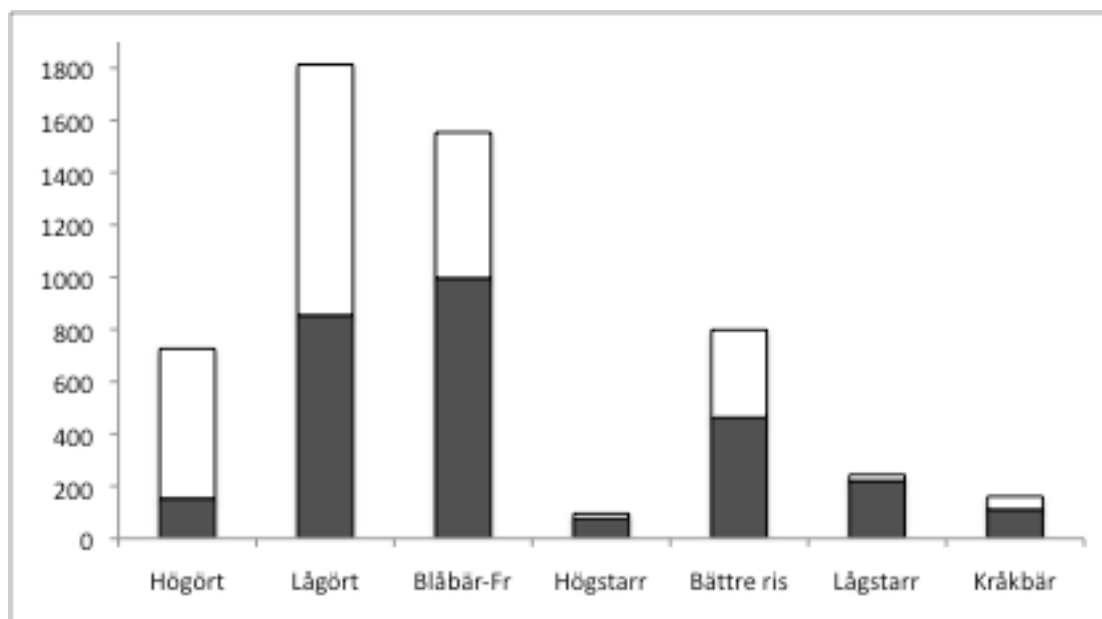
Markslag	Dominerande fältskikt				Summa
	Örter	Bättre ris	Lågstarr	Sämre ris	
<i>Torvmark</i>					
Norra Norrland	6	8	4	2	21
Södra Norrland	12	6	2	0	20
Svealand	12	9	0	2	23
Götaland	30	21	5	2	58
Riket	60	44	12	6	123
<i>Våt fastmark</i>					
Norra Norrland	5	6	2	2	15
Södra Norrland	12	11	1	1	25
Svealand	13	11	1	1	25
Götaland	12	5	0	0	18
Riket	43	33	4	4	83
<i>Summa</i>					
Norra Norrland	11	14	7	3	36
Södra Norrland	24	17	3	1	45
Svealand	25	19	1	3	49
Götaland	42	27	5	2	76
Riket	103	77	16	9	205

Till skattningen av den faktiska areal skogligt produktiv torvmark som är i behov av dikesrensning och/eller kompletteringsdikning bör hela den areal som bedömts dräneras med ej fungerande diken medtas med undantag för den minst produktiva ståndortstypen ("sämre ris" i tabell 4). Även om bottenskiktet på denna areal inte överallt domineras av sumpmossor är det sannolikt endast en tidsfråga innan dräneringen blir tydligt otillräcklig eftersom dikena av något skäl inte fungerar. Risken för en överskattning av rensnings/kompletteringsbehovet om de ca 120 000 hektaren med ej fungerande diken räknas in (efter avdrag för sämre ris) efter är därför liten.

När det gäller den areal som bedömts ha fungerande diken bör utan vidare all mark där sumpmossor dominerar bottenskiktet medtas, även här med undantag för den minst produktiva ståndortstypen, dvs. ca 280 000 ha (jfr tabell 5). Med hänsyn till det nyssnämnda samband mellan sumpmossors utbredning och otillräcklig dräneringsgrad som Haveraaen (1969) fann, borde även mark där täckningsgraden av sumpmossor är lägre (20 – 50 % av bottenskiktet) inräknas. Något underlag för en arealberäkning med sådan detaljeringsgrad står dock inte till buds. En summering av de arealer som med hög grad av säkerhet kan bedömas vara i behov av en förbättrad dränering genom dikesrensning och kompletteringsdikning, dvs. ca 120 000 ha med ej fungerande diken och 280 000 ha med fungerande diken (totalt således ca 400 000 ha) blir därför sannolikt en underskattning.

Tabell 5. Areal dikad torvmark som är skogsmark och där utbredningen av sumpmossor (vitmossor, björnmossor och brunmossor) i bottenskiktet överstiger 50 %. Fungerande diken. Fördelning på ståndortstyper och landsdelar. 1000 ha.

	Blåbär-							Totalt
	Högört	Lågört	Fräken	Högstarr	Bättre ris	Lågstarr	Sämre ris	
Norra Norrland	2	33	31	4	17	11	9	107
Södra Norrland	5	10	19	0	11	1	2	48
Svealand	4	13	23	1	8	3	1	53
Götaland	5	29	28	3	11	7	0	82
Hela Landet	16	85	101	8	47	22	12	291



Figur 2. Areal torvmark i riket som är skogsmark och dikad med fungerande diken, totalt ca 542 000 ha. Fylld del av stapel anger mark där sumpmossorna utgör > 50 % av bottenskiktet. 1000 ha.

Det mest omfattande och detaljerade vetenskapliga underlag som för närvarande står till buds för skattningar av effekten på skogsproduktionen efter dikesrensning och kompletteringsdikning på torvmarker i boreal skog har framtagits i Finland. Vid simulering av beståndsutvecklingen med och utan dikesrensning i talldominerad skog i norra Finland, där dikningen utfördes för mer än 20 år sedan, resulterade dikesrensningen som mest, under ett enstaka år, i en årlig ökning av grundytan med $2,5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ jämfört med om ingen dikesrensning utfördes (Hökkä and Salminen, 2006). Medeltalet under observationsperioden var emellertid lägre och motsvarar ungefär en årlig volymproduktionsökning med $1 - 1,5 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1}$ i 20 år, dvs. totalt $20 - 30 \text{ m}^3$ under den perioden. Högre ökningstal, $1,6 - 1,9 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1}$, har rapporterats (Lauhanen m.fl. 1998) men de är grundade på ett relativt litet underlagsmaterial från enbart grandominerade torvmarker och avser en jämförelse mellan resultatet efter kompletteringsdikning och ingen åtgärd alls. Ett huvudresultat i en annan simulering av Ahtikoski et al. (2008) var att lönsamheten av dikesrensning ökade med högre beståndsvolym i startläget, bättre ståndortstyp och högre temperatursumma. Således krävs en viss volym på beståndet för att dikesrensning ska vara meningsfull, men lönsamhetsgränsen uttryckt i beståndsgrundyta befanns dock vara så låg som $4 - 6 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Ifråga om stamrika och täta bestånd å andra sidan kan

dikesrensningbehovet kompenseras av beståndets förmåga att ta upp vatten genom transpiration och interception (jfr. Ahti och Hökkä, 2006).

Med stöd av de finska resultaten kan antas att en produktionsökning av dikesrensning (och vid behov kompletteringsdikning) på torvmarker i Sverige lågt räknat kan anges till $1,5 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1}$ för alla grandominerade örttyper, för bättre ris-typen i Svealand och Götaland och för lågstarrtypen i Götaland. På all övrig torvmark i behov av bättre dränering, enligt tabellerna 5 och 6, bedöms produktionsökningen till $1,0 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1}$. Den årliga produktionsökningen i riket blir då drygt 500 000 $\text{m}^3 \text{ sk}$ per år (tabell 6).

Tabell 6. Årlig produktionsökning efter dikesrensning och kompletteringsdikning av ca 400 000 ha dikad torvmark som är skogsmark. Fördelning på ståndortstyper och landsdelar. $1000 \text{ m}^3 \text{ sk}$.

	Örttyper	Blåbär-Fräken, Högstarr och Bättre ris	Lågstarr	Totalt
Norra Norrland	62	60	15	137
Södra Norrland	41	36	3	80
Svealand	44	62	3	109
Götaland	96	95	18	209
Hela Landet	243	253	39	535

3.2.2. Nydikning av torvmark som redan är produktiv skogsmark

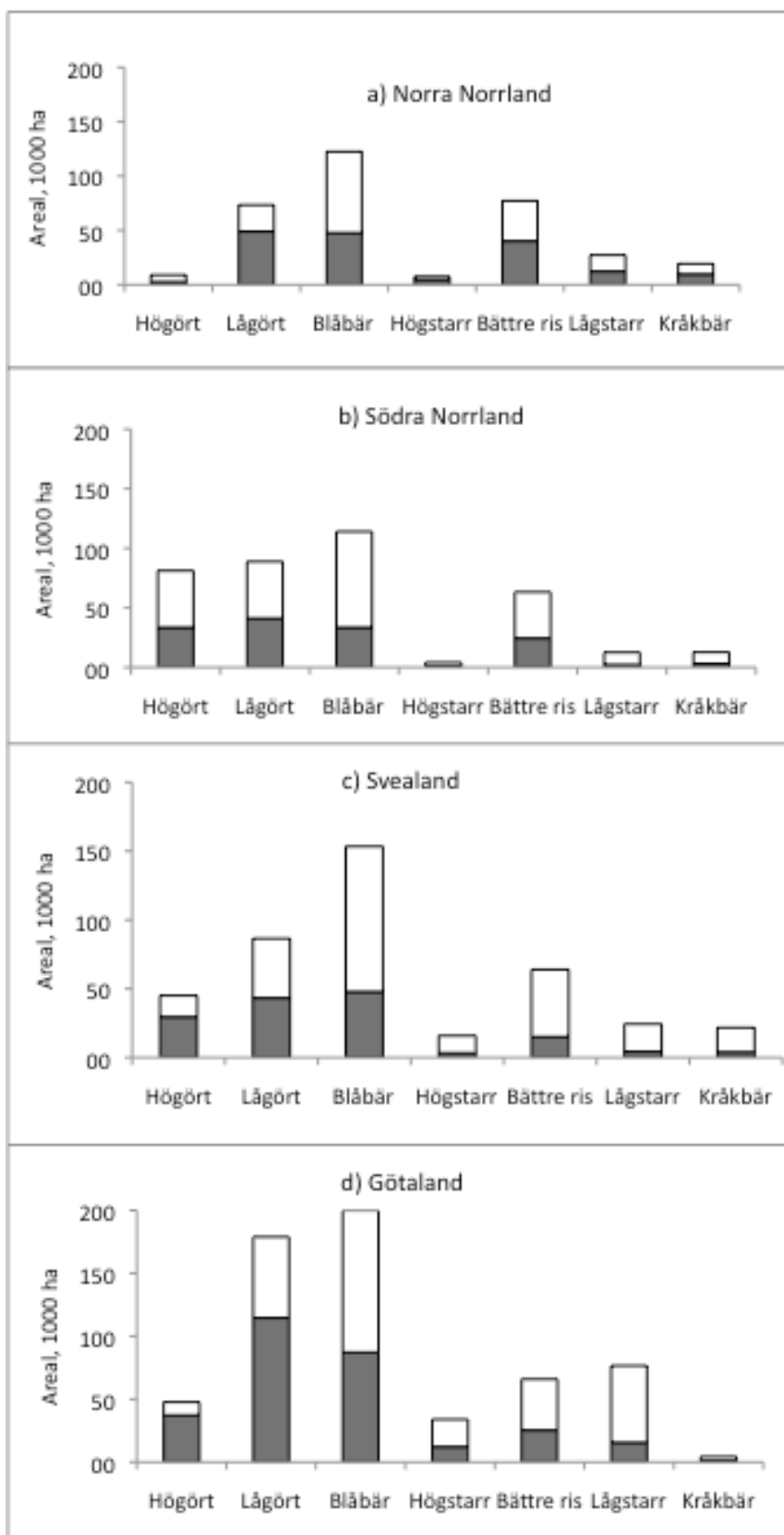
Nydikning i form av markavvattning för skogliga syften minskade avsevärt efter den tillståndsplikt som infördes 1986 och som en följd av bestämmelserna om ett principiellt dikningsförbud i södra Sverige (jfr ovan). Inte ens inom det principiella förbudsområdet är emellertid nydikning i praktiken helt otänkbar, eftersom dispens kan ges från länsstyrelsen. Lagreglerna och bestämmelserna om markavvattning har dock sin grund i starka bevarandebestämmelser och en strävan att åstadkomma en balans mellan klokt nyttjande och bevarande av torvmarker varför dispensgivningen är ytterst restriktiv.

Det hittillsvarande ianspråktagandet av torvmarker för skogsproduktion kan, med facit i hand, inte bedömas ha varit så klokt som önskvärt. Ett starkt argument för denna kritiska åsikt är det faktum att hundratusentals hektar myr dikats – och fortfarande är improduktiv myr (jfr tabell 2 b). Misstag av det slaget, som främst berodde på en övertro på möjligheten att med enbart dikning kunna överföra lågproduktiva och allför näringsfattiga torvmarker till god skogsmark, behöver tack vare ett bättre kunskapsläge nu dessbättre inte upprepas.

Många av de myrar som utgör de nämnda skogsdikningsfiaskona kan återföras till ett torvbildande ekosystem genom att stoppa dräneringen via igenläggning av diken. I ett sådant perspektiv kan en nydikning i liten skala av odikade torvmarker som redan ingår i den produktiva skogsmarksarealen måhända diskuteras. Det ingår dock i förutsättningarna för denna utredning om möjligheterna till intensivodling på skogsmark att det ska gälla marker som saknar höga naturvärden, varför de mest artrika torvmarkerna, som karakteriseras av lågvuxna och högvuxna örter, inte medtas i beräkningsunderlaget. Hänsyn ska också tas till att bevarandebestämmelser för marker och ståndortstyper som är relativt ovanliga och har liten utbredning inom ett område, är större än för sådana som är vanligt förekommande med stor utbredning. Ett val av torvmark för nydikning bör därför inriktas på ståndortstyper som det finns gott om inom regionen ifråga och vars dikningsbonitet är hög nog för att åtgärden ska vara meningsfull. Urvalet bör också undantagslöst göras bland torvmarker som redan är skogligt produktiva, så att enbart mark som redan är skogsmark medtas, dvs. alla improduktiva myrar utesluts.

De torvmarker som utifrån nämnda hänsyn och krav i första hand kan komma ifråga för nydikning återfinns bland de ståndorter som domineras av blåbär-fräken och bättre ris med bl.a. lingon, odon och

skvattram. Båda dessa ståndortstyper är i samtliga landsdelar väl representerade bland odikade torvmarker som är skogsmark (se figur 3). Med stöd av uppgifter om skogsproduktionen på odikade och dikade marker av dessa ståndortstyper (från Riksskogstaxeringen 2003-07, se bilaga 1) och med ledning av dikningsboniteten kan en årlig merproduktion av dikning på 2 – 3,5 m³sk påräknas (tabell 7). Om en fjärdedel av den odikade areal dessa två torvmarkstyper representerar tas i anspråk, ca 135 000 ha, skulle merproduktionen i riket bli drygt 300 000 m³sk per år.



Figur 3. Areal dikad och odikad torvmark som är skogsmark fördelad på ståndortstyper och landsdelar. Fyllid stapel anger dikad mark och ofyllid stapel odikad mark.

Tabell 7. Total areal skogligt produktiva torvmarker och andelen odikade sådana fördelade på ståndortstyper och landsdelar. Väntad ökning av skogsproduktionen när en fjärdedel av de odikade markerna av blåbär-fräken och bättre-ristyper dikas.

	Högört	Lågört	Blåbär-fräken	Hög-starr	Bättre ris	Låg-starr	Bättre ris	Totalt
Norra Norrland								
Total areal, 1000 ha	9	73	123	8	77	27	19	336
Andel odikad, %	67	33	61	38	48	56	47	50
Nydikning, 25 % av								
odikad, 1000 ha			19		9			28
Merproduktion, m ³ sk ha ⁻¹ år ⁻¹			2		1			
S:a prod.ökning, 1000 m ³ sk år ⁻¹			38		9			47
Södra Norrland								
Total areal, 1000 ha	81	89	114	4	63	13	13	377
Andel odikad, %	58	54	70	75	62	85	77	63
Nydikning, 25 % av								
odikad, 1000 ha			20		10			30
Merproduktion, m ³ sk ha ⁻¹ år ⁻¹			2		1,2			
S:a prod.ökning, 1000 m ³ sk år ⁻¹			40		12			52
Svealand								
Total areal, 1000 ha	45	87	154	16	64	25	22	413
Andel odikad, %	33	51	69	81	77	84	82	64
Nydikning, 25 % av								
odikad, 1000 ha			27		12			39
Merproduktion, m ³ sk ha ⁻¹ år ⁻¹			3		2,5			
S:a prod.ökning, 1000 m ³ sk år ⁻¹			81		30			111
Götaland								
Total areal, 1000 ha	48	179	200	34	66	77	4	608
Andel odikad, %	23	36	57	65	62	79	75	52
Nydikning, 25 % av								
odikad, 1000 ha			28		10			38
Merproduktion, m ³ sk ha ⁻¹ år ⁻¹			3,5		1,5			
S:a prod.ökning, 1000 m ³ sk år ⁻¹			98		15			113
Produktionsökning i riket, 1000 m³sk år⁻¹								323

3.2.3. Gödsling av skogbevuxna, dikade torvmarker

Markval

Den totala produktionshöjningen som kan påräknas av gödsling beror på vilka dikade torvmarker som ska komma ifråga för åtgärden, vilket gödselmedel och hur stora doser av detta som används och hur valda marker svarar på näringstillförseln.

Vilka torvmarker som är särskilt lämpade för skogsgödsling i Sverige har studerats och rapporterats av Hånell (2004) and Hånell och Magnusson (2005). Dessa studier bygger på en selektering av mark utifrån klimatets inverkan, växtplatsens dräneringsgrad, torvens kvävehalt, torvens mäktighet och beståndets utvecklingsgrad (ålder, volym och tillväxt). Studierna inriktades på gödselmedlet biobränsleaska, dvs. träaska eller torvaska, som innehåller de mineralnäringsämnen torvmarksskogar vanligtvis lider brist på. Eftersom tillgången på denna restprodukt ökat under senare år, till följd av den ökade användningen av grenar och toppar från skogsavverkning som bränsle i industrier och värmeverk, finns goda möjligheter – och stora fördelar från resursanvändningssynpunkt – med att använda biobränsleaska för gödsling av torvmarksskogar. I det följande förutsätts därför att aska är det gödselmedel som ska användas. Alternativet är att använda handelsgödselmedel med fosfor (P) och kalium (K), med eller utan kväve (N), dvs. PK- eller NPK-gödselmedel. Någon skillnad i effekt på beståndstillväxten mellan att använda aska eller handelsgödsel, vid samma doser av P och K, är inte att vänta. Från den utgångspunkten är de båda gödselmedlen likvärdiga.

Valet av marker för gödsling i detta arbete följer i stort de urvalsprinciper som användes i de två nyssnämnda studierna. Det vill säga att endast marker med minst 30 cm mäktig torv som hade fungerande diken och ingår i den produktiva skogsmarksarealen valdes. Arealen sådan mark minskades därefter ytterligare genom att ståndortstyperna med dominans av örter och sämre ris valdes bort, liksom all mark inom huggningsklasserna kalmark, plant- och ungskog (Hånell 2004, sid 19). Det bör observeras att ståndortstypen ”Bättre ris” i de tidigare studierna inkluderade blåbär-fräkentypen. Med tillämpning av dessa markvalskriterier kommer omkring hälften av de ca 400 000 ha dikade torvmarker i behov av dikesrensning och ev. kompletteringsdikning att följas upp med gödsling (tabell 8). Därtill kommer de dikade torvmarker med fungerande diken som inte befunnits ha dominans av sumpmossor och därför kan betraktas som väl-dränerade. (Dessa knappt 100 000 ha inbegriper dock en viss areal, som inte kan specificeras, där sumpmossornas andel av bottenskiktet är tillräckligt hög för att indikera ofullständig dränering, jfr resonemanget ovan med Haaveraen (1969)). Hela den areal om 135 000 ha som angivits för nydikning är lämpad för gödsling. Sammantaget omfattar därmed markvalet för gödsling drygt 400 000 ha dikad och skogbevuxen torvmark av blåbär-fräkentyp, bättre-ristyp och lågstarrtyp (tabell 8).

Förväntad ökning av skogsproduktionen genom gödsling

Allmänt

Trots att de första skogsgödslingsexperimenten med träaska på dikade torvmarker lades ut i Sverige (Hällmyrarna, Västerbotten) för mer än 80 år sedan, och att utläggning av ett stort antal sådana försök på börjades i Finland drygt tio år senare, är underlaget för bedömning av merproduktionen av gödsling i torvmarksskogar svagt. Huvudskälet är att många av de tidigaste askgödslingsförsöken etablerades först efter det att den beskogning dikningen syftat till hade misslyckats, och även med senare försök beaktade kan konstateras att de allra flesta skogsgödslingsförsöken på dikade torvmarker i Norden är utlagda på mer eller mindre öppna och i flera fall helt kala myrar. Även försök utlagda i vuxen skog finns (se Hånell 2004, s. 15), men dessa är åtskilligt yngre. Det kan därför antas att en stor del av de gamla experimenten härrör från ståndortstyper som utgör de allra sämsta från

skogsproduktionssynpunkt, och som inte bör ingå i urvalet för gödsling i MINT-studien. De största svagheter med det befintliga bedömningsunderlaget är alltså att det är ojämnt fördelat på marker med olika bördighet och beståndstäthet. Viktigt att beakta när det gäller dessa två variabler är att gödslingseffekten blir mindre i skog på ståndortstyper med relativt hög dikningsbonitet, och att väntetiden på att kunna nyttja tillväxtökningen blir kortare när gödslingen görs i redan växande (och vuxen) skog.

Observerad skogsproduktion efter gödsling på dikade torvmarker och praktiska rekommendationer

Av de nyssnämnda äldsta gödslingsexperimenten är det försöket från 1926 på Norra Hällmyren i Västerbottens kustland, där en engångsgiva av 12,5 ton aska per ha spreds på en enda provyta (om 30 x 30 m) på en dikad och kal lågstarmyr, som givit det mest iögonenfallande resultatet. Medelproduktion var ca $5 \text{ m}^3\text{sk ha}^{-1}\text{år}^{-1}$ under de 50 första åren (Holmen 1977), vilket ska jämföras med helt utebliven beskogning på den dikade men ogödslade kontrollytan. Det kan också ställas mot en årlig medelproduktion av ca $2,5 \text{ m}^3\text{sk ha}^{-1}\text{år}^{-1}$ i omgivande fastmarksskog. Från ett gödslingsförsök på dikad mark av helt annat slag, en kärrtorvmark i Uppland som kan ses som representativ för landets kambrosilurområden, redovisade Holmen (1968) att den årliga tillväxten efter tillförsel av 100 kg P och 100 kg K år 1953 var 5,4 och 4,4 $\text{m}^3\text{sk ha}^{-1}$ under femårsperioderna 1955-59 resp. 1960-64. På de ogödslade kontrollerna uppmättes under samma perioder 1,8 resp. 1,3 $\text{m}^3\text{sk ha}^{-1}\text{år}^{-1}$. Ifråga om den skogsproduktion som kan förväntas efter dikning och gödsling av torvmarker, i avsaknad av ett säkert underlag för skilda torvmarkers avkastningsförmåga i olika delar av landet, anger Holmen (1968) som en generell slutsats att boniteten för en dikad och gödslad torvmark kommer att bli minst lika hög som, eller högre, än den genomsnittliga boniteten hos motsvarande områdes fastmarksskogar.

Den enda serie av identiskt utformade gödslingsförsök med upprepningar på dikade torvmarker i Sverige är från 1969 då sex stycken försöksled med olika doser av handelsgödsel (PK och NPK) etablerades på fem trädlösa och näringsfattiga myrar med god nord-sydlig spridning i landet (temperatursummor från 825 – 1400 dygngrader). Resultaten från dessa försök rapporterades av Sundström (1995) och visade bl.a. att beståndsvolymen var tiofalt högre på gödslade ytor 18 år efter plantering och gödsling på de två sydligaste försöksområdena (knappt $50 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ jämfört med ca $5 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ på ogödslade kontroller). Däremot kunde ingen statistiskt säker produktionshöjning av gödsling påvisas på de två nordligaste försöksområdena. En slutsats från det påvisade sambandet mellan avtagande effekt av PK-gödsling med avtagande temperatursumma är att PK-gödsling inte bör utföras på torvmarker i områden där temperatursumman är lägre än 950 dygngrader ($> 5 \text{ }^\circ\text{C}$).

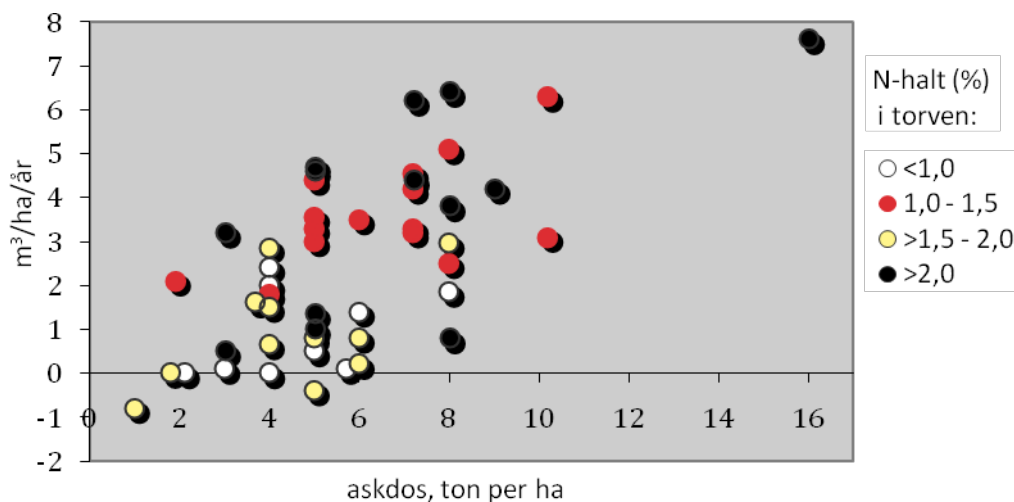
Gödslingsförsök med både handelsgödselmedel och aska i olika doser och med upprepningar av försöksled och kontroller har också etablerats på avslutade torvtäkter där beskogning valts som efterbehandlingsmetod. Exempelvis rapporterar Lehto (2005) från det äldsta (1982) försöket i Sverige, på Flakmossen i Värmland, att en startgiva med 200 g PK per planta vid plantering resulterat i en medeltillväxt om ca $8 \text{ m}^3\text{sk ha}^{-1}\text{år}^{-1}$, 21 år efter näringstillförseln. Bördigheten hos den tillskapade skogsmarken blev därmed 40 % högre än medelboniteten i länets fastmarksskogar. Inget träd på de ogödslade kontrollytorna nådde över brösthöjd vid observationsperiodens slut. I ett snarlikt beskoingsförsök med lika lång observationstid i Finland fann Mikola (1975) att medelproduktionen på gödslade ytor var ca $7 \text{ m}^3\text{sk ha}^{-1}\text{år}^{-1}$. På provytor som gödslats med 80 kg P och 120 kg K per ha i ett beskoingsförsök på Näsmyran i Hälsingland uppmätte Leupold (2005) efter 13 växtsäsonger medelproduktionen $5,7 \text{ m}^3\text{sk ha}^{-1}\text{år}^{-1}$. Under samma tid hade $0,3 \text{ m}^3\text{sk ha}^{-1}\text{år}^{-1}$ producerats på ogödslade kontrollitor.

En sammanställning av flera studier av skogsproduktionens storlek efter dikning och askgödsling på relativt näringsfattiga, öppna myrar i Finland gjordes av Silfverberg och Huikari (1985). Den innefattar mätningar av 55 gödslade ytor och 24 ogödslade kontroller (och inkluderar försöket vid Muhos, se nedan). Resultaten beträffande den höga och uthålliga beståndstillväxten efter askgödsling är slående. Den årliga tillväxten var 12 – 17 m^3ha^{-1} , 30 – 40 år efter askgivan, och

beståndsvolymökningen varierade mellan 0 och $8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ under perioden efter gödsling som var mellan 21 och 46 år (figur 4).

Silfverberg och Hotanen (1989) och Moilanen m.fl. (2002) sårredovisade resultat från det askgödslingsförsök med doserna 0, 8 och 16 ton aska per ha som etablerades 1933 nära Muhos i norra Finland och som kan sägas vara grannlandets motsvarighet till försöket på Norra Hällmyren i Sverige. Den årliga beståndstillväxten i det finska försöket 42 år efter asktillförseln var i medeltal 0, 8 resp. $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Ytterligare ett av de äldsta finska askgödslingsförsöken rapporterades av Silfverberg och Issakainen (1996) och avser 20 ha dikad torvmark nära Uleåborg (i höjd med Skellefteå) som när askan spreds, i doserna 5 ton ha^{-1} 1954 och 6 ton ha^{-1} 1956, klassificerades som lågstarrmosse. Medeltillväxten under de 40 åren mellan gödsling och beståndsmätning var drygt $3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$.

Efter en sammanställning och analys av de finska askgödslingsförsöken konstaterar Silfverberg (1996) i sin doktorsavhandling bl.a. att den rekommendation ifråga om handelsgödselgiva om 45 kg P per ha (Paavilainen 1979) bör följas. (Även Holmen (1980) och Paavilainen och Päivänen (1995) ger liknande rekommendationer – minst 40 kg P och 80 kg K per ha). Det motsvarar askdoser mellan ca tre och fem ton per ha. Mindre askdoser än två ton per ha bör inte ges eftersom så små doser har inte visat någon effekt på trädstillväxten. Silfverberg (1996) påpekar särskilt att askgödsling kan visa sig mindre lämplig på torvtäckta marker med gammal skog, som i första hand är i behov av kväve, på ståndorter med hög naturlig bördighet samt på växtplatser med ett tunt torvlager och god tillgång på näring från underliggande mineraljord.



Figur 4. Tillväxtökningen ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$) efter askgödsling i jämförelse med ogödslat i försök på dikade torvmarker i Finland. Den tid som gått efter gödsling, som varierar mellan 21 och 46 år, har använts som beräkningsperiod. Efter Silfverberg och Huikari (1985).

Tabell 8. Arealer dikad och beskogad torvmark lämpade för skogsgödsling. Fördelning på ståndortstyper och landsdelar. 1000 ha.

	<i>Blåbär-fräken</i>	<i>Bättre ris</i>	<i>Lågstarr</i>	<i>S:a</i>
Norra Norrland				
Gödsling efter dikesrensning	31	19	13	63
Gödsling på redan		15	0	26
väldränerad mark	11			
Gödsling efter nydikning	19	9	-	28
S:a	61	43	13	117
Södra Norrland				
Gödsling efter dikesrensning	19	8	0	27
Gödsling på redan	6	7	1	14
väldränerad mark				
Gödsling efter nydikning	20	10	-	30
S:a	45	25	1	71
Svealand				
Gödsling efter dikesrensning	23	14	0	37
Gödsling på redan	13	3	0	16
väldränerad mark				
Gödsling efter nydikning	27	12	-	39
S:a	63	29	0	92
Götaland				
Gödsling efter dikesrensning	28	28	9	65
Gödsling på redan	27	10	1	38
väldränerad mark				
Gödsling efter nydikning	28	10	-	38
S:a	83	52	17	152
Riket				
Gödsling efter dikesrensning	101	69	22	192
Gödsling på redan	57	35	2	94
väldränerad mark				
Gödsling efter nydikning	94	41	-	135
S:a	252	145	24	421

Antagen produktionsökning av gödsling, utöver dikning.

Med stöd av de dokumenterade ökningarna av skogsproduktionen efter gödsling på dikade torvmarker och lämnade praktiska rekommendationer om torvmarksgödsling som redovisats ovan, och med hänsyn till den aktuella löpande tillväxten (bilaga 1) på de marker som valts för gödsling (tabell 8), kan den förväntade produktionshöjningen av gödslingen anges till 1,5 – 3,5 m³ha⁻¹år⁻¹ (tabell 9). Torvmarksgödslingens bidrag till produktionsökningen i landets skogar blir omkring 1 miljon m³sk per år. Nära hälften av ökningen kommer från Götaland.

Tabell 9. Förväntad årlig produktionshöjning av gödsling på utvalda dikade torvmarker enligt tabell 8. Fördelning på ståndortstyper och landsdelar. 1000 m³sk .

	<i>Blåbär- fräken</i>	<i>Bättre ris</i>	<i>Lågstarr</i>	<i>S:a</i>
Norra Norrland				
S:a urval dikade marker, 1000 ha	61	43	13	117
Antagen produktionsökning, m ³ sk ha ⁻¹ år ⁻¹	1,5	2	1,5	
S:a merproduktion, 1000 m³sk	92	86	20	198
Södra Norrland				
S:a urval dikade marker, 1000 ha	45	25	1	71
Antagen produktionsökning, m ³ sk ha ⁻¹ år ⁻¹	2	2,5	2	
S:a merproduktion, 1000 m³sk	90	63	2	155
Svealand				
S:a urval dikade marker, 1000 ha	63	29	0	92
Antagen produktionsökning, m ³ sk ha ⁻¹ år ⁻¹	2,5	3	2,5	
S:a merproduktion, 1000 m³sk	158	87	-	245
Götaland				
S:a urval dikade marker, 1000 ha	83	52	17	152
Antagen produktionsökning, m ³ sk ha ⁻¹ år ⁻¹	3	3,5	3	
S:a merproduktion, 1000 m³sk	249	182	51	482
Riket				
S:a urval dikade marker, 1000 ha	252	145	24	421
Antagen produktionsökning, m ³ sk ha ⁻¹ år ⁻¹	1,5 - 3	2 - 3,5	1,5 - 3	
S:a merproduktion, 1000 m³sk	589	418	73	1 080

3.2.4 Sammanlagd merproduktion av dikesrensning, dikning och gödsling

Den sammanlagda merproduktionen av föreslagna åtgärder på det angivna urvalet av marker blir knappt två miljoner m³sk per år, varav ca en sjättedel från nydikning, en tredjedel från dikesrensning och kompletteringsdikning, och hälften från gödsling (tabell 10). Största produktionsökningen, ca 40 % eller 800 000 m³sk, kan realiserars i Götaland. Det är något mer än den sammanlagda ökningen i södra och norra Norrland. Omkring en fjärdedel av hela merproduktionen härrör från Svealand.

Tabell 10. Sammanlagd årlig produktionshöjning av dikesrensning, kompletteringsdikning, nydikning och gödsling på utvalda dikade torvmarker. Fördelning på ståndortstyper och landsdelar. 1000 m³sk .

	<i>Örter</i>	<i>Blåbär- fräken</i>	<i>Bättre ris</i>	<i>Lågstarr</i>	<i>S:a</i>
Norra Norrland					
Dikesrensning och kompletteringsdikning	62		60 ^{*)}	15	137
Nydikning		38	9		47
Gödsling		92	86	20	198
S:a merproduktion, 1000 m³sk	62	130	155	35	382
Södra Norrland					
Dikesrensning och kompletteringsdikning	41		36 ^{*)}	3	80
Nydikning		40	12		52
Gödsling		90	63	2	155
S:a merproduktion, 1000 m³sk	41	130	111	5	287
Svealand					
Dikesrensning och kompletteringsdikning	44		62 ^{*)}	3	109
Nydikning		81	30		111
Gödsling		158	87	-	245
S:a merproduktion, 1000 m³sk	44	239	179	3	465
Götaland					
Dikesrensning och kompletteringsdikning	96		95 ^{*)}	18	209
Nydikning		98	15		113
Gödsling		249	182	51	482
S:a merproduktion, 1000 m³sk	96	347	292	69	804
Riket					
Dikesrensning och kompletteringsdikning	243		253 ^{*)}	39	535
Nydikning		257	66		323
Gödsling		589	418	73	1 080
S:a merproduktion, 1000 m³sk	243	846	737	112	1938

^{*)} inkluderar dikesrensning och kompletteringsdikning på blåbär-fräken- och högstarrtyper

4. Diskussion

4.1 Jämförelser med andra beräkningar av de våta markernas skogliga produktionspotential och osäkerheter i gjorda bedömningar

Beräkningar av hur stort bidrag till Sveriges skogsproduktion som ett intensivare utnyttjande av landets torvtäckta marker skulle kunna ge har gjorts flera gånger tidigare, bl.a. av den s.k. Virkesbalansutredningen (SOU 1968:9) och i 1973 års skogsutredning (SOU 1978:7). I förutsättningarna för dessa beräkningar ingick att även utnyttja improduktiv myr för skogsproduktion, vilket är ett huvudskäl till att de resulterade i betydligt större merproduktion än de ca två miljoner m^3sk per år som föreliggande studie utmynnat i. I Virkesbalansutredningen beräknade Holmen (1968, 1975) att skogsproduktionen i landet skulle öka med ca 10 miljoner m^3sk som ett resultat av dikning och gödsling av 2,7 miljoner ha improduktiv myr och ca 1,5 miljoner ha produktiv torvtäckt skogsmark (sumpskog). Denna beräkning grundade sig på att den förväntade skogsproduktionen blev lika stor som skogsmarkens produktionsförmåga (medeltillväxt) inom resp. område. I samma utredning beräknades också att den sammanlagda produktionsökningen i landets skogar blev ca 15 miljoner m^3sk när dikning och gödsling ledde till en tillväxt som var 50 % högre än medelboniteten i omgivande fastmarksskog. Även i skogsutredningen från 1973 (Holmen 1978) bygger beräkningarna på ett utnyttjande av drygt hälften av myrarealen och omkring hälften av sumpskogsarealen (ca 1,1 miljoner ha). Det resulterade i ett årligt produktionstillskott från myrarna och sumpskogarna med ca 8,3 resp. 1,7 miljoner m^3sk , dvs. totalt ca 10 miljoner m^3sk . I avsaknad av ett boniteringsschema för torvmarker då utredningarna gjordes, behandlades såväl myr som sumpskog utan vidare uppdelning på ståndortstyper.

Med det åtskilligt mera begränsade val av torvtäckta marker som gjorts i föreliggande studie, bl.a. genom att utesluta all myrmark, har sammanlagt omkring 635 000 ha torvmarker berörts – ca 400 000 ha i behov av förbättrad dränering, ca 100 000 ha som redan har nöjaktig dränering och 135 000 ha odikad (men redan produktiv) mark för nydikning. En annan väsentlig skillnad här jämfört med ovan nämnda utredningar är att näringstillförsel föreslagits endast för ca två tredjedelar av totalarealen, drygt 400 000 ha, eftersom skogen på marker med redan god näringsstatus (örttyperna) undantagits gödsling.

När det gäller bedömningen av den förväntade merproduktionen efter dikning och gödsling skiljer sig de tidigare nämnda utredningarna och föreliggande undersökning genom att de förra gjorts mera schematiskt, utan att särskilja effekterna av dikning och gödsling för olika ståndortstyper och med prognosen att merproduktionen av de två åtgärderna endera blir lika med, eller 50 % högre än medelboniteten i resp. område. Den beräkning av merproduktionen som gjorts här i MINT-studien är förvisso mera detaljerad, men ingalunda i alla delar baserad på ett säkert prognosunderlag. Mest osäkra torde förutsägelserna om mertillväxten av gödsling vara. Dessa har, på redovisat underlagsmaterial, angivits till 1,5-3, 2-3,5 och 1,5-3 $m^3sk ha^{-1}$ för ståndortstyperna blåbär-fräken, bättre ris resp. lågstarr. Det innebär att den totala produktionsökningen för alla tre ståndortstyperna i samtliga fyra landsdelar angivits högre än medelboniteten (som är ca 3,0, 4,2, 6,3 och 8,7 $m^3sk ha^{-1}$ i norra Norrland, södra Norrland, Svealand, resp. Götaland). Ifråga om blåbär-fräkentypen har den sammanlagda merproduktionen efter dikning och gödsling i medeltal för samma landsdelar beräknats till ca 6,5, 9,5, 11,0 resp. 12,2 $m^3sk ha^{-1}$, vilket alltså i tre av fyra landsdelar (ej Götaland) överstiger medelboniteten med mer än 50 %. I inget fall överstiger dock den beräknade merproduktionen *dikningsboniteten* med mera än ca 30 %. Det bör också sägas att betydligt högre ökningstal än de som använts här har dokumenterats (jfr redovisningen av gödslings effekter ovan) och även om de flesta gödslingsförsöken rapporterats från torvmarker som varit endast glest trädbevuxna så är de långsiktiga och positiva effekterna av gödsling med aska (eller handelsgödselmedel med PK och NPK) på trädens tillväxt otvetydiga.

Den merproduktion efter gödsling som angivits för olika ståndortstyper i skilda landsdelar ligger i samtliga fall inom de gränser som dokumenterade produktionsökningar av askdosen fem ton per ha på talldominerade myrar ger (jfr figur 4). Den dosen motsvarar fosfor- och kaliumgivor på ungefär 40-50 resp. 80-100 kg ha⁻¹ och kan förväntas räcka under en 20-årsperiod. Högre doser av växtnäring ger högre produktion. Det visar bl.a. det ovan beskrivna försöket i Muhos i norra Finland. Där var tillväxtökningen varje år under en 41-årsperiod 2 m³ha⁻¹ högre efter dosen 16 ton aska per ha än efter dosen 8 ton per ha.

4.2 Tid för genomförande av beskrivna åtgärder

Det bör sägas att de prognostiserade produktionsökningarna av såväl dikesrensning, dikning som gödsling, till skillnad från många andra åtgärder med sikte att höja den skogliga tillväxten i landet, relativt snabbt kan realiseras. När åtgärden, eller åtgärderna, väl utförts kan merproduktionen påräknas inom några få år. Väntetiden på att tillväxtpotentialen ska tillgodogöras beror därför snarare på hur stora satsningar som görs på resp. åtgärd. I Finland har under den senaste 15-årsperioden dikesrensning och kompletteringsdikning årligen utförts på mellan 70 000 och 80 000 ha (Ahtikoski m.fl. (2008). Om motsvarande arbete utfördes i samma omfattning i Sverige skulle det angivna dikesrensningsbehovet i stort sett vara åtgärdat inom en femårsperiod.

Även den beskrivna möjligheten till nydikning (135 000 ha) kan realiseras på relativt kort tid. Nydikningen i Finland har under de senaste 15 åren minskat från ca 40 000 ha per år till praktiskt taget noll eftersom all torvmark lämpad för skogsproduktion ingår i de ca 6,1 miljoner ha torvtäckt mark som redan dikats. Nydikningen i Sverige har också minskat och nära nog upphört, fast av andra skäl (jfr avsnitt 3.1 ovan), från en nivå av ca 15 000 ha per år för omkring 20 år sedan. Om nydikning upptogs i en omfattning något högre än den var då skulle den valda arealen för den åtgärden kunna behandlas på ungefär samma tid som dikesrensningen och kompletteringsdikningen.

Inte heller den föreslagna askgödslingen är förenad med praktiska eller tekniska svårigheter som skulle göra tillämpningen av åtgärden särskilt utdragen i tiden. Produktionen av biobränsleaska i landet är omkring 350 000 ton per år (Hånell 2004) vilket med askgivan fem ton per ha räcker till att gödsla ca 70 000 ha per år. Den utvalda arealen för gödsling skulle alltså kunna behandlas på sex år.

4.3 Skogsproduktionen på de torvtäckta markerna kan ökas ännu mer

Det bör understrykas att den här framräknade ökningen av skogsproduktionen i landet med ca två miljoner m³sk per år ingalunda ska uppfattas om en övre gräns för vad som kan vinnas genom ett intensivare utnyttjande av landets torvtäckta marker. Tvärtom är potentialen för ökad produktion större än den här framräknade ifråga om alla tre behandlade åtgärderna. Den areal som föreslagits för dikesrensning och kompletteringsdikning, drygt en halv miljon ha, kan betraktas som ett urval av de marker där behovet av dessa åtgärder för närvarande är mest akut. Man kan dock på goda grunder anta att merparten av alla skogsdiken förr eller senare måste rensas (Hökkä m.fl. 2000, Mattsson-Turku 2005), vilket Rosvall (2007) antagit i en gedigen analys av produktionspotentialen på riksnivå. Dikesrensningen kommer då att omfatta en betydligt större areal. I jämförelse med Finland, som också har omkring 10 miljoner hektar torvtäckt mark och som tagit all torvmark lämplig för skogsproduktion i anspråk, kan det skogliga utnyttjandet av de torvtäckta markerna i Sverige betraktas som litet. Den skogsdikade arealen i Sverige är ungefär en tredjedel (knappt två miljoner ha) av vad den är i Finland (drygt sex miljoner ha) vilket tydligt indikerar att potentialen för nydikning är åtskilligt större än de jämförelsevis blygsamma 135 000 ha som föreslagits här. Med större arealer för dikesrensning, kompletteringsdikning och nydikning följer också att arealen för gödsling ökar.

Något som ytterligare understryker att de våta markernas bidrag till landets skogsproduktion kan ökas betydligt mera, är det faktum att all mark med grundare torvtäcke än 30 cm, de s.k. våta fastmarkerna,

helt utelämnats här. Det är fråga om ca 3,7 miljoner ha, varav omkring en halv miljon ha är skogsdikad (Hånell 1990).

5. Sammanfattning och slutsatser

Syftet med detta arbete är att utreda möjligheterna till intensivodling av skog på torvmarker (dvs. mark med minst 30 cm mäktigt torvtäcke) som bedöms sakna höga naturvärden. Det har gjorts genom att ange den ökning av skogsproduktionen som kan påräknas från *dikesrensning och kompletteringsdikning* på befintliga dikningsområden, viss *dikning* av redan beskogade men odikade torvmarker, samt från *gödsling* av skog på väldränerade torvmarker. All improduktiv myrmark har uteslutits från beräkningarna. Detsamma gäller såväl de artrikaste som de minst bördiga torvmarkerna, dvs. alla örttyper resp. sämsta ristyper.

När det gäller de dikade torvmarkerna, befanns ca 400 000 ha befanns vara i direkt behov av dikesrensning och kompletteringsdikning vilket sammanlagt beräknas ge en årlig produktionshöjning i riket med drygt 500 000 m³sk.

Ifråga om de odikade torvmarkerna har ca 135 000 ha av de två vanligast förekommande ståndortstyperna (blåbär-fräken och bättre ris) i landet föreslagits för nydikning vilket beräknats ge en merproduktion på ca 300 000 m³sk.

En produktionsökning utöver dikningsboniteten kan därefter åstadkommas genom växtnäringstillförsel. *Gödsling* har alltså föreslagits för knappt 100 000 ha dikade torvmarker där dikessystemet (utan rensning och komplettering) är tillräckligt effektivt utformat för att hålla grundvattenståndet på önskat minimidjup över hela växtplatsen, för ca 200 000 ha av den areal som bedömts vara i behov av dikesrensning och för de 135 000 ha som angivits som mest lämpade för nydikning. Gödsling av dessa totalt 420 000 ha beräknas ge ett årligt tillskott till skogsproduktionen på ca en miljon m³sk.

Den sammanlagda tillväxtökningen i landets skogar till följd av det föreslagna, intensivare utnyttjandet av torvmarkerna blir därmed ca två miljoner m³sk per år.

Den beräknade merproduktionen av de föreslagna åtgärderna kan relativt snabbt realiseras (inom fem – sex år).

Det förtjänar påpekas att den beräknade tillväxthöjningen ingalunda utgör potentialen för skogsproduktion på torvmarker i Sverige. Den är avsevärt högre, eftersom det är möjligt att ta betydligt större arealer i anspråk.

Referenser

- Ahti, E. & Hökkä, H. 2006. Effects of the growth and volume of Scots pine stands on the level of the water table on peat in Central Finland. In: Amatya, D.M. & Nettles, J. (eds.). *Hydrology and Management of Forested Wetlands. Proceedings of the International Conference, April 8-12, 2006*, New Bern, North Carolina. ASABE, Michigan, USA. p. 309-315.
- Ahtikoski, A., Kojola, S., Hökkä, H. & Penttilä, T. 2008. Ditch network maintenance in peatland forest as a private investment: short- and long-term effects on financial performance at stand level. *Mires and Peat* (<http://www.mires-and-peat.net/>) (only on-line) 3(3): 1-11.
- Anon. 2008. Fältinstruktion. Riksinventeringen av skog. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå och institutionen för skoglig marklära, SLU, Uppsala. 523 ss.
- Braekke, F. H. 1983. Water table levels at different drainage intensities on deep peat in northern Norway. *For Ecol Manage* 5:169-192.
- Börjeson, P. 1927. Studier över skogsproduktionen å några avdikade torvmarker inom Västerbottens kustland. *Skogsvårdsföreningens Tidskrift*, Stockholm.
- Haveraaen, O. 1969. Forest ecological studies on old, drained peat land in Nord-Trøndelag. - Scientific reports of the Agricultural University of Norway 48(1): 1-89).
- Heikurainen, L. 1964. Improvement of forest growth on poorly drained peat soils. *Int Rev For Res* 1. Academic Press, New York, pp. 39-113.
- Holmen, H. 1968. Möjligheterna att höja skogsproduktionen genom dikning och gödsling av torvmark. Bilaga D i SOU 1968:9, 291-301.
- Holmen, H. 1975. Skogsproduktion på torvmark i teori och praktik. *Skogen*, nr. 3, 153-154.
- Holmen, H. 1977. Prioritering av forskningsinsatser. Torvmarksgödsling. I: *Skogsgödsling nu och i framtiden – en lägesorientering*. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift. Supplement 11, 23-29.
- Holmen, H. 1978. Ökad skogsproduktion genom dikning och gödsling av sumpskog och myr. Bilaga 11 i betänkande av 1973 års skogsutredning, SOU 1978:7, 353-392.
- Holmen, H. 1980. Produktionsförutsättningar, klassificering och arealtillgång. I: *Skogsproduktion på torvmark*. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Redogörelse nr. 3, 12-22.
- Hånell, B. 1988. Postdrainage forest productivity of peatlands in Sweden. *Can. J. For. Res.* 18: 1443-1456.
- Hånell, B. 1990. Torvtäckta marker, dikning och sumpskogar i Sverige. *Skogsfakta* nr 22. Sveriges lantbruksuniversitet, 6 ss.
- Hånell, B. 2004. Arealer för skogsgödsling med träaska och torvaska på organogena jordar i Sverige. (The potential of utilizing wood ash and peat ash as forest fertilizer on organic soils in Sweden). *Värmeforsk. Miljöriktig användning av askor* 872. 35 pp.
- Hånell, B. 2008. Handledning i Bonitering. Del 4 Torvmark. Praktiska anvisningar. Skogsstyrelsen. 16 ss.

- Hånell, B. & Magnusson, T. 2005. An evaluation of land suitability for forest fertilization with biofuel ash on organic soils in Sweden. *For. Ecol. and Manage.* 209, 43-55.
- Hökkä, H. & Salminen, H. 2006. Utilizing information on site hydrology in growth and yield modeling: peatland growth models in the MOTTI stand simulator. In: Amatya, D.M. & Nettles, J. (eds.). *Hydrology and Management of Forested Wetlands. Proceedings of the International Conference, April 8-12, 2006, New Bern, North Carolina. ASABE, Michigan, USA.* p. 302-308.
- Hökkä, H., Alenius, V. & Salminen, H. 2000. Predicting the need for ditch network maintenance in drained peatland sites in Finland. *Suoseura – Finnish Peatland Society* 51: 1-10.
- Lauhanen, R., Piironen, M-L., Penttilä, T. & Kolehmainen, E. 1998. Evaluation of the need for ditch network maintenance in northern Finland. *SUO* 49(3). 101-112.
- Lehto, B. 2005. Skogstillväxten ca 20 år efter plantering på Flakmossen – dikningens och gödslings betydelse vid besökning på en avslutad torvtäkt i Värmland. *Examensarbeten 2005-7*, 25 ss. Institutionen för skogsskötsel, SLU, Umeå.
- Leupold, S. 2005. Vegetation succession and biomass production after peat ash and PK-fertilization on the cutaway peatland of Näsmyran in Hälsingland, Sweden. (Vegetationssuccession och biomassutveckling efter torvaske- och PK-gödsling på utbruten torvmark på Näsmyran i Hälsingland). *Graduate Thesis in Biology*, 37 pp. Stencilserie No. 107. Department of Forest Ecology, SLU, Umeå.
- Lundh, E. 1925. Produktionsundersökningar å avdikade torvmarker inom Bjurfors kronopark. *Skogsvårdsföreningens Tidskrift*, Stockholm.
- Magnusson, T. 2009. Skogsbruk – mark och vatten, 99 ss. Skogsskötselserien. <http://www.skogsstyrelsen.se/epi/epi4/templates/SNormalPage.aspx?id=36689>
- Magnusson, T. & Hånell, B. 1996. Aska till skog på torvmark. Ramprogram Askåterföring, Nutek. R 1996:85, 42 ss.
- Matsson-Turku, G. 2005. Diken växer igen. *Skogsbruket* 8: ss. 4-5.
- Mikola, P. 1975. Afforestation of bogs after industrial exploitation of peat. *Silva Fennica* 9: 101-115.
- Moilanen, M., Silfverberg, K. & Hokkanen, T. J. 2002. Effects of wood-ash on the tree growth, vegetation and substrate quality of a drained mire: a case study. *Forest Ecology and Management* 171: 321-338.
- Paavilainen, E. 1979. *Metsänlannoitusopas*. Kirjayhtymä. 112 pp.
- Paavilainen, E. & Päivänen, J. 1995. *Peatland Forestry. Ecology and principles*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 248 pp.
- Rosvall, O. 2007. Produktionspotentialen är betydligt högre än dagens tillväxt. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 4, 13-30.
- Silfverberg, K. & Hotanen, J.-P., 1989. Puuntuhkan Pitäaikaisvaikutukset ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla pohjoispohjanmaalla. (Long-term effects of wood-ash on a drained mesotrophic *Sphagnum papillosum* fen in Oulu district, Finland). *Folia Forestalia* 742, 23 pp.

Silfverberg, K. & Issakainen, J. 1996. Skogstillväxt på en askgödslad, nordfinsk kalmyr – 40-årigt perspektiv på asktillförsel i praktisk skala. (Forest growth on an ash-fertilized oligotrophic fen in northern Finland). *Suo* 47(4): 137-139.

Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemailla. (Wood-ash fertilization on drained peatlands). *Folia Forestalia* 633, 25 pp.

Sundström, E. 1995. The impact of climate, drainage and fertilization on the survival and growth of *Pinus sylvestris* L. In afforestation of open, low-production peatlands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 10: 190-203.

Bilaga 1. Årlig tillväxt, m³sk ha⁻¹, på dikad och odikad torvmark som är produktiv skogsmark. Baserat på uppgifter från Riksskogstaxeringen 2003-07.

		<i>Högört</i>	<i>Lågört</i>	<i>Blåbär</i>	<i>Högstarr</i>	<i>Bättre ris</i>	<i>Lågstarr</i>	<i>Sämre ris</i>
Norra Norrland	Odikat	2,2	2,7	3,0	2,5	2,6	1,9	1,4
	Dikat	2,7	4,1	4,5	8,4	4,6	2,2	2,3
	Totalt	2,3	3,5	3,5	4,1	3,6	2,0	1,7
Södra Norrland	Odikat	4,0	4,0	3,3	2,0	3,2	1,9	1,5
	Dikat	4,7	4,6	4,8	4,8	4,3	2,2	2,3
	Totalt	4,4	4,2	3,7	3,1	3,6	2,0	1,6
Svealand	Odikat	6,0	5,0	4,2	3,2	2,4	2,5	1,4
	Dikat	7,2	6,5	4,9	2,7	4,5	1,3	1,6
	Totalt	6,8	5,6	4,5	3,1	2,8	2,2	1,5
Götaland	Odikat	9,2	6,2	5,7	3,0	4,0	3,3	1,7
	Dikat	4,9	7,8	6,0	3,1	3,7	2,9	1,5
	Totalt	6,3	7,1	5,8	3,1	4,0	3,3	1,5
Hela Landet	Odikat	4,9	4,9	4,2	3,0	3,0	2,6	1,5
	Dikat	5,5	6,4	5,2	3,1	4,4	2,3	1,8
	Totalt	5,2	5,6	4,5	2,9	3,5	2,6	1,6

Bilaga 5

Contortatall (*Pinus contorta*)

Eric Agestam, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU

Christer Karlsson, Siljansfors och Jädraås försöksparker, SLU

Innehåll

1. Principer för användning av contorta	1
1.1 Motiv för användning av främmande trädslag	1
1.2 Motiv emot användning av främmande trädslag	1
1.3 Var hittar man trädslag som passar för Sverige.....	1
1.4 Egenskaper hos contorta.....	2
1.5 Introduktionen av contorta i Sverige	2
2. Forskning.....	2
2.1 Produktionsforskning i Sverige	2
2.2 Proveniensforskning	7
2.3 Avkommeförsök.....	8
2.4 Slutsatser av hittills publicerad produktions- och proveniensforskning.....	8
3. Praktisk tillämpning	9
3.1 Skötselmodell	9
3.2 Produktionsnivå.....	9
3.3 Lämpliga ståndorter för contortatall.....	10
3.4 Risker och problem vid praktisk tillämpning	10
Referenser.....	11

1. Principer för användning av contorta

En av grundtankarna med aktivt brukande av skogen – skogsbruk – är att odla lönsamma arter. Introducerade trädslag är intressanta om de i ett eller flera avseenden är bättre än inhemska arter.

1.1 Motiv för användning av främmande trädslag

De främsta motiven för att använda främmande trädslag är:

- högre medelproduktion än våra inhemska trädslag (råvara för massaindusti, sågverk och bioenergi)
- kortare omloppstid med minst lika hög medelproduktion (motverka tillfällig virkessvacka)
- bättre härdighet i kyliga klimatlägen
- högre värdeproduktion (virkesegenskaper som positivt skiljer sig från inhemska trädslag i ett eller flera avseenden)
- sprida risker (t ex för sjukdomar orsakade av svamp och insekter)
- intresse för olika trädslag (dendrologerna)

1.2 Motiv emot användning av främmande trädslag

De främsta argumenten emot användning av främmande trädslag är (Andersson et al. 1999):

- självspredning och konkurrens gentemot inhemska organismer
- risk för biotiska skador såsom skadesvampar och skadeinsekter som drabbar det främmande trädslaget och/eller våra inhemska arter
- risk för abiotiska skador såsom snö- och vindskador
- förändrad biodiversitet
- förändrad landskapsbild

1.3 Var hittar man trädslag som passar för Sverige

Eftersom växter främst styrs av en god anpassning till klimatet på växtplatsen är det oftast lämpligt att söka i områden som har ett klimat som liknar det svenska. Därmed hamnar man för norra Sveriges del i världens arealmässigt två största länder; Ryssland och Kanada. I mitten av 1900-talet hade man urskiljt de intressantaste trädslagen. Av de ryska trädarterna är det främst Rysk lärk (*Larix sukaczewii*), oftast kallad Sibirisk lärk (*Larix sibirica*), som är intressantast.

Från Kanada är contortatall (*Pinus contorta*) det trädslag som i mellersta och norra Sverige visat högst produktion. Contorta är det i särklass mest använda av främmande trädslag i Sverige. Totalt har nära 600 000 hektar planterats med contorta (1998).

Contortatall härstammar från ett förhållandevis stort område i västra Nordamerika. Den växer från 30:e till 64:e breddgraden och från havsytan upp till 3900 m ö h (Elfving et al., 2001). Arten förekommer i tre underarter, men bara den nordliga inlandsformen *Pinus contorta* varietet *latifolia* är av intresse för svenska förhållanden. De provenienser som är aktuella för Sverige härstammar i huvudsak från inlandet av British Columbia, Yukon Territory och Alberta i Kanada.

För södra och mellersta Sverige är europeisk (*Larix decidua*) och japansk lärk (*Larix leptolepis*), eller hybriden mellan dem (*Larix x eurolepis*) det idag vanligaste främmande trädslaget.

1.4 Egenskaper hos contorta

Contorta är främst ett alternativ till tall. Den har flera egenskaper som stärker dess ställning som ett intressant trädslag för svenska förhållanden:

- högre produktion än tall
- kortare omloppstid än tall
- virkesegenskaper som i många avseenden påminner om tall
- det går att hitta contorta som är hårdig på svårförnygrade lokaler där det är svårt att hitta tillräckligt hårdigt material av tall.

Det blir inga stora omställningar för att använda contorta som råvara till pappersmassa, och som sågad vara har den liknande utseende och styrkeegenskaper som tall.

1.5 Introduktionen av contorta i Sverige

I Finland anlades de första planteringarna 1910 och i Sverige planterades den första försöksytan 1927. Några planteringar med contortatall gjordes även under 1930- och 1940 talet varav en del använts för flera studier av contortatallens produktion. Den storskaliga introduktionen av contortatall i Sverige gjordes av skogsbolagen SCA och Iggesund under 1970-talet. Under 1980-talets första hälft använde i stort sett hela skogsbruket contortatall som komplement till våra inhemska trädslag (Elfving et al., 2001). Efter 1988 minskade användningen kraftigt under ca 15 år, bl a efter larm om svampskador, dålig rotstabilitet och allmänt dålig virkeskvalitet. De senaste fem åren har användningen ökat kraftigt.

2. Forskning

2.1 Produktionsforskning i Sverige

Den första produktionsstudien publicerades av Johnsson 1957

Den första svenska produktions- och proveniensstudien för svenska förhållanden publicerades av Johnsson (1957). Han redovisade resultat från en försöksserie med fem provenienser av contortatall som 1942 planterats på fyra lokaler; Småland, Värmland, Dalarna och Ångermanland. I studien ingick jämförelser av såväl vår inhemska tall som fem övriga nordamerikanska tallarter. Slutsatsen blev att *Pinus contorta* var överlägsen såväl den svenska tallen som de övriga tallarterna. Provenienser med högst volymproduktion var de två nordligaste som kom från Prins George i British Columbia. Försöksserien var utlagd av Föreningen för växtförädling av skogsträd.

Remröds produktionsmodell 1969 och 1977

En andra omgång av produktionsstudier publicerades av Remröd (1969 och 1977). Remröds studier byggde på dels äldre försöksytor med brister i försöksdesign, jämförelser med tall, dokumentation av exakt planteringstidpunkt mm., dels på yngre försök med säkrare data och bättre försöksdesign. Remröds produktionsmodell utgick ifrån att contortatallens höjdtutveckling följer tallens. På samma ståndort följer dock contortatall en högre en högre H_{100} kurva än tall, t.ex. T28 istället för T24.

Höjdtutvecklingskurvor för contortatall

Hägglund & Remröd (1977) konstruerade de första höjdtutvecklingskurvorna för contortatall. De byggde på 45 svenska och 31 finska försöksytor med contorta. Materialet innehöll få ytor med höga åldrar, den högsta åldern var 44 år. Höjdtutvecklingskurvorna extrapolerades till 60 år, vilket innebar att kurvorna användes utanför materialets gränser. Eftersom det tillgängliga materialet saknade äldre bestånd användes H_{50brh} , övre höjden vid 50 års brösthöjd som referensålder, medan kurvorna för tall och gran i Sverige avser H_{100tot} , övre höjden vid 100 års totalålder. Motivet till att använda brösthöjdsålder och inte totalålder, var att många äldre försöksytor hade tagit onormalt lång tid för att nå brösthöjd. Jämförelser med höjdtutvecklingskurvorna för tall (Hägglund, 1974), visade att avvikelserna var små, men "sannolikt signifikanta".

Produktionsmodell av Hägglund et al (1979)

Hägglund et al. (1979) kompletterade Remröds material med data från Finland. Materialet omfattade därmed 39 svenska och 36 finska försöksytor med contortatall. 199 tillväxtperioder ingick i arbetet varav 126 från de finska ytorna. De flesta försöksytor som ingick i materialet härstammade från latitud 49°N till 54,5°N, dvs sydligare än vad som i dag rekommenderas för norra Sverige. Författarna påpekade följande brister i materialet:

- sydliga provenienser dominerade och nordliga saknades helt
- många små gallringar hade genomförts
- gallringsprogram med få men hårda uttag var dåligt representerade
- det fanns få provytor med höga grundytor
- det fanns inga provytor med hög ålder, de äldsta var 45 år.

Produktionsmodellen beräknade tillväxten i grundyta medan volym och naturlig avgång skattades med statistiska funktioner. Med modellen kunde utvecklingen för contortabestånd under olika förutsättningar beräknas. För att jämföra contortatallens produktion med produktionen för svensk tall gjordes jämförelsen via ståndortsindex. Funktionerna för att beräkna ståndortsindex för contorta när ståndortsindex för tall är känt, och vice versa togs fram.

Resultatet av jämförelserna blev att contorta har en produktionsöverlägsenhet jämfört med tall på 63 – 76 % om självgallringen inkluderas.

Elfving 1985

1983 återinventerades de svenska provytor som användes av Hägglund et al. (1979). Elfving jämförde tillväxten på ytorna med produktionen enligt Hägglund et al. (1979). Han skattade merproduktionen för contorta jämfört med tall till 33-50 %, inklusive bark och självgallring (Elfving 1985). Även

kuberingsfunktionerna för enskilda träd kontrollerades genom fällning och sektionmätning av 99 provträd. Resultatet blev 2,7 % lägre volym än beräknat med funktioner publicerade av Eriksson (1973).

Elfving 1990

Nya data och funktioner om contortatallens produktion redovisades efter 1988 års inventering av 38 försöksytor i äldre bestånd (Elfving 1990). För 14 av dessa fanns jämförelseytor med tall.

Jämfört med produktionsmodellen av Hägglund et al (1979) gav den nya modellen högre tillväxt vid höga åldrar och en högre ålder för medeltillväxtens kulmination. Samtidigt beräknades självgallringen bli lägre än i tidigare beräkningar.

Produktionsmodell av Elfving och Norgren 1993

Den senaste och ”nu gällande” jämförelsen mellan produktionen för contorta och tall gjordes av Elfving och Norgren (1993a). En fylligare beskrivning av materialet finns i Elfving och Norgren (1993b). I stort sett samma grupper av material och ytor som i Elfving (1985) ingick men ytterligare en revision hade gjorts. Materialgrupperna var:

- Fasta försöksytor i contorta från SLU. Många av dessa användes av Hägglund et al (1979) och Elfving (1985).
- Proveniensförsök från Skogforsk och SLU. Jämförelser med tall ingår.
- Hugins ungskogsytor SLU
- Avkommeförsök med plantagetall och contortajämförelser anlagda av Institutet för skogsförbättring (Skogforsk).
- Försöksytor utlagda av Skogshögskolan 1967 för sydliga provenienser.

En produktionsmodell för en jämförelse mellan trädslagen togs fram. Den består av 7 komponenter:

- En ny funktion för tallens höjdtutveckling (övre höjd) konstruerades med Tveites metod (Tveite 1969). Materialet som användes var 173 försöksytor av tall. Därefter jämfördes contortatallens höjdtutveckling med de nya tallfunktionerna. Inga signifikanta skillnader kunde upptäckas. Därefter framräknades med de nya funktionerna ett H_{50} ståndortsindex för varje tallyta och ett H_{50} ståndortsindex för varje contortayta som ingick i jämförelsen mellan tall och contorta. H_{50} avser övre höjd vid 50 års total ålder.
- En ny funktion skattar skillnaden mellan H_{50} tall och H_{50} contorta. Ingående variabler är endast H_{50} ståndortsindex för respektive trädslag, dvs översättningen differentieras inte beroende på t ex ståndortsegenskaper.
- Grundyta för unga bestånd. Ingående variabler är övre höjd och stamantal. Två funktioner, en för tall och en för contorta. Med funktionerna beräknas grundytan på bark i utgångsläget för tillväxtprognoser. Funktionerna ger lite större grundyta på bark för tall jämfört med contorta vid samma över höjd och stamantal. Skillnaderna minskar med ökande stamantal.
- Tillväxt i grundyta. Ingående variabler är övre höjd, ålder grundyta och indikator variabel för contorta. Funktionen ger små skillnader i beräknad grundytetillväxt för tall och contorta.

- Tillväxt i volym. Ingående variabler är ståndortsindex, ålder, grundyta och indikator variabel för contorta. Funktionen kan användas i stället för grundytetillväxt (ovan).
- Formhöjd två funktioner en för tall och en för contorta, ingående variabel är övre höjd. Med formhöjdsfunktionen skattas volymen vid beräkningarna.
- Avgång i grundyta. För tall 0,22 % av grundytan och för contorta ett samband med övre höjd.

Med dessa funktioner jämfördes contortatallens medelproduktion (m³sk per ha och år) med tall, oberoende av ståndort eller SI. Jämförelsen inkluderar självgallring. Elfving och Norgren (1993b) redovisar följande skillnader mellan tall och contorta. Contorta har jämfört med tall:

- högre total volymproduktion +36%
- högre överlevnad i etableringsfasen +2%
- högre avgång efter den första gallringen -5%
- lägre andel bark – högre andel ved vid samma grundyta +8%
- lägre virkesdensitet, -3%

Nya höjdtvecklingskurvor för tall – och contorta

Elfving och Kiviste (1997) har publicerat nya höjdtvecklingskurvor för tall. Det är H₁₀₀ kurvor, dvs. 100 års total ålder används som referens. Dessa kurvor kan även användas för contortabestånd vilket också görs i praktiskt skogsbruk idag.

Gallringsförsök

En serie gallringsförsök i contorta anlades av SLU i mitten av 1980-talet (Agestam, 1990; Elfving, 1996 och 2002). Försöken innehåller:

- olika tidpunkter (höjd) vid första gallring
- engångsgallring med 50 % uttag jämfört med upprepad gallring med 25 % uttag
- orörd kontroll.

Skogsförbättring/Skogforsk anlade i slutet av 1980-talet en serie gödslingsförsök med en engångsgiva kväve i ung contortaskog. Dessa har gjorts om till gallringsförsök med följande fem försöksled:

- orörd kontroll,
- höggallring med 25 % och 50 % uttag
- låggallring med 25 och 50 % uttag.

I ett pågående forskningsprojekt mäts både SLU:s och Skogforsks mätserier. Nya data beräknas bli klara 2010. Tidigare revisioner antyder att tillväxten i contorta påverkas mer av beståndstätheten än tallskog. Farhågor finns också att gallring ska medföra ökade avgångar pga stormskador.

I en studie av 91 förstagallringar i contortabestånd på SCAs marker observerades avgången 5 till 11 år efter gallring (Hämäläinen, 2009). I genomsnitt hade 3,9 % av träden dött och på 7 av 91 ytor var avgången större än 10 % av stamantalet. Studien har svagheten att tiden från gallring varierar, men den indikerar att avgångar efter gallring i contortabestånd inte är alarmerande höga.

Förbandsförsök

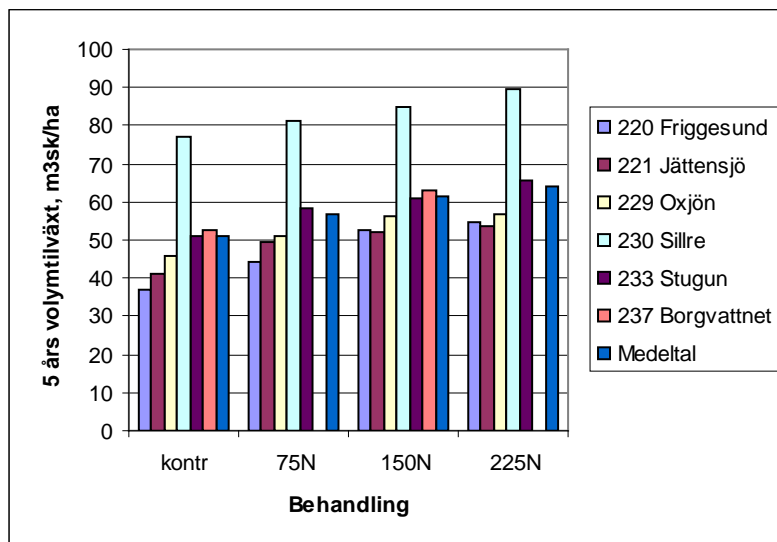
Det finns ett antal förbandsförsök med contorta i Sverige. Tre stycken försök med förband från 625 till 8600 stammar per ha anlades 1970. Dessa kompletterades med försök på två lokaler i Småland anlagda 1987 (förband från 625 till 5000stammar/ha) och ett försök i Västerbotten 1989 (förband från 1111 till 10000stammar/ha). De äldre förbandsförsöken är reviderade och gallrade flera gånger och övre höjden på de två sydligaste (Medelpad/Ångermanland) är nu ca 18 meter.

Arbetet med revisioner av försöken görs under 2009 och en sammanställning beräknas bli klar 2010. Tidigare revisioner antyder att tillväxten i contorta påverkas mer av beståndstätheten än tallskog.

Gödslingsförsök

De enda egentliga gödslingsförsök som finns i contorta lades ut av Institutet för skogsförbättring (senare Skogforsk) i mitten och slutet av 1980-talet. På totalt 6 lokaler i Mellannorrland anlades försök med kvävegödsling i unga contortabestånd. Övre höjden var vid anläggningen mellan 4,7 och 8,2 meter och totalåldern 15 till 21 år. På 5 av de sex lokalerna var gödselgivorna 75, 150 och 225 kg N per ha. I ett av försöken var gödselgivan 150 kg N/ha. Kväve tillfördes som fastgödsel vid försökets start och gödslingen har inte upprepats.

Försöken mättes 5 år efter gödsling. Merproduktionen var 12, 21 och 26 % för 75, 150 respektive 225 kg N/ha (figur 1).



Figur 1. Resultat från Skogforsks gödslingsförsök (opublicerat), fem år efter gödsling. Försöken omfördes senare till gallringsförsök, se ovan under rubriken "Gallringsförsök".

Biomassaproduktion

En mindre studie utfördes av Elfving (2002), där biomassan hos contorta jämfördes med tall. För contorta var torrvikten av barr och torra grenar dubbelt så stor som för tall. I övrigt redovisades små skillnader.

2.2 Proveniensforskning

Föreningen för växtförädling av skogsträd

Den första försöksserien med olika provenienser anlades 1942 av Föreningen för växtförädling av skogsträd på fyra lokaler; Småland, Värmland, Dalarna och Ångermanland. Fem provenienser som 1938 anskaffats i USA och Kanada prövades. Provenienserna med högst volymproduktion var de två nordligaste som kom från Prins George i British Columbia. De övriga tre provenienserna kom från Saskatchewan, Montana och Idaho (Johnsson 1957).

Bang-serien, Skogshögskolan (SLU)

Den första större proveniensserien med contortatall anlades av Carl Bang vid Statens Skogsforskningsinstitut 1960-1962. Bang-serien anlades på nio lokaler från Skåne till Norrbotten med 15 provenienser samt kontroll med vanlig tall (*Pinus sylvestris*), allt upprepat 3 gånger per lokal. Bang-serien har god representation av provenienser från mitten av British Columbia (Stuart Lake, 54° 30' N) och söderut, medan de nordliga saknas, med ett undantag (Persson 1978, Ståhl & Persson 1988).

SCA-serien

År 1963 samlade Stig Hagner vid Skogshögskolan (senare SCA) frö från 27 lokaler i British Columbia, varav 17 lokaler mellan 55:e och 64:e breddgraden, dvs. nordligare än de provenienser som var representerade i Bang-serien. Av dessa frön anlade SCA år 1967 en proveniensserie på sex försökslokaler från Medelpad (62° 32' N) till Norrbotten (67° 10' N) med 14 provenienser per lokal och fyra upprepningar (Hagner & Fahlroth, 1974).

Institutet för Skogsförbättring (Skogforsk)

Inom samma breddgradsintervall som SCA-serien anlade Institutet för Skogsförbättring 1974 en liknande proveniensserie på sju lokaler och fyra upprepningar per lokal. De båda serierna har ett likartat urval av provenienser och är anlagda så att volymproduktionen kan jämföras med vanlig tall (Rosvall et al. 1984).

Institutet för Skogsförbättring anlade 1970-71 en proveniensserie i Värmland med sju lokaler samt 1977-1979 "Den Mellansvenska contortaprovenienser" på 20 lokaler inom breddgradsintervallet 59-62° N. Den Mellansvenska serien innehåller ca 15 contortaprovenienser per lokal med ursprung i intervallet 50-59° N i British Columbia och Alberta. Dessutom ingår i varje försök fem provenienser av svensk tall, allt med fyra upprepningar (Jansson, et al. 1989).

IUFRO 1970/71-serien

År 1971 anlade SLU den s.k. IUFRO 1970/71-serien med nio lokaler i mellersta och södra Sverige och 10 lokaler i Norrland. Frön till denna serie insamlades 1966-1968 inom hela contortatallens utbredningsområde. Totalt insamlades frön från 141 provenienser. Försöken består av en-träds

parceller och lämpar sig därför inte för jämförelse av volymproduktion per hektar. Överlevnad, planthöjd och skador från 42 provenienser rapporterades i en avhandling av Lindgren (1983).

2.3 Avkommeförsök

Institutet för Skogsförbättring anlade åren 1979-1981 en serie med avkommeförsök med *Pinus contorta* på 18 lokaler från latitud 58,1 N till 67,8 N. På varje lokal jämfördes avkommor från cirka 600 träd. Även svensk tall planterades för att kunna jämföra överlevnad och tidig höjdtveckling. Från samma material anlades även fröplantager med contortatall på sex lokaler. En utvärdering efter 10 år visade att contorta jämfört med tall hade såväl högre överlevnad som högre höjdtillväxt (Ericsson, 1993).

2.4 Slutsatser av hittills publicerad produktions- och proveniensforskning

1. Rekommenderade provenienser av *Pinus contorta* ger i medeltal ca 10 % högre överlevnad än *Pinus sylvestris* på samma ståndort – 5 % i Mellansverige och 15 % i norra Sverige (Lindgren, 1983).
2. *Pinus contorta* följer ungefär samma tillväxtförlopp som *Pinus sylvestris* beträffande höjd och grundyta (Hagner, 1971, Remröd, 1977, Elfving och Norgren, 1993 a, b)
3. På samma ståndort har *Pinus contorta* 3-5 meter högre ståndortsindex (H_{100}) än *Pinus sylvestris*. (Hagner, 1971, Remröd, 1977, Elfving och Norgren, 1993 a, b)
4. *Pinus contorta* har 3-15 % högre volym än *Pinus sylvestris* vid motsvarande diameter och höjd (bättre stamform). Skillnaden varierar med trädens storlek och läge i landet – norra eller södra Sverige (Elfving och Norgren, 1993 b).
5. *Pinus contorta* har något högre avgång än *Pinus sylvestris*, speciellt efter gallring. (Elfving, 1985, Elfving och Norgren, 1993 a, Rosvall, 1994). Forskning om detta pågår.
6. Contortatall har tunnare bark än tall. Om jämförelse av produktionen avser volym under bark blir skillnaden 8 % större än på bark. (Elfving och Norgren, 1993 a, b)
7. I contortabestånd erhålls högsta volymproduktion vid en lägre omloppstid än hos tall, dvs. medeltillväxten kulminerar tidigare (Elfving och Norgren, 1993, Elfving et al., 2001)
8. För contortabestånd äldre än 60 år finns få svenska data publicerade, vilket gör jämförelser fram till medeltillväxtens kulmination något osäker. Inget tyder dock på att contortatallens överlägsenhet minskar efter 60 år.
9. Den största mängden provytor där *Pinus contorta* och *Pinus sylvestris* kan jämföras utgörs av proveniensförsök. Gemensamt för dessa är dock att parcellstorlekarna är så små att stora kanteffekter kan förmodas missgynna *Pinus sylvestris*.

3. Praktisk tillämpning

3.1 Skötselmodell

I mångt och mycket kan ”traditionell” tallskogsskötsel användas för contorta. Föryngring, röjning, gallring och slutavverkning kan ske efter samma principer som för tall. Skillnaden är främst intensiteten i gallringsprogrammet och omloppstidens längd.

Föryngring

Den vanligaste föryngringsmetoden är plantering och har så varit sedan contortan introducerades. Det finns stor erfarenhet av fröproduktion, plantproduktion och plantering med contorta. Genom att frötillgången är god har möjligheterna till sådd öppnats. Det är numera en vanlig metod för t ex Holmen och Sveaskog. Av naturliga skäl är naturlig föryngring inte en beprövad metod i Sverige.

Röjning

Röjning av contorta har inte varit en prioriterad forskningsfråga och några studier finns inte som belyser frågan. Att aktiviteten har varit låg beror troligen på att de allra flesta contortabestånden i Sverige är planterade. Hur contorta reagerar på inblandning av andra trädslag, t ex självföryngrad björk, är oklart. Troligen kan erfarenheter från tallplanteringar användas. I sådda bestånd kommer det att bli aktuellt med röjning. Därför finns det ett behov att studera röjning i contorta.

Gallring

Forskning pågår om effekten av gallringsstyrka, gallringstidpunkt och gallringsform. Resultaten hittills indikerar att contorta kan vara känsligare för vind- och snöskador än tall.

Gödsling

Forskning pågår om gödningseffekten. Reaktionen på volymtillväxten är troligen ungefär som tall.

Förband.

Forskning pågår om planteringsförbandets effekt på volymproduktion och timmerkvalitet. Eventuellt har förbandet en större effekt för contorta än för tall. I nuläget tyder inget på några stora skillnader.

3.2 Produktionsnivå

Med utgångspunkt i vad som konstaterats i punkterna 2 och 3, under rubriken ”Slutsatser av hittills publicerad produktions- och proveniensforskning” bör prognosmodeller för tall, (t ex. Prod Mod) kunna användas för jämförelser mellan *Pinus contorta* och *Pinus sylvestris* genom att höja ståndortsindex för contorta. Bedömningarna om contortans överlägsenhet jämfört med tall beträffande volymproduktion har varierat genom åren. Elfving & Norgren (1993 a) skattar contortans överlägsenhet till 36 %. En jämförelse av produktionen mellan tall och contortatall i SCA:s odlingsförsök på beståndsnivå visade att contorta vid 40 års ålder hade producerat 53 % högre volym än tall. Contortatall visade i medeltal SI T27 (H₁₀₀) medan tall visade SI T24 (H₁₀₀) på samma lokaler (Persson, 2008).

Under de närmaste tre åren kommer nya data om contortatall att presenteras. Vår bedömning är att contortans överlägsenhet gentemot tall kan vara större än 36 % (på bark).

3.3 Lämpliga ståndorter för contortatall

Generellt är contorta lämplig att odla på lite sämre till magrare marker på fastmark, dvs ofta ett alternativ till tall. På bättre marker är troligen gran ett minst lika produktivt trädslag. Det finns dock få eller inga studier där contorta jämförs med gran.

De marker där *vi bedömt att* contorta är ett alternativ är:

Markfuktighet: Torra o friska marker

Skogstyp: blåbär och sämre

Jordart: Sandig moig och grövre

Ståndortsindex: T24/G24 eller lägre

Höjd över havet: Under 600 m norr om 62°N. Inga begränsningar söder om 62°N.

Contorta är idag inte tillåtet att odla i södra Sverige. Under förutsättning att ovanstående ståndortsegenskaper är uppfyllda ser vi inga produktionsmässiga skäl att begränsa contorta till norra Sverige. Risken för stormskador är dock generellt sett högre i södra Sverige.

3.4 Risker och problem vid praktisk tillämpning

En introduktion av trädslag medför risker av olika slag. I Sverige finns nu erfarenhet av ca 40 års odling på ca 600 000 hektar. I det stora hela är erfarenheterna av contorta goda, och inga stora avgörande bakslag har inträffat. Andersson et al (1999) redovisar tänkbara problem och risker med introduktion av trädslag i allmänhet och även specifikt för contortatall i Sverige.

Självspredning

En av riskerna med odling av introducerade trädslag är riskerna för okontrollerad självspredning. Contortan kan självföryngra sig men hittills har detta inte setts som ett problem.

Skador

En risk med introducerade trädslag är att de drabbas av inhemska skadegörare. Så har också skett i Sverige där contorta har angripits av t ex gremmeniella. Hittills har detta inte varit något stort problem.

Den största risken vid förflyttningar av arter i världen är att de medför en introduktion av främmande skadegörare på inhemska arter (Karlman, 1981 och 2001). Men risken för främmande skadegörare finns alltid och det är inte säkert att contortans introduktion ökar riskerna.

Contortans sämre stabilitet jämfört med tall kan också ge upphov till stormskador (Rosvall, 1994). Den risken ökar med stigande trädhöjd.

Virkeskvalitet

På vissa marker och med olämpliga plantor, felaktig planthantering och dåligt utförd plantering kan en mycket stor del av contortastammarna bli krokiga och därmed en sämre råvara för sågverk.

Referenser

- Agestam, E. 1990. Nya förbands- och gallringsförsök med contorta i Sverige. Inst. för skogsskötsel, SLU, Umeå. Arbetsrapporter nr 50, 84 s.
- Andersson, B, Engelmark, O., Rosvall, O. & Sjöberg, K. 1999. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbruk med contortatall i Sverige. Redogörelse nr 1, Skogforsk.
- Elfving, B. 1985. Nya data om contortatallens produktion. Inst. för skogsskötsel, SLU, Umeå. Arbetsrapporter nr 3, 36 s.
- Elfving, B. 1990. Nya produktionsdata och prognosfunktioner för contortatall. Inst. för skogsskötsel, SLU, Umeå. Arbetsrapporter nr 34, 25 s.
- Elfving, B 1996. Förbands- och gallringsförsök med contorta. Mätdata från 1992-1995. Arbetsrapporter nr 110, Inst. för skogsskötsel, SLU, 21 s. Umeå.
- Elfving, B 2002. Förbands- och gallringsförsök med contorta. Mätdata från 1998-2000. Arbetsrapporter nr 177, Inst. för skogsskötsel, SLU, 25 s. Umeå.
- Elfving, B. & Kiviste, A. 1997. Construction of site index equations for *Pinus sylvestris* L. using permanent plot data in Sweden. *Forest Ecology and Management* 98, 125-134.
- Elfving, B. & Norgren, O. 1993 a. Volume yield superiority of lodgepole pine compared to Scots pine in Sweden. I: Lindgren, D. (red.), *Pinus contorta* from untamed forests to domesticated crop, Proceedings of the IUFRO meeting and Frans Kempe Symposium 1992 on *P. c.* provenances and breeding, Report 11, Dept. of Forest Genetics and Plant Physiology, SLU, 69–80. Umeå.
- Elfving, B. & Norgren, O. 1993 b. Contortatallens produktion – data från 1990–91 års inventering. Arbetsrapporter nr 71, Inst. för skogsskötsel, SLU, 49 s. Umeå.
- Elfving, B., Ericsson, T. & Rosvall, O. 2001. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden — a review. *Forest Ecology and Management* 141, 15-29.
- Eriksson, H. 1973. Volymfunktioner för stående träd av ask, asp, klibbal och contortatall. Skogshögskolan, inst f skogsproduktion, Rapporter och uppsatser nr 26.
- Ericsson, T. 1993. Provenance qualities of the *Pinus contorta* breeding base in Sweden Report no. 4 1993, SkogForsk, 33 s. Uppsala.
- Hagner, S. 1971. *Pinus contorta* i norrländskt skogsbruk. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift nr 2, 219-246.
- Hagner, S. & Fahlroth, S. 1974. Om contortatallen och dess odlingsförutsättningar I Norrland Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 73:4, 477-528.
- Hägglund, B. 1974. Övre höjdens utveckling i tallbestånd. Skogshögskolan, Inst f. skogsproduktion. Rapporter och uppsatser nr 31.
- Hägglund, B. & Remröd, J. 1977. Övre höjdens utveckling i bestånd med *Pinus contorta*. SLU, projekt HUGIN, rapport nr 4.
- Hägglund, B., Karlsson, C., Remröd, J. & Sirén, G. 1979. Contortatallens produktion i Sverige och Finland. SLU, projekt HUGIN, rapport nr 13, 133 s.

- Hämäläinen, M., 2009. *Pinus contorta* – growth and stability after thinning. SLU, inst för sydsvensk skogsvetenskap. Examensarbete (in prep).
- Jansson, G., Danell, Ö. & Wilhelmsson, L. 1989. Tillväxt, överlevnad och skador hos provenienser av contortatall i Svealand och södra Norrland. (Rapport nr 10, Institutet för skogsförbättring), 55 s. Uppsala.
- Johnsson, H. 1957. Några data från försökskulturer med nordamerikansk tall. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift 55:4, 345-358.
- Karlman, M. 1981. The introduction of exotic tree species with special reference to *Pinus contorta* in northern Sweden. Review and background. *Studia Forestalia Suecica*, nr 158.
- Karlman, M. 2001. Risks associated with the introduction of *Pinus contorta* in northern Sweden with respect to pathogens. *Forest Ecology and Management* 141, 97-105.
- Lindgren, K. 1983. Provenances of *Pinus contorta* in Northern Sweden. Doktorsavhandling, SLU, Inst f skoglig genetik och växtfysiologi, Umeå. ISBN 91-576-1601-9.
- Persson, A. 1978. Volume yield in young *Pinus contorta* provenance trials in Sweden. Proceedings of IUFRO meeting Vancouver, Canada 1978. Vol 2:53-68.
- Persson, C. 2008. Tillväxt och potentiell sågtimmerkvalitet I gallringsmogna jämförelseplanteringar med *Pinus contorta* och *P. sylvestris*. Examensarbete, SLU.
- Remröd, J. 1969. Contortatallen i svenska försök. Föreningen skogsträdsförädling och Institutet för skogsförbättring. Årsbok 1969, 121-143.
- Remröd, J. 1977. En produktionsmodell för contortatall i norra och mellersta Sverige. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift nr 1, 3-43.
- Rosvall, O. 1994. Contortatallens stabilitet och motståndskraft mot vind och snö. Redogörelse nr 2, Skogforsk.
- Rosvall, O., Strömberg, S. & Andersson, B. 1984. Skogsförbättrings proveniensförsök med contortatall i norra Sverige. I: Årsbok 1984. Föreningen Skogsträdsförädling och Institutet för skogsförbättring, 117-159. Uppsala.
- Ståhl, E. G. & Persson A. 1988. Wood quality and volume production in four 24-year-old provenance trials with *Pinus contorta*. *Studia Forestalia Suecica*, No 179, 1–20.
- Tveite, B. 1969. A method for construction of site index curves. *Meddelelser fra Det Norske Skogforsøksvesen* 27:2.

Bilaga 6

Lärk

Per Magnus Ekö, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU

Innehåll

1. Inledning.....	1
2. Hybridlärk (<i>Larix x eurolepis</i> Henry).....	2
2.1 Skötsel mål	3
2.2 Val av ståndort.....	3
2.3 Odlingsmaterial	5
2.4 Beståndsanläggning.....	6
2.5 Ungskogsbehandling	7
2.6 Gallringsprogram.....	8
2.7 Ståndortsindex, tillväxtnöster och produktion.....	9
2.8 Skadegörare	13
2.9 Ekonomi	14
3. Sibirisk lärk (<i>Larix sibirica</i>)	16
3.1 Sibirisk lärk i södra Sverige	16
3.2 Sibirisk lärk i norra Sverige.....	16
3.3 Hybrider med sibirisk lärk.....	17
4. Några slutsatser	18
Referenser.....	19

1. Inledning

Det finns minst ca tio lärkarter (man är inte helt enig om taxonomin), vilka samtliga växer på den norra hemisfären. Sibirisk lärk (*Larix sibirica*, *Larix sukaczewii*) betraktas numera definitionsmässigt som en inhemska art i Sverige, sedan en kotte från den nuvarande interglacialen påträffats i fjällen (Kullman, 1998). Förutom Sibirisk, Europeisk och Japansk lärk har den kanadensiska sumplärken eller Tamaracken (*Larix laricina*) i någon mån prövats i Sverige. Andra arter än den Sibiriska lärken betraktas alltså som icke inhemska och för odling av dessa arter krävs därför anmälan till skogsstyrelsens , om odlingsarealen överstiger en halv hektar. Dock har både europeisk och japansk lärk odlats under lång tid i Sverige och några av skogsfakultetens äldsta långliggande försöksytor är anlagda i bestånd av just dessa trädslag.

Sibirisk lärk har företrädesvis odlats i norra Sverige. Äldre bestånd av lärk (50+) som påträffas i södra Sverige är oftast av den japanska eller europeiska arten . Medan yngre bestånd oftast är hybridlärk (*Larix x eurolepis*), en korsning mellan de nyss nämnda trädslagen.

Lärkarterna betraktas allmänt ha utpräglade pionjäregenskaper, d.v.s. de etablerar sig lätt och ymnigt vid en störning. Den tjocka barken anses vara en anpassning till brand. Lärkarterna har en snabb ungdomsutveckling, är ljusälskande och förekommer därför främst i det härskande trädskiktet.

Lärkvirkets egenskaper skiljer relativt mycket från egenskaperna hos tall- och granvirke. Det gäller färgen som är mörkt rödbrun, kärnvedsandelen som är betydligt högre, liksom densiteten, kvistarna som inte sitter samlade i noder utan är mer strödda över mantelytan, snedfibrigheten som ofta är mycket uttalad. Timret har också haft rykte om sig att vara svårtorkat, svårbearbetat, att inte hålla spik etc. Det bör dock nämnas att i andra delar av Europa och världen har lärkarterna en omfattande förekomst och en betydande användning för olika ändamål (Bergstedt & Lyck, 2007). Virke hos den sibiriska lärken anses också ha högre kvalitet och vara mycket varaktigt, jämfört med virke av de andra lärkarterna.

När det gäller massaved har det tidvis varit möjligt att inkludera en mindre del lärk i tallmassaveden, medan det under andra perioder inte varit tillåtet. Eftersom lärkvirket innehåller mycket extraktivämnen krävs en anpassning av kokprocessen.

Den europiska lärken har ofta drabbats av lärkkräfta orsakad av en svamp (*Lachnellula willkommii*), främst i sydvästra Sverige (Kiellander 1965). Näringstransporterna till delar av kronan eller till hela kronan hindras, varvid i det sistnämnda fallet trädet dör. Skador förorsakade av svampen har konstaterats på skogsfakultetens försöksytor (även i bestånd av sibirisk lärk). Angreppen i europeisk lärk är så pass allvarliga att man bör vara restriktiv med odling av detta trädslag i vissa delar av Sverige. Studier antyder att lärkprovenienser från gränstrakterna mellan Tjeckien, Slovakien och Polen har högre resistens mot lärkkräfta (Paques 2000).

Japansk lärk anses resistent mot kräfta och att ha en snabb tillväxt. Emellertid har det funnits frågetecken kring hårdigheten och virkeskvaliteten, eftersom träden ofta blir krokiga.

Miljömässigt och landskapsmässigt har introduktion av lärk än så länge inte orsakat några kraftigare proteststormar, i varje fall så länge den odlas som ett alternativ till gran (Bild 1). Marktillstånd och fältskikt blir naturligtvis radikalt annorlunda jämfört med t.ex. en intensivt skött granskog. Lärkförnan är riklig, sur och svårnedbrytbar, varför det ofta utbildas ett tjockt humusskikt. Eftersom lärkbestånden släpper ner mycket ljus till marken utbildas ofta också ett ymnigt fältskikt, ofta bestående av gräs, och ett underbestånd, ofta dominerat av lärk. Den mer basiska förnan från fältskiktet kompenserar i viss mån effekten av den surare lärkförnan

I fortsättningen behandlas hybridlärk och sibirisk lärk som bedöms vara de mest intressanta alternativen för svenska förhållanden



Bild 1 Japansk lärk i höstskrud. Tönnersjöheden november 1999. (Foto PM Ekö)

2. Hybridlärk (*Larix x eurolepis* Henry)

Hybridlärk är en korsning mellan Japansk och Europeisk lärk som introducerades i Sverige under 1900-talets senare hälft. Det finns många lärkhybrider med andra föräldraarter. Benämningen hybridlärk är emellertid reserverad för just denna kombination och är en internationellt erkänd beteckning. Föräldraarterna är lätta att skilja åt med hjälp av kottarnas karaktärer. Den japanska lärkens kottar har tillbakaböjda fjäll, vilket gör att när den betraktas från spetsen liknar arrangemanget närmast en ros. Den europeiska lärkens kottefjäll är däremot raka. Hybridlärk anses ha mellan föräldraarterna intermediära egenskaper, d.v.s. båda typerna av kottar förekommer, liksom mellanformer. Det kan utifrån morfologiska egenskaper vara svårt av att definitivt avgöra huruvida det är fråga om hybridlärk. För vetenskapligt bruk finns de möjlighet att genom sofistikerade kemisk analyser göra en bestämning. Detta är emellertid kostsamt.

Hybriden ansågs kombinera de goda egenskaperna hos föräldraarterna, att alltså vara motståndskraftig mot lärkkräfta, ha snabb tillväxt och god stamform. Dessutom ansågs hybridlärk resistent mot rotröta, vilket gjorde att den ofta planterats efter rötdrabbad gran. Antagandet om resistens lever kvar, men är emellertid felaktigt (se nedan).

Skogsodling av hybridlärk startade i Sverige för ca 50 år sedan. Introduktionen gick till en början ganska långsamt. Den främsta orsaken härtill var kanske att den framtida marknaden bedömdes som osäker. Under senare år har emellertid marknaden förbättras, dels på grund av att det numera finns en

virkeskvantitet av en storleksordning som gör lärkråvaran intressant åtminstone för småskaliga industri, dels för att lärkvirke anses motståndskraftigt i utomhuskonstruktioner och därmed till en del kunna ersätta mindre miljövänliga alternativ, t ex tryckimpregnerat virke.

På grund av den snabba ungdomsutvecklingen har hybridlärk (och andra lärkarter), om än i liten utsträckning, använts som förkultur/amträd vid uppdragande av frostkänsliga trädslag som t.ex. bok. Även hjälpplantering med lärk i bokbestånd har varit tämligen vanligt, p.g.a. den snabba ungdomsutvecklingen, men också för att träden kan bli gamla och följa boken genom hela omloppstiden.

För skogsägaren ter sig hybridlärk på pappret som ett slagkraftigt alternativ. Hög tillväxt, ett tillväxtmönster som medger en kort omloppstid, god avsättning och goda priser ger en mycket konkurrenskraftig ekonomisk kalkyl. Den senaste tidens stormar har naturligtvis drivit upp intresset ytterligare, eftersom man söker efter alternativ till gran.

Attityderna bland de som provat att odla hybridlärk under en längre tid är positiva. En enkätundersökning bland 14 förvaltare med erfarenhet av hybridlärksodling visade att 93 % av dem inte ångrar sina beslut att odla hybridlärk på de arealer som tagits in anspråk (Larsson-Stern 2003).

Enligt resultat från riksskogstaxeringen 2003-07 så är förrådet av lärk i Götaland 0,75 milj. m³sk eller knappt 1% av virkesförrådet. Det är vanskligt att utifrån virkesförrådet skatta arealen. Men, med ett antagande om ett förråd av 200 m³sk/ha blir således arealen 3750 ha.

Hybridlärk har varit föremål för relativt omfattande forskning, särskilt internationellt, men det finns även en del Svenska undersökningar. Marie Larsson-Stern försvarade 2003 en licentiatavhandling om hybridlärk (Larsson-Stern, 2003). Mycket av det som redovisas här i fråga om skötsel och produktion bygger på detta arbete.

2.1 Skötselmål

Det finns valmöjlighet när det gäller målet för hybridlärksodling. Ett alternativ är att satsa på en kort omloppstid på ca 40 -50 år, varvid virket kan användas för inredningar, golv, trallvirke, utemöbler etc. Det är emellertid också möjligt att satsa på en längre omloppstid, upp mot hundra år eller mer, med målsättning att producera grovt högkvalitativt virke. Grovt lärkvirke har en lång tradition för användning i bl.a. båtbyggnadsindustrin. Virket är mörkbrunt har en livaktig karaktär och högkvalitativt virke kan naturligtvis finna en rad användningar i t.ex. inrednings- och möbelindustri.

Efterfrågan på lärkvirke har under de senaste tio åren varit god. Detta kan till en del bero på den ökande miljömedvetenheten. Lärkvirke betraktas som motståndskraftigt och varaktigt, och har togförts som ett alternativ till impregnerat virke. Men, det har under en lång period pågått en debatt om motståndskraften. Den ena sida hävdar att motståndskraften är hög, medan den andra att kärnvirkets varaktighet inte är större än hos kärnvirke av tall (cf Berggren 2007, Bergstedt & Lyck, 2007). Det skall hursomhelst noteras att kärnvedsandelen hos lärk redan från tidig ålder är mycket hög och att det finns stora skillnader i egenskaper hos virket mellan lärkarterna, t.ex. vid jämförelse av snabbväxt hybridlärk och senvuxen sibirisk lärk (cf Berggren 2007, Bergstedt & Lyck, 2007). (Enligt Blomqvist (1988) innehåller splintveden hos sibirisk lärk i genomsnitt endast 11 årsringar, d.v.s. kärveden ligger inte mer än någon centimeter under barken i medelålders eller äldre träd.)

2.2 Val av ståndort

Det allmänna rådet har varit att man bör odla hybridlärk på god granmark. Erfarenheten från praktiska odlingar är begränsad och det saknas forskning om hur beståndsutvecklingen påverkas av ståndortsförhållandena. Ett varningens finger bör dock höjas för att plantera hybridlärk på allt för

bördig och särskilt finjordsrik mark. Det har konstaterats att stamformen (rakheten) under sådana förhållanden kan bli mycket dålig. En dålig virkeskvalitet har också observerats i skogsfakultetens försöksodlingar i Bjärsjölagård och i Snogeholm. (Bild 2)



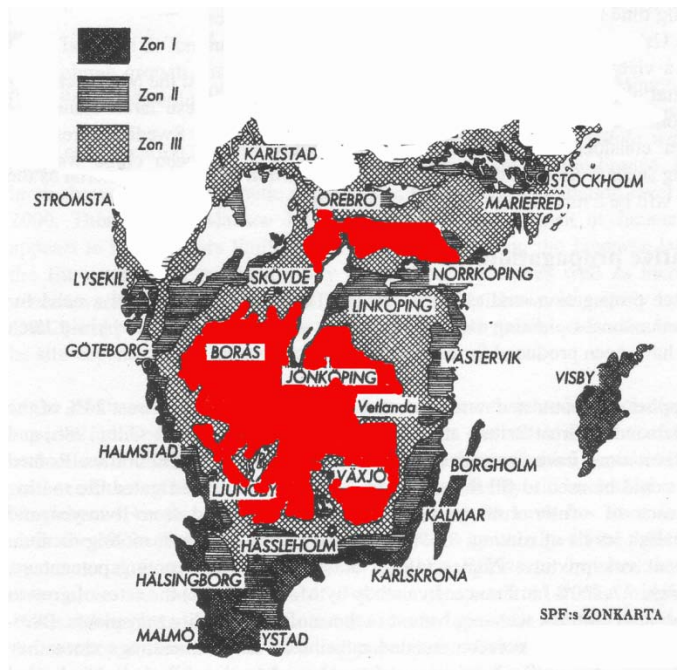
Bild 2 Lärk på bördig finjordsrik mark. Beståndets anlades 1989. Trots att beståndet gallrats vid tre tillfällen är de kvarvarande träden i stort sett genomgående av dålig kvalitet, framförallt krokiga. (Foto PM Ekö)

Det finns begränsad erfarenhet när det gäller vilka klimatiska betingelser som krävs för en godtagbar överlevnad och utveckling hos hybridlärk. Kartan i Figur 1 visar lokaliteterna för de bestånd som undersökts i en produktionsstudie (Ekö *et al.*, 2004). Inför studien gjordes en inventering av möjliga objekt i Götaland och kartan antyder därför inom vilket område det finns dokumenterad erfarenhet av hybridlärksodling.

De flest odlingserfarenheterna härrör sig alltså från västra och sydligaste Sverige. Men hybridlärk har under senare tid också prövats i mer kärva klimatlägen i Götaland. Muntliga rapporter över utvecklingen är positiva. Det finns dock inga vetenskapliga studier gjorda, (men för närvarande pågår ett examensarbete för att studera överlevnad m.m. i praktiska anlagda bestånd bl.a. på Småländska höglandet). Efter stormen 2005 har flera praktiska etableringar gjorts i kärvare lägen. (Den allmänna rekommendationen från pantskolor är dock att hybridlärk skall planteras i växtzon I-III (Figur 2))



Figur 1. Karta utvisande belägenhet av provytmaterial som ligger till grund för en produktionsstudie (Ekö *et al.*, 2004)



Figur 2. Växtzonkarta efter Ullström (1966). I området markerat med rött är zonen IV eller högre. Hybridlärk bör här användas med försiktighet i avvaktande på dokumenterade odlingserfarenheter. (Det finns naturligtvis en finare upplösning inom respektive zon, där klimatet modifieras av sjöar, topografi etc.)

2.3 Odlingsmaterial

Odlingsmaterialets egenskaper bestäms av föräldraarternas egenskaper och kan därför påverkas genom val av härkomst och förädling, varvid de viktigaste faktorerna är härdighet, tillväxt och virkeskvalitet. Hybridlärk har i Europa blivit föremål för intensiv förädling. (Det finns forskare som hävdar att om samma uppmärksamhet ägnats den europeiska lärken skulle en likvärdig tillväxt, resistens mot lärkräfta och kvalitet kunnat erhållas som för hybridlärk (Pâques, 2000).)

Hybridlärkfrö skördas i plantager med individer av valda plusträd av japansk och europeisk lärk. Arrangemangen kan variera, t.ex. kan det vara så att kottar enbart skördas från en japansk klon medan ett antal europeiska klonerna får tjänstgöra som pollinatörer. På så sätt försöker man få så stor andel hybridfrö som möjligt. I utländska undersökningar har det emellertid visat sig att en relativt stor andel av plantorna som sätts ut trots allt inte är hybrider utan någon av föräldraarterna (Pâques, 2000). Någon motsvarande undersökning har inte gjorts i Sverige.

Det finns flera fröplantager i Europa och i Sverige (Maglehem, Trolleholm, Hjälmskult, Klev och Lagan) (Sterner et al, 2005). I Sverige har framförallt material från Maglehem använts, men även danskt material (Holbaek, Flensborg, Fårefolden) har varit vanligt förekommande. Det danska materialet har rykte om sig att vara betydligt rakstammigare än den svenska. Men numera anser man sig ha förbättrat materialet från Maglehem, genom att de kvalitetsmässigt sämsta klonerna tagits bort.

2.4 Beståndsanläggning

Hybridlärksplantorna är relativt dyra (2008 var priset per planta ca 5 kr, alltså ungefär det dubbla jämfört med gran och tall). Rekommenderat plantantal är 2000-2500 plantor per ha. Normal markberedning och behandling mot snytbagge anses nödvändigt. Eftersom plantorna växer så snabbt leder senare angrepp av snytbagge ofta inte till att plantan dör, men till att den kan bli flertoppig. Det är rekommendabelt att använda hägn eller kemiska viltrepeller för att skydda plantorna mot viltskador, både betning och fejning är vanligt förekommande. Å andra sidan växer plantorna så snabbt, de når 2 m på ca 5 år, att de snart lämnar riskzonen.

Det existerar idag få hybridlärkbestånd i Sverige som är äldre än ca 40-50 år. I någon av de äldre ytor som finns på Tönnersjöhedens försökspark har en ymnig föryngring av hybridlärk etablerat sig (Bild 3). Plantorna, som är flera meter höga är rakstammiga och i övrigt av god kvalitet. Naturlig föryngring bedöms som en möjlig metod för etablering av en andra generation, men man tappar då naturligtvis kontrollen över odlingsmaterialets egenskaper.



Bild 3. Naturlig (spontan) förnygring i ett av det äldre hybridlärkbestånd som finns dokumenterat. Beståndet växer i Tönnersjöhedens försökspark och var vid fotograferingstillfället 45 år gammalt. (Foto PM Ekö)

2.5 Ungskogsbehandling

Ungskogen kan se ganska risig ut när den når röjningsstadiet, med mångtoppighet, krokighet, vargtyper etc. (Bild 4). Det kan därför vara viktigt med en röjning för att avverka skadade, kvalitetsmässigt dåliga och förväxande individer. I förekommande fall kan man även ta och justera dubbeltoppar. Vid ingreppet röjs också ett eventuellt lövuppslag, men någon övrig reduktion av tätheten är inte nödvändig. En andra justering av lövet behövs normalt inte, eftersom hybridlärkens ungdomsutveckling är så snabb.



Bild 4. Hybridlärk tre växetsäsonger efter plantering (Hallarp, 45 km öster om Halmstad). Flera av plantorna har dålig form till följd av betning, fejning och angrepp av snytbagge (Foto PM Ekö)

2.6 Gallringsprogram

Gallringsprogrammet utformning (tidpunkt för första gallring, gallringsstyrka, gallringsform och gallringsintervall) måste anpassas till skötsel målet. Det finns emellertid inte mycket vetenskap att luta sig mot när det gäller utformning av lämpliga program. I början på 1990-talet etablerades ett omfattande gallringsförsök i hybridlärk i Vedby i norra Skåne, men tyvärr raderades det ut av stormen 2005. Det finns en del äldre nordiska studier där man studerat produktion och utveckling för japansk och europeisk lärk, och rekommenderar ett tidigt insatt mycket intensivt gallringsprogram (Kiellander 1958, Møller 1965, Wielgolaski *et al.* 1993). I det material som ligger till grund för det svenska produktionsstudien varierar gallringsintervallet, men ligger i genomsnitt på ca 5 år (Ekö *et al.* 2004). Om målsättning för slutbeståndet kräver en lång omloppstid blir naturligtvis gallringsintervallen efterhand längre.

Med ledning av de källor som redovisats ovan kan det vara lämpligt att börja gallra vid en övre höjd av 12-14 m. Det är samma rekommendation som för många andra trädslag och en avvägning mellan möjlighet att dana beståndets framtida kvalitet och att nå tillräckliga dimensioner för en lönsam avverkning. Därefter föreslås ett 5-årigt intervall upp till ca 45-50 års ålder. Vid den första gallringen är uttaget ca 30 % av grundytan för att sedan successivt minska till ca 15 % i den sista gallringen. Det innebär ett uttag varierande mellan ca 40 och 55 m³sk/ha. Den första gallringen kan utföras som låggallring om kvaliteten är tillfredställande och inte kräver ett omfattande uttag av träd av vargtyp. Gallringskvoten i den första gallringen bör i så fall ligga omkring 0,9 för att i de senare

gallringarna närma sig 1. Gallringsformen är här definierad som kvoten mellan den kvadratiska medeldiametern (benämns också grundytamedelstammens diameter, D_g) i uttaget och i beståndet före gallring. Antalet stammar efter den sista gallringen bör vara ca 350 till 450 st/ha och D_g omkring 30 cm. (Se också Tabell 1.)

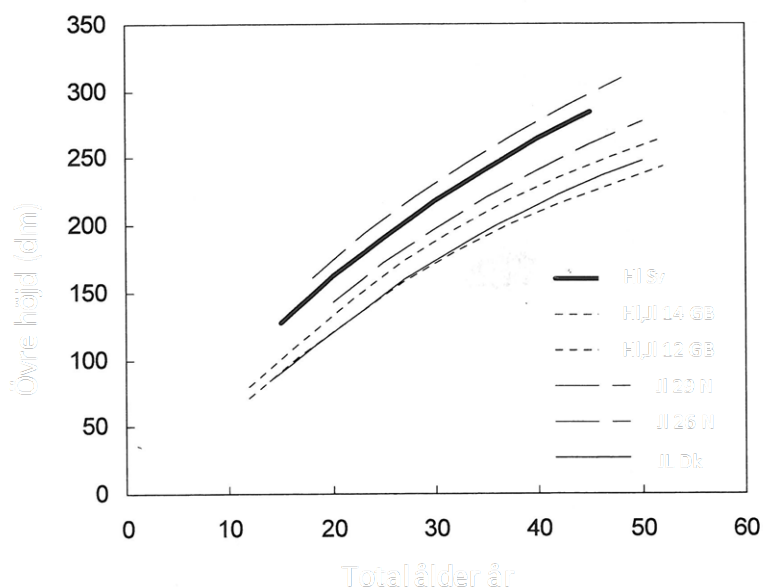
Det skisserade programmet är naturligtvis inte tänkt att följas slaviskt. Ett alternativ är att gallra mer intensivt under den första delen av omloppstiden för att tänja på intervallen under den senare delen. Intervallen måste också modifieras med hänsyn till bördigheten. I det skisserade fallet antas att ståndorten är relativt bördig. Vid en lång omloppstid bör intervallen kanske ökas ytterligare. Att inkludera fler gallringar i programmet är tveksamt eftersom stamantalet i slutbeståndet i så fall riskerar att blir alltför lågt.

För att förbättra kvaliteten kan det vara en god ide att stamkvista huvudstammarna. Krongränshöjden stiger snabbt hos lärk. Torrkvistarna kan emellertid sitta kvar länge, men är enkla att avlägsna.

2.7 Ståndortsindex, tillväxtmönster och produktion

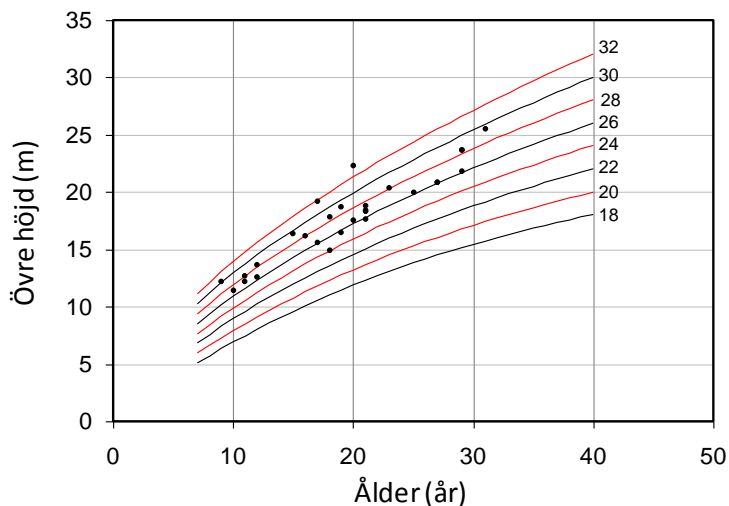
Höjdtillväxt

Hybridlärkens växer mycket snabbt i ungdomen (Bild 5). I det material som använts i den svenska produktionsstudien (Figur 1) tog det tre till fyra år för träden att nå brösthöjd (ungefär halva tiden jämfört med gran) (Ekö *et al.*, 2004). I Figur 2 jämförs höjdtutvecklingen i det svenska materialet med danska, norska och brittiska höjdkurvor för hybridlärk och japansk lärk. I den svenska studien nås en övre höjd av 12 – 13 meter redan vid en ålder av 15 år, vilket enligt ovan motsvarar den rekommenderade höjden för första gallring. Vid 40 års ålder är den övre höjden i det svenska materialet drygt 25 m. (Enligt höjdtutvecklingskurvorna för gran på ståndortsindex G_{32} och G_{36} är höjden vid motsvarande ålder 18 m respektive 21 m (Hägglund, 1973).)



Figur 2. Höjdtutveckling för hybridlärk och japansk lärk, efter Larsson-Stern (2003). HI S – Hybridlärk enligt en svensk produktionsstudie (Ekö *et al.* 2004). HI,JI GB - Hybridlärk och japansk lärk enligt en brittisk undersökning, 12 resp. 14 betecknar bördighetsklasser (Hamilton & Christie, 1971). JL N – Japansk lärk enligt en norsk studie, 24 och 26 står för ståndortsindex (Wielgolaski *et al.* 1993). JL Dk – japansk lärk enligt en dansk studie (Andersen 1950).

Det finns inte svenska höjdtutvecklingskurvor för vare sig hybridlärk, japansk eller europeisk lärk. Höjdtutvecklingen enligt en norsk studie för japansk lärk (Wielgolaski, 1993) visade sig emellertid stämma mycket väl med utvecklingen i det svenska materialet. Referensåldern i de norska kurvorna är 40 år. Appliceras kurvorna på det svenska materialet blir ståndortindex i genomsnitt H_{40} 28 m (Figur 3).



Figur 3. Höjdtutvecklingskurvor för Japansk lärk (Wielgolaski, 1993) . Observationer från det svenska materialet av hybridlärk är inlagt i figuren. Tillstånd vid början av observationsperioden. (Larsson-Stern, 2003).



Bild 5. Samma bestånd som i Bild 4. Nu i den sjätte tillväxtsåsongen. Medelhöjd redan ca 5 m, vilket illustrerar den snabba initiala höjdtillväxten. (Foto PM Ekö)

Produktion under en omloppstid

Den svenska undersökningen över hybridlärkens produktion bygger på totalt 28 provytor (Figur 1.) (Ekö *et al.*, 2003). Vid observationsperiodens slut var de äldsta ytorna ca 40 år. Att det inte finns äldre ytor i materialet beror som nämnts på att hybridlärken har en relativt kort historia i Sverige. Provytorna var placerade i praktiskt anlagda bestånd som skötts intensivt och relativt enhetligt. För elva bestånd var frökällan känd, i sju fall hade materialet hämtats från Maglehem och i fyra från Holbaek.

En produktionsmodell beräknades baserat på observationerna från de 28 ytorna och utifrån denna modell beräknades sedan en produktionstabell som bedömdes vara väl förankrad i materialet (Tabell 1). Ståndortsindex bestämdes till H40 28 m. Tabellen visar beståndets utveckling i femårsperioder fram till en ålder av 45 år. Den första gallringen gjordes vid en ålder av 15 år (övre höjd 13 m) och därefter gallrades modellbeståndet vart femte år.

Fram till 45 års ålder beräknas den totala produktionen till 576 m³sk/ha, vilket motsvarar en årlig medeltillväxt av 12,8 m³sk/ha. Medeltillväxten kulminerar enligt tabellen vid en ålder av 40 år.

Redan från 30 års ålder är medeldiametern i gallringarna större än 20 cm. Diametern i beståndet vid 45 års ålder är beräknad till drygt 30 cm, volymen till ca 300 m³sk/ha och den övre höjden till 28,5 m.

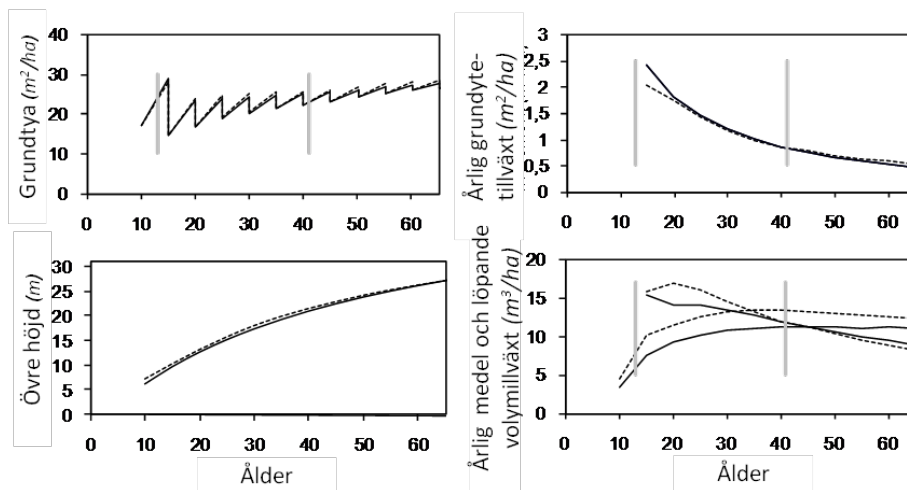
Tillväxtmönster och produktion enligt modellen har jämförts med utveckling på fasta långsiktiga observationsytor som anlagts på skogsfakultetens försökspark i Tönnersjöheden. Överensstämmelsen är god.

Tabell 1. En produktionstabell för hybridlärk i södra Sverige, ståndortsindex H₄₀ 28 m (Ekö *et al.* 2004)

Total Ålder	Ålder i bröst- höjd	Beståndet före gallring					Uttag				Årlig tillväxt	
		Övre höjd (m)	Stam- antal (st/ha)	Dg (cm)	Grund- yta (m ² /ha)	Volym (m ³ /ha)	Stam- antal (st/ha)	Dg (cm)	Grund- yta (m ² /ha)	Volym (m ³ /ha)	Löpande (m ³ /ha)	Medel (m ³ /ha)
15	11	13,0	2000	12,9	26,2	146	811	11,6	8,6	47		9,8
20	16	16,2	1189	16,7	26	183	412	15,5	7,8	54	16,9	11,5
25	21	19,2	778	20,1	24,7	209	201	18,5	5,4	45	15,9	12,4
30	26	21,8	577	23,3	24,6	238	113	22,3	4,4	43	14,9	12,8
35	31	24,2	464	25,9	24,5	264	73	25,4	3,7	39	13,8	13,0
40	36	26,4	391	28,2	24,5	289	61	27,8	3,7	43	12,8	12,9
45	41	28,4	330	30,4	23,9	304					11,7	12,8

Man kan som tidigare diskuterats välja en kort omloppstid, enligt produktionstabellen, men också överväga en längre omloppstid med sikte på grövre kvalitetsvirke. Hur påverkas då produktionen av en längre omloppstid?

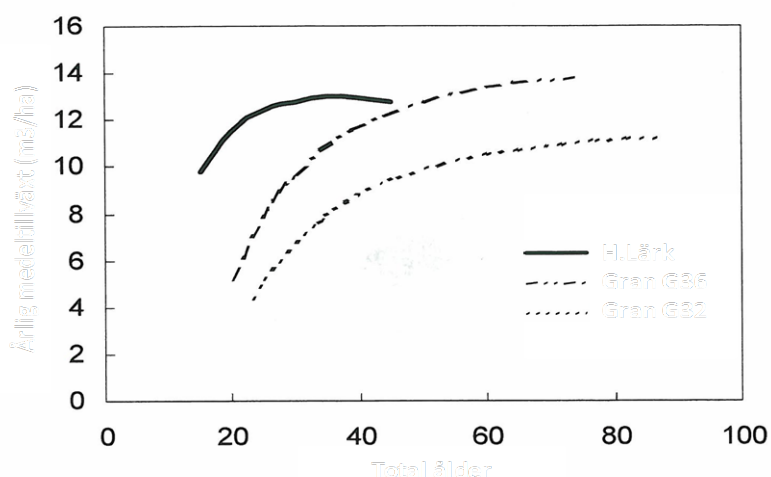
En jämförelse av den svenska produktionsmodellen gjordes med brittiska produktionstabeller för japansk lärk och hybridlärk, där utvecklingen finns noterad upp till en ålder av 65 år (Hamilton & Christie 1971). Utvecklingen enligt tabellerna stämmer väl överens (Figur 4). Enligt den brittiska tabellen sker ingen drastiskt nedgång av produktion vid en längre omloppstid, men det är naturligtvis en förutsättning att inte stamantalet reduceras alltför kraftigt.



Figur 4. En jämförelse mellan den svenska produktionsmodellen för hybridlärk (Ekö *et al.*, 2004) och en brittisk produktionsmodell för japansk lärk och hybridlärk, "yield-class 12" (Hamilton & Christie 1971).

En jämförelse med granens produktion

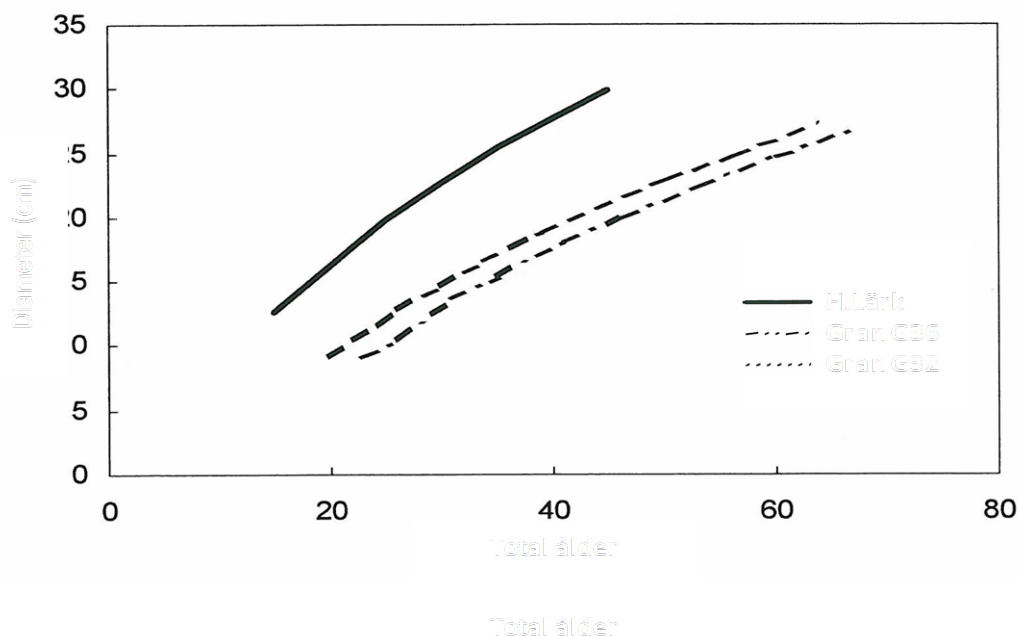
Det finns ett fåtal yngre trädslagsförsök där hybridlärk ingår, men det är naturligtvis inte möjligt att dra några generella slutsatser utifrån ett ståndortsmässigt och åldermässigt begränsat material. Ett annat sätt att jämföra trädslagen är att utgå från produktionsstabeller. Svårigheten vid en sådan jämförelse är att finna en rättvisande översättning mellan ståndortsindex för de respektive trädslagen. I en jämförelse av Larsson-Stern (2003) visas att skillnaden i granens och hybridlärkens produktion inte är särskilt stor, mätt som medeltillväxt (Figur 5). En grov bedömning är att den årliga medeltillväxten per hektar är ca 1 m³ högre än för gran. Men, som framgår av Figur 5 ligger den stora skillnaden i tillväxtmönstret. Hybridlärkens högsta medeltillväxt nås redan vid en ålder av ca 25 – 30 år, medan kulmination för gran ligger vid en ålder som är mer än dubbelt så hög.



Figur 5. En jämförelse mellan hybridlärkens (Larsson-Stern, 2003) och granens produktion (Eriksson, 1976). Ståndortsindex för hybridlärk är H₄₀ 28 m. För gran har två ståndortsindex ansatts H100 32 m respektive 36 m.

Det finns också andra svårigheter att göra en helt rättvis jämförelse av trädslagens produktion bl.a. så har hybridlärken betydligt tjockare bark än gran. Barkens andel av volymen har beräknats vara 5 % högre för hybridlärk jämfört med gran (Larsson-Stern, 2003)

Hybridlärkens snabba ungdomstillväxt i kombination med ett intensivt gallringsprogram ger också en mycket snabb diametertillväxt, som blir särskilt uppenbar om man jämför med utvecklingen i normalt skött granskog (Figur 6).



Figur 6. En jämförelse mellan hybridlärkens (Larsson-Stern, 2003) och granens diameterutveckling (Eriksson, 1976). Ståndortsindex för Hybridlärk är H_{40} 28 m. För gran har två ståndortsindex ansatts H_{100} 32 m respektive 36 m. Hybridlärken har gallrats enligt Tabell 1 och granen enligt program som innehåller fyra gallringar.

2.8 Skadegörare

Rotröta

Som inledningsvis nämnts var ett av motiven till att introducera hybridlärk att man ansåg att den inte drabbades av rotröta och således var ett gott alternativ att plantera efter rötinfekterad gran. Emellertid kom förhoppningarna på skam. Hybridlärk har visat sig vara minst lika drabbad som gran (Rönnberg & Vollbrecht, 1999, Vollbrecht & Stenlid, 1999). Därför rekommenderas numera stubbehandling vid gallring av lärk, på samma sätt som för gran.

Det har rått en viss diskrepans mellan hur forskare och praktiker uppfattar rötproblemet. Praktiker har upplevt problemet som mindre än vad forskarnas resultat ger vid handen. Detta kan bero på att lärkvirkets mörkbrunröda färg i rötans tidiga stadium kan kamouflera angreppet. Används sådant virke i t.ex. inomhuspaneler torde det inte nämnvärt påverka kvaliteten. I rötans senare stadier är naturligtvis angreppet och skadan uppenbar. Virket blir först mjukt och till sist uppstår håligheter.

Storm

Det finns en gammal uppfattning bland skogsfolk att lärken är instabil i ungdomen, men att den blir alltmer stormfast med åren (härvid avses då lärk som är minst ca 60 – 70 år gammal) (Bild 6.). Det är också en uppfattning bland forskare att välgallrade bestånd, där träden under den senare delen av omloppstiden fått anpassa sig till vindförhållandena genom förändring av stamform och anpassning av rotsystem blir stormfasta. Sköts bestånden så blir också risken för stambrott liten på grund av gynnsam stamform och grov dimension. Det förutsätts dock att den sista gallringen utförs vid en höjd av inte stort mer än 20 m, eftersom risken för stomfällning ökar dramatiskt vid gallring i höga bestånd.

Efter stormen 2005 gjordes ett examensarbete i vilket lärkens och granens stormstabilitet jämfördes (Zetterberg 2005). I undersökningen ingick bl.a. de ytor som använts i produktionsstudien, det var alltså inte fråga om några äldre bestånd. Stormskador noterades dels på lärkytorna, dels i närliggande granbestånd av samma utvecklingsgrad. Några statistiskt signifikanta skillnader mellan trädslagen i fråga om skadornas omfattning kunde emellertid inte konstateras, men i medeltal var skadorna lägre i lärkbestånden (23%) än i granbestånden (32%).



Bild 6. Även äldre lärkbestånd kan drabbas av stormskador. Björnstop, Skåne efter decemberstormen 1999. (Foto PM Ekö)

Andra skadegörare

Det finns även andra skadegörare, men av mer marginell betydelse. Det inträffar ibland omfattande angrepp av lärkmal (*Coleophora laricell*), vilket leder till att den fotosyntetiserande förmågan begränsas. Tillväxten sätts ned så länge angreppet varar, men träden synes sedan återhämta sig väl.

Beträffande lärkkräftan som är ett allvarligt problem i europeisk lärk, står sig förhoppningarna, några allvarliga angrepp har inte konstaterats.

2.9 Ekonomi

Kalkylmässigt är odling av hybridlärk ett starkt alternativ jämfört med odling av många andra trädslag. Den snabba ungdomstillväxten, gör att man snabbt får tillbaka investerade pengar. Eftersom träden kvickt når grova dimensioner kan omloppstiden hållas kort, vilket är mycket positivt vid en nuvärdesberäkning.

Men, värdet hänger naturligtvis till syvende och sist samman med den framtida marknaden. Även om hybridlärken har en snabb tillväxt är det trots allt fråga om en tidshorisont som gör det mycket svårt att bedöma hur den framtida marknaden kan komma att se ut. Under senare år har marknaden varit god, men som tidigare påpekats kan det till en del vara fråga om att lärkvirke kanske har haft ett oförtjänt gott ryckte om att vara beständigt i utomhuskonstruktioner.

Larsson-Stern (2003) genomförde i samband med sitt avhandlingsarbete en ekonomisk kalkyl under förutsättningar som rådde 2002 (Tabell 2). Vid en kalkylränta av 3 % visade beräkningarna på ett markvärde för hybridlärk som var 135 % högre än för gran och vid 2 % ränta ca 50 % högre. Det årliga kassaöverskottet var dock marginellt högre för hybridlärk, 7 %.

Allt annat lika, så måste granpriserna vid en kalkylränta av 3 % stiga med ca 45 % för att markvärdeskalkylen skall bli likvärdig med markvärdeskalkylen för hybridlärk. Vid 2 % ränta är det tillräckligt med en ökning av ca 30 %.

Tabell 2. Ekonomiska kalkyler för hybridlärk och gran, efter (Larsson-Stern, 2003). Kostnader och intäkter enligt förhållande 2002. Produktion i hybridlärksalternativet enligt Ekö, (2004) och gran enligt Ekö (1985)

Hybridlärk

	År	Kostnad (kr/ha)	Intäkt (kr/ha)
Anläggning, plantering 2500 pl per ha (plantålder 2 år)	0	18500	
Röjning	4	2500	
Gallring	13	5300	8800
Gallring	18	5000	13100
Gallring	23	4400	12650
Gallring	28	4450	13350
Slutavverkning	33	149500	98550
Årligt kassaöverskott (kr/ha)	2750		
Markvärde vid 2% ränta (kr/ha)	86200		
Markvärde vid 3% ränta (kr/ha)	41700		

Gran

	År	Kostnad (kr/ha)	Intäkt (kr/ha)
Anläggning, plantering 3000 pl per ha (plantålder 2 år)	0	15500	
Röjning	7	3000	
Gallring	25	6800	10850
Gallring	35	10050	21250
Gallring	45	11950	29000
Slutavverkning	65	35950	180750
Årligt kassaöverskott (kr/ha)	2600		
Markvärde vid 2% ränta (kr/ha)	54800		
Markvärde vid 3% ränta (kr/ha)	17750		

3. Sibirisk lärk (*Larix sibirica*)

Med sibirisk lärk avses vanligen två närbesläktade arter, sibirisk lärk (*Larix sibirica*) och rysk lärk (*Larix sukaczewii*). Den senare har en mer västlig utbredning och växer i den europeiska delen av Ryssland.

3.1 Sibirisk lärk i södra Sverige

Sibirisk lärk har prövats i södra Sverige. Det finns äldre provytor, bl.a. på Tönnersjöhedens försökspark, på Visingsö och på Omberg. Utvecklingen på dessa ytor är inte imponerande. Försöksbeståndet på Tönnersjöheden har drabbats av omfattande skador, troligen orsakade av lärkkräfta, en svampsjukdom som trädslaget alltså inte är immun mot. Det har under senare tid anlagts relativt omfattande försök med sibirisk lärk i södra Sverige, som på sikt kommer att ge ett tydligare svar på hur trädslaget utvecklas i denna landsända.

3.2 Sibirisk lärk i norra Sverige

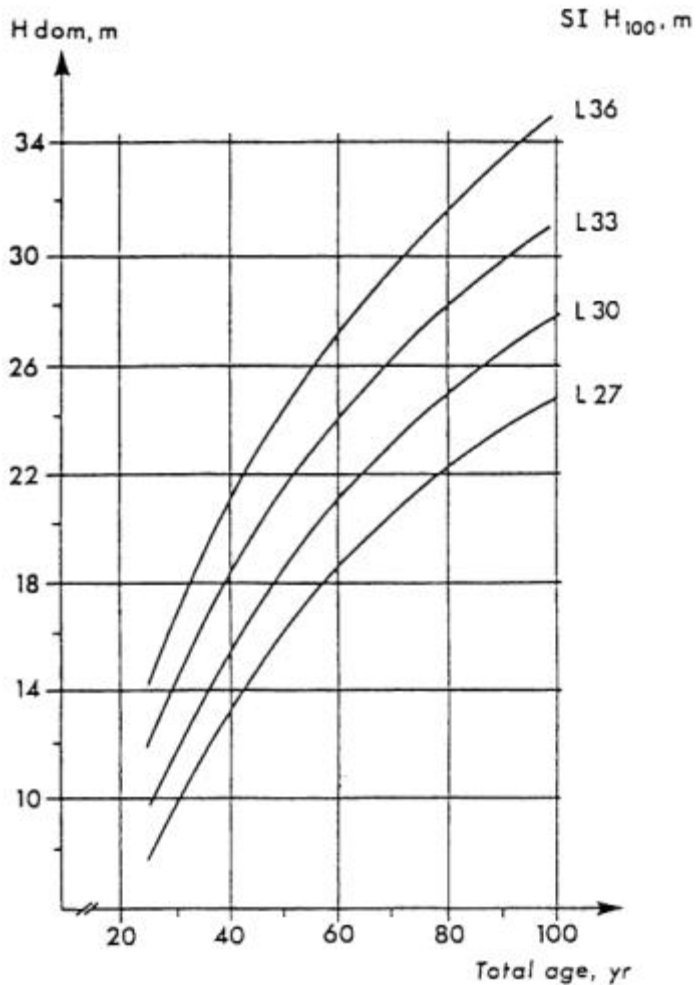
Enligt riksskogstaxeringen utgör virkesförrådet av sibirisk lärk i Norrland ca 120 000 m³sk. Det är en osäker uppskattning, men indikerar att virkesförrådet bara utgör en bråkdel av det totala. Odlingserfarenheterna är därför naturligtvis begränsade. Martinsson (1999) föreslår plantering, men framhåller att även sådd är en möjligt. Vidare rekommenderar Martinsson finska gallringsmallar (Voukila et al., 1983), vilket innebär 2-3 gallringar under en 100-årig omloppstid.

Den sibiriska lärkens produktion in norra Sverige har undersökts av Wiksten (1962), Remröd & Strömberg (1977) och Martinsson (1995).

Remröd & Strömberg (1977) framhåller att man måste ta hänsyn till barktjockleken vid studier av den sibiriska lärkens produktion. Barken utgör enligt deras undersökning drygt 30 % av totalproduktionen hos lärk, men endast 10 % hos tall. (Det är alltid svårt att göra en rättvis jämförelse mellan trädslag. Till exempel är densiteten hos virke av sibirisk lärk 30 % högre än hos tallvirke (Edlund 1966)). Författarna framhåller att tillväxten är snabb i ungdomen för att avta vid högre ålder, varför en, jämfört med många andra trädslag relativt kort omloppstid kan tillämpas. Författarna drar vidare slutsatsen att contortatall, plantagetall, vanlig tall, eller gran är ett produktionsmässigt bättre eller likvärdigt alternativ till sibirisk lärk, på samliga boniteter.

Martinsson (1995) har i stort sett studerat samma material som Remröd & Strömberg (1977), men drar efter ytterligare revisioner andra slutsatser. Han konstaterar att produktionen i genomsnitt är 10-25% högre hos sibirisk lärk än hos tall och gran, men med stor variation. Påståendet avser produktionen exkluderande bark. På flacka och våta marker är enligt författaren dock produktionen lägre än hos de andra trädslagen.

Den övre höjden beskrivs enligt Martinsson (1995) bäst av höjdkurvor framtagna i Finland (Voukila et al., 1983), där referensåldern är 100 år. Martinsson införde dock en korrektion för att bättre passa kurvorna till det svenska materialet (Figur 7). I det svenska materialet varierade den skattade höjden vid 100 års ålder mellan 21,3 och 36 m, med ett medeltal av 28,1 m. Den motsvarande årliga medeltillväxten kan beräknas utifrån ett samband mellan övre höjd och totalproduktion och blir då 3,5, 10,7 respektive 6,5 m³sk/ha (Martinsson, 1995). (Barken innefattas således i dessa produktionssiffror). Martinsson fann att volymprocenten bark varierade mellan 12 och 35 %, i medeltal 25 %, men kunde inte förklara spridningen med de variabler som registrerats i materialet. I jämförelse med tall ökade lärkens överlägsenhet i produktion med stigande ståndortsindex. Något liknande samband kunde inte konstateras vid jämförelse med gran.



Figur 7. Höjddutveckling för Sibirisk lärk i norra Sverige, efter Martinsson (1995)

3.3 Hybrider med sibirisk lärk

Hybrider mellan sibirisk x japansk lärk och mellan sibirisk x europeisk lärk har prövats i norra Sverige. I slutet av 1950-talet anlades 12 försök med dessa hybrider i Norrland. Ytorna inventerades när bestånden var i 20-årsåldern (Jonsson, 1978). Överlevnaden varierade och var i några fall betänkligt låg. Korsningen mellan sibirisk och europeisk lärk hade högst produktion och överlevnad. Två av försöken i trakten av Sollefteå och Ramsele är nyligen återinventerade. Resultaten kommer att presenteras av Lars Karlman i en doktorsavhandling som läggs fram under hösten 2009. Förelöpande resultat visar att produktionen för båda hybriderna är mycket hög och betydligt högre än hos sibirisk lärk, samtidigt som överlevnaden i flera fall inte har varit alarmerande låg (Karlman 2009, *pers. com.*)



Bild 7. Litauen 2002. Hundraårig sibirisk lärk kräver sin tribut. (Foto PM Ekö)

4. Några slutsatser

- Vid etablering av lärk i södra Sverige synes hybridlärk (japansk x europeisk lärk) var det bästa alternativet, eftersom hybriden är resistent mot lärkkräfta, växer snabbt och har relativt god stamform.
- Genom att odla hybridlärk i stället för gran i södra Sverige undgår man inte problem orsakade av storm och rotröta.
- Vid val av ståndort bör hybridlärk främst etableras på god granmark. Man bör undvika de bördigaste och finjordrikaste markerna, eftersom virkeskvaliteten riskerar att blir undermålig. Hybridlärkens utveckling på svagare marker är inte studerad. Vidare finns dokumenterad erfarenhet endast i goda klimatlägen även om det finns indikationer på att hybridlärk kan klara ett något kärvare klimat.
- Medeltillväxten för hybridlärk bedöms vara något större än för gran på motsvarande ståndorter. Det är dock inte fråga om några stora skillnader, särskilt om man tar hänsyn till lärkens tjockare bark
- Tillväxten är mycket snabb i ungdomen, vilket medger en kort omloppstid
- Virket har andra egenskaper och delvis annan användning än granvirke.
- Marknaden för virke av hybridlärk har under senare år varit god, vikt till en del kan bero på att virket kanske fått ett oförtjänt gott rykte i fråga om varaktighet i utomhuskonstruktioner

- Med nuvarande virkespriser ger odling av hybridlärk en mycket konkurrenskraftig ekonomisk kalkyl gentemot de flesta andra trädslag
- Vid odling av lärk i norra Sverige bör sibirisk lärk föredras. Det finns intressanta hybrider, men det krävs ytterligare försöksodlingar och forskning innan de kan rekommenderas i större skala.
- Att finna hårdigt material för odling in norra Sverige torde inte innebära någon svårighet med tanke på att trädslaget härstammar från nordliga breddgrader och kärva klimatlägen
- Generellt är erfarenheterna av lärkodling mindre i norra än i södra Sverige.
- Tillväxten synes på många ståndortstyper vara högre hos sibirisk lärk än hos inhemska barrträdslag
- Sibirisk lärk bör inte etableras på våta och flacka marker
- Virke av sibirisk lärk bedöms vara av bättre kvalitet än virke av de övriga lärkarterna

Referenser

Andersen, M. 1950. Form factor investigations and yield tables of Japanese larch in Denmark. Det forstlige Forsøgsvesen i Danmark. Vol 19. pp 331-410

Berggren, G. 2007. Kvaliteten på lärk kan variera betydligt. Husbyggaren 2007:5. 4 pp

Bergstedt, A. & Lyck, C. 2007. Larch wood - a literature review. Forestry & Landscape working papers 23/2007, Faculty of Life Sciences. University of Copenhagen.

Blomqvist, S. 1999. Raivolalärk, ett alternativ i svårföryngrade områden? Skogen nr.6-7. Pp.30-31.

Edlund, E. 1966. Den sibiriska lärken i Norrland och Dalarna som skogsträd och industriråvara. Sverige Skogsvårdsförbunds Tidskrift. Vol 64 (5-6). pp 461-560

Ekö, P.M. 1985. En produktionsmodell för skog i Sverige, baserad på bestånd från riksskogstaxeringens provytor. Institutionen för skogsskötsel, SLU. Rapporter nr 16. Umeå

Ekö, P. M., Larsson-Stern, M. and Albrektson, A. 2004. Growth and yield of hybrid larch (*Larix × eurolepis* A. Henry) in Southern Sweden. Scandinavian journal of forest research, 2004, vol. 19, no 4, pp. 320-328

Eriksson, H. 1976. Granens produktion i Sverige. Skogshögskolan. Institutionen för skogsproduktion. Rapporter och uppsatser, No. 41, 291 pp.

Hamilton, G.J. & Christie, J.M. 1971. Forest Management Tables. Forestry Commission. Booklet No. 34. ISBN +11-710013-7.

Hägglund, B. 1973. Om övre höjdens utveckling för gran i södra Sverige. Institutionen för skogsproduktion. Rapporter och uppsatser nr 24. Stockholm

Jonsson, S. 1978. Lärkhybrider i Norrland. Institutet för skogsförbättring. Information 1977/78 Skogsträdsförädling nr 9. 4pp.

- Kiellander, C.L. 1958. Hybridlärk och lärkhybrider. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift, No. 4, pp 371-398. ISSN 0562-7605.
- Kullman, L. 1998. Paleoecological, biogeographical and paleoclimatological implications of early Holocene immigration of *Larix Sibirica* Ledeb. into the Scandes Mountains, Sweden. Global ecology and Biogeography Letters, No. 7, pp 181-188
- Larsson-Stern, M. 2003. Aspects of Hybrid Larch (*Larix x eurolepis* Henry) as a Potential Tree Species in Southern Swedish Forestry. Licentiate thesis SLU 2003.
- Martinsson, O. 1995. Yield of *Larix sukaczewii* Dyl. in Northern Sweden. *Studia forestalia Suecica*. No. 196, 1995.
- Martinsson, O. 1999. Sibirisk lärk som skogsträd och virkesråvara. Sveriges Lantbruksuniversitet Umeå.
- Møller, C.M. 1965. Vore skovtræarter og deres dyrkning. Dansk Skovforening. Copenhagen, pp 175-187.
- Pâques, L.E. 2000. Interspecific hybridisation in larch: The long way to get outstanding varieties. Hybrid breeding and genetics of forest trees. Proceedings of QFRI/CRC-SPF Symposium, 9-14 April 2000, Noosa, Queensland, Australia. Department of Primary Industries, Brisbane.
- Remröd, J. & Strömberg, S. 1977. Den sibiriska lärkens produktion i Norra Sverige. Föreningen skogsträdsförädling. Institutet för Skogsförbättring. Årsbok 1977
- Rönnerberg, J. & Vollbrecht, G. 1999. Early infection by *Heterobasidion annosum* in *Larix × eurolepis* seedlings planted on infested sites. *European Journal of Forest Pathology*, No 29, pp 81-86.
- Stener, L-G., Larsson-Stern, M. & Ekö, P.M. 2005. Hybridlärk - ett bra komplement till gran i södra Sverige. Skogforsk: Resultat nr 16. 2005.
- Ullström, K-E. 1966. SPF's växtatlas. Sveriges Pomologiska Förening. Stockholm.
- Wielgolaski, F.E. 1993. Growth studies in plantations of *Larix decidua* Mill. And *Larix kaempferi* Carr. in western Norway. 1. Site-index curves. *Meddelelser fra Skogforsk* 46:6 -18.
- Wielgolaski, F.E. Opdahl, H. & Nes, K. 1993. Growth studies in plantations of Europeanlarch (*Larix decidua* Mill.) and Japanese larch (*L. kaempferi* (Lamb.) Carr.) in western Norway. 2. Forecasting growth and yield by various site-indices and thinnings. *Meddelelser fra Skogforsk* 46 (12). Norsk institutt for skogforskning. Institutt for skogfag, NLH, 42 pp.
- Wiksten, Å. 1962. Några exempel på den sibiriska lärkens produktionsförmåga i Sverige. *Meddelanden från statens skogsförsöksanstalt* 51(6). 35 pp
- Vollbrecht, G. & Stenlid, J. 1999. Transfer of the P-type of *Heterobasidion annosum* from old-growth stumps of *Picea abies* and *Larix × eurolepis*. *European Journal of Forest Pathology*, No. 29, pp 153-159.
- Vuokila, Y., Gustavsen, H. G, & Luoma, P. 1983. Site classification and thinning models for Siberian larch (*Larix sibirica*) stands in Finland. *Folia forestalia* 554, 12p. (På finska)
- Zetterberg, J. 2007. Stormskador i lärk och gran : en jämförelse efter stormen Gudrun. Examensarbete / SLU, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap ; 91

Bilaga 7

Sitkagran

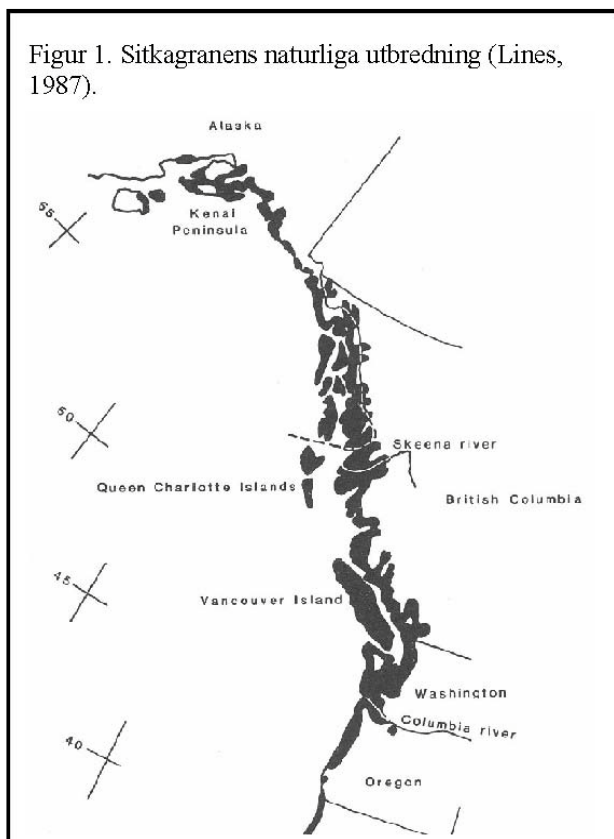
Bo Karlsson, Skogforsk

Innehåll

1. Ursprung och biologi.....	1
2. Ståndortskrav.....	2
3. Praktisk tillämpning	2
Skötsel av beståndet under en omloppstid.....	2
Produktion	4
4. Problem och möjligheter för praktisk tillämpning	6
Vilka praktiska hinder finns idag?.....	6
När skulle odling av trädslagen kunna ske i full skala?	7
5. Skador.....	7
Frost.....	7
Vind.....	8
Referenser.....	8

1. Ursprung och biologi

Sitkagranens naturliga utbredning sträcker sig längs Nordamerikas västkust, från Alaska i norr till norra Kalifornien i söder. Utbredningen sträcker sig över ca 23 breddgrader eller 3500 km i nord-sydlig riktning, men sällan mer än 30 km i västöstlig riktning (Figur 1) (Brandt, 1970. Møller, 1965, Lines, 1987).



Klimatvariationen inom utbredningsområdet i nordsydlig riktning är begränsad p.g.a. havets utjämnande inverkan. Sitkagran uppnår den högsta tillväxten på Queen Charlotte Island och i Olympic Peninsulas regnskog (Lines, 1987).

I sin naturliga miljö är Sitkagranen en pionjärart på unga jordar exponerade efter smälta glaciärer eller upplyft gammal havsbotten (Harris, 1990).

Sitkagranen är ett låglandsträd som gärna växer i floddalar och längs mindre vattendrag (Brandt, 1970. Møller, 1965). Den har påträffats på höjder upp till 900 meter i södra Alaska och British Columbia (Lines, 1987) men förekommer vanligen på höjder under 300 meter (Brandt, 1970. Møller, 1965. Lines, 1987).

Sitkagranen förekommer i så väl rena bestånd som i blandbestånd. I Nordamerika rapporteras trädhöjder på 80-90 meter (Lagerberg, 1962. Skovsgaard, 1997). Mer normalt är dock en höjd på 40-60 meter med en diameter på 1-2 meter. I Skottland har enskilda träd uppnått höjder på 50 meter (Karlberg, 1961).

2. Ståndortskrav

Sitkagranen uppvisar en stor anpassningsförmåga när det gäller markkrav. Den kan växa på en bred skala av jordarter allt från brunjordar till sura torvjordar (Low, 1987) och räknas i Danmark som mindre krävande än vanlig gran (Møller, 1965). Tillväxten kan vara god på magra marker om vattenförsörjningen är tillfredsställande (Brandt, 1970). Det är på dessa marker som den största tillväxtskillnaden har uppmätts mellan sitkagran och gran (Henriksen, 1988). Inom sitt naturliga utbredningsområde har den största tillväxten uppvisats på djupa humusrika jordar med åtkomligt rörligt markvatten (Møller, 1965). När det gäller markfuktighet så är sitkagranen tämligen vattenkrävande, men känslig för stillastående markvatten (Low, 1987. Lagerberg (1962).

Rotsystemet är tämligen djupt vilket innebär att djupt liggande jordlager med högre näringsinnehåll, än det övre jordlagret, kan utnyttjas (Brandt, 1970. Henriksen, 1988. Møller, 1965). Enligt Lagerberg (1962) så anges däremot rotsystemet som tämligen grunt men på luckra jordar kan rotsystemet bli mycket djupt.

Lämpliga ståndorter i Sverige är normala granmarker med god tillgång på rörligt markvatten i Västra och södra Götaland. Flacka marker med frostrisk bör undvikas. I ett framtida klimat som i sydvästra Sverige verkar bli alltmer maritimt bör Sitkagranen anpassningsmässigt ha fördelar framför vår vanliga gran (Karlsson, 2007).

3. Praktisk tillämpning

Skötsel av beståndet under en omloppstid

Valet av skogsodlingsmaterial är av största betydelse för att lyckas med Sitkagran. I första hand bör plantmaterial användas som är känt och helst testat. Eftersom det inte finns någon svensk fröplantage som producerar förädlat frö bör material från danska fröplantager användas. I andra hand bör plantor från svenska eller danska frötäktbestånd användas. Högst produktion kan uppnås om man utnyttjar vegetativt förökade plantor från korsningar mellan utvalda, testade föräldrar inom den svenska förädlingspopulationen (Skogforsk, opubl.). Den svenska sitkagransförädlingen är ännu i sin linda och har ett begränsat förädlingsmaterial. Nielsen (1994) konstaterade att Sitkagran redan efter en generation i Danmark hade kommit så långt i sin landrasbildning att danskt frö rekommenderades framför direktimport av provenienser från Nordamerika. Inom det svenska förädlingsprogrammet har därför plusträd valts i lyckade bestånd i södra Sverige. Förädlingen i Storbritannien har pågått längre och med högre intensitet. Där pekas på stor potential till avsevärd genetisk vinst (Fletcher, 1992, Lee, 1992, Mochan et al., 2008).



Figur 2. Ympar av Sitkagran i klonarkivet vid Skogforsks forskningsstation Ekebo.

Tack vare dess likhet med vanlig gran kan skötseln av bestånd med sitkagran i Sverige i mångt och mycket utgå från skötsel av granbestånd. Mycket av det som refereras från litteraturen i detta avsnitt är föråldrad kunskap och bör därför läsas kritiskt.

Henriksen (1988) anser att plantorna vara 3-4 år gamla och förbandet bör vara ca 2*2 meter (2500 plantor/ha) (Lines, 1987). Den inhemska produktionen av sitkaplantor är oftast täckrotsplantor medan import från Danmark och Storbritannien består av barrotsplantor. Møller-Madsen (pers kommunikation) anser att täckrotsplantor i kombination med god markberedning fungerar utmärkt. På marker med hög bonitet kan det vara nödvändigt att bekämpa oönskad vegetation som kan komma att skada plantorna.

Den snabba tillväxtstarten, utan traditionell ”granstamp”, som man kan observera på lyckade planteringar med Sitkagran i Skandinavien bekräftar dess pionjärträdsstatus i Nordamerika (Harris, 1990).

Sitkagranen har en snabb diametertillväxt redan i tidig ålder särskilt om förbandet är glest. Träden tenderar därmed att få kraftiga grenar som påverkar timmerkvaliteten negativt (Lines, 1987). Vid naturlig föryngring uppför sig Sitkagranen likt den vanliga granen men anses klara konkurrens från konkurrerande vegetation bättre.

Den första gallringen bör sättas in tidigt p.g.a. den starka ungdomstillväxten och gallringsintervallet skall vara tätt. Kraftiga gallringar i väl slutna bestånd kan leda till vattskottsbildning (Karlberg, 1952. Herman, 1964. Petruncio, 1994). Enligt Lines (1987) ska första gallringen ske vid 20-25 års ålder och det rekommenderade gallringsintervallet är 4-6 år.

Enligt Skovsgaard (1997) lämpar sig sitkagranen bättre för ett gallringsfritt skogsbruk än vad t.ex. vanlig gran gör. Anledningen till detta är att sitkagranen uppvisar en stor naturlig diameterspridning. Han rekommenderar ett kvadratförband mellan 1,75–2,0 m och en omloppstid på 40-55 år om man siktar på att få sågtimmerkvalitet. Metoden med gallringsfri skötsel lämpar sig bäst på bördiga marker

I en senare undersökning konstaterar Skovsgaard (2009) att effekten på volymtillväxten efter låggallring är starkt beroende av ståndorten. Om vattenförsörjningen är god och rotsystemen djupa kan en lätt låggallring vara optimal för volymproduktionen medan gallring på ståndorter med högt grundvatten och grunda rotsystem innebär en minskning av volymtillväxten. Denna minskning ökar med gallringsstyrkan.

I en norsk undersökning (Øyen, 2001) visar sitkagran god dimensionsspridning och utvecklar sig tillfredsställande utan gallring. Jämfört med gallringar där 40% av virkesförrådet har tagits ut är effekterna på totalproduktion och mängden grova träd liten jämfört med ogallrade bestånd. Produktionsökningen 5-15 år efter gallringen kompenserar sällan för gallringsuttaget. Andelen sågtimmer minskar i gallrade bestånd, speciellt efter stark gallring p.g.a. sämre virkeskvalitet.

Omloppstiden varierar från 45 år till över 60 år i Skottland beroende på ståndortsförhållandena men slutavverkningen bör ske när beståndet har nått sin maximala årliga tillväxt (Lines, 1987). Enligt Henriksen är den normala omloppstiden i Danmark runt 50-60 år beroende på tidigare huggningsstyrka och önskade diametrar (Henriksen, 1988).

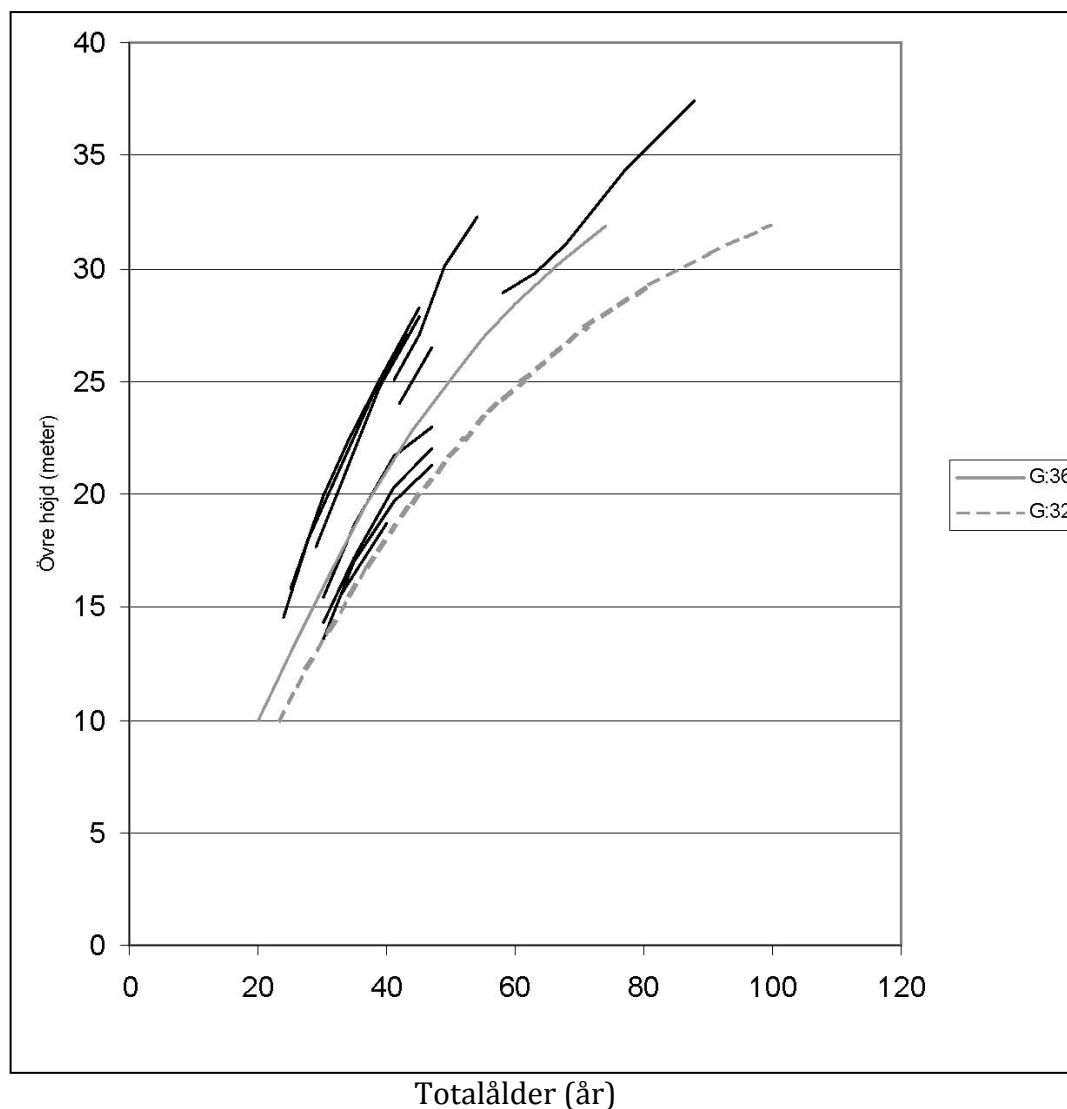
Sammanfattningsvis kan det ifrågasättas om Sitkagranen ska vara föremål för gallring vid odling för att maximera biomassaproduktion. Speciellt på ståndorter med ökad risk för röta och eller stor risk för stormfällning kan det finnas anledning att beakta såväl gallringsfritt skogsbruk som förkortning av omloppstiden.

Produktion

Jansson och Johansson (1980) fann att sitkagran i Sverige producerar 22 % mer vid 40 års ålder på SI G36 och 26 % G32. Karlbergs (1961) studier visade att sitkagranens höjdtutveckling är överlägsen granens och att volymproduktion ligger 20-50% högre. Skillnaden i volymproduktion kan förklaras med att sitkagranen uppvisar en snabbare diameterutveckling än gran på likvärdiga ståndorter. Såväl Karlberg (1961) som Jansson och Johanssons (1980) drar slutsatsen att relativa skillnaden i produktion ökar med sjunkande ståndortsindex.

Tengberg (2005) rapporterade att sitkagranens produktion på 12 fasta provytor i Sydsverige var 14 % högre än granens i genomsnitt. Han konstaterade dock en stor spridning och värdet för de tre bästa ytorna med sitkagran hade en genomsnittlig totalproduktion som var 30 % högre än gran. En förklaring till den stora spridningen skulle kunna ha varit proveniensens både för sitkagran och vanliga gran. I en 14-årig försöksserie med avkommor av sitkagran från olika frökällor skilde det över 30 % mellan medeldiametern från olika frökällor (Skogforsk opubl., 2009). Avkommor från norska fröplantager med +träd med ursprung från Alaska var betydligt sämre än danska och Svenska fröplantager med plusträd av sydligare ursprung.

Tengberg (2005) undersökte 12 fasta provytor och fann att utvecklingen av övre höjden var snabbare för sitkagran än för vanlig gran (figur 3).



Figur 3. Utveckling av övre höjd för Sitkagranens baserat på observationer på fasta försöksytor i jämförelse med granens höjdutvecklingskurvor för SI:36 och SI:32 (Ur Tengberg, 2005) .

Enligt Orlund (2001) så ligger sitkagranens bonitetskurva något under granens, fram till ca 40 års brösthöjdsålder. Efter denna ålder ökar skillnaden markant genom att sitkagranen uppvisar en större ökning än granen.

Jämförelsestudier utförda i Norge, mellan sitkagran och gran på marker med samma ståndortsförhållanden, visar att sitkagranens genomsnittliga produktion är 34% högre än för granen (Öyen & Tveite, 1998).

Enligt Henriksen (1958) så överstiger sitkagranens produktion granens, i Danmark med 10-80 % beroende på bl.a. markslag och proveniens. Henriksen (1988) anger att skillnaden i produktion är mellan 9-24%, störst skillnad har observerats på sandiga moränjordar.

4. Problem och möjligheter för praktisk tillämpning

Vilka praktiska hinder finns idag?

Det största problemet idag är bristen på lämpligt skogsodlingsmaterial. För att få full utväxling av ett skifte till sitkagran i stället för att använda förädlad vanlig gran krävs det att skogsodlingsmaterialet är fröplantageplantor eller bättre. Tidigare har det funnits en svensk fröplantage där ymparna dessvärre dött av barkborreskador. En ny fröplantage har nyligen anlagts och ytterligare en ympas våren 2009.

Allra bäst skulle vara att använda vegetativt förökade plantor med hel- eller halvsyskonfröpartier från fälttestade föräldrar med goda avelsvärden (Figur 4). (Se vidare kapitel om klonskogsbruk)



Figur 4. Ymp av Sitkagran med isoleringspåsar där kontrollerade korsningar framställs.

Sitkagran är en utländsk trädart och lyder under Skogsvårdslagen. I SKSFS 1993:2 (Anon., 1993) står följande: ”Skogsmarkens ägare skall i förväg till skogsvårdsstyrelsen anmäla när han avser att använda skogsodlingsmaterial av utländska trädarter på en areal om minst 0,5 hektar”. Det innebär alltså inte ett förbud, men likväl en anmälningsskyldighet. Syftet är att myndigheten ska ha kontroll över arealen skogsmark med främmande trädslag. Det finns idag inga måttal för hur stora arealer som kan accepteras, vilket innebär - om inte ett hinder - väl en osäkerhet inför framtiden.

På fastigheter som är certifierade enligt FSC (Anon., 2000) får främmande trädslag ”endast i undantagsfall användas på skogsmark”. Närmare riktlinjer skulle ha förelegat 1999 men enligt Kåren (2009) pågår förhandlingar fortfarande.

När skulle odling av trädslagen kunna ske i full skala?

Eftersom kunskap finns om val av skogsodlingsmaterial, anläggning och skötsel av sitkagran bedöms odling i full skala kunna ske omgående. En förutsättning för detta är att plantmaterial med tillfredsställande genetisk nivå finns att tillgå. Eftersom Sitkagran är lätt att sticklingföröka så kan bra fröpartier uppförökas från dessa. Danska fröplantager har visat sig fungera bra i Södra Sverige vilket innebär att planttillgången inte bär utgöra något hinder för en storskalig användning. Import av förädlade plantpartier från Storbritannien har också visat sig fungera bra i varje fall i Skåne och Halland. Odlingstester av detta plantmaterial kommer att planteras under våren 2009 (Wiggo Bratt, pers. kommunikation).

5. Skador

Frost

Sitkagranen är känslig för frost under såväl vår som höst (Mboyi & Lee, 1999, Brandt, 1970) och enligt Henriksen (1988) och Brandt (1970) är frost en begränsande faktor för odling av trädslaget.

Skador som uppkommer under våren, innan skottskjutning, inträffar oftast efter en osedvanligt varm period under t.ex. mars som följs av en kall period under april-maj. Under den varma perioden värms kambiet upp och aktiveras, det medför en ökad känslighet för perioder med låga temperaturer. Eventuell uppkommen skada kommer inte att synas förrän till sommaren då barren, fram för allt efter en torrperiod, brunfärgas och faller av på hela eller delar av trädet (Figur 5).

Efter knoppsprickningen utgör försommarfrost under kalla nätter ett hot (Møller, 1965). Enligt Low (1987) bör plantering i frostillanta lägen undvikas då Sitkagranen har en tämligen tidig knoppsprickning. Mottagligheten för höstfrost är beroende av när skottsträckningen upphör och invintringen (förvedningen) inträder. Sitkagranen tenderar att ha en lång växtsäsong och uppvisar därmed en stor mottaglighet. Stora skillnader mellan olika provenienser föreligger (Mboyi & Lee, 1999, Skogforsk publicerat).



Figur 5. Vinterskador på ettåriga Sitkaplantor våren 1995. Tydliga skillnader mellan olika familjer framgår.

Perioder av sträng vinterkyla kan orsaka barrförluster samt stamsprickor på äldre träd. Orsaken är till stor del en kombination av frost och torka (Møller, 1965). Frystestning i Nordamerika visar att frosttoleransen för låga vintertemperaturer är starkt beroende av härkomst (Sakai & Weiser, 1973). Washingtonprovenienser kunde klara temperaturer ner till -30 för invintrade barr och -40 för kvistar medan Alaskaprovenienser klarade -40 resp. -60 grader Celcius.

Vind

Sitkagranen uppvisar en mycket god motståndskraft mot vind (Low, 1987. Brandt, 1970). Enligt Møller (1965) är den mer stormfast än granen, och räknas till ett av de mer vindbeständiga trädslagen (Lines, 1987). Enligt Low (1987) så kan sitkagranen producera acceptabla virkesvolymen i Skottland även på de mer vindutsatta platserna. Trädslaget uppvisar också stor tolerans mot saltvattenstänk (Brandt, 1970. Møller, 1965), bättre än något annat barrträdslag som provats i Europa (Lagerberg, 1962). Enligt Brandt (1970) så passar sitkagranen mycket bra i kustområdena p.g.a. att den uppvisar dessa "toleranser" mot vind och saltvattenstänk.



Figur 6: Bild på stormfällning i trädslagsförsök i Danmark efter decemberstormen 1999. (Skoven særnummer, februar 2000).

Sitkagranens stormkänslighet kan med stor säkerhet mer sägas bero på ståndort och gallringsregim samt tid efter ingrepp än på arten som sådan.

Referenser

Anonymus 1993. Skogsstyrelsens författningssamling 1993:2. Skogsstyrelsen

Anonymus 2000. Svensk FSC-standard för certifiering av skogsbruk. Andra upplagan februari 2000. Forest Stewardship Council A.C.

BRANDT, K. 1970. Statusopgørelse for sitkagran. Dansk Skovf. Tidsskr. 55: 300–329

Fletcher, A.M.F. 1992. Breeding improved Sitka spruce. In: Super Sitka for the 1990s. Ed. D.A.Rook. Forestry Commission Bulletin 103, HMSO, London, Editor: Rook D.A., 11-24

Harris, A.S. 1990. *Picea sitchensis*. In Burns, R.M. and B.H. Honkala. Silvics of North America, Vol. 1, Conifers. Washington DC: U.S.D.A. Forest Service Agriculture Handbook 654.

Henriksen, H.A. 1958. Sitkagranens vækst og sundhetstilstand i Danmark. Det forstlige Forsøgsvæsen i Danmark 24: 1-372

Henriksen, H.A. 1988. Skoven og dens dyrkning. Dansk Skovforening, Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck, København, Danmark, 664 pp.

Herman, E.R. 1964. Epicormic branching of Sitka spruce. Res. Pap. PNW-18. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. 9 p.

Jansson, G & Johansson, U. 1980. En produktionsjämförelse mellan sitkagran och vanlig gran på lika ståndort. Examensarbete i ämnet skogsskötsel. Institutionen för skogsproduktion. SLU. Nr 2

Karlberg, S. 1952. Sitka- och Douglasgranen som sydsvenska skogsträd. Meddelande från Hensbackastiftelsen. 15 sidor.

Karlberg, S. 1961. Development and yield of Douglas fir (*Pseudotsuga taxifolia* (Poir.) Britt.) and Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in southern Scandinavia and on the Pacific Coast. Kungl. Skogshögskolans skrifter. Nr 34. 141 sidor

Karlsson, B. 2007. Sitka- och Douglasgran – alternativ för ett nytt klimat, Resultat nr 17. Skogforsk.

Kårén, O. 2009. Föredrag om: Contortatall och miljön. Norra Skogsklubben 2009-02-13. Holmen Skog.

Lagerberg, T. 1962. Andra volymen: Barrträden. *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. Kompendium i trädkunnsdom. Skogshögskolan. Kompendiekommittén.

Lee, S.J. 1992. 'Likely increases in volume and revenue from planting genetically improved Sitka spruce.' In: Super Sitka for the 1990s. Ed. D.A.Rook. Forestry Commission Bulletin 103, 61-74. HMSO, London.

Lines, R. 1987. Choice of seed origins for the main forest species in Britain. Forestry Commission Bulletin 66.

Low, A.J. 1987. Sitka spruce silviculture in Scottish forestry. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. 93B, 93-106.

Mboyi, W.M. & Lee, S.J. 1999. Incidence of autumn frost damage and lammas growth in a 4-year-old clonal trial of Sitka spruce (*Picea sitchensis*) in Britain. Forestry. Vol 72. Nr 2.

Mochan, S., Lee, S. and Gardiner, B. 2008. Benefits of improved Sitka spruce: volume and quality of timber. Forestry Commission Research Note 3. Forestry Commission, Edinburgh

Møller, C.M., 1965. Vore skovtræarter og deres dyrkning. Dansk Skovforening, Copenhagen.

Nielsen, U.B. 1994. Genetisk variation i sitkagran (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) i højdevækst, stammeform, frosthærdighed - vurderet ud fra danske proveniens-, afkoms- og klonførsøg. Forskningsserien Forskningscentret for Skov & Landskab 1994(9).

- Orlund, A. 2001. Bonitering av plantet gran (*Picea abies* L. Karst.) Og sitkagran (*Picea sitchensis* Bong. Carr.) på Vestlandet. Rapport fra skogforskningen. Nr 2.
- Petruncio, M.D. 1994. Effects of pruning on growth o/ western hemlock and Sitka spruce in southeast Alaska. Ph.D. dissertation, University of Washington, Seattle, WA.
- Sakai, A., and C. J. Weiser. 1973. Freezing resistance of trees in North America with reference to tree regions. *Ecology* 54(1):118-126
- Skovsgaard, J.P. 1997. Tyndingsfri drift af sitkagran. En analyse af bevoksningsstruktur og vedmasseproduksjon i utyndede bevoksningsgrupper af sitkagran (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.). Den Kgl. Veterinaer- og Landbohøjskole. Forskningsserien. Nr 19. 525 sider
- Skovsgaard, J.P. 2009. Analysing effects of thinning on stand volume growth in relation to site conditions: A case study for even-aged Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.). *Forestry*, Vol. 82, No. 1, 87-104
- Tengberg, Fredrik 2005. En jämförelse av sitkagranens (*Picea sitchensis*) och den vanliga granens (*P. abies*) produktion. Southern Swedish Forest Research Centre, SLU. Examensarbete/SLU, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap vol. 62. 45 sider
- Øyen, B.-H. 2001. Langsiktige effekter etter tynning i plantefelt med sitkagran (*Picea sitchensis* Bong. Carr.) i Vest-Norge. Rapport fra skogforskningen 11/01: 23 s.
- Øyen, B-H & Tveite, B. 1998. En sammenligning av høydebonitet og produksjonsevne mellom ulike treslag på samme voksested i Vest-Norge. Rapport fra skogforskningen. Nr 15. 32 sider

Bilaga 8

Snabbväxande lövträd: hybridasp, hybridpoppel, poppel och al

Lars Rytter, Skogforsk

Theo Verwijst, Inst. för Växtproduktionsekologi, SLU

Innehåll

1. Principer för odling av snabbväxande lövträd, främst <i>Populus</i> -arter och hybrider.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Växtmaterial och dess naturliga utbredning	1
1.3 Egenskaper	2
2. Förädling och odlingsmaterial i Sverige.....	2
2.1 Allmänt.....	2
2.2 Hybridasp	2
2.2 Poppel.....	3
2.3 Al.....	4
2.4 Framtida planer.....	4
3. Ståndorts- och ljuskrav	5
3.1 Asp och Hybridasp	5
3.2 Poppel.....	6
3.3 Al.....	7
4. Skötselmodeller för intensivodling av snabbväxande lövträd.....	7
4.1 Föryngring och etablering	7
4.2 Etablering – rekommendationer	9
4.3 Røjning och gallring.....	9
4.4 Odlingssystem	13
5. Produktionsnivåer.....	18
5.1 Stamproduktion	18
5.2 Grenbiomassa	25
6. Vad påverkar tillväxten och vilka förbättringar kan göras?	26
6.1 Etablering	26
6.2 Förädling	26

6.3 Mark och vatten.....	27
6.4 Gödsling	28
6.5 Uthållig produktion	30
6.6 Skötsel effekter.....	32
6.7 Dimensioner och virkeskvalitet.....	33
7. Ny kunskap behövs	33
Erkännande.....	34
Referenser.....	34

1. Principer för odling av snabbväxande lövträd, främst *Populus*-arter och hybrider

1.1 Bakgrund

En avgörande faktor för att använda lövträd är att produktionen av vedbiomassa är hög och uthållig. Lövträden utgör för närvarande 17-18 % av landets virkesförråd (Skogsstyrelsen 2008), vilket innebär att deras bidrag till virkesproduktionen är begränsat i dagsläget. Snabbväxande lövträd är emellertid högintressanta för intensivt skogsbruk med kort omloppstid, dvs. vid anläggning av högproduktiv skog på såväl skogs- som åkermark.

Det finns även flera andra faktorer som talar för en utökning av lövträdsarealen. Svensk skogsindustri har brist på lövråvara och importerar årligen omkring 4 miljoner m³ rundvirke av lövträd. I delmålen för Levande skogar, som är en del av de Svenska miljömålen, anges att arealen äldre lövrik skog ska öka liksom arealen mark som föryngras med lövskog. Certifieringsorganisationerna FSC och PEFC kräver också att certifierade fastigheter ska verka för att etablera och hålla en högre andel lövträd än vad som tidigare i allmänhet varit fallet. Det finns också ett myndighetsintresse att vid energiomställningen utveckla skogsskötselsystem där man förutom gagnvirke även kan utvinna biobränslen på ett effektivt och miljörätt sätt.

Lövträdslag som är aktuella för intensiv odling för produktion av vedbiomassa utgörs av pionjärträdslag med snabb etablering och hög initial tillväxt. Trädslagen måste vara anpassade till rådande klimat så att inte vitalitet och uthållighet äventyras. De trädslag som bedöms vara intressanta för att uthålligt producera vedbiomassa under svenska förhållanden hittas framförallt bland aspar och popplar (släktet *Populus*), och eventuellt bland alar (släktet *Alnus*). Intresset för poppelsläktet beror främst på att dessa arter, som är ljuskrävande pionjärträd, har en mycket hög tillväxthastighet under ungdomsstadiet. I jämförelse med andra skogsträd är biomassaproduktionen av *Populus* under korta omdrev (10-30 år) mycket högre (Karačić et al. 2003) än för andra trädslag under jämförbara betingelser i Sverige. För att tillvarata poppelsläktets tillväxtpotential krävs en markbördighet som motsvarar den som vi hittar på de flesta svenska jordbruksmarker. För att upprätthålla den långsiktiga tillväxten behövs en resurstillförsel i form av näring på en nivå som motsvarar den näringsmängd som förs bort vid skörd. Hybridasp och poppel kräver en relativt intensiv skötsel. Virkesproduktionen har hittills haft en begränsad användning som kvalitetsråvara, men passar väl för massaved och energiändamål.

1.2 Växtmaterial och dess naturliga utbredning

Odling av arter och hybrider inom släktet poppel (*Populus*) sker i stor skala i Nord- och Syd-Amerika, Mellan- och Syd-Europa samt i delar av Asien och Kina. Även på våra breddgrader, i södra och mellersta Sverige, pågår småskaliga experiment med odling av arter och hybrider inom släktet poppel sedan 1930-talet.

Poppelsläktet är spritt över större delen av norra hemisfären, främst inom den tempererade zonen. De flesta poppelarter är snabbväxande och alla är dioika (dvs. har han- och honblommor på skilda träd). Hybrider är vanligt förekommande. Popplarna delas in i sex sektioner, av vilka svartpoppel (bl.a. *P. deltoides* och *P. nigra*), vitpoppel (bl.a. *P. alba*, *P. tremula* och *P. tremuloides*) och balsampoppel (bl.a. *P. balsamifera*, *P. trichocarpa* och *P. maximowiczii*) utgör de sektioner som innehåller produktiva arter och som gett upphov till de hybrider som odlas i Sverige.

Den enda representanten för poppelsläktet som växer vilt i Sverige är asp (*P. tremula*) som motsvaras av den Nordamerikanska aspen (*P. tremuloides*) på andra sidan Atlanten. Hybrider mellan dessa två arter kallas i Sverige för hybridasp. I centrala och södra Europa, Nordafrika, Ost-Asien samt Sibirien

växer arten svartpoppel (*P. nigra*) och i Kina och Japan *P. maximowiczii*. I Nordamerika återfinns arten *P. deltoides* längs östkusten upp till de stora sjöarna och på västkusten upp till norra Alaska hittas *P. balsamifera* och *P. trichocarpa*, som i Sverige ibland kallas jättepoppel. *P. trichocarpa* växer väster om Klippiga Bergen och *P. balsamifera* öster om desamma. Alla arter, förutom asparna, går under benämningen poppel, och kan för det mesta korsas med varandra och dessa hybrider kallas hybridpopplar.

1.3 Egenskaper

Den främsta egenskapen hos hybridasp och poppel är deras höga produktion i unga åldrar, upp till 25 m³sk ha⁻¹ under omloppstider på ett till några decennier. Traditionella träarter som planteras på jordbruksmark uppvisar betydligt lägre produktionsnivåer: gran (*Picea abies*) når ett högsta MAI på 13 m³sk ha⁻¹ (Johansson & Karlsson 1988) till 14 m³sk ha⁻¹ (Eriksson 1976), medan produktionen av björk (*Betula pendula*) hamnar på 8 till 10 m³sk ha⁻¹ under en period på 50 till 70 år (Elfving 1986a, Sonesson et al. 1994). Johansson (1999a) rapporterade från Mellansverige att gran, i ett system för bioenergiändamål där stammar inklusive grenar och toppar togs tillvara, producerade upp till 5.6 Mg ha⁻¹ år⁻¹ under omloppstider på 30 till 40 år.

2. Förädling och odlingsmaterial i Sverige

2.1 Allmänt

Markägare som har ekonomiska krav på sitt skogsbruk bör använda bästa tillgängliga genetiska material vid skogsodling. Det innebär i första hand att plantorna har ursprung från fröplantager eller utgörs av selekterade kloner. En fröplantage är sammansatt av ympar från utvalda plusträd med syfte att producera frö för plantodling till skogsbruket.

Ett alternativ till generativ massförökning i fröplantager är vegetativ förökning, dvs. kloning. Detta görs på kommersiell basis i Sverige för hybridasp och poppel, varvid man använder de genetiskt bästa plusträden enligt resultat från fältförsök. Det ska noteras att:

- planteringar som innehåller klonat material och som omfattar minst 0,5 ha skall anmälas till Skogsstyrelsen,
- klonat material (oavsett träslag) högst får utgöra 5 % av arealen produktiv skogsmark på en enskild skogsfastighet,
- regeln ovan sätts ur spel för små fastigheter eftersom en skogsfastighet alltid får föryngras med klonat material på en areal om högst 20 ha.

Intresset för lövträdsplantor varierar ofta år från år vilket försvårar för plantskolorna att planera omfattningen av plantproduktionen. En tidig beställning ökar chansen att plantskolan kan ta fram det bäst lämpade materialet. Markägaren bör alltså i god tid (helst ett par år innan plantering) orientera sig om vilka alternativa plantmaterial som finns tillhands. Information erhålls exempelvis från den lokala skogsplantskolan. På "Kunskap Direkt", som hittas via länken <http://www.kunskapdirekt.se>, finns också matnyttig information.

2.2 Hybridasp

De första försöken med hybridasp i Sverige anlades på 1940-talet med syfte att producera råvara till den svenska tändsticksindustrin (Eriksson 1984). Hybridasp visade därvid tidigt en betydligt högre

volymproduktion än vanlig asp. I ett produktionsinriktat skogsbruk är det därför naturligt att man väljer hybridasp och inte vanlig asp vid plantering.

Elfving (1986a) anger en medeltillväxt på 15-16 m³sk ha⁻¹ år⁻¹ för hybridasp framtagen på 1940-1950-talet. Liknande produktionsresultat har rapporterats från jordbruksmark i Danmark (Jakobsen 1976) och från södra Sverige (Ilstedt & Gullberg 1993). Telenius (1999) rapporterade att motsvarande höga produktionsciffror nåddes redan efter 6 år vid plantering i täta förband med hybridasp och hybridpoppel.

År 1985 togs initiativ till att ta fram ett bra skogsodlingsmaterial av hybridasp för södra Sverige. Totalt valdes 280 plusträd från gamla försök och bestånd. Urvalet omfattade enbart träd som var skadefria från stam- och grenkräfta (*Entoleuca mammatum*, *Leucostoma niveum*) som kan vara allvarliga skadegörare. Plusträden klonades och planterades ut som ettåriga rotskottsticklingar på 14 olika lokaler (enbart jordbruksmark) i södra Sverige under perioden 1986-1991. På basis av volymtillväxt efter ca 10 års tillväxt i fält och kräftförekomst efter 12-16 år valdes de 15 genetiskt bästa av de totalt 280 testade klonerna till kommersiell odling (Stener & Karlsson 2004).

Detta material är sedan början av 2000-talet kommersiellt tillgängligt i form av en klonblandning. Det innebär att klonerna förökas vegetativt (via vävnadskulturteknik) och att de 15 klonerna vid försäljning inte hålls åtskilda utan blandas. Klonerna rekommenderas för användning upp till Mälardalen och finns att köpa genom sydsvenska plantskolor.

Volymtillväxten för de 15 selekterade klonerna uppskattas till ca 25 m³sk ha⁻¹ år⁻¹ på bättre marker i södra Sverige (Stener & Karlsson 2004). Produktionsuppskattningen förutsätter att konkurrerande vegetation hålls borta de första två åren och att träden skyddas mot viltskador.

För Svealand och Norrland finns inget svenskt utvalt material. Finland startade ett motsvarande förädlingsprojekt med hybridasp i mitten på 1990-talet. Där finns idag (år 2007) fenotypiskt utvalda finska kloner till kommersiell försäljning. I Sverige har vi ännu ingen erfarenhet av dessa, men sannolikt kan de vara ett alternativ i Svealand och kanske på milda lokaler i södra Norrland.

2.2 Poppel

Poppel har hittills inte varit ett stort skogsträd i Sverige utan har, främst i Skåne, mest använts som vindskydd i plantskolor och fruktodlingar samt som alléträd. Poppelns tillväxtpotential och dess förmåga att kunna klonförökas och etableras i fält via grensticklingar gör den till ett intressant alternativ på bördiga marker i södra Sverige. Ett generellt problem med poppel är dess dåliga anpassning till det svenska klimatet (Christersson 1996). Ofta växer den för länge på hösten, vilket påverkar såväl vitalitet som tillväxt negativt. Dessutom kan de vara känsliga för diverse allvarliga svampsjukdomar (t.ex. *Melampsora*, *Septoria*, *Marsonia*, *Xanthomonas* och *Pseudomonas*). Det innebär att det är viktigt att testa olika material i långsiktiga fältförsök för urval av kloner som är lämpade för olika regioner. Som exempel kan nämnas att i en fälttest i Skåne med 46 olika poppelkloner var 75 % av träden döda vid 14 års ålder (Stener 2004).

Det poppelmaterial som testades på 1940- och 1950-talen av den Svenska tändsticksindustrin hade ursprung från främst Oregon och Washington, USA. En del av detta material planterades på försöksgården i Mykinge i norra Småland (Christersson 1996). De bästa hybridpopplarna nådde 17 m³sk ha⁻¹ år⁻¹ som medeltillväxt under en period av 25 till 30 år (Persson 1973, Eriksson 1984).

År 1990 hämtade professor Lars Christersson (SLU, Institutionen för lövträdsodling) 108 stycken poppelkloner till Sverige från Tändsticksbolagets kvarvarande försöksanläggning i Geraardsbergen, Belgien. Dessa kloner var framkorsade och utvalda till att passa det svenska klimatet. Materialet bestod av korsningar mellan *P. deltoides* och *P. trichocarpa* men även ren *P. trichocarpa*.

Institutionen för lövträdsodling, SLU, hämtade även frömaterial från British Columbia och Alaska år 1994. Det utgjordes endast av ren *P. trichocarpa* från utvalda bestånd från latituder som överensstämmer med Sveriges. Detta material har visat mycket lovande resultat (Christersson 2002, 2006). Försöken är dock ännu för unga för att tillåta ett kommersiellt urval. Dessutom erhöles *P. deltoides* frö från Wisconsin 1998, vilket visade sig vara mycket frostkänsligt. Institutionen för skoglig genteknik, SLU, har också tagit del av det klonmaterial som byggts upp i Belgien och har sedan vidareförädlad detta material för att få en bättre anpassning till svenska förhållanden (Ilstedt 1996, Christersson & Verwijst 2006).

Skogforsks arbete med poppel har hittills begränsats till tester av kloner som erhållits från främst Belgien och Holland där det bedrivits en relativt intensiv poppelförädling. Totalt testas 140 poppelkloner på tre olika lokaler i södra Sverige. Klonerna utgörs av amerikanska *P. trichocarpa*, *P. balsamifera* och *P. deltoides*, europeiska *P. nigra* samt hybrider dem emellan. Fälttesterna har visat på stora skillnader i överlevnad, vitalitet, tillväxt och grenighet mellan olika kloner, vilket bl.a. beror på att många kloner är dåligt anpassade till det sydsvenska klimatet. Utifrån resultat från fälttesterna efter 10–14 år har de 15 genetiskt bästa klonerna valts ut till kommersiell odling på lokaler med mildt klimat i Götaland. De kommer att finnas tillgängliga på marknaden år 2010 (Karlsson m.fl. 1996, Stener 2004).

Det finns indikationer på att de bästa poppelklonerna växer bättre än de bästa hybridaspklonerna (Stener 2004, Rytter 2004). Detta skall ställas mot att poppeln precis som hybridasp är känslig för olika typer av kräfta och att även bladrost (*Melampsora* ssp.) kan vara en allvarlig skadegörare.

Idag används främst klonen OP42 (*P. maximowiczii* x *P. trichocarpa*) vid nyetablering av poppelodlingar. Den har visat mycket hög tillväxt, som mest 8 TS ha⁻¹ år⁻¹, i SLU:s försöksserie (Christersson 2002). Det finns dock ett flertal lokaler där den drabbats kraftigt av kräftskador vid 12–15 års ålder. Produktionen är emellertid så bra att klonen verkar lönsam, trots att den i vissa fall måste avvecklas tidigt.

2.3 Al

De resurser som lagts på att genetiskt förbättra skogsodlingsmaterialet av al har varit små de senaste 30 åren. Dessförinnan utfördes en del förädlingsaktiviteter, inte minst utfördes korsningar mellan olika alarter (Ljunger 1959). Utifrån detta arbete gjordes under 1970-talet ett fenotypiskt urval av 16 plusträd av klibbal som finns i form av ympar i fröplantagen Kolleberga i Skåne. Idag finns ytterligare en fröplantage med klibbal, Trolleholm i Skåne. Det är i första hand plantor från dessa plantager som skall användas i Götaland och på milda lokaler i södra Svealand.

År 1998 anlades tre fältförsök med klibbal där totalt 140 plusträd från Götaland, Svealand och Litauen testas. Resultat från dessa försök gör det möjligt att etablera nya bättre fröplantager. I samma försök ingår även arthybrider mellan *A. glutinosa* och *A. rubra*, (ursprung Alaska). Hybriderna verkar växa betydligt bättre men har generellt sett sämre stamkvalitet än klibbalen (Stener 2007).

För klibbal norr om Mälardalen och för gråal rekommenderas material från Skogsstyrelsens godkända frötäcksbestånd (se Rikslängden via <http://www.svo.se>). Vi har dålig kunskap om hur gråalen reagerar på nord- och sydflyttningar. Därför bör man undvika alltför stora förflyttningsavstånd från ursprungslokaler.

2.4 Framtida planer

En tilltagande produktion av energiråvara liksom ett behov av alternativa träslag till gran på bördiga marker har ökat intresset i hela Sverige för hybridasp och poppel. Detta leder i sin tur till att kraven på odlingsmaterialen ökar (t.ex. god klimatisk anpassning till odlingsplatsen, hög biomassaproduktion

och god vitalitet, dvs. motståndskraft mot kräfta och bladrost). Antalet kommersiellt tillgängliga kloner för hybridasp och poppel är idag få. Vidare har existerande fälttestester så här långt i princip enbart anlagts på tidigare jordbruksmark. Kunskapen om trädslagets potential på skogsmark är sålunda bristfällig. Vi vet inte heller om de kloner som är att föredra på jordbruksmark också är de som skall användas på skogsmark. Därför planeras nu nya fältförsök över hela landet på både skogsmark och jordbruksmark. De olika testmiljöerna ger bl.a. kunskap om samspel mellan klon och miljö som är viktigt vid en eventuell framtida klimatförändring. Huvudmålet med studien är att förbättra odlingsmaterialet av hybridasp och poppel för Götaland, Svealand och milda lokaler i södra Norrland genom testning och urval av kloner som idag finns i omlopp i Sverige och närliggande länder.

Det är också angeläget att de kloner som selekteras utifrån produktion och vitalitet i fältförsöken även testas under mer kontrollerade former vad gäller motståndskraft mot olika patogener. Klonernas potential att massförökas måste också undersökas innan de rekommenderas för kommersiell användning.

Genetiska skillnader har förutom för tillväxt även påvisats för stamkvalitet, veddensitet, makronäringsinnehåll, och olika vedfiber- och vedkemiska egenskaper (Stener 1998, Beuker 2000, Yu m.fl. 2001, Fernandez m.fl. 2002, Rytter & Stener 2003). Detta indikerar att man kan göra urval av kloner med specifika egenskaper för att optimera utbytet till en viss användning.

Det mest kostnadseffektiva alternativet för att förbättra odlingsmaterialet på kort sikt är att anlägga fälttester enligt ovan med existerande kloner. På längre sikt behöver dock nytt genetiskt material framställas via nya korsningar mellan bra föräldrar.

3. Ståndorts- och ljuskrav

3.1 Asp och Hybridasp

När det gäller ståndortskrav är kunskapen och erfarenheterna av förståeliga skäl större hos asp än hybridasp. Hybridaschen korsades fram för första gången i Sverige på 1930-talet. Det finns dock inget som tyder på att ståndorts- och ljuskraven skulle vara annorlunda för hybridasp än för asp.

Aspen är ett typiskt pionjärträdslag med snabb ungdomstillväxt under de första 20 åren och relativt kort omloppstid på ungefär 50 år. Aspen kan växa på de flesta marker. Den föredrar goda ståndorter såsom finjordshaltig morän med översilande vatten och mark-pH på omkring 5 (Lu & Sucoff 2001), men klarar även sämre ståndorter. Markkraven påminner i stor utsträckning om granens (jfr Rytter 1998, Rytter & Werner 1998). Normalt krävs minst lågörttyp (Almgren 1990), och mossar och styv lera bör undvikas. På sämre marker blir aspen lätt rötangripen. Aspen växer ofta i jämna mer eller mindre rena bestånd (Perala m.fl. 1996). De flesta bestånd är likåldriga eftersom aspen omedelbart föryngrar sig efter en störning och då huvudsakligen med rotskott. Rotskottproduktionen ökar i allmänhet med ökat stamantal hos föregående bestånd och minskar med ökad densitet hos överståndare eftersom aspen behöver näst intill maximala ljusförhållanden. Många aspbestånd består av en enda klon på 0,5-1,0 hektar stora områden, och härstammar från rotskott från ett moderträd ett antal generationer tillbaka (Johansson 1996). Det är dock vanligt att aspen även växer i blandskog med gran, tall och björk. Ett tecken på att lokalen är lämplig för asp är att den gröngrå barken bibehålls upp till hög ålder.

Hybridaschen har en omloppstid på 20-25 år vilket är betydligt kortare än för aspen. För att utnyttja hybridaspens höga tillväxtpotential bör den växa på god mark. Den planteras därför på frisk och bördig mark, åkermark liksom bra granmark är lämpliga ståndorter. Största risk för skador, förutom viltskador, är stam- och grenkräfta, och det finns indikationer på att dessa problem kan öka på sämre marker där vitaliteten blir nedsatt.

I en studie av det praktiska resultatet av plantering med hybridasp (Hugosson m.fl. 2004) syntes inga stora skillnader i överlevnad mellan olika jordarter. Planteringar på mullrika marker hade dock klarat sig sämre och var helt utslagna eller luckiga vid inventeringstillfället. Markägarna ansåg att sorkskador var den största anledningen till hög avgång. Bestånden tog sig inledningsvis bra, men sedan blev dödligheten hög.

Aspen producerar ofta relativt stora mängder frö men tillslaget av plantor är mycket lågt. Naturlig föryngring eller frösådd är inte att rekommendera då grobarheten hos fröet är relativt kortvarig (Latva-Karjanmaa m.fl. 2003) och spridningen sker under försommaren då risken för uttorkning är stor. På frisk eller torr mark tycks bar mineraljord vara ett måste för att frön ska kunna gro. Även på fuktig mark är bar mineraljord gynnsam men groning kan där även ske på organiskt material (De Chantal m.fl. 2005). På bar och fuktig jord kan frösådda plantor växa till med en halvmeter första året. Hybrid Aspen producerar frö på samma sätt som asp. Avkomman blir en blandning av aspar och hybridaspar.

När nya marker ska beskogas med asp tillgrips plantering. Eftersom det finns tillgång på väl utprovad högproduktiv hybridasp, så väljer man i första hand den, då egenskaperna i övrigt är mycket lika mellan asp och hybridasp.

Där det redan finns ett asp- eller hybridaspbestånd kan markens lämplighet bedömas med hjälp av den stående skogen. En föryngring via rotskott är i allmänhet enkelt att erhålla. Aspar kan skjuta rotskott även utan någon synbar skada eller stress men det är i synnerhet om träden avverkas som det kommer ett massivt uppslag av rotskott. Det anses ej att rötta förs över från gamla till nya träd via rötterna (Haveraaen 1991). Även stubbskottskjutning förekommer hos asp men är av litet skogligt värde. Då asp och hybridasp liksom andra pionjärträd kräver mycket ljus för att utvecklas väl, får röjningsingreppen inte bli eftersatta. Asp tycks dock tåla ljuskonkurrens något bättre än björk och tål därför också att stå något tätare (jfr Rytter 1998). Å andra sidan får man inte heller röja för tidigt för då kommer nya konkurrerande rotskott upp, och dessutom tycks asp lätt skikta sig och självgallras vilket hjälper till att ta fram framtidsstammar och samtidigt sörja för god kvistrensning. Aspen tycks inte heller vara speciellt känslig för snötryck (Frivold 1994).

3.2 Poppel

Kunskapen om popplars lämplighet för odling på svenska marker är ett outrett kapitel (Karačić 2005). Det är väl känt att popplar inte är särskilt effektiva att hushålla med vatten och därför är torkkänsliga (Blake m.fl. 1996). Marron m.fl. (2008) bedömde till och med att popplarnas känslighet för torka kan utgöra ett allvarligt hot mot framtida odling av dem. Samtidigt finns det möjlighet att förädla för torktålighet (Tyree m.fl. 1979) och sambandet mellan kloners tillväxt och torktålighet är svagt. Det här innebär dock att lämpliga marker för poppelodling bör ha regelbunden tillgång på syrerikt vatten. Popplar är i allmänhet skapligt tåliga mot översvämning med tidvis stillastående vatten även om det påverkar tillväxten negativt (Neuman m.fl. 1996).

Popplar är näringskrävande arter (Grosscurth 1972, Bergstedt 1981) och pH-värdet i marken bör ligga över 5 (van den Burg & Schoenfeld 1978, Bergstedt 1981). Boysen och Strobl (1991) rekommenderar väl-dränerad mark med kontinuerlig vattentillgång, ett jorddjup på över 1 m och ett pH-värde på mellan 5,5 och 7,5.

Popplar är liksom aspar ljuskrävande träd. Bergstedt (1981), som gjorde en genomgång av möjligheterna att odla poppel i Danmark, noterade att svartpopplar var känsligare för beskuggning än andra poppelgrupper och att balsampopplarna hade lägst krav på ljus.

Olika poppelarter har varierande utbredningsområden. Arternas och utvalda kloners möjligheter att växa på olika geografiska områden och marker beror bland annat på deras härstamning. Många av de

kloner som tidigt kom till Sverige har hämtats från sydliga breddgrader och därmed haft svårt med det kärva klimatet i vårt land. Det är sannolikt att popplar ur gruppen balsampopplar (t.ex. *Populus balsamifera*, *P. trichocarpa*) är lättare att anpassa till våra förhållanden än svartpopplar (t.ex. *P. deltoides*, *P. nigra*) och vitpopplar (t.ex. *P. alba*). Balsampopplar har en nordligare utbredning än svart- och vitpopplar (t.ex. Dickmann & Kuzovkina 2008). Av det material som visat sig fungera tillfredsställande i södra Sverige är också en dominerande del av balsamtyp.

3.3 Al

I Sverige finns naturligt de två arterna klibbal och gråal. Klibbalens utbredningsområde omfattar Götaland, Svealand och Norrlandskusten, medan gråalen påträffas i norrland, Svealand och inre Götaland. Utbredningsområdena avspeglar från vilket håll arterna invandrat till vårt land, klibbalen har kommit söderifrån medan gråalen invandrat från nordost. Det betyder också att gråalen är bäst anpassad till det kärva klimatet i den boreala zonen.

Alarna har den för svenska skogsträd unika förmågan att, i symbios med aktinomyceten (strålsvampen) *Frankia*, binda luftens kväve och därmed göra sig i princip oberoende av markens leveransförmåga av kväve. Det är en viktig förklaring till varför alar är så framgångsrika pionjärer och kan kolonisera områden med nyligen blottad mineraljord. Förmågan att fixera luftkväve varierar med trädens tillstånd och ålder och kan i välväxande bestånd uppgå till ca 100 kg N ha⁻¹ år⁻¹ (Binkley 1981, Rytter 1996).

Klibbal kräver god vattentillgång på näringsrika och mullrika jordar för att bäst komma till sin rätt (Almgren 1990). Den växer bra på mycket fuktiga marker och tål även att marken tidvis är översvämmad. Gråal behöver inte lika fuktiga marker som klibbal även om den föredrar fuktiga och näringsrika lokaler. Den kan också växa på magrare och torrare marker. Åtminstone gråalen tål pH-värden i marken på ner till 4 utan att det negativt påverkar tillväxten (Ericsson & Lindsjö 1981). Gråal har lägre krav på temperatur och vattentillgång än klibbal men tål inte i samma utsträckning stående vatten med begränsad tillgång på syre.

Båda alarterna är pionjärträd och därmed ljuskrävande. De kräver därför en tidig friställning för att kunna utvecklas till grova träd.

4. Skötselmodeller för intensivodling av snabbväxande lövträd

4.1 Föryngring och etablering

Asp och hybridasp

Asp och hybridasp föryngras genom plantering eller vegetativ naturlig föryngring. Även om asp producerar stora mängder frö är naturlig föryngring genom frön eller frösådd inte att rekommendera eftersom grobarheten hos fröet är kortvarigt och dessutom sprids fröna under försommaren då risken för uttorkning är stor.

Då det är aktuellt att plantera asp är det, åtminstone produktionsmässigt, klokt att välja hybridasp eftersom den växer minst dubbelt så bra som vanlig asp om man väljer utvalt material som finns på marknaden. Vid plantering av hybridasp med målet att nå hög produktion är markkraven höga om trädslagets tillväxtpotential ska utnyttjas. Det innebär frisk och bördig mark med ståndortsindex på ungefär G30 och uppåt. De vanligaste asplanteringarna har under de senaste decennierna varit hybridasp på åkermark och där uppfylls i de flesta fall kravet på hög bördighet. Bra granmark är lämplig skogsmark för hybridasp.

Hybridaspbestånd är kostsamma att anlägga därför att plantorna är jämförelsevis dyra (ca 10 kronor styck p.g.a. mikroförökning) och därför att det oftast krävs hägn då plantorna är begärliga för viltet (Hjältén & Palo 1992). Plantorna växer emellertid snabbt och det går att i viss mån kompensera för höga kostnader genom att plantera glest (1 100 plantor per hektar är nuvarande praxis) och hägna större områden så att arealkostnaden sjunker. Upplägget innebär att man har små marginaler för plantavgång men troligen inte behöver röja. Istället hamnar man direkt i gallringsfas. Enligt en ny finsk undersökning går det utmärkt att plantera hybridasp under hela sommarhalvåret (Luoranen m.fl. 2006). Det betyder att planteringstidpunkten blir utsträckt och inte lika kritisk som tidigare antagits.

I kommande generationer blir däremot anläggningskostnaden försumbar. Då erhålls ett tätt rotskottuppslag, vilket sedan sköts med önskad inriktning. Det finns t.ex. möjlighet att kombinera ett betydande biomassauttag vid röjning med fortsatt odling av timmerträd.

Praktiska erfarenheter av att etablera hybridasp har redovisats av Hugosson m.fl. (2004). En inventering gjordes i Skåne, Västra Götaland och Uppland. Högsta överlevnad hade bestånd som ogräsbehandlats kemiskt före planteringen. Bestånd som bearbetats mekaniskt, d.v.s. plöjts och harvats, alternativt inte markbehandlats alls, hade lägre överlevnad. Det var inga stora skillnader i överlevnad mellan olika jordarter. Planteringar på mullrika marker hade dock klarat sig sämre. Ett mått på viltskador i en plantering är andelen lyror. Bestånd som skyddats med nätstängsel hade den lägsta andelen lyror, oavsett om det kombinerades med elstängsel eller ej. Enbart elstängsel gav ett sämre skydd – men betydligt bättre än inget viltskydd alls. De bestånd som fortfarande hade kvar ett fungerande hägn vid inventeringen hade färre lyror än de med trasigt eller inget kvarvarande hägn.

Poppel

På bördiga marker i södra Sverige som inte är utsatta för frost kan plantering av poppel vara aktuell. Poppel planteras antingen direkt på föryngringsytan med stamsticklingar eller så rotas sticklingarna först i plantskolan för att sedan sättas ut som täckrotsplantor. Sticklingarna bör vara ca 25 cm långa och 1–3 cm grova (Boysen & Strobl 1991). Anledningen till att plantor dras upp i plantskolan är att dessa uppvisar högre överlevnad än plantering direkt med sticklingar och det är rotade sticklingar som rekommenderas för närvarande. Rotade poppelsticklingar bör gå att köpa för ungefär 5 kronor styck.

Planteringsförbandet för poppel bör ligga mellan 3,6 x 3,6 m och 3,0 x 3,0 m, dvs. ungefär 800 till 1100 stammar ha⁻¹ (Boysen & Strobl 1991). Det är således ungefär som för hybridasp eller något glesare. Poppel är betydligt billigare att etablera än hybridasp eftersom plantorna är billigare. Dessutom tycks poppel av balsamtyp, vilken är den vanligaste i Sverige, inte vara så viltbegärlig som asp varför en del planteringar görs utan hägn. Erfarenheterna av poppelodling är begränsade i Sverige och mer information får sökas från bl.a. Belgien, Italien, Frankrike och Nordamerika. Eftersom erfarenheterna av att plantera poppel på skogsmark är starkt begränsade rekommenderas odling i första hand på åkermark.

I nästa generation tycks beståndet huvudsakligen bestå av stubbskott, vilket gör att kvalitet och möjligheter till varierad skötsel är sämre än för hybridasp. Produktionen kan dock bli hög.

Al

Det finns ingen systematisk kunskap om åtgärder vid naturlig föryngring av al (Rytter m.fl. 2008). För klibbal kan man möjligen få en tillfredställande föryngring på fuktig eller frisk-fuktig mark (dessa ståndorter är ej alkärr) genom någon form av markberedning. Fröförsörjningen bör säkerställas genom litet avstånd till fröträd. En annan möjlighet är stubbskotts-föryngring, vilket historisk användning av alskog också visar.

För gråal är behovet av närhet till fröträd något mindre på grund av den mer effektiva fröspridningen. Men man kan framför allt räkna med en effektiv rotskottsbildning vid föryngringsavverkning. Rytter m.fl. (2000) uppmätte rotskottuppslaget till i storleksordningen 20 000 stycken ha⁻¹ på ett par lokaler i mellersta Sverige.

Plantering av al, vare sig det gäller klibbal eller gråal, är en relativt ovanlig företeelse i det svenska skogsbruket. Båda arterna finns dock att få tag på från svenska skogsplantskolor. Alarna är lämpliga att ha på bördig frisk till fuktig mark, speciellt klibbalen växer ofta där det är fuktigt. En fördel gentemot björk och framförallt asp är att alarna inte är särskilt utsatta för viltbetning (t.ex. Hjältén & Palo 1992), vilket gör att plantering kan ske utan hägn. Al planteras med fördel som stora ettåriga täckrots- eller kraftiga barrotsplanter efter noggrann markberedning. Allokaler har ofta mycket markvegetation varför högläggning eller plöjning kan vara lämpliga metoder. Planttätheten bör ligga på 1 500–2 500 stycken ha⁻¹ (Karlsson m.fl. 1987, Persson 1996).

En viktig detalj att tänka på inför plantering med såväl klibbal som gråal är inokulering av den kvävefixerande bakterien *Frankia*. Den lever i symbios med trädet och fixerar luftens kväve som därmed blir tillgängligt för trädet. Enklast sker inokuleringen genom att krossa uppgrävda rotknölar i vatten och sedan vattna blandningen direkt över plantorna. Plantorna behöver direkt en fungerande kvävefixering eftersom det underlättar den tidiga etableringen och tillväxten. Planter som ej blivit inokulerade antar ofta en blek grön färg och har inledningsvis en långsammare tillväxt inokulerade planter (jfr Hendrickson m.fl. 1993). Normalt finns bakterien i skogsmark men inokulering i plantskolan kan ses som en billig försäkring för snabb och lyckad etablering.

4.2 Etablering – rekommendationer

Vid etablering av snabbväxande lövträd, framförallt hybridasp och poppel, ges följande praktiska rekommendationer:

Undvik mullrika jordar – bestånd som planteras i mullrik mark klarar sig ofta sämre än andra planteringar. Det beror sannolikt på gräskonkurrens i kombination med skador av vattensork.

Spruta bort ogräset före plantering på åkermark – enligt förekommande uppfattning bör man röra så lite så möjligt i marken innan plantering för att inte aktivera de ogräsfrön som vilar i marken. Traditionellt ”vårbruk” behöver kompletteras med kemisk behandling för att nå bästa effekt.

Plantera på färskt hygge – på skogsmark bör chansen att undvika konkurrerande vegetation tas tillvara och samtidigt kompletteras med kraftig markberedning

Sätt rätt planter – förädlade och klimatanpassade planter ska användas. Ett lämpligt planteringsförband för hybridasp och poppel är 3 x 3 meter.

Skydda mot vilt vid behov – då vilttrycket är betydande bör planteringen skyddas med ett nätstängsel. Det får gärna vara finmaskigt nedtill för att samtidigt skydda mot hare. Även poppelplanteringar kan behöva hägnas medan al klarar sig utan stängsel

Bekämpa ogräset om det blir mycket vegetation – om det ändå blir mycket vegetation bör planteringen harvas/bearbetas de första åren eller sprutas försiktigt på åkermark.

4.3 Röjning och gallring

Röjnings- och gallringsåtgärder anses allmänt vara bra ekonomiska investeringar eftersom de ökar diametertillväxten på kvarvarande träd samtidigt som sjuka, skadade och kvalitetsmässigt sämre träd tas bort. Dessutom ger gallring tidiga intäkter under omloppstiden. Tillvaratagande av röjningsvirke är

ännu så länge en sällsynt företeelse men torde kunna ge en tidig inkomst, eller åtminstone en kraftigt sänkt röjningskostnad, vilket har stor betydelse för det ekonomiska utfallet.

Asp

Röjning och gallring av asp beskrivs här därför att asp och hybridasp är mycket lika i sina skötselkrav med den skillnaden att åtgärderna sker under en mycket kortare tid för hybridasp än asp.

Föryngring av inhemsk asp via rotskott kan ge upphov till mycket höga stamantal i utgångsläget. Almgren (1990) anger t.ex. 20 000–200 000 skott ha⁻¹. Röjning i sådana bestånd liknar i mångt och mycket röjning i täta björkbestånd. I täta bestånd är det ofta lämpligt att röja i flera steg. För att undvika en alltför kraftig konkurrens från nya rotskott bör första röjning göras när träden är 3–5 m höga, varvid ca 2 500–5 000 stammar ha⁻¹ lämnas. Sedan är det lämpligt att göra en andra röjning till ett produktionsförband på 1 300–2 500 ha⁻¹ när träden nått 6–10 m höjd (Almgren 1990). En sådan tvåstegröjning ger också möjlighet att skapa grovt kvistfritt aspvirke av god kvalitet om förutsättningar finns i utgångsbeståndet. Det går också att röja till ett glesare produktionsförband (ca 1 000 ha⁻¹) ifall målsättningen är att få en snabb diameterutveckling på kvarvarande träd och en kortare omloppstid. Om antalet rotskott per hektar är måttligt i utgångsläget kan stamantalet reduceras till lämpligt produktionsförband vid ett enda röjningstillfälle.

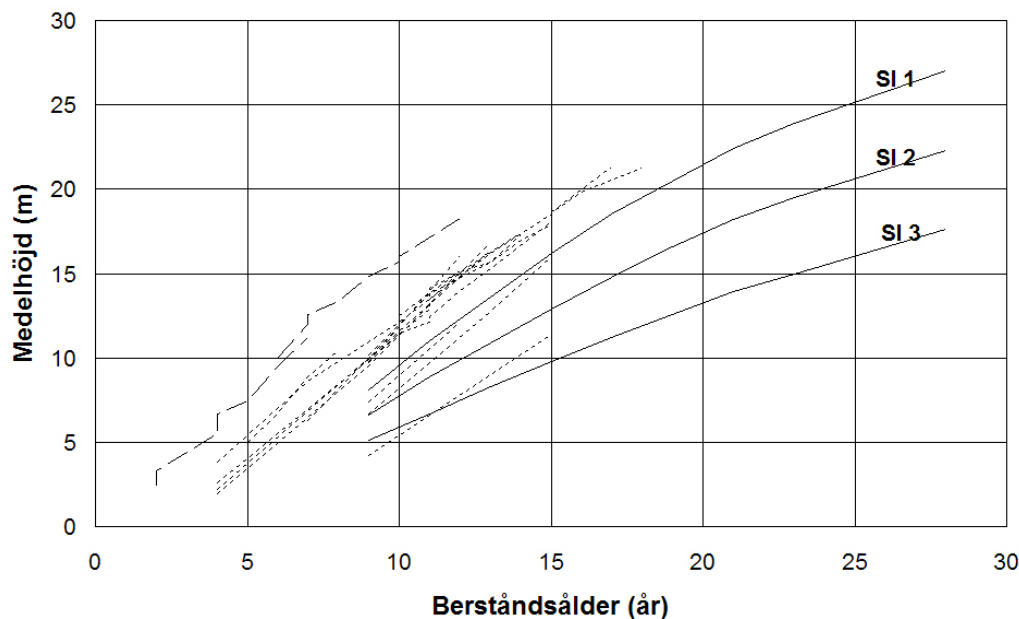
Sen röjning kan motiveras dels av att en tidig röjning kan medföra ett kraftigt uppslag av nya rotskott (Langhammer & Opdahl 1990) och därmed behov av ytterligare röjningar, dels av att asparna är en favoritföda för många växtätare (Bergström & Hjeljord 1987, Hjalten & Palo 1992). Det gör att man gärna väntar med röjning till dess träden nått s.k. älgssäker höjd. Dessutom tycks inte aspen vara speciellt utsatt för snöskador (Frivold 1994). Samtidigt får den gröna kronan inte tillåtas bli mindre än 50 % eftersom det erfarenhetsmässigt innebär att tillväxtförmågan avtar.

Det är lämpligt att utse 400–500 huvudstammar i sen röjning eller tidig gallring, vilka sedan gynnas vid framtida ingrepp. Gallringen utförs inledningsvis främst som låggallring där hänsyn även tas till stamkvalitet och till kronornas behov av utrymme. Senare blir skötseln mer en kombination av kron- och kvalitetsgallring. Träd med grova grenar, klykor och små kronor tas ut i gallringarna.

Det vanligaste skötselschemat för asp innebär 2–3 relativt starka och tidiga gallringar på vägen till föryngringsavverkning (Rytter m.fl. 2008). Den första gallringen infaller normalt då beståndet nått ca 12 m medelhöjd och åldern är 20–25 år. Förutsättningen är att röjningsarbetet utförts i rätt tid och att stamantalet inte överstiger 2000 st. ha⁻¹. Efter gallringen återstår 700–1 000 stammar. Nästa gallring sätts in 10–15 år senare då träden är i medeltal 16–18 m höga. Här kan man sedan välja på en ytterligare stark gallring eller två svagare gallringar på vägen till föryngringsavverkning. Omloppstiden bör hamna kring 50 år.

Hybridasp och poppel

Den kortvariga användningen av hybridasp och poppel i svenskt skogsbruk innebär att erfarenhet av skötsel, röjning och gallring, är begränsad. Dessutom har ett allt bättre odlingsmaterial selekterats fram (Stener 2004, Stener & Karlsson 2004), vilket gör att äldre produktionsprognoser (Jakobsen 1976, Elfving 1986a) inte längre gäller (Figur 1). Skötselprinciperna är dock desamma som redovisats för asp ovan men med betydligt kortare tidshorizont.



Figur 1. De höjdtutvecklingskurvor (hela linjer) som utvecklades av Jakobsen (1976) i Danmark bygger på ett odlingsmaterial som idag får betraktas som föråldrat. Det svenska material som togs fram på 1980-talet visar en snabbare höjdtillväxt olika (streckade linjer), vilket kommer att ge kortare omloppstider och kräva tidigare skötselåtgärder. Prickade linjer visar höjdtutvecklingen i olika planterade bestånd och långstreckade linjer representerar bestånd som förnygrats med rotskott. Figuren har hämtats från Rytter & Stener (2005).

Det vanligast förekommande planteringsförbandet är 3 x 3 m, vilket ger ca 1 100 planter ha^{-1} . Förbandet gör att röjning sällan behövs och att man kommer direkt in i gallringsfas. I nästa generation, med täta uppslag av rotskott (hybridasp) eller huvudsakligen stubbskott (poppel) genomförs röjningen så att man tidigt åter hamnar på ett förband på ungefär 3 x 3 m.

För närvarande föreslås tre olika varianter på hur hybridasp kan skötas i gallringsfasen (Rytter m.fl. 2008), och olika poppelkloner bör kunna hanteras på liknande sätt. Eftersom förbandet är jämförelsevis gles kommer gallringen huvudsakligen att inriktas på vitalitet och kvalitet, där grovgreniga, klykformade och skadade träd tas bort. Erfarenhetsmässigt blir gallringen också oftast en svag låggallring.

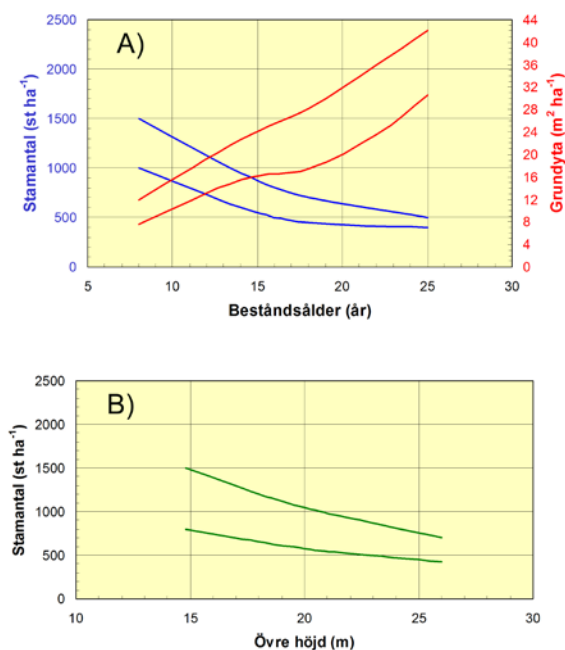
Det första alternativet innebär två gallringar, vilket är färre än vad som föreslagits och räknats med tidigare (Rytter m.fl. 2002). Första gallringen sker då beståndets medelhöjd är ungefär 12 m. Stamantalet reduceras till ca 700 ha^{-1} . Den andra gallringen tar beståndet från 700 till ungefär 400 stammar ha^{-1} och genomförs då beståndets medelhöjd är 20 m.

Det andra alternativet innebär endast en gallring. Den sker också vid 12 m medelhöjd men stamantalet minskas ned till 500-600 ha^{-1} . Båda gallringsalternativen bedöms ge omloppstider på 20-25 år på goda marker i Götaland och Svealand.

Det sista alternativet är gallringsfritt och här kan planteringsförbandet sänkas ytterligare något. Det torde dock fungera även med 1 100 stammar men då kommer dessa att konkurrera med varandra under en längre tid med minskad diametertillväxt som följd. Det här alternativet kan således betraktas som huvudsakligen inriktat på biobränsle- och massavedsproduktion. En fördel är att omloppstiden kan sänkas ytterligare och hamnar sannolikt i intervallet 15-20 år i södra Sverige. En annan fördel med att

sköta asp gallringsfritt anses vara minskad risk för stamkräfta (Anderson m.fl. 1979) även om detta är omtvistat (Pitt m.fl. 2001).

Skötselrekommendationer för hybridasp finns inlagda under portalen Kunskap Direkt (www.kunskapdirekt.se). Rekommendationerna är tänkta för ett skogsbruk där gallring ingår och där sågråvara kan tas ut i slutet av omloppstiden (Figur 2). I poppelplanteringar med 1 100 stammar ha⁻¹ eller glesare sker oftast ingen gallring utan beståndet drivs under en kort omloppstid om 15-20 år fram till slutavverkning.



Figur 2. Gallringsrekommendationer för hybridasp på god mark i södra Sverige. A) rekommenderat stamantal och grunddyta vid varierande ålder; B) rekommenderat stamantal vid varierande övre höjd i beståndet. Stamantal och grunddyta ska så mycket som möjligt befinna sig mellan de båda linjerna i respektive figur för angiven ålder och övre höjd. Källa: Kunskap Direkt – Skötsel av lövskog – Björk, asp och al.

Efter avverkning av en första generation av hybridasp (eller poppel) kan man få täta uppslag av rotskott (hybridasp) eller stubbskott (poppel), vilka kan röjas på liknande sätt som en rotskotts-föryngring av vanlig asp. Dock är rekommendationerna att stamantalet efter röjning av dessa trädslag skall vara lägre än för vanlig asp.

Täta uppslag av asp, hybridasp och poppel, vilka med sin snabba ungdomstillväxt har en hög produktionspotential vad gäller biomassa, kan liksom täta bestånd av björk vara lämpliga för schematisk röjning (t.ex. stråkröjning) och/eller uttag av skogsbränsle (jfr Bergkvist m.fl. 2006, Rytter 2006).

Al

I planterade bestånd av al, vilka är relativt ovanliga, är behovet av röjning i regel ringa. Ifall många naturligt föryngrade plantor har etablerat sig i beståndet kan det dock bli aktuellt att röja bort dessa för att gynna de planterade plantorna.

I täta självföryngringar av al blir det snabbt aktuellt med åtgärder. Eftersom alarna inte är så känsliga för betesskador kan man lämpligen röja dem till produktionsförband (ca 1 500-2 500 ha⁻¹) när de är 2-3 m höga. I mycket täta självföryngringar kan man även röja i två steg (jfr. Almgren 1990, Braastad m.fl. 1993). För alarna är det viktigt att röjning görs i tid, i varje fall om målsättningen är timmerproduktion. Det naturliga kvistavdöendet sker snabbt när konkurrensen mellan träden tilltar (jfr. Rytter & Werner 2007), vilket medför att grönkronorna snabbt riskerar att bli små samtidigt som risken för snöbrott ökar. Liksom björk och asp behöver klibbalen 50 % grön krona av trädhöjden för att kunna utvecklas väl. Vår kunskap om skötsel av gråal är begränsad, information hittas företrädesvis i Norge (Braastad m.fl. 1993).

Täta föryngringar av al kan liksom täta bestånd av björk och asp vara lämpliga för schematisk röjning och/eller uttag av skogsbränsle (se ovan).

För klibbal består den konventionella gallringsinsatsen av 2-3 åtgärder på vägen mot föryngringsavverkning (Rytter m.fl. 2008). Då det står ca 1 500 stammar ha⁻¹ efter röjning sker den första gallringen vid 15-20 års ålder när övre höjden nått ungefär 12 m och då lämnas knappt 1 000 stammar ha⁻¹. Nästa gallring sker 5-10 år senare då övre höjden nått ca 16 m och då stamantalet reduceras till omkring 600 ha⁻¹ i det alternativ som kräver ytterligare en gallring. I den tredje gallringen reduceras stammarna till 350 st. ha⁻¹ vid 30-40 års ålder, beroende på ståndortsindex. Det finns en viss risk för vattenskottbildning vid få och kraftiga gallringsingrepp, särskilt om de inte sker i tid utan något för sent. Därför rekommenderar Almgren (1990) och Rytter & Werner (1998) gallringsintervall på 4-6 år.

Skötsel av gråal kan ske på liknande sätt om man strävar efter träd med grova dimensioner. I annat fall kan man hålla bestånden tätare. Eftersom gråal har en snabbare ungdomstillväxt än klibbal (Ljunger 1972) kommer skötselåtgärderna att sättas in tidigare.

Omloppstiden för välskött klibbal på god mark bör hamna på samma nivå som för vårtbjörk, dvs. 40-45 år. Tidigare har man oftast bedömt omloppstiden till 50-60 år (Almgren 1990, Persson 1996), men det bör gå att reducera för från början välskötta alskogar. Gråalbestånd bör kunna skötas med en omloppstid på 35-40 år.

4.4 Odlingssystem

Vid odling av snabbväxande lövträd är det i huvudsak två olika typer av odlingssystem som används. I det ena fallet, ofta kallat skottskogsbruk, odlar man stamtäta bestånd med mycket korta omloppstider. Den huvudsakliga produkten är biobränslen. Exempel på denna typ av odling är energiskog med *Salix*. I andra länder används även andra arter såsom poppel för skottskogsbruk. I det andra fallet är målet att främst producera massaved och timmer, och där faller biobränslen ut som ett extra sortiment i form av grenar och toppar, s.k. grot.

Erfarenheterna från ett projekt om uttag av biobränslen i ungskog (Bergkvist m.fl. 2006) visar på stora möjligheter till lönsamt uttag av biobränsle i ungskog om de biomassamängder som uppskattats i typbestånden är representativa. I vissa typer av framför allt lövskog torde stråken kunna läggas tätt och möjliggöra ett större uttag än 50 % av biomassan, vilket förbättrar ekonomin. Eftersom alternativet till en energiskörd är en kostnadskrävande manuell röjning kan även ett negativt resultat vara ett bättre ekonomiskt alternativ för markägaren. Tillvaratagande av biobränslen vid röjning i ungskog är ett sätt att öka tillgången på biobränsle och åtgärden ligger sålunda helt i linje med de strategier som nyligen dragits upp av Kommissionen mot oljeberoende (2006).

Efter att asp och hybridasp avverkats kommer stora mängder rotskott upp vilka utgör grunden för den kommande generationen. Rotskottuppslaget är ofta rikligt och kan uppgå till 100 000 skott ha⁻¹ (Rytter 2006). Detta kan skötas på olika sätt. Den hittills vanligaste varianten är att göra kraftfulla röjningar

och ta fram ett nytt bestånd med inriktning på massaved och timmer. En annan variant är att bedriva skottskogsbruk och ta ut biobränsleskördar med korta omloppstider. En tredje variant är att både ta ut biobränslen i ungskogen genom mekaniserad stråkröjning och att sedan röja fram framtidsstammar för massaveds- och timmerproduktion. Inledande studier över det senare konceptet visar att den stående biomassan kan uppgå till närmare 40 ton TS ha⁻¹ efter 4 år (Rytter 2006). I ett system där biomassan skördas i 2 m breda stråk och där 1 m remsor lämnas är det sålunda möjligt att ta ut biobränsle i storleksordningen 25 ton TS ha⁻¹.

Uttaget av biomassa antas inte påverka den beräknade framtida produktionen av stamved som redan i planteringsgenerationen bedöms kunna bli över 20 m³sk ha⁻¹ år⁻¹ som medeltillväxt (Rytter & Stener 2005). Dessutom finns möjlighet att ta ut närmare 1 ton TS ha⁻¹ år⁻¹ som grot i gallring och slutavverkning.

Även gråal skjuter rotskott vilket gör att biobränsleproduktion i täta bestånd kan vara ett skötselalternativ. Rytter m.fl. (2000) fann att rotskottuppslaget var rikligt, över 100 000 skott ha⁻¹, och uppmätte en medelproduktion på omkring 5 ton TS ha⁻¹ år⁻¹ under år 2 och 3 efter skörd. Då den rotskottsföryngrande gråalen odlas för biobränsleproduktion rekommenderas röjnings/gallringssinsatser, vilket leder till ungefär samma uttagbara biomassa som i ett orört bestånd samtidigt som dimensionerna blir avsevärt grövre (Rytter 1995) och enklare att ta hand om.

En typ av odlingssystem som håller på att utvecklas är att utnyttja avloppsvatten som gödselmedel i biomassainriktade odlingar av vedartade växter. Idén med den här typen av odlingar är att kombinera restavfallshanteringen från reningsverk med produktion av biobränslen. Hittills har man i hög grad koncentrerat sig på energiskogar med *Salix* (Perttu 1993, 1996, Labreque m.fl. 1995, Hasselgren 2001), men systemet torde även med framgång kunna utnyttjas för odling av trädformade arter. Man har även visat på möjligheterna att låta odlingen fungera som ett reningsfilter för tungmetaller (Labreque m.fl. 1995).



Figur 3. I täta lövskogsuppslag finns stora mängder vedbiomassa som kan utnyttjas för biobränsleskörd. Bilden visar genomförd stråkröjning i ett tvåårigt rotskottuppslag av hybridasp (Foto: L. Rytter)

Ekonomiska aspekter

En god ekonomi i lövskogsbruket är avgörande för om det skall kunna bidra till virkes- och energiförsörjningen. Om man vill veta om en åtgärd är lönsam, eller om en åtgärd är bättre eller sämre än en annan från ekonomisk synpunkt, måste man på något sätt beräkna och jämföra lönsamheten. Jämförelser av lönsamheten mellan olika trädslag har en lång tradition (t.ex. Elfving 1986a, Albrektson & Jäghagen 1991) eftersom val av trädslag är det långsiktigt mest avgörande beslutet vid all beskogning (Eriksson 1991). Jämförelser mellan trädslag är dock vanskliga att göra av flera skäl (Eriksson 1991, Jäghagen 1999). En stor orsak är att man inte säkert vet hur mycket olika trädslag kommer att producera på den aktuella marken, en annan att den framtida råvarumarknaden är svår att förutspå.

Mark med ett högt ståndortsindex är alltid en bra grund för att få god lönsamhet i skogsbruket. Dels produceras stora virkesmängder och dels erhålls dessa volymer efter en kort odlingstid. Kort omloppstid blir särskilt fördelaktig då räntekraven är höga.

Eftersom föryngringen utgör en kostnad som är avgörande för skogsodlingens ekonomi är det av stor vikt att utveckla säkra och billiga föryngringsmetoder. Plantorna för att etablera den första generationen av hybridasp är dyra (ca 10 SEK styck⁻¹). Det har därför stor betydelse för odlingsekonomin om plantkostnaden kan reduceras. För närvarande är plantor av poppel och al betydligt billigare än hybridasp. Byte av trädslag eller införande av förädlat material gynnar alternativet att plantera, annars är självföryngring en billig metod där den går att använda. Om föryngringen är viltbegärlig eller skadebenägen lönar sig sannolikt någon form av skydd, möjligen kan annat trädslag vara att föredra.

Röjningar och tidiga gallringar ger inga eller små uttagsvolymer med klena dimensioner. De är sannolikt svårt att få dessa åtgärder att ekonomiskt gå ihop såvida inte stamantalet är högt och ger möjlighet till biobränsleuttag. Åtgärderna är emellertid viktiga för att kunna nå ett gott ekonomiskt resultat i senare gallringar och föryngringsavverkning. De ska därför också betraktas som en långsiktig investering för framtida virkeskvalitet och virkesvärde. Detta synsätt är fundamentalt för att bedriva ett lövskogsbruk riktat mot värdefulla sågtimmersortiment men har även visat sig vara giltigt för barrträd (Cameron 2002).

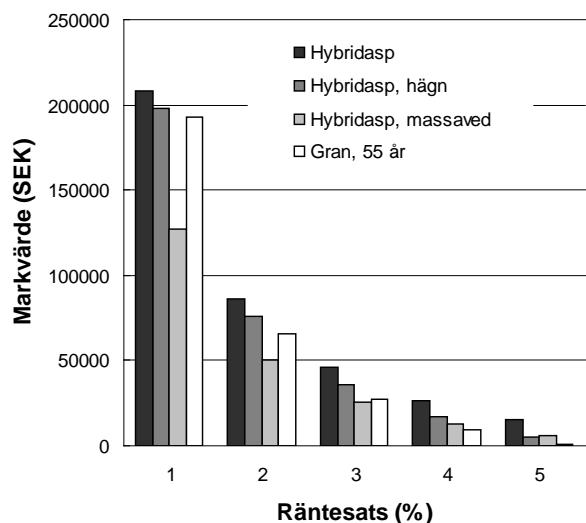
Ekonomiska kalkyler för konventionell odling av hybridasp visar ofta en mycket god lönsamhet (Figur 4) oavsett vilket trädslag man jämför med (Elfving 1986a, Libäck 1988, Eriksson 1991, Rytter m.fl. 2002). Detta beror till stor del på den höga tillväxt och därmed korta omloppstid som trädslaget uppvisar. Även om poppel ibland ger högre virkesavkastning än hybridasp, och i t.ex. Tyskland visat på god ekonomi (t.ex. Genssler 1986), betraktas poppelodling ännu som en riskfylld verksamhet i Skandinavien (Eriksson 1991) eftersom skaderisken bedöms vara stor och virkesavsättningen osäker.

Norska beräkningar för gråal (Opdahl & Veidahl 1993) visar att gråalodling som syftar till sågbart virke är ekonomisk gynnsamma och kan konkurrera med odling av gran, särskilt på goda marker där kvaliteten på granvirket sjunker. Eriksson (1991) gör en något blygsammare bedömning av gråalens ekonomiska förutsättningar.

Odling av hybridasp torde bli än mer attraktiv om man tidigt kan få en inkomst från energiflis istället för en röjningskostnad från och med andra generationen. Dessutom tillkommer möjligheten att ta ut grot i gallring och slutavverkning. Ett liknande koncept skulle kunna appliceras på gråal som också producerar rikligt med rotskott efter avverkning (Rytter m.fl. 2000).

För att få positiv ekonomi på intensiva skottskogsodlingar/energiskogar avsedda endast för biomassaproduktion krävs en viss miniminivå på den uthålliga produktionen. Lønner och Parikka (1989) beräknade att den kritiska nivån för småskalig odling på jordbruksmark låg på 10-12 ton TS ha⁻¹

¹ år⁻¹, vilket är ungefär den nivå som man kan väntas uppnå i *Salix*-odlingar (Willebrand m.fl. 1993, Ledin 1996, Larsson 2001) och som kan vara aktuell för rotskottuppslag av hybridasp (Rytter 2006).



Figur 4. Ekonomisk jämförelse mellan odling av gran och hybridasp uttryckt som markvärden, dvs. summan av alla framtida inkomster och utgifter diskonterade till idag. Jämförelserna bygger på konventionell odling av båda trädslagen på bästa granbonitet för sågbart virke och massaved, och utan tillvaratagande av biobränslen. För hybridaspodling jämförs ett alternativ med uppsättning av vilthägn och ett alternativ där slutprodukten endast blir massaved (Rytter m.fl. 2002).

Ett sätt att förbättra ekonomin är att stamkvista träd som ska stå kvar till slutet av omloppstiden. Erfarenheterna är störst för tall och ek, där stamkvistning anses som en lönsam åtgärd (t.ex. Walfridsson 1978, Kärkkäinen 1982, Ståål 1986). Undersökningar har även gjorts av stamkvistad björk och resultaten var ekonomiskt gynnsamma (Vadla 1999). Studier av stamkvistning på hybridasp har visat att övervallningen går snabbt och att det därefter bildas felfri ved (Rytter & Jansson, manuskript). Lönsamheten av stamkvistning är emellertid svår att förutse eftersom man inte vet vad industrin är villig att betala för stamkvistat virke i framtiden. Vadla (1999) bedömde dock att industrin borde betala mer för virke som man säkert vet är kvistfritt in till en viss diameter. Det finns således anledning att tro att ekonomin kan påverkas positivt av stamkvistning.

En central fråga vid odling av snabbväxande lövträd är om det är lönsamt att gödsla bestånden. Gödning av lövträdsbestånd är sannolikt en lönsam åtgärd men då gödningseffekten under svenska förhållanden är mindre känd för lövträd än för barrträd är det oklart hur mycket ekonomin påverkas. Lothner (1986) kom fram till, från ett amerikanskt exempel, att det beror på bl.a. på tidshorisont och räntekrav. I detta sammanhang har alsläktet en fördel då dessa trädslag kan betraktas som självförsörjande med kväve via sin kvävefixering. Följdaktligen kan man spara kostnaden för kvävegödselmedel vid alodling.

Kalkyler måste alltid behandlas för vad de är, barn av sin tid. Vi vet mycket lite om hur kostnader, sortiment och marknad ser ut när vi når fram till förnygringsavverkning och kalkyler speglar i mycket hög grad situationen då de upprättades.

Hänsyn i plantageskogar

Miljöhänsyn i skogsbruket är ofta kopplade till lövträd och tar en betydande del av produktionsutrymmet. Därför är det viktigt att åtgärderna görs med hög miljönytta och till effektiv

kostnad. Detta är också ett arbete som har intensifierats inom forskningen. Den mest kostnadskrävande delen av miljöhänsynen i produktionsbestånd brukar vara de kvarlämnade miljöträden, s.k. evighetsträd. Kostnaden för dessa kan delas upp i trädets eget rotvärde, förlorad produktionsyta för framtiden, och fördyrad skötsel av området kring evighetsträden. Eftersom miljöhänsynen inverkar på fastighetens produktionskapacitet innebär en effektiv hantering att man koncentrerar miljöinsatserna. Om möjligt bör kvarlämnade miljöträd ställas i grupp och en bra modell är att förstärka kantzoner med kvarlämnade träd. Dessutom kan även andra hänsynsåtgärder kopplas till denna miljö.

Ett problem av mer psykologisk karaktär gäller acceptans från allmänheten för intensiv skogsodling. Lövträd är ofta i fokus när det gäller naturhänsyn i södra Sverige och det ses inte alltid som positivt att producera virke av lövträd för industrin. Problemet kan knappast lösas med forskningsinsatser men bör ändå tas på allvar när odlingsystem för lövträd utvecklas. Problemet förekommer även för barrträd, men där är t.ex. begreppet ”granåker” etablerat även om det inte gillas av alla.

En viktig fråga är hur intensivt odlade plantageskogar kan bidra till den biologiska mångfalden. En slutsats som dragits är att även om en plantageskog i allmänhet innehåller färre arter än en ”naturlig” skog kan den på andra sätt vara positiv för biodiversiteten (Carnus m.fl. 2003). Intensivt odlade skogar kan t.ex. bidra till att andra mer värdefulla skogar för mångfalden kan lämnas ifred utan att virkesfångsten minskar. Då de ersätter andra av människan modifierade system, såsom åkermark, medför det ofta att den biologiska mångfalden ökar, vilket bl.a. kommer till uttryck som en mer artrik markvegetation och att såväl fåglar som småvilt kan hitta föda och skydd i dessa skogar. Intensivt odlade skogar kan även vara lämpliga som buffertzoner och också fungera som länkar mellan områden med höga mångfaldsvärden. Genom lämplig förädlingsstrategi, utnyttja olika arter samt variera skötsel och omloppstider kan man dessutom öka biodiversiteten i själva plantagerna.

Från landskapssynpunkt och som krav inom certifieringsprocesserna behöver lövskogsandelen öka i våra skogar. Detta kan göras på ett produktivt och ekonomiskt sätt, bl.a. genom att etablera hybridasp. Eftersom hybridasp är mycket lik vanlig asp, både till utseende och vedegenskaper, och räknas som inhemsk i lag- och certifieringssammanhang, torde den kunna hanteras som vanlig asp av såväl industri som myndigheter. Grova aspar anses vara naturvårdsmässigt värdefulla då de hyser åtskilliga s.k. rödlistade arter. Grova hybridasp kan odlas fram på mycket kort tid. Aspen ger också ett positivt bidrag till landskapsbilden, inte minst genom det färggranna lövverket på hösten.

Tekniska möjligheter

Det finns fungerande teknik för att ta ut stora mängder biomassa med klenta dimensioner. Inom energiskogsbruket finns en typ av skördare i praktisk drift som kapar grödan med hjälp av två sågklingor och därefter flisar den direkt. Maskinen, av typen Claas Jaguar, är emellertid tillverkad för att arbeta på jämn åkermark med grödor (*Salix*) som står i rader. Därför är det osäkert om den går att använda i vanliga täta röjningsskogar och den kan sannolikt inte utnyttjas då marken är mer ojämn.

En annan möjlighet under röjningsfasen är att använda ett ackumulerande fällaggregat kombinerat med skotning och flisning på avlägg. Detta system har visat sig användbart i grövre röjningsbestånd med stort volyminnehåll och är ett alternativ för att åtminstone sänka röjningskostnaderna (Eriksson & Rytter, 2000, Tillström, 2000, Steineck, 2003). Steineck (2003) gjorde också bedömningen att det kan vara mer ekonomiskt att flisa direkt med en s.k. beståndsflisare och sedan skyttla ut flisen. Markens bärighet måste undersökas noga för ett sådant alternativ.

En tredje möjlighet är att genomföra s.k. stråkröjning (jfr Bergkvist & Glöde, 2004). Maskinell totalröjning i stråk kombinerad med traditionell motormanuell röjning mellan stråken anses på sikt kunna sänka röjningskostnaderna rejält. Ett dylikt system skulle t.ex. kunna utnyttjas vid röjning i täta rotskottuppslag. Röjningsvirket kan sedan transporteras till avlägg för flisning. Stråkröjning där

röjningsvirket omhändertas för biomassaändamål har inte testats praktiskt men torde vara intressant för framtiden.

Vid gallring och föryngringsavverkning, liksom vid grot-hantering, bedöms samma tekniska utrustning kunna användas i lövskogsbestånd som för närvarande används för barrskogsbestånd.

5. Produktionsnivåer

En av de viktigaste egenskaperna för att ett trädslag ska vara attraktivt för skogsodling är tillväxtförmågan, vilket gör att asp och poppelarter och deras hybrider hamnar i fokus. Deras löpande tillväxt kulminerar vid tidig ålder, vilket även betyder att medeltillväxten når sitt maximum tidigt. Detta styr omloppstidens längd. Alar är också intressanta som biomassaproducenter. Det är framförallt gråal som tilldrar sig intresse eftersom den växer snabbt i ungdomen, är hårdig över hela landet och fixerar sitt eget kväve. En snabb tillväxt är, när det gäller lövträd, positivt oavsett användningsområde. Snabb tillväxt ger stora kvantiteter biobränslen, massaved och timmer, samtidigt som virkesegenskaperna påverkas i mycket liten grad. Omloppstiden är ekonomiskt betydelsefull eftersom lönsamheten blir bättre vid kortare tider. Ju högre förräntningskraven är desto viktigare blir en kort omloppstid.

5.1 Stamproduktion

Det vanligaste sättet att uppskatta tillväxt och produktion är att mäta stammar och beräkna deras volymer. Metoden har lång tradition och i Sverige uttrycks volymerna oftast som m^3sk (skogskubikmeter), vilket innefattar hela stammen inklusive topp och bark ovanför stubben. På senare tid, inte minst när biobränslen hanteras, har trädens vikt alltmer kommit att användas som ett produktionsmått. Normalt räknas och prissätts då torrsvikt eller energiinnehåll. Eftersom olika trädslag har olika veddensitet innebär det att man inte automatiskt kan rangordna tillväxt uttryckt som volym respektive vikt på samma sätt. I tabell 1 anges veddensiteten för de snabbväxande lövträden i jämförelse med några andra trädslag. Värdena i tabellen ska betraktas som exempel vars medelvärden kan användas för att omvandla volym till vikt och vice versa. Bark har normalt en högre densitet än själva veden (Mälkönen 1977, Björklund & Ferm 1982, Ferm 1985), och grenar har högre densitet än stam (van der Meiden & Kolster 1981, Björklund & Ferm 1982), delvis beroende på en högre barkandel. Ur tabell 1 framgår att björk har betydligt högre veddensitet än asp och al. Poppel och gran ligger på ungefär samma nivå som asp och al.

Tabell 1. Stamdensitet hos våra snabbväxande lövträd samt några andra trädslag. Stamdensiteten uttrycks som torr-rådensitet (R), där $R = W_D/V_F$ och W_D = torrsvikt av stamdelen och V_F = volymen av samma stamdel i rätt tillstånd. Hämtad från Rytter (2004).

Trädslag	Del	Information	Densitet (kg TS m ⁻³)	Källa
Asp (<i>Populus tremula</i>)	stam	30-50 år	402	Nagoda (1981)
	stam	28 år	361	Ilstedt & Gullberg (1993)
	ved	vuxna träd	400	Sv. Skogsv.förb. (1994)
Hybridasp (<i>P. tremula</i> × <i>P.</i>	ved	10-15 år,	410	Einspahr & Wyckoff (1975)
	ved	vuxna träd	350	Elfving (1986a)
	stam	28 år	378	Ilstedt & Gullberg (1993)
	stam	10 år, 35 kloner	335	Stener (1998)
	stam	14 år, 14 kloner	348	Rytter & Stener (2003)
Amerikansk asp (<i>P. tremuloides</i>)	stam	Dbh 13-44 cm	407	Steinhilb & Erickson (1970)
	ved	7-22 år	377	Bella & Hunt (1973)
	ved	15+ år	c. 350	Einspahr & Wyckoff (1975)
Balsampoppel (<i>P. trichocarpa</i>)	stam	28 år	365	Ilstedt & Gullberg (1993)
	stam	12 år	327	Børset & Langhammer
Svartpoppel (<i>P. deltoides</i>)	skott	9 år	c. 390 ^a	DeBell m.fl. (2002)
	ved	2 år	340	Geyer (1981)
Hybridpoppel (<i>P. × canadensis</i>)	ved	3 år	330	Olson m.fl. (1985)
	skott	4 år	365	Dik m.fl. (1987)
<i>(P. deltoides</i> × <i>P. trichocarpa</i>)	skott	4 år	324	Dik m.fl. (1987)
	stam	9 år	360 ^a	DeBell m.fl. (2002)
<i>(P. × euramericana)</i>	ved	10-15 år	304-352 ^a	Mátyás & Peszlen (1997)
	stam	Dbh 9-15 cm	365	Nagoda (1968)
Gråal (<i>Alnus incana</i>)	ved	23 år i medeltal	361	Hakkila (1971)
	ved	8 år	353	Björklund & Ferm (1982)
	skott	2 år	370	Geyer (1981)
Klibbal (<i>A. glutinosa</i>)	ved	vuxna träd	370	Elfving (1986a)
	stam	10 mm, 21	332	Flow er-Ellis & Olsson
<i>Salix</i> (olika arter och kloner)	stam	45-100 år	444-522	Tamminen (1970)
	ved	vuxna träd	490	Sv. Skogsv.förb. (1994)
Björk (<i>Betula</i> sp.)	stam	54 år i medeltal	482	Hakkila (1966)
	stam	55 år	486	Skogshögskolan (1970)
	ved	45-56 år	445	Bhat (1980)
	ved	10 år	442	Björklund & Ferm (1982)
	ved	17-36 år	463	Ferm (1985)
	bark	17-36 år	495-520	Ferm (1985)
Vårtbjörk (<i>B. pendula</i>)	stam	57 år i medeltal	497	Hakkila (1966)
	stam	35-60 år	511	Skogshögskolan (1970)
	stam	c. 10 år	c. 410	Velling (1979)
	ved	45-56 år	483	Bhat (1980)
	stam	12 år, 564 träd	433	Nepveu & Velling (1983)
	stam	55 år, 12 träd	570	Nepveu & Velling (1983)
	ved	vuxna träd	500	Elfving (1986a)
	stam	28 år,	483	Tammisola m.fl. (1995)
	stam	17 år,	491	Tammisola m.fl. (1995)
	stam	11 år, 30 kloner	429	Stener & Hedenberg
Gran (<i>Picea abies</i>)	stam	78 år i medeltal	387	Hakkila (1966)
	ved	vuxna träd	320	Elfving (1986a)
	ved	vuxna träd	400	Sv. Skogsv.förb. (1994)
	ved	27 år,	368	Brolin m.fl. (1995)
	ved	28 år,	307	Brolin m.fl. (1995)
	stam	17-54 år,	314	Jonansson (1999a)

^atorrvolymvikt

Asp och hybridasp

Vanlig asp kan nå en medeltillväxt på drygt $10 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ på goda marker (Tabell 2). Den högsta nivån som presenterats för "normal" skogsodling ligger på knappt $15 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ (Opdahl 1992). Nivån är sålunda något högre än för vårtbjörk, men då virket är lättare, knappt 400 jämfört med björkens ca 500 kg TS m^{-3} , blir biomassaproduktionen något lägre. Tillväxten hos hybridasp överträffar med stor marginal vanlig asp och medeltillväxten med nuvarande odlingsmaterial uppskattas nå över $20 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ ($>7 \text{ ton TS}$) vid en omloppstid på 20-25 år (Rytter & Stener 2005). I nästa generation blir sannolikt produktion ännu högre eftersom det nya beståndet startar med ett kraftfullt rotskottuppslag (Rytter 2006). Tidigare studier och mätningar visar också att det med ett förståndigt urval av kloner går att odla hybridasp längs Norrlandskusten. Här, liksom i Svealand, kan möjligen finskt hybridaspmaterial gå att använda. Omloppstiden blir sannolikt drygt 30 år och produktionen sjunker till eller under $15 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$.

Tabell 2. Rapporterad stamproduktion hos asp och hybridasp i Europa och Nordamerika. Värderna inom parentes har beräknats från värdena utan parentes genom att anta att veddensiteten är 350 kg TS m⁻³ (se Tabell 1). Kursiv stil anger att uppgifterna härrör från skottskogsbruk med korta omloppstider (upp till 10 år) medan övriga uppgifter kommer från konventionellt skogsbruk. MAI = medeltillväxt och CAI = löpande tillväxt. Vid stamantal anges ibland t vilket = x 1 000. Tabellen är hämtad från Rytter (2004) och kompletterad med nyare uppgifter.

Ålder (år)	Stamantal (st ha ⁻¹)	MAI (m ³ ha ⁻¹ år ⁻¹) (ton TS ha ⁻¹ år ⁻¹)		Maximal CAI (m ³ ha ⁻¹ år ⁻¹) (ton TS ha ⁻¹ år ⁻¹)		Kommentar	Källa
Asp (<i>P. tremula</i>)							
49-57	280-1 480	5,2-7,9	(1,8-2,8)	9,4-13,2	(3,3-4,6)		Petrini (1945)
62	2 500-320	7,7	-2,7	10,8	(3,8)	Bonitet II	Haugberg (1958)
16	5 200-2 700	4,5	(1,6)				Langhammer (1973)
16	2 500-1 150	3,3	(1,2)	8,8	(3,1)		Johnsson (1976)
23	6 900-860	12,4	(4,3)	23,3	(8,2)		Johnsson (1976)
50	-	9,0	(3,2)			vanlig skog	Vuokila (1977)
35	-	12,3	(4,3)			skottuppslag	Vuokila (1977)
40-60	c. 1 100	8,6-9,3	(3,0-3,3)			SI = G28-G30	Eriksson (1984)
2-85	-	(8,0-20)	2,8-7,0			12 bestånd	Utkin m.fl. (1987)
80	1 900-320	14,8	(5,2)	21,6	(7,6)	SI = Osp 26	Opdahl (1992)
5	165t-7,3t		2,5 ^a				Liesebach m.fl. (1999)
10	5 600-2 500		2,6-8,3 ^a				Liesebach m.fl. (1999)
26-91	3 900-270		1,2-7,0 ^a			38 försöksytor	Johansson (2002)
Amerikansk asp (<i>P. tremuloides</i>)							
16	2 500-700	6,3	(2,2)	11,7	(4,1)		Johnsson (1976)
15		6,4-7,4	(2,2-2,6)			plantering	Einspahr (1984)
10		6,3-7,0	(2,2-2,5)			skottuppslag	Einspahr (1984)
08-feb	73 000-		0,8-2,4 ^a				Perala (1979)
13-15	60 000-		2,4 ^a				Stiell & Berry (1986)
8-63	13 000-900	(12-23)	4,3-8,1				Ruark & Bockheim
5	165t-8,0t		3,8 ^a				Liesebach m.fl. (1999)
10	5 600-3 600		3,4-6,9 ^a				Liesebach m.fl. (1999)
48-105	1 500				4,8 ^{ab}		MacPherson m.fl. (2001)
Hybridasp (<i>P. tremula</i> × <i>P. tremuloides</i>)							
26		16,9	(5,9)	24,6	(8,6)	beräkning	Johnsson (1953)
16	5 200-2 700	21,3	(7,5)				Langhammer (1973)
28	2 300-140	17,2	(6,0)	26,0	(9,1)	Bonitet 1	Jakobsen (1976)
16	2 500-785	11,0	(3,9)	19,9	(7,0)		Johnsson (1976)
17	3 300-775	22,7	(7,9)	46,4	(16,2)		Johnsson (1976)
23	6 900-830	25,8	(9,0)	43,3	(15,2)		Johnsson (1976)
15		13,4	(4,7)			plantering	Einspahr (1984)
10		12,6	(4,4)			skottuppslag	Einspahr (1984)
20-30	c. 1 100	11,1-12,2	(3,9-4,3)			SI = G30-G36	Eriksson (1984)
26	c. 1 100	16	5,6			prognos s. Sverige	Elfving (1986a)
32	1 100-800	13,2	(5,3)	25,2	(10,1)	n. Sverige	Elfving (1986b)
5	17 000		c. 5,4 ^a				Makeschin m.fl. (1989)
5	165t-8,0t		4,3-6,4 ^a				Liesebach m.fl. (1999)
10	5 600-3 600		6,6-12,4 ^a				Liesebach m.fl. (1999)
8	5 000		3,0 ^a		9,1 ^a		Telenius (1999)
4	15 000	14,0	(4,9)	17,2	(6,0)	skottuppslag	Rytter (2002)
15-jul	2 400-900	8,0-14,6	(2,8-5,1)	20,8-35,8	(7,3-13)	planteringar	Rytter (2002)
9	5 000	20,3	7,9 ^a	33,5	12,9 ^a		Karacic m.fl. (2003)
11	5 000	18,2	7,0 ^a	18,5	8,0 ^a		Karacic m.fl. (2003)
12	okänt-2 000	16 ^c				skottuppslag	Rytter & Stener (2005)
14	2 500-1 100	16-okt		30		planteringar	Rytter & Stener (2005)
4	55 000		9,5 ^a		11,4 ^a	skottuppslag	Rytter (2006)

^a ovanjordisk vedbiomassa, d.v.s. inkl. grenar

^b löpande tillväxt de senaste 5 åren

^c röjningsbiomassa ingår inte

Poppel

Poppel är ett samlingsnamn på ett flertal arter och korsningar, alla med ett ursprung utomlands. Erfarenheterna från poppelodling finns nästan uteslutande i de allra sydligaste delarna av landet, och främst på åkermark. Hittills har en enda klon, OP42, varit dominerande. Den är av typen balsampoppel. Det finns numera även ett av Skogforsk testat odlingsmaterial som omfattar 15 kloner och som rekommenderas i södra Sverige. Vid direkt jämförelse mellan hybridasp och produktiva hybridpoppel-korsningar (Tabell 2, 3) har de senare givit ännu högre tillväxtsiffror än hybridasp (Telenius 1999, Karačić m.fl. 2003, Stener 2004). Omloppstiderna var dock korta (8-12 år) och allvarliga skador i unga försöksodlingar av poppel har konstaterats (t.ex. Stener 2004). Tillsammans med andra iakttagelser från poppelodlingar på jordbruksmark (bl.a. Christersson 2006) dras slutsatsen att det odlingsmaterial av poppel som använts hittills inte är tillräckligt klimatanpassat för att tillåta en långsiktig skadefri odling. Ytterligare selektion samt introduktion av nytt poppelmaterial som är bättre klimatanpassat till svenska förhållanden kommer sannolikt att minska skaderisken (jfr, Christersson 2002, Stener 2004). Veddensiteten är ungefär densamma som för hybridasp.

Tabell 3. Rapporterad stamproduktion hos olika popplar i Europa och Nordamerika. Värden inom parentes har beräknats från värden utan parentes genom att anta att veddensiteten är 350 kg TS m⁻³ (se Tabell 3). Kursiv stil anger att uppgifterna härrör från skottskogsbruk med korta omloppstider (upp till 10 år) medan övriga uppgifter kommer från konventionellt skogsbruk. MAI = medeltillväxt och CAI = löpande tillväxt. Vid stamantal anges ibland t vilket = x 1 000. Hämtad från Rytter (2004) och kompletterad med nyare uppgifter.

Ålder (år)	Stamantal (st ha ⁻¹)	MAI		Maximal CAI		Kommentar	Källa
		(m ³ ha ⁻¹ år ⁻¹)	(ton TS ha ⁻¹ år ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹ år ⁻¹)	(ton TS ha ⁻¹ år ⁻¹)		
Balsampoppel (P. balsamifera och P. trichocarpa)							
12	1 480-1 250	14,9-15,4	(4,9-5,0)	27,7-28,2	(9,1-9,2)		Børset & Langh. (1967)
4	6 900		12,6 ^a			plantering	Heilman & Stettler (1990)
4	15 000		11,3 ^a			stubbskott	Heilman & Stettler (1990)
2	c 60t-c 30t		12,4 ^a			5 generationer	Pontailier m.fl. (1999)
14	1 700	8,5	3,3 ^a				Karacic m.fl. (2003)
4	10 000		8,0-8,6 ^a				Laureysens m.fl. (2004)
5	17 000		c 6,0 ^a				Makeschin m.fl. (1989)
Svartpoppel (P. deltoides och P. nigra)							
24	1 100	16,1	(5,6)	26,1	(9,1)		Johnsson (1976)
4	28 000-		3,7-6,1 ^a			plantering	Geyer (1981)
4	-		5,9-8,9 ^a			stubbskott	Geyer (1981)
30	1 100	6,4	(2,2)				Eriksson (1984)
4	10 000		8,2-10,2 ^a				Laureysens m.fl. (2004)
Hybridpoppel (olika hybrider)							
4	111t-22t	(5,9-16)	2,1-5,7	-29	10,0	olika hybrider/förb.	Bow ersox & Ward (1976)
4	19 000	-25	8,8				Wittwer & Immel (1977)
6	2 000	-29	10,0				van der Meiden & Kolster
3	6 900		9,8 ^a				Heilman & Stettler (1983)
25-30	c. 1 100	11,9-17,1	(4,2-6,0)			SI = G31	Eriksson (1984)
5	19 000	-18	6,2			plantering	Wittwer & Stringer (1985)
4	10 000-		2,7-9,9 ^a			5 kloner	Dik m.fl. (1987)
03-feb	15 000-		2,5-22,0 ^a		32,9 ^a		Lee (1988)
1	5 000		1,4-2,2 ^a			plantering o stubbsk.	Bergez m.fl. (1989)
5	17 000		c. 5,6 ^a				Makeschin m.fl. (1989)
4	6 900		23,6 ^a			plantering	Heilman & Stettler (1990)
4	17 000		32,8 ^a			stubbskott	Heilman & Stettler (1990)
2	c 125t-c 35t		11-25 ^a			5 generationer	Pontailier m.fl. (1999)
6	5 000		7,6 ^a		14,1 ^a		Telenius (1999)
10	1 100		7,9-8,0			planteringar	Christersson (2002)
12-sep	5 000-1 000	18,1-22,2	8,2-9,2 ^a	19,2-37,2	8,9-16,8 ^a		Karacic m.fl. (2003)
4	10 000		2,2-11,6 ^a				Laureysens m.fl. (2004)

^aovanjordisk vedbiomassa, d.v.s. inkl. grenar

För släktet *Populus* är det allmänt förekommande att odlingar även anläggs och drivs som skottskogsbruk med höga stamantal och korta omloppstider (Tabell 2, 3). Produktions­siffrorna blir då mycket höga. Liesebach m.fl. (1999) rapporterade för hybridasp en medelproduktion av ovanjordisk biomassa på över 12 ton TS ha⁻¹ år⁻¹ under en 10-årsperiod. Rytter (2006) uppmätte en medelproduktion på 9,5 ton TS vedbiomassa ha⁻¹ år⁻¹ efter de fyra första åren efter avverkning av föregående trädgeneration med hybridasp. Lee (1988) och Pontailier m.fl. (1999) rapporterade över 20 ton TS för hybridpoppel som ett medeltal över flera korta omloppstider.

Övriga arter

Vid energiskogsodling med *Salix*-arter kan man förvänta sig en medelproduktion i Sverige på strax över 10 ton TS ha⁻¹ år⁻¹ (Willebrand m.fl., 1993, Ledin 1996, Larsson 2001). Det innebär att det åtminstone inom släktet *Populus* finns arter och hybrider som i produktionshänseende är konkurrenskraftiga med *Salix*-odling. Det skall också observeras att *Salix*-siffrorna har hämtats från gödslade bestånd medan t.ex. uppgifterna om hybridaspens produktion (bl.a. Rytter & Stener 2005, Rytter 2006) hänför sig till ogödslade bestånd på bördig mark.

Alsläktet har visat sig kunna vara högproduktivt i skottskogsbruk (Tabell 4). I Sverige har en löpande tillväxt på hela 17 ton TS ha⁻¹ år⁻¹ redovisats för ogödslad gråal på jordbruksmark (Granhall & Verwijst 1994), och på gödslad myrmark har en löpande tillväxt på ca 11 ton TS ha⁻¹ år⁻¹ uppmätts (Rytter m.fl. 1989). I båda gråalstudierna var bestånden 7 år gamla. Den högsta medeltillväxten för gråal ligger på 8-9 ton TS stamved ha⁻¹ år⁻¹. Täta klibbalbestånd med kort omloppstid uppvisar liknande siffror. I konventionell odling av al på bra mark hamnar sannolikt medelproduktionen på drygt 10 m³sk ha⁻¹ år⁻¹.

Tabell 4. Publicerade uppgifter på stamproduktion för klibbal och gråal. Värden inom parentes har beräknats från värden utan parentes genom att anta att veddensiteten är 365 kg TS m⁻³ (se Tabell 1). Kursivt angivna uppgifter representerar skottskogsbruk med korta omloppstider (upp till 10 år) medan övriga uppgifter kommer från konventionellt skogsbruk. MAI = medeltillväxt och CAI = löpande tillväxt. Vid stamantal anges ibland t vilket = x 1 000. OMT = *Oxalis-Myrtillus*-typ, OT = *Oxalis-Majanthemum*-typ. Hämtad från Rytter (2004) och kompletterad.

Ålder (år)	Stamantal (st ha ⁻¹)	MAI		Maximal CAI		Kommentar	Källa
		(m ³ ha ⁻¹ år ⁻¹)	(ton TS ha ⁻¹ år ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹ år ⁻¹)	(ton TS ha ⁻¹ år ⁻¹)		
Klibbal (<i>Alnus glutinosa</i>)							
4	19 000	-13	4,9				Wittwer & Immel (1977)
19-51	1 800-380	2,3-7,8 ^b	(0,8-2,9 ^b)	7,3-13,7	(2,6-5,0)	22 bestånd	Övergaard (1980)
4	28 000-6 900		0,5-5,2 ^a			plantering	Geyer (1981)
4	-		2,3-11,3 ^a			skott	Geyer (1981)
4	14 000		1,8-4,0 ^a			s Canada	Prégent & Camiré (1985)
5	19 000	-21	7,6			plantering	Wittwer & Stringer (1985)
5	50 000	-30	10,8			skott	Wittwer & Stringer (1985)
35	1 100	9	(3,3)			prognos s Sverige	Elfving (1986a)
5	10 000		5,5 ^a			plantering	Hendrickson m.fl. (1991)
21-91	3 000-430		1,5-6,1 ^a			32 bestånd	Johansson (1999b)
21	2 800-1 500	(10-12)	3,7-4,3 ^b			3 lokaler	Vares (2000)
Gråal (<i>A. incana</i>)							
40-45	26 000-680	6,3-7,7	(2,3-2,8)	7,0-8,7	(2,6-3,2)	OMT o OT mark	Miettinen (1932)
30	Tätt-250	12,1	(4,4)	15,7	(5,7)	Bonitet 1	Borset & Langh. (1966)
08-jun	51 000-39 000	(7,4-9,9)	2,7-3,6				Björklund & Ferm (1982)
5	40 000	(14-15)	5,0-5,4			sandmark	Saarsalmi m.fl. (1985)
3-50	-	(3,6-24,1)	1,3-8,8			19 bestånd	Utkin m.fl. (1987)
7	40 000		3,9-4,3 ^a		c. 11 ^a	gödsl. torvmark	Rytter m.fl. (1989)
35	12 000-6 000	1,6-4,1	0,7-1,6	6,2-7,2		OMT mark	Saarsalmi & Mälkönen (1989)
5	10 000		8,3 ^a			plantering	Hendrickson m.fl. (1991)
8	17 000-c.	(3,7-8,1)	1,4-2,9			rotskott	Saarsalmi m.fl. (1991)
9	10 000	(3,2-5,1)	1,2-1,9			sandmark	Saarsalmi m.fl. 1992
5	20 000		2,0 ^a		6,0 ^a	gödsl. sandmark	Elowson & Rytter (1993)
7	20 000		c. 8-8,5 ^a		17 ^a	jordbruksmark	Granhall & Verwijst (1994)
13	40 000-6 400		4,4-4,7 ^a		8,2-10,9 ^a	gödsl. torvmark	Rytter (1995)
7	20 000		1,0-3,4 ^a			PK-gödslinge	Hytönen m.fl. (1995)
14	5 200 ^c	-23	8,3			86 % gråal	Löhmus m.fl. (1996)
40	1 400 ^c	-11	4,2			77 % gråal	Löhmus m.fl. (1996)
21-66	4 000-550		2,1-5,5 ^a			26 bestånd	Johansson (1999b)
8	5 000		3,3 ^{ab}		8,6 ^a	jordbruksmark	Telenius (1999)
3	188t-88t		3,6-4,6 ^a		5,0-6,4 ^a	skogsmark	Rytter m.fl. (2000)
5	14 000	(6,5)	2,4	(10,3)	3,8		Uri m.fl. (2002)

^a ovanjordisk vedbiomassa, d.v.s. inkl. grenar

^b ev. självgallring och gallring är ej inräknat

^c stamantal och produktion av gråal

En kondenserad sammanfattning av produktionsnivåer för i Sverige förekommande snabbväxande lövträd ges i tabell 5.

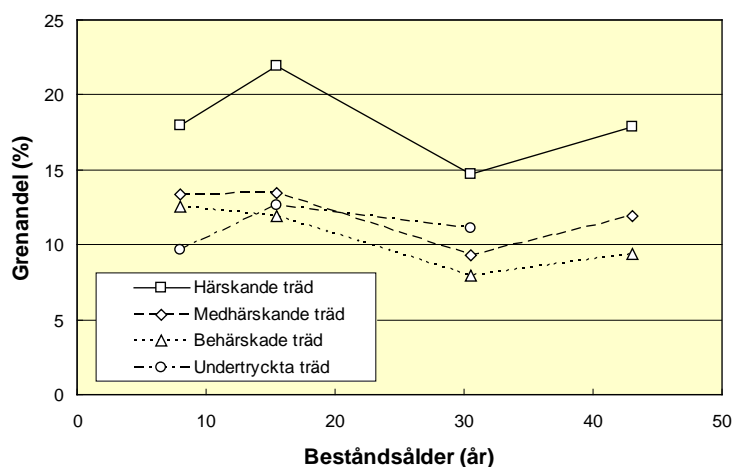
Tabell 5. Uppskattad högsta medelproduktion för olika lövträdsarter på ogödslade men goda ståndorter under nordiska förhållanden. Tabellen har hämtats från Dahlberg m.fl. (2006).

Art	Stamved volym (m ³ sk ha år ⁻¹)	Vikt (ton TS ha ⁻¹ år ⁻¹)
Hybridasp	20-25	7-9
Hybridpoppel	25-30	9-10
Gråal	15-20	5-7
Klibbal	10-15	3-5
Vårtbjörk	10	5
Glasbjörk	6-7	3,5
Salix		10 i praktisk odling, gödslad

5.2 Grenbiomassa

I odlingar med höga stamantal och korta omloppstider brukar produktionen ofta uttryckas som ovanjordisk vedbiomassa, dvs. stammar och grenar slås ihop till en fraktion (jfr Tabell 2-4). Vid högre trädålder blir det emellertid aktuellt att ta ut såväl massaved som timmer, och då brukar man uttrycka stamtillväxten som m³sk, vilket med hjälp av veddensiteten går att räkna om till stamvikt. Eftersom det numera är aktuellt att ta hand om grenar och toppar, grot, och det samtidigt är den i Sverige dominerande formen av uttag för energiändamål, är det av vikt att känna till den mängd grenar och toppar som finns till förfogande. I lövskogsbruk är det inte aktuellt att ta ut blad när intresset fokuseras på energi- och virkesuttag. Därför räknar man normalt inte med bladmassan i de biomassaskattningar som görs för lövträd och energiskog.

Mängden tillgänglig grot är starkt kopplad till den stående virkesvolymen. Men den är även starkt beroende av trädslag, beståndets ålder, beståndets stamantal och trädens diameter, vilken i sin tur beror av bonitet, ålder och förband. Från Korsmos (1995) funktioner för bl.a. björk, asp och al framgår att grenbiomassan minskar i förhållande till stambiomassan när träden blir grövre. Från litteraturen framgår att grenar på lövträd brukar bidra med från 7-8% till 20% av den ovanjordiska vedbiomassan (t.ex. Ovington & Madgwick 1959, Utkin m.fl. 1987, Johansson 1992). Zavitkovski (1971) visade för amerikansk asp att härskande träd har en större andel av den ovanjordiska biomassan som grenar än behärskade och undertryckta träd (Figur 5). Det förklaras av att kronan hissas upp och blir smalare ju starkare ljuskonkurrens som ett träd utsätts för. I glest planterade hybridaspbestånd visade sig grenandelen utgöra ungefär 30 % av den ovanjordiska vedbiomassan (Rytter & Stener 2003).



Figur 5. Grenandelens storlek av den ovanjordiska vedbiomassan hos amerikansk asp enligt Zavitkovski (1971).

Klonvisa skillnader för grenarnas andelen av den ovanjordiska biomassan har också påvisats (Scarascia-Mugnozza m.fl. 1997). Ofta ses en positiv genetisk korrelation mellan stamvolym och grenbiomassa (Rogers m.fl. 1989, Rytter & Stener 2003). Mer grenar ger mer grot men ger sannolikt också sämre kvalitet på den värdefulla timmerdelen av stammen.

6. Vad påverkar tillväxten och vilka förbättringar kan göras?

Det finns stora möjligheter att påverka den framtida produktionen och dess uthållighet. En möjlighet som redan redovisats är val av trädslag. Dessutom finns ett antal andra faktorer som det är nödvändigt att beakta då hög uthållig produktion av vedråvara är det primära målet för skogsbruket.

6.1 Etablering

Betydelsen av att hålla tillbaka ogräskonkurrensen vid beståndsetablering av lövträd kan inte nog betonas. En dåligt förberedd förnygringsyta och/eller en dålig uppföljning ger ofta ett luckigt bestånd som ger en svag inledande produktion. Czapowskyj och Safford (1993) visade t.ex. för hybridpoppel att en fortgående ogräsbekämpning under de inledande tre åren gav betydligt bättre tillväxt under beståndens första tio år. Karlsson (2002) demonstrerade att markpreparering har oerhört stor betydelse för överlevnad och tillväxt för små planterade björkar. Även resultatet av naturlig förnygring och sådd gynnas starkt av en inledande markbehandling (Karlsson 1996, Karlsson m.fl. 1998). Det finns dock även negativa sidor av en mekanisk påverkan av förnygringsytor. Smidt och Blinn (2002) rapporterade t.ex., att spårbildning vid skörd försämrade både rotskottuppslagets storlek och tillväxt hos asp.

Eftersom anläggningskostnaderna kommer tidigt under omloppstiden blir dessa kostnader av stor vikt för den totala ekonomin. Naturlig förnygring är därför en attraktiv metod men kan inte rekommenderas om det innebär att man får ett mindre lämpligt trädslag eller ett bestånd med undermålig genetik för tillväxt och kvalitet. Träd som skjuter vitala stubbskott kan användas vid förnygring, inte minst för biomassaproduktion, men kvaliteten blir i allmänhet bättre med fröplantor. Rotskott brukar ge raka stammar och bättre kvalitet än stubbskott. Rotskottsfornygring kan troligen dock bara utnyttjas för asp/hybridasp och gråal (Bärring 1988, Saarsalmi m.fl. 1991, Rytter m.fl. 2000).

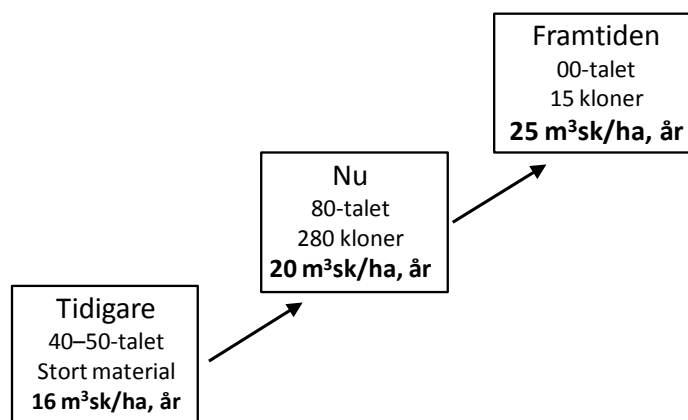
Det vanligaste sättet att förnygra plantageliknande skog är plantering. Det gäller att producera vitala plantor till en låg kostnad. Ett led i detta är att utveckla sommarplantering, dvs. plantering av små plantor som befinner sig i tillväxt och som producerats under innevarande år (jfr. Luoranen m.fl. 2003). Gödslingsregimerna i plantskolan är också föremål för forskning (t.ex. Rytter m.fl. 2003). Eftersom t.ex. hybridaspplantor är dyra att producera är det av stort intresse att förenkla och reducera kostnaderna för produktionen.

6.2 Förädling

Det finns en stor potential att förbättra produktion och kvalitet för lövträd genom förädling. Ett stort arbete har lagts ned på förädling av snabbväxande lövträd världen över, även om det inom Europa har fördelats mest resurser på tall och gran (Kleinschmit 2000). I Europa utgörs i genomsnitt ungefär 25 % av det totala förnygringsmaterialet av förädlad material (Kleinschmit 2000). Höga siffror hittas i Lettland (60 %) och i Finland, Nederländerna och Tjeckien (50 %). Lägst ligger Schweiz med endast 2 %. I Sverige kommer ungefär 25 % av förnygringsmaterialet från förädlade källor.

Förädlingsverksamheten på lövträd har i Sverige koncentrerats till björk och hybridasp. Hybrid Aspen har genomgått tre förädlingssteg i Sverige sedan 1940-talet (Figur 6) och tillväxtvinsten har varit betydande. De nuvarande bestånden av hybridasp bedöms kunna producera drygt 20 m³sk ha⁻¹ år⁻¹ i medeltillväxt. Genom att välja de 15 bästa klonerna ur detta material uppskattas medelproduktionen kunna bli 25 m³sk ha⁻¹ år⁻¹ på bättre marker i södra Sverige (Stener & Karlsson 2004) och det är detta

material som finns på marknaden idag. Liksom i Sverige startade förädling av hybridasp i Finland på grund av tändsticksindustrins råvarubehov. Plantmaterialet från den tiden (50- och 60-talet), som består av olika hybridaspfamiljer, ligger till grund för den nysatsning som inleddes 1996 och där inriktningen är att genetiskt förbättra vedkvalitet, tillväxt och vitalitet (Beuker 2000).



Figur 6. Resultatet av det genetiska förädlingsarbetet på hybridaspens produktion i Sverige. Från det inledande odlingsmaterialet når medeltillväxten i bestånd på bättre marker ungefär $16 \text{ m}^3\text{sk ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Från material utvalt under 80-talet, och som ofta finns i dagens odlingar, kan man förvänta sig drygt $20 \text{ m}^3\text{sk}$. Om de 15 bästa klonerna väljs, vilket är dagens kommersiella odlingsmaterial, nås troligtvis ca $25 \text{ m}^3\text{sk år}^{-1}$ i medeltillväxt.

Det finns en stor genetisk potential för selektion för tillväxt bland popplar (t.ex. Mohn & Randall 1971, Mitchell m.fl. 1988), samtidigt som artkorsningar ofta visat sig överlägsna rena arter i tillväxt (Hinckley m.fl. 1989). För svenska förhållanden har dock rena arter (*P. trichocarpa*) visat sig mer motståndskraftiga mot stamkräfta än arthybrider (Christersson 2006). På grund av ett tämligen lågt intresse från skogsbrukets sida har poppelförädling inte varit ett prioriterat område i Skandinavien. Därför har arbetet hittills begränsats till tester av material som erhållits från andra länders förädlingsorganisationer. Intensiv förädlingsverksamhet kring poppel bedrivs i Europa främst i Frankrike, Belgien och Holland. Material från dessa områden har ofta visat sig vara olämpligt eftersom det inte är anpassat till vårt klimat. Nyligen har emellertid nytt poppelmateriale hämtats från nordliga breddgrader i Nordamerika och tester av detta material pågår (Christersson 2002, 2006).

Praktiskt förädlingsarbete med al påbörjades på 1940-talet och intensifierades under 1950-talet. Även inom alsläktet har korsningar mellan arter givit förbättrad tillväxt jämfört med de rena arterna. Ljunger (1959) visade t.ex. att korsningen mellan rödal och klibbal har en snabbare tidig tillväxt än ren klibbal. Detta har verifierats på senare år (Stener 2007). Mejnartowicz (1982) rapporterade att korsningar mellan gråal och klibbal var tillväxtmässigt överlägsna ren klibbal. Arbetet med hybridalar har emellertid inte utvecklats vidare. Under 1990-talet har en mindre insats gjorts för att förbättra odlingsmaterialet av klibbal. Därvid har 160 nya plusträd valts ut i Götaland, Svealand och i Litauen. Dessa testas för närvarande. Förädlingsarbetet med gråal har varit minimalt.

6.3 Mark och vatten

Den stora betydelsen av ståndortens bördighet på tillväxten har tydligt redovisats för flertalet trädslag. Man brukar upprätta produktionstabeller och/eller höjdtutvecklingskurvor, där olika kurvor avspeglar ett trädslags tillväxt för olika ståndortsindex. Dessa kan tjäna som vägledning vid markval. I tabellerna 2-4 kan man få en uppfattning om produktionsnivån på de bättre ståndorterna för de olika trädslagen. För asp och al finns höjdtutvecklingskurvor framtagna för Sverige (Johansson 1996, 1999c) och Norge (Haugberg 1958, Børset & Langhammer 1966, Opdahl 1992). De höjdtutvecklingskurvor som utarbetats för hybridasp är gamla och av danskt ursprung (Jakobsen, 1976). Dessa ger definitivt en

underskattning av höjdtillväxten för det odlingsmaterial som används idag (Rytter & Stener 2005) och nya höjdkurvor bör därför tas fram.

Markens surhetsgrad är ibland avgörande för om ett trädslag kan användas. De snabbväxande lövträdens känslighet för olika pH-värden har undersökts (t.ex. Ericsson & Lindsjö, 1981, Seiler & McCormick, 1982, van den Burg, 1988, Lu & Sucoff, 2001). Resultaten tyder på att björkar och alar är tåligare mot framförallt lågt pH (<4,5) än popplar och *Salix*-arter.

Syretillgången i marken har stor betydelse för trädens tillväxt. Det finns tydliga skillnader mellan arter (Kozlowski, 1986). I allmänhet är lövträd mer toleranta mot syrebrist än barrträd, bl.a. beroende på att lövträd har en god förmåga att bilda nya rötter när de äldre dött. Kompaktering av marken kan ge syrebrist men är i sig själv också en negativ faktor eftersom det ökar det mekaniska motståndet för rottillväxt (Kozlowski, 1999).

Odling av snabbväxande lövträd förutsätts ske på bra mark där torka inte utgör ett allvarligt problem. Risken för torkskador är därför måttlig efter etablering men produktionsnedsättningar på grund av vattenbrist är allmänt förekommande i södra Sverige. Lindroth och Halldin (1988) beräknade att odling av snabbväxande *Salix* kommer att kräva vattentillskott genom bevattning i både Götaland och Svealand för att inte vattenbrist ska reducera tillväxten. De pekade också på att markvalet, med god vattentillgång, är viktigt då bevattningsmöjligheter saknas. Zheng m.fl. (1987) visade att extra bevattning av *Populus deltoides* gav avsevärt högre volymtillväxt i ett kinesiskt försök på latitud 35 °N, men också att effektiviteten i vattenutnyttjandet sjönk. Einspahr och Wyckoff (1978) rapporterade 50-85 % högre stamvolymproduktion i amerikanska aspbestånd när de bevattades. För hybridasp gav bevattning 34 % högre produktion. I en brittisk studie av slamspridning i poppelbestånd syntes ingen effekt av själva slamtillförseln om inte ytorna samtidigt bevattades (Moffat m.fl. 2001).

Effektiviteten att utnyttja vatten varierar mellan trädslag (t.ex. Braun 1974, Marshall & Zhang 1994, Tschaplinski m.fl. 1994) och inom arter (t.ex. Pallardy & Kozlowski 1981, Hennessey m.fl. 1988, Weih & Nordh 2002). Det innebär att det finns en stor potential för att minska effekten av begränsad vattentillgång genom att välja art eller klon för olika odlingslokaler.

6.4 Gödsling

Det är väl känt att tillförsel av växtnäringsämnen ger ökad tillväxt (Ballard 1984). Gödslingsförsök har pågått sedan länge i de nordiska länderna och kunskapen om effekterna av gödsling är stor. Oftast är det kväve som begränsar tillväxten (Jonsson & Möller 1975, Tveite 1994, Näsholm m.fl. 2000, Jacobson 2001) och därför ger mest respons på tillförsel. Den kritiska belastningen med kväve, dvs. då tillgången överskrider ekosystemets behov, anses inte ha nåtts annat än på ett fåtal platser i landet (Näsholm m.fl. 2000). Andra ämnen såsom fosfor och kalium kan dock drastiskt öka tillväxten vid odling av snabbväxande lövarter (t.ex. Parfitt & Stott 1987, van den Driessche m.fl. 2003). Fosfor t.ex., immobiliseras tidigt i nedbrytningsprocessen och kan sålunda bli begränsande (Attiwill & Adams 1993). Därför används kompletta gödselmedel allt mer, dvs. man tillför samtliga essentiella näringsämnen samtidigt (Tveite 1994). Effekter av kvävegödsling av lövträd visas i tabell 6.

Gödslingstrategin vid konventionellt skogsbruk är att ge näring i slutet av omloppstiden för att få extra dimension på kvarvarande träd (t.ex. Möller & Rytterstedt 1974, Jonsson & Möller 1975). Gödslingseffektens varaktighet och förlopp är viktiga att känna till för att kunna avgöra när åtgärden ska sättas in. Upprepad gödsling ger ytterligare tillväxt i skogsbestånd (Ballard 1984).

Miller (1995) upprättade näringsbudgetar som visar att nettoackumuleringen, dvs. näringsbehovet, är störst tidigt under omloppstiden, vilket antyder att gödsling snarare borde ske i början än i slutet av beståndets livscykel. Ett nyare gödslingskoncept går därför ut på att bygga upp ståndortens bördighet

genom en mer kontinuerlig gödsling med lägre givor tidigt under omloppstiden (t.ex. Ingestad 1991). Konceptet har testats för olika trädslag och visat på stora tillväxtökningar (jfr. tabell 6).

I allmänhet brukar utnyttjandegraden och den relativa tillväxteffekten för kväve vara högre på magra lokaler, där träden har lägre kvävestatus (Sikström m.fl. 1998), och då givorna är låga och ges mer frekvent (Ballard 1984). Hansen m.fl. (1988) erhöll betydligt större effekt av kvävegödsling av hybridpoppel på mager och sandig (+270 %) än på lerig och bördig mark (+35 %) samtidigt som de högsta gödselgivorna medförde ungefär samma produktion på båda marktyperna. Forskningsresultaten är dock inte entydiga utan det finns även exempel där gödslingseffekten är mer jämn över bördighetsgradienten (jfr. Näsholm m.fl., 2000). En vidareutveckling av gödslingkonceptet består i att göra fortlöpande analyser av barr/blad och utifrån dessa korrigera gödselmedlets komposition och mängd beroende på de halter och balanser som uppmäts (Linder 1995).

En ny typ av gödsling som kommit fram med ökat kretsloppstänkande är tillförsel av slam och avloppsvatten till vedartade växter. Det har visats tydliga positiva tillväxteffekter när man tillfört avloppsslam (t.ex. Labreque m.fl. 1995).

Ett speciellt fall utgör gödsling av alar eftersom de naturligt fixerar luftkväve och därmed kan förse sig själva med kväve. I svenska undersökningar med gråal gav tillförsel av kväve mycket liten positiv tillväxteffekt (Rytter m.fl. 1989, Granhall & Verwijst 1994). I finska studier minskade t.o.m. produktionen vid kvävegödsling (Saarsalmi, 1995). Enligt Bormann och Gordon (1989) är alodlingar ett av få odlingssystem med träd som kan anses vara självförsörjande med kväve.

En effekt av gödsling och förbättrad tillgänglighet av kväve, med tillhörande högre näringsstatus, är att plantor svarar bättre med ökad tillväxt på förhöjd CO₂-halt i luften (t.ex. Silvola & Ahlholm 1995, Zak m.fl. 2000).

Tabell 6. Exempel på hur tillförsel av kväverika gödselmedel i unga år påverkat produktionen av olika lövträdsarter. Siffrorna avser den relativa skillnaden jämfört med ogödslade kontrollbestånd

Trädslag	Gödslingseffekt (jämfört med kontroll)	Region
Hybridasp	+48 % i volym	Nordamerika (Einspahr & Wyckoff 1978)
Lövskogsplantager	+ 2-238 % i volym	Nordamerika (Shoulders & Wittwer 1979)
Asp	+ 128 % i vikt	Sverige (Nilsson & Wasielewski 1987)
Hybridpoppel	+ 35-270 % i vikt	Nordamerika (Hansen m.fl. 1988)
Vårtbjörk	+ 28-35 % i höjd	Baltikum (Daugaviete m.fl. 2003)

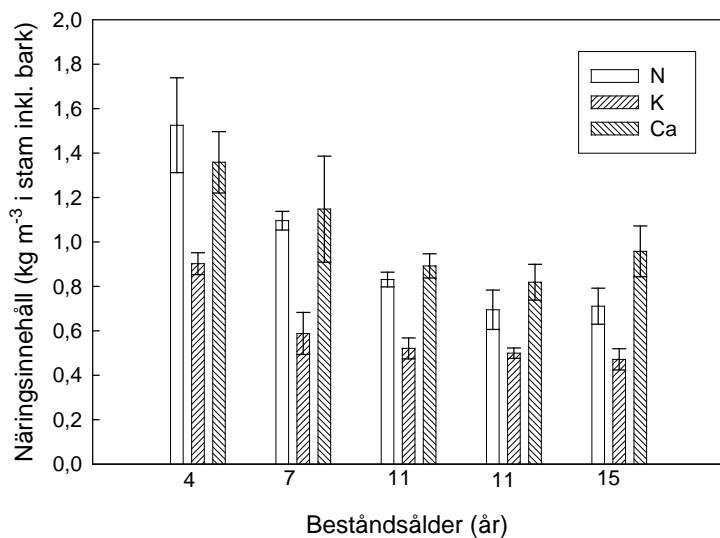
En intressant utveckling av gödslings- och förädlingsforskningen är att kombinera dessa båda discipliner och ta reda på gödslingsresponsen hos ett definierat förädlad material. Här finns möjligen ytterligare en tillväxtpotential att ta tillvara.

6.5 Uthållig produktion

Näring

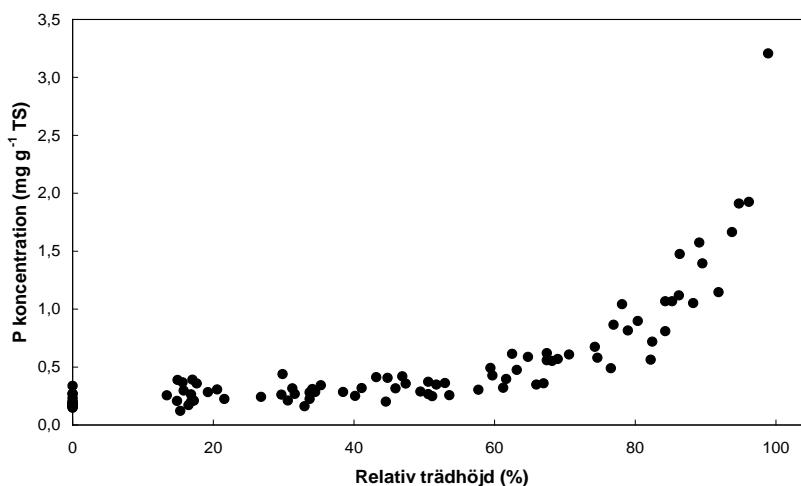
Näringsbehovet för skogar och plantager ökar med skötselintensiteten. Näringshushållningen kan förbättras genom att antingen tillföra näringsämnen eller minska uttaget av näring. Näringsuttaget kan minskas genom att undvika att skörda mycket unga bestånd, lämna kvar näringsrika träddeklar i beståndet, använda näringseffektiva arter och kloner, samt skörda vid en näringsmässigt gynnsam tidpunkt. Näringsförluster genom läckage kan minskas genom snabb etablering av den nya trädgenerationen efter skörd och genom att gödsla under perioder då träd och övrig vegetation snabbt förmår att ta upp näring. Det är särskilt viktigt att ta hänsyn till den näring som förs bort med skörden då uttag sker av biobränslen, grenar och toppar. Kunskap om näringsuttag, vittring och deposition innebär att man kan ha kontroll på näringsituationen, vilket underlättar att produktion blir uthållig.

Tillväxten är hög i snabbväxande lövträdsodlingar och medför att uttaget av näring vid skörd blir stort. Näringshalterna i såväl stam som grenar avtar dock med åldern, framförallt i unga år, då dimensionerna ökar och barkandelen avtar (Ericsson m.fl. 1992). Rytter (2002) fann att näringsinnehållet per m³ stamved minskade med åldern hos hybridasp, då dimensionerna ökade och barkandelen blev allt mindre (Figur 7). Näringshalterna i stamved och bark varierar även under säsongen. Eftersom en del av näringen i lövträdens blad retranslokeras till bark, gren- och stamved under hösten kommer näringskoncentrationen att öka under vinterhalvåret i dessa delar (t.ex. van den Driessche 1984, Alban 1985).



Figur 7. Koncentration av kväve, kalium och kalcium i hybridaspstammar, uttryckt som kg m^{-3} i stamved inklusive bark. Konfidsensintervall på 95 % signifikansnivå visas. Hämtad från Rytter (2002).

Näringskoncentrationen ökar även med stamhöjden (Figur 8), vilket avslöjar att näringskoncentrationen i grot är betydligt högre än i gagnvirket. Alban m.fl. (1978) beräknade att helträdsutnyttjande medförde ett näringsuttag som var två-tre gånger så stort som uttag av enbart stammar. Mann m.fl. (1988) uppmätte ett ungefär dubbelt så stort näringsuttag vid helträdsutnyttjande som vid enbart gagnvirkesuttag i såväl barr- som lövskog.



Figur 8. Ett exempel som visar hur fosforkoncentrationen i hybridaspstammar varierar med höjden i träden. Figuren avslöjar att de klenare sortimenten, här representerad av trädtoppen, innehåller avsevärt högre koncentrationer av näringsämnen än nedre delen av stammen. Figuren bygger på 15 provträd i ett 15-årigt bestånd där höjden varierade mellan 14 och 22 m. Från Rytter (2002).

Balansräkningar för snabbväxande hybridaspbestånd (Rytter 2002) pekar på att ett helträdsutnyttjande tär på näringsresursen för flera ämnen, vilka på lång sikt sannolikt behöver återföras. Miller (1995) visade via ett poppelförsök att skörd av lövträd under vintern istället för sommaren reducerade uttaget av kväve och fosfor med ungefär 35-40 % medan däremot kaliumuttaget ökade med ungefär 40 %. Olsson (1996) drog slutsatsen att biobränsleuttag inte kan bedrivas långsiktigt utan kompensatoriska

åtgärder för baskatjoner i gran- och tallskog. Näringsfattiga och torra marker är mest känsliga för bortförel av näring.

Skillnaderna i näringsuttag mellan lövträd och barrträd är inte helt klarlagda. Barrträds-grot medför uttag av näringsrika barr men lövträds-grot innehåller näring som återförs från bladen. Genomförda studier pekar på att näringskoncentrationerna är högre i lövträds- än i barrträdsstammar, men också att det totala återföringsbehovet är högre i barr- än i lövträdsbestånd (Shoulders & Wittwer 1979, Mann m.fl. 1988). Det är viktigt att få information om näringsuttagets storlek vid skörd för varje specifikt produktionssystem. Uttag av andra växtdelar än stammen medför en uppenbart ökad belastning på näringsreserven och på något sätt – vittring, deposition, askåterföring, gödsling – måste detta kompenseras för på sikt. För framtiden ser återföring av aska ut som ett av huvudalternativen för att bibehålla markens produktionspotential.

Grödan

Det finns även en vitalitetsfaktor hos grödan som gör att upprepad skörd kan ge lägre avkastning med tiden. Harrington och DeBell (1984) visade att stubbskottbildningen avtog med lägre produktion som följd i en studie med slamspridning i poppel (*P. trichocarpa*) och rödal (*A. rubra*) efter fyra stycken tvååriga omloppstider, oavsett slagivans storlek. Stiel och Berry (1986) rekommenderade minst 10 år mellan skördar för amerikansk asp om produktionen skall förbli uthållig. Willebrand m.fl. (1993) bedömde att 4-6-åriga omdrev var optimala för *Salix* i Sverige. Kortare omloppstider gav ofta lägre produktion med tiden. Hytönen och Issakainen (2001) undersökte glasbjörkens produktion vid varierande omloppstider. Studien omfattade omloppstider från 1 till 16 år och högsta medelproduktion erhöles med de längsta skördeintervallen. Auclair och Bouvarel (1992) kunde däremot inte se något åldrande hos stubbarna med lägre tillväxt som följd efter en 6-årig undersökning av hybridpoppel. Pontailier m.fl. (1999) undersökte produktionen hos hybridpoppel och poppel under fem stycken 2-års cykler och kunde inte heller se någon märkbar nedgång i stubbskottbildning och produktion. Den varierande känsligheten för olika omloppstider visar att det finns anledning att fortsätta med studier rörande uthållighet vid skogsodling.

6.6 Skötseffekter

Det har många gånger visats att ett högt stamantal ger hög produktion och stor stående biomassa. Även för lövträd är detta känt (t.ex. Smith & DeBell 1974). En stor del av förklaringen ligger i att täta bestånd har kortare perioder då de inte är slutna, dvs. då trädskronorna inte fullt ut tar hand om det inkommande ljuset, än glesare bestånd. Emellertid kan måttligt starka gallringar i täta bestånd ge lika mycket uttagbar vedbiomassa som i ogallrade bestånd (jfr Rytter 1995). Det har sedan länge noterats att det finns en gräns för hur täta förbanden kan vara vid olika storlek på träden. Funktioner har upprättats för detta och de går under namnet "självgallringslagen" (t.ex. Yoda m.fl. 1963, Gorham 1979, Perry 1985). Den linje som kan dras med hjälp av funktionerna visar hur många träd av en viss storlek som maximalt kan finnas i ett bestånd innan självgallring omöjliggör fler stammar. Olika trädslag har olika intercept och lutning eftersom t.ex. skuggtolerans och kronform varierar, men skillnaderna får ändå betraktas som små (Perry 1985). Dessutom tycks inte ståndortsförhållandena påverka funktionerna i någon märkbar omfattning. Man kan alltså "sköta" bestånd så att man ligger nära linjen men det går inte att passera den. Ju närmare man ligger desto mer biomassa finns i beståndet. Vid täta bestånd blir det således mer virke, men också mindre värdefullt virke p.g.a. klena dimensioner. Inom biobranslebranschen är sådana skötselssystem av stort intresse. Skottskogsbruket är ett odlingssystem som arbetar med mycket täta förband. Det gäller att anpassa tillväxt, beståndstäthet och omloppstid till varandra (t.ex. Verwijst 1991). Den kvantitativa tillväxteffekten av gödsling tycks dock avta för flera trädslag då beståndstätheten är hög (Ballard 1984).

6.7 Dimensioner och virkeskvalitet

Konkurrens om ljus påverkar både själva tillväxten hos individuella träd och hur tillväxten fördelas. Då beståndet närmar sig slutenhet reduceras trädens grentillväxt, kvistrensningen sätter igång och kronbasen hissas uppåt. Mäkinen (2002) har visat hur beståndstätheten påverkar grenutvecklingen och hur avdöendet av grenar sker för vårtbjörk. Kvistrensning har ansetts vara en nödvändig process i lövskogsskötseln för att skapa kvalitet på stammar. Emellertid har man sällan uppskattat storleken av den produktionsförlust som man får på de framtida enskilda stammarna av denna skötselstrategi. Rönjnings-/gallringsstudier i lövträdsbestånd har visat att man redan efter fem år ser signifikanta skillnader i diameter på de framtida stammarna beroende på skötselstrategi (Rytter & Stener 2005, Rytter & Werner 2007). Rice m.fl. (2001) redovisade på sex lokaler i Canada att stora diametervinster för asp korrelerade starkt med ökande avstånd mellan träden men samtidigt gav lägre totalproduktion. Cameron m.fl. (1995) visade att stark gallring gav en betydligt bättre diametertillväxt än svag eller ingen gallring i vårtbjörk. Samtidigt påverkades vedegenskaper och virkeskvalitet nästan inte alls. Miller (2000) visade liknande resultat för frihuggna träd kontra kontrollträd i unga lövträdsbestånd i Nordamerika. Niemistö (1995) fann att diametertillväxten på dominerande vårtbjörkar minskade om stamantalet översteg 1000 ha⁻¹ vid 20 års ålder. En vanlig tumregel är att den gröna kronan inte ska understiga 50 % av trädets höjd om man vill undvika tillväxtnedsättningar på enskilda lövträd (jfr Niemistö 1991, Rytter & Werner 1998).

Ett nytt rönjningskoncept, som visat sig både vara billigt och ge bättre kvalitet hos framtidsstammar än vanlig rönjning, är s.k. topprönjning (Fällman m.fl. 2003). Den innebär att man bryter av konkurrerande träd på lämplig höjd så att de inte konkurrerar med framtidsstammarna men samtidigt ger en beskuggning av deras nedre del. Ett annat sätt att komma tillrätta med en sämre kvistrensning då rönjning och gallring sker tidigt är att stamkvista de träd som ska stå kvar till slutet av omloppstiden. Det är viktigt att man inte avlägsnar för mycket av den gröna kronan eftersom det skulle påverka trädets tillväxt negativt. Många hävdar att värdet av gödslingsresponsen i gallrade bestånd är avsevärt större än i ogallrade eftersom den riktas till färre och större utvalda stammar (Ballard 1984).

7. Ny kunskap behövs

Forskningen kring lövträd och snabbväxande lövträdsplantager har genererat en stor mängd kunskap under årens lopp. Projekt om snabbväxande lövträd som bland annat finansierats av Energimyndigheten har lämnat ett bidrag till denna kunskapsbank. Men eftersom omfattningen av lövträdsforskningen, inte minst kring snabbväxande produktionsskogar, varit betydligt mindre än för våra vanligaste barrträdslag finns det fortfarande stora kunskapsluckor. Många mätserier har påbörjats men få har följt bestånd under hela omloppstider.

Plantor av framförallt hybridasp är dyra att producera. Ett viktigt steg är att göra dem billigare. För närvarande mikroförökas de, men det finns möjlighet att ta fram plantor via rotsticklingar, örtartade sticklingar och vedartade sticklingar. Detta behöver undersökas närmare.

En annan viktig fråga där kunskapen fortfarande är bristfällig är hur mycket lövträden reagerar på gödsling och bevattning, och hur man kan koppla ihop förädlingsvinster med gödslingsvinster. Det är också känt att naturliga lövträdsföryngringar ofta blir täta med stor stående biomassa. Biomassamängderna är emellertid inte särskilt väl kända och tekniken för att kunna ta om hand biomassan behöver testas. I vilken utsträckning gödsling, bevattning och omhändertagande av rönjningsvolymen kan förbättra ekonomin återstår att visa.

Skogsbruk måste vara uthålligt men vi har dålig kunskap om uthållighet som beror av grödan själv i bestånd som bygger på en föryngring med stubb- och rotskott. Hur ofta kan dessa bestånd skördas och hur många gånger? Samtidigt är dessa system kostnadseffektiva i föryngringsfasen och ger goda förutsättningar för lönsamhet.

Det finns således behov av att fortsätta utveckla skötselsystem för snabbväxande lövträd och samtidigt inhämta kunskap om dessa systems uthållighet och näringsbalanser.

Erkännande

Författarna riktar ett varmt tack till Lars Christersson och Lars-Göran Stener för värdefulla synpunkter på manuskriptet.

Referenser

- Alban, D.H. 1985. Seasonal changes in nutrient concentration and content of aspen suckers in Minnesota. *Forest Science* 31: 785-794.
- Alban, D.H., Perala, D.A. & Schlaegel, B.E. 1978. Biomass and nutrient distribution in aspen, pine, and spruce stands on the same soil type in Minnesota. *Canadian Journal of Forest Research* 8: 290-299.
- Albrektson, A. & Jäghagen, K. 1991. Aktuella skötselkalkyler. Åkerplantering - Föryngringsproblem - Kvalitetsröjning - Höggallring. SLU, Inst. f. skogsskötsel, Arbetsrapport nr 53, Umeå, 53 s.
- Almgren, G. 1990. *Lövskog. Björk, asp och al i skogsbruk och naturvård*. Skogsstyrelsen, Jönköping, 261 s.
- Anderson, R.L., Anderson, G.W. & Schipper, A.L. Jr 1979. *Hypoxylon canker of aspen*. *Forest Insect & Disease Leaflet* 6, USDA Forest Service, 5 pp.
- Attiwill, P.M. & Adams, M.A. 1993. Nutrient cycling in forests. *New Phytologist* 124: 561-582.
- Auclair, D. & Bouvarel, L. 1992. Influence of spacing and short rotations on *Populus trichocarpa* × *deltoides* coppice. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 541-548.
- Ballard, R. 1984. Fertilization of plantations. In: *Nutrition of Plantation Forests* (Bowen, G.D. & Nambiar, E.K.S., eds.), Academic Press, London, pp. 327-360.
- Bärring, U. 1988. On the reproduction of aspen (*Populus tremula* L.) with emphasis on its suckering ability. *Scandinavian Journal of Forest Research* 3: 229-240.
- Bella, I.E. & Hunt, K. 1973. Kraft pulping of young trembling aspen from Manitoba. *Canadian Journal of Forest Research* 3: 359-366.
- Bergez, J.-E., Auclair, D. & Bouvarel, L. 1989. First-year growth of hybrid poplar shoots from cutting or coppice origin. *Forest Science* 35: 1105-1113.
- Bergkvist, I. & Glöde, D. 2004. Stråkröjning – en metod med stor potential. Skogforsk, Resultat Nr 3 2004, Uppsala, 4 s.
- Bergkvist, I., Lundmark, T., Rytter, L. & Thor, M. 2006. Uttag av biobränslen i ungskog. Skogforsk, Arbetsrapport nr 611, Uppsala, 17 s.
- Bergstedt, A.E. 1981. Dyrkning af poppel. Statens forstlige Forsøgsvæsen, Danmark, 106 pp.
- Bergström, R. & Hjeljord, O. 1987. Moose and vegetation interactions in northwestern Europe and Poland. *Swedish Wildlife Research* 1 (Suppl.): 213-228.

- Beuker, E. 2000. Aspen breeding in Finland, new challenges. *Baltic Forestry* 6: 81-84.
- Bhat, K.M. 1980. Variation in structure and selected properties of Finnish birch wood: I. Interrelationships of some structural features, basic density and shrinkage. *Silva Fennica* 14: 384-396.
- Binkley, D. 1981. Nodule biomass and acetylene reduction rates of red alder and sitka alder on Vancouver Island, B. C. *Can. J. For. Res.* 11: 281-286.
- Björklund, T. & Ferm, A. 1982. Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. *Folia For.* 500, 37 pp. In Finnish with English summary.
- Blake, T.J., Sperry, J.S., Tschaplinski, T.J. & Wang, S.S. 1996. Water relations. In: *Biology of Populus and its implications for management and conservation* (eds. Stettler, R.F., Bradshaw Jr, H.D., Heilman, P.E. & Hinckley, T.). NRC research Press Ottawa, pp. 401-422.
- Bormann, B.T. & Gordon, J.C. 1989. Can intensively managed forest ecosystems be self-sufficient in nitrogen? *Forest Ecology and Management* 29: 95-103.
- Børset, O. & Langhammer, A. 1966. Vekst og produksjon i bestand av gråor (*Alnus incana*). *Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole* 45.24: 1-35.
- Børset, O. & Langhammer, A. 1967. Et 10-årig plantefelt av *Populus trichocarpa* (Hook.) i Ås. *Meddelelser fra Det Norske Skogforsøksvesen* 85(23): 41-65.
- Bowersox, T.W. & Ward, W.W. 1976. Growth and yield of close-spaced, young hybrid poplars. *Forest Science* 22: 449-454.
- Boysen, B. & Strobl, S. (eds.) 1991. *A Grower's Guide to Hybrid Poplar*. Ministry of Natural Resources, Ontario, 148 pp.
- Braastad, H., Bunkholt, A., Huse, K.J., Næss, R.M., Pettersen, J. & Risdal, M. 1993. *Lauvskog – Bestandspleie*. Norsk Institutt for Skogforskning, Institutt for Skogfag, Biri, 25 s.
- Braun, H.J. 1974. Rhythm and amount of growth, water consumption and water economy of tree species. *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung* 145: 81-86. På tyska, engelsk sammanfattning.
- Brolin, A., Norén, A. & Ståhl, E.G. 1995. Wood and pulp characteristics of juvenile Norway spruce: A comparison between a forest and an agricultural stand. *Tappi Journal* 78: 203-214.
- Cameron, A.D. 2002. Importance of early selective thinning in the development of long-term stand stability and improved log quality: a review. *Forestry* 75: 25-35.
- Cameron, A.D., Dunham, R.A. & Petty, J.A. 1995. The effects of heavy thinning on stem quality and timber properties of silver birch (*Betula pendula* Roth). *Forestry* 68: 275-285.
- Carnus, J.-M., Parrotta, J., Brockerhoff, E.G., Arbez, M., Jactel, H., Kremer, A., Lamb, D., O'Hara, K. & Walters, B. 2003. Planted forests and biodiversity. *IUFRO Occasional Paper* 15 Part II: 33-50.
- Christersson, L. 1996. Future research on hybrid aspen and hybrid poplar cultivation in Sweden. *Biomass & Bioenergy* 11: 109-113.
- Christersson, L. 2002. Cultivation of American poplars and aspen in Sweden – Potentials and some results. In: IEA, Bioenergy: Task 17 *Short-Rotation Crops for Energy Purpose* (eds. Christersson, L. & Kuiper, L.). Swed. Univ. Agric. Sci., Dept. Short Rotation Forestry, Rep. 70, Uppsala, pp. 36-39.

- Christersson, L. 2006. Biomass production of intensively grown poplars in the southernmost part of Sweden: Observations of characters, traits and growth potential. *Biomass and Bioenergy* 30: 497-508.
- Christersson, L. & Verwijst, T. 2006. Poppel. SLU, Inst. F. Växtproduktionsekologi, Rapport Nr 3, Uppsala, 74 s.
- Czapowskyj, M.M. & Safford, L.O. 1993. Site preparation, fertilization, and 10-year yields of hybrid poplar on a clearcut forest site in eastern Maine, USA. *New Forests* 7: 331-344.
- Dahlberg, A., Egnell, G., Bergh, J., Rytter, L. & Westling, O. 2006. Miljöeffekter av skogsbränsleuttag och askårföring i Sverige – En syntes av Energimyndighetens forskningsprogram 1997 till 2004. Energimyndigheten, Rapport ER2006:44, Eskilstuna, 211 pp.
- Daugaviete, M., Krūmiņa, M., Kāposts, V. & Lazdiņš, A. 2003. Farmland afforestation: the plantations of birch *Betula pendula* Roth. on different soils. *Baltic Forestry* 9: 9-21.
- DeBell, D.S., Singleton, R., Harrington, C.A. & Gartner, B.L. 2002. Wood density and fiber length in young *Populus* stems: relation to clone, age, growth rate, and pruning. *Wood and Fiber Science* 34: 529-539.
- De Chantal, M., Kuuluvainen, T., Lindberg, H & Vanha-Majamaa, I. 2005. Early regeneration of *Populus tremula* from seed after forest restoration with fire. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20 (Suppl.6): 33-42.
- Dickmann, D.I. & Kuzovkina, J. 2008. Poplars and willows in the world – chapter 2. Poplars and willows of the world, with emphasis on silviculturally important species. FAO, Forestry Department, International Poplar Commission Thematic Papers, Working Paper IPC/9-2, Rome, 134 pp.
- Dik, E.J., Timmer, W., van den Burg, J. & Faber, P.J. 1987. Dry-matter production of shoots of five poplar clones in a four-year rotation on former agricultural land. Proc. IUFRO Proj. Grp P1.09.00, *Integrated Research in Biomass for Energy*, Ljubljana, Yugoslavia, 1986. Swed. Univ. Agric. Sci., Sect. Energy Forestry, Uppsala, pp. 97-101.
- Einspahr, D.W. 1984. Production and utilization of triploid hybrid aspen. *Iowa State Journal of Research* 58: 401-409.
- Einspahr, D.W. & Wyckoff, G.W. 1975. Aspen hybrids promise future source of Lake States fiber. *Pulp and Paper* 49(12): 118-119.
- Einspahr, D.W. & Wyckoff, G. 1978. Growth response of hybrid aspen to intensive forest management. *Tappi* 61: 49-52.
- Elfving, B. 1986a. Odlingvärdet av björk, asp och al på nedlagd jordbruksmark i Sydsverige. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 5/86: 31-41.
- Elfving, B. 1986b. Ett försök med åkerplantering av hybridasp och gran nära Sundsvall. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 5/86: 43-45.
- Elowson, S. & Rytter, L. 1993. Spatial distribution of roots and root nodules and total biomass production in a grey alder plantation on sandy soil. *Biomass and Bioenergy* 5: 127-135.
- Ericsson, T. & Lindsjö, I. 1981. Tillväxtens pH-beroende hos några energiskogsarter. SLU, Projekt ESO, Teknisk Rapport 11, Uppsala, 7 s.

- Ericsson, T., Rytter, L. & Linder, S. 1992. Nutritional dynamics and requirements of short rotation forests. In: *Ecophysiology of Short Rotation Forest Crops* (Mitchell, C.P., Ford-Robertson, J.B., Hinckley, T. & Sennerby-Forsse L., eds.), Elsevier Appl. Sci., London, pp. 35-65.
- Eriksson, H. 1976. Granens produktion i Sverige. Skogshögskolan, Inst. f. skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser Nr 41, Stockholm, 291 s.
- Eriksson, H. 1984. Yield of aspen and poplars in Sweden. Swed. Univ. Agric. Sci., Dept. Ecol. & Environ. Res., Report 15, Uppsala, s. 393-419.
- Eriksson, L. 1991. Ekonomin vid åkermarksplantering. SLU, Inst. f. Skog-Industri-Marknad Studier (SIMS), Rapport nr 17, Uppsala, 141 s.
- Eriksson, P. & Rytter, L. 2000. Bränsleuttag med drivare – ett alternativ till sen röjning i lövbestånd, SkogForsk, Resultat Nr 4/2000, Uppsala, 4 s.
- Fällman, K., Ligné, D., Karlsson, A. & Albrektson, A. 2003. Stem quality and height development in a *Betula*-dominated stand seven years after precommercial thinning at different stump heights. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 145-154.
- Ferm, A. 1985. Variation in the water content and basic density of small-sized pubescent birch (*Betula pubescens*) stems on peatland. *Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja* 206, 19-39. In Finnish.
- Fernandez, M.P., Breuil, C. & Watson, P.A. 2002. Natural clonal variation of wood extractives in *Populus tremuloides*. *Can. J. For. Res.* 32: 1192-1199.
- Flower-Ellis, J.G.K. & Olsson, L. 1981. Wood density and the weight and proportion of bark in current shoots of *Salix* clones. Swed. Univ. Agric. Sci., Energy Forestry Project, Technical Report 18, Uppsala, 31 pp.
- Frivold, L.H. 1994. *Trær i kulturlandskapet*. Landbruksforlaget, Oslo, 224 s.
- Genssler, H. 1986. 50 years of poplar cultivation in the forest district of the Arenberg-Bordkirchen GmbH – an economical and ecological review. *Die Holzzucht* 40(3/4): 21-26. In German with English summary
- Geyer, W.A. 1981. Growth, yield, and woody biomass characteristics of seven short-rotation hardwoods. *Wood Science* 13: 209-215.
- Gorham, E. 1979. Shoot height, weight and standing crop in relation to densing of monospecific plant stands. *Nature* 279: 148-150.
- Granhall, U. & Verwijst, T. 1994. Grey alder (*Alnus incana*) - a N₂-fixing tree suitable for energy forestry. In: *Biomass for Energy and Industry* (Hall, D.O., Grassi, G. & Scheer, H., eds.), 7th EC Conf., Ponte Press, Bochum, Germany, pp. 409-413.
- Grosscurth, W. 1972. Standortsansprüche und Sortenwahl von Pappeln der Sektion *Aegeiros*, *Leuce* und *Tacamahaca*. *Die Holzzucht* 26 (3/4): 21-30.
- Hakkila, P. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 61.5: 1-98.
- Hakkila, P. 1971. Basic density, bark percentage and dry matter content of grey alder (*Alnus incana*). *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 71.5: 1-32.

- Hansen, E.A., McLaughlin, R.A. & Pope, P.E. 1988. Biomass and nitrogen dynamics of hybrid poplar on two different soils: implications for fertilization strategy. *Canadian Journal of Forest Research* 18: 223-230.
- Harrington, C.A. & DeBell, D.S. 1984. Effects of irrigation, pulp mill sludge, and repeated coppicing on growth and yield of black cottonwood and red alder. *Canadian Journal of Forest Research* 14: 844-849.
- Hasselgren, K. 2001. Recycling of municipal waste products in *Salix* plantations. *J. Swed. Seed Assoc.* 111(2): 73-83. (In Swedish, English Summary)
- Haugberg, M. 1958. Produksjonsoversikter for osp. Foreløpig rapport. *Meddelelser fra Det Norske Skogforsøksvesen* 15: 143-186.
- Haveraaen, O. 1991. Osp i norsk skogbruk. SLU, Skogsfakta, Konferens 15, Uppsala, pp. 88-93.
- Heilman, P. & Stettler, R.F. 1983. Phytomass production in young mixed plantations of *Alnus rubra* (Bong.) and cottonwood in western Washington. *Canadian Journal of Microbiology* 29: 1007-1013.
- Heilman, P. & Stettler, R.F. 1990. Genetic variation and productivity of *Populus trichocarpa* and its hybrids. IV. Performance in short-rotation coppice. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 1257-1264.
- Hendrickson, O.Q., Fogal, W.H. & Burgess, D. 1991. Growth and resistance to herbivory in N₂-fixing alders. *Canadian Journal of Botany* 69: 1919-1926.
- Hendrickson, O.Q., Burgess, D., Perinet, P., Tremblay, F. & Chatapaul, L. 1993. Effects of *Frankia* on field performance of *Alnus* clones and seedlings. *Plant and Soil* 150: 295-302.
- Hennessey, T.C., Lorenzi, E.M. & McNew, R.W. 1988. Stomatal conductance and growth of five *Alnus glutinosa* clones in response to controlled water stress. *Canadian Journal of Forest Research* 18: 421-426.
- Hinckley, T.M., Ceulemans, R., Dunlap, J.M., Figliola, A., Heilman, P.E., Isebrands, J.G., Scarascia-Mugnozza, G., Schulte, P.J., Smit, B., Stettler, R.F., Van Volkenburgh, E. & Wiard, B.M. 1989. Physiological, morphological and anatomical components of hybrid vigor in *Populus*. In: *Structural and Functional Responses to Environmental Stresses* (Kreeb, K.H., Richter, H. & Hinckley, T.M. eds.), SPB Acad. Publ., The Hague, pp 199-217.
- Hjältén, J. & Palo, T. 1992. Selection of deciduous trees by free ranging voles and hares in relation to plant chemistry. *Oikos* 63: 477-484.
- Hugosson, T., Rytter, L. & Werner, M. 2004. Åkerplanteringar med hybridasp har klarat sig bra! Skogforsk, Resultat nr 14, Uppsala, 4 s.
- Hytönen, J. & Issakainen, J. 2001. Effect of repeated harvesting on biomass production and sprouting of *Betula pubescens*. *Biomass and Bioenergy* 20: 237-245.
- Hytönen, J., Saarsalmi, A. & Rossi, P. 1995. Biomass production and nutrient uptake of short-rotation plantations. *Silva Fennica* 29: 117-139.
- Ilstedt B. 1996. Genetics and performance of Belgian poplar clones tested in Sweden. *Forest Genetics* 3 (4): 183-195. Department of forest genetics, SLU Uppsala Sverige.

- Ilstedt, B. & Gullberg, U. 1993. Genetic variation in a 26-year old hybrid aspen trial in southern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 8: 185-192.
- Ingestad, T. 1991. Nutrition and growth of forest trees. *Tappi J.* 74, 55-62.
- Jacobson, S. 2001. Fertilization to increase and sustain tree growth in coniferous stands in Sweden. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 217 Diss., Uppsala, 34 pp.
- Jakobsen, B. 1976. Hybridasp (*Populus tremula* L. x *Populus tremuloides* Michx.). Det Forstlige Forsøgsvæsen i Danmark 34: 317-338.
- Jäghagen, K. 1999. Kalkylhandbok. SLU, Umeå, 50 s.
- Johansson, T. 1992. Production of forest fuelwood in hardwood stands growing on former farmland. In: *Forest Energy Production from Conventional Forestry Systems on a Small Scale* (Johansson, T., ed.), Swed. Univ. Agric. Sci., Dept. For. Yield Res., Report No. 33, pp. 27-35.
- Johansson, T. 1996. Site index curves for European aspen (*Populus tremula* L.) growing on forest land of different soils in Sweden. *Silva Fennica* 30: 437-458.
- Johansson, T. 1999a. Biomass production of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) growing on abandoned farmland. *Silva Fennica* 33: 261-280.
- Johansson, T. 1999b. Dry matter amounts and increment in 21- to 91-year-old common alder and grey alder and some practical implications. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1679-1690.
- Johansson, T. 1999c. Site index curves for common alder and grey alder growing on different types of forest soil in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 441-453.
- Johansson, T. 2002. Increment and biomass in 26- to 91-year-old European aspen and some practical implications. *Biomass and Bioenergy* 23: 245-255.
- Johansson, T. & Karlsson, K. 1988. Yield of 30-year-old Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), planted on farm land in southern and central Sweden, and recommendations for planting Norway spruce on farm land. Dept of For. Yield Res., Swed. Univ. of Agric. Sci., Uppsala. Report 21.
- Johnsson, H. 1953. Hybridaspens ungdomsutveckling och ett försök till framtidsprognos. *Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift* 51: 73-96.
- Johnsson, H. 1976. Das Produktionspotential der Hybridasp (*Populus tremula* x *tremuloides*) in Südschweden. *Die Holzzucht* 11/76: 19-22.
- Jonsson, S. & Möller, G. 1975. Björkens reaktion på kvävegödsling. *Föreningen Skogsträdsförädling & Institutet för Skogsförbättring*, Årsbok 1975, Uppsala, s. 103-144.
- Karačić, A. 2005. Production and ecological aspects of short rotation poplars in Sweden. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Doctorial Thesis No. 2005:13, Uppsala, 42 pp.
- Karačić, A., Verwijst, T. & Weih, M. 2003. Above-ground woody biomass production of short-rotation *Populus* plantations on agricultural land in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 427-437.

- Kärkkäinen, M. 1982. Results on sawing pruned pines. *Folia Forestalia* 520: 1-19. På finska, engelsk sammanfattning.
- Karlsson, A. 1996. Site preparation of abandoned fields and early establishment of naturally and direct-seeded birch in Sweden. *New Forests* 23: 159-175.
- Karlsson, A. 2002. Site preparation of abandoned fields and early establishment of planted small-sized seedlings of silver birch. *New Forests* 23: 159-175.
- Karlsson, A., Albrektson, A., Forsgren, A. & Svensson, L. 1998. An analysis of successful natural regeneration of downy and silver birch on abandoned farmland in Sweden. *Silva Fennica* 32: 229-240.
- Karlsson, B., Werner, M. & Almgren, G. 1987. Trädslagsmeny för sydsvensk jordbruksmark. Inst. f. skogsförbättring & Dalby plantskola, Svalöv, 13 s.
- Karlsson, B., Werner, M. & Stener, L.-G. 1996. Resultat från två klonförsök med poppel. SkogForsk, Arbetsrapport nr 319, Uppsala, 11 s.
- Kleinschmit, J. 2000. Tree breeding and plantations in Europe: A regional situation report. IUFRO WP 2.02.00 & 2.08.00 meeting in Kuala Lumpur, Malaysia, Aug. 2000, 9 pp.
- Kommissionen mot oljeberoende 2006. *På väg mot ett oljefritt Sverige*. Kommissionen mot oljeberoende, Stockholm, 45 s.
- Korsmo, H. 1995. Weight equations for determining biomass fractions of young hardwoods from natural regenerated stands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 10: 333-346.
- Kozlowski, T.T. 1986. Soil aeration and growth of forest trees (review article). *Scandinavian Journal of Forest Research* 1: 113-123.
- Kozlowski, T.T. 1999. Soil compaction and growth of woody plants. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 596-619.
- Labrecque, M., Teodorescu, T.I. & Daigle, S. 1995. Effect of wastewater sludge on growth and heavy metal bioaccumulation of two *Salix* species. *Plant and Soil* 171: 303-316.
- Langhammer, A. 1973. Et forsøk med hybridosp i Norge. *Meldinger fra Norges landbrukshøgskole* 52(9): 1-36.
- Langhammer, A. & Opdahl, H. 1990. Foryngelse og pleie av osp (*Populus tremula* L.) i Norge. Norsk institutt for skogforskning, Rapport 1/90, Ås, 22 s.
- Larsson, S. 2001 *Salix*. *J. Swed. Seed Assoc.* 114: 129-132.
- Latva-Karjanmaa, T., Suvanto, L., Leinonen, K. & Rita, H. 2003. Emergence and survival of *Populus tremula* seedlings under varying moisture conditions. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 2081-2088.
- Laureysens, I., Bogaert, J., Blust, R. & Ceulemans, R. 2004. Biomass production of 17 poplar clones in a short-rotation coppice culture on a waste disposal site and its relation to soil characteristics. *Forest Ecology and Management* 187: 295-309.
- Ledin, S. 1996. Willow wood properties, production and economy. *Biomass & Bioenergy* 11: 75-83.

- Lee, D.K. 1988. Leaf biomass yield and coppice growth of poplar hybrids. Swed. Univ. Agric. Sci., Energy For. Proj., Rep. 44, Uppsala, 21 pp.
- Libäck, K. 1988. Ekonomisk jämförelse av olika trädslag. *Skogen* 6-7: 13.
- Lieseback, M., von Wuehlisch, G. & Muhs, H.-J. 1999. Aspen for short-rotation coppice plantations on agricultural sites in Germany: Effects of spacing and rotation time on growth and biomass production of aspen progenies. *Forest Ecology and Management* 121: 25-39.
- Linder, S. 1995. Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in Norway spruce. *Ecological Bulletins* 44: 178-190.
- Lindroth, A. & Halldin, S. 1988. Vattenförbrukning och bevattningsbehov vid energiskogsodling i Götaland och Svealand. *Vatten* 44: 44-53.
- Ljunger, Å. 1959. Al och alförädling. *Skogen* 5: 1-7.
- Ljunger, Å. 1972. Artkorsning och polyploidförädling inom släktet *Alnus*. Skogshögskolan, Inst. f. Skogsgenetik, Stockholm, 71 s.
- Lõhmus, K., Mander, Ü., Tullus, H. & Keedus, K. 1996. Productivity, buffering capacity and resources of grey alder forests in Estonia. Swed. Univ. Agric. Sci., Dept. Short Rotation Forestry, Rep. 57, Uppsala, pp. 95-105.
- Lönner, G. & Parikka, M. 1989. Economic potential of intensively cultivated energy forests in Sweden. *Modelling of Energy Forestry* (eds. K.L. Perttu & P.J. Kowalik), Pudoc, Wageningen, pp. 165-180.
- Lothner, D.C. 1986. Dollars and sense: Fertilization of intensively cultured plantations. IEA/ENFOR/OMNR Joint Rep. 1986:2: 99-109.
- Lu, E.-Y. & Sucoff, E.I. 2001. Responses of *Populus tremuloides* seedlings to solution pH and calcium. *Journal of Plant Nutrition* 24: 15-28.
- Luoranen, J., Rikala, R. & Smolander, H. 2003. Root egress and field performance of actively growing *Betula pendula* container seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 133-144.
- Luoranen, J., Lappi, J., Zhang, G. & Smolander, H. 2006. Field performance of hybrid aspen clones planted in summer. *Silva Fennica* 40: 257-269.
- MacPherson, D.M., Lieffers, V.J. & Blenis, P.V. 2001. Productivity of aspen stands with and without a spruce understory in Alberta's boreal mixedwood forests. *The Forestry Chronicle* 77: 351-356.
- Makeschin, F., Rehfuss, K.E., Rüschi, I. & Schörry, R. 1989. Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb auf ehemaligem Acker: Standortliche Voraussetzungen Nährstoffversorgung, Wuchsleistung und bodenökologische Auswirkungen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 108: 125-143.
- Mäkinen, H. 2002. Effect of stand density on the branch development of silver birch (*Betula pendula* Roth) in central Finland. *Trees* 16: 346-353.
- Mälkönen, E. 1977. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. *Commun. Inst. For. Fenn.* 91.5, 35 pp.

- Mann, L.K., Johnson, D.W., West, D.C., Cole, D.W., Hornbeck, J.W., Martin, C.W., Riekerk, H., Smith, C.T., Swank, W.T., Tritton, L.M. & Van Lear, D.H. 1988. Effects of whole-tree and stem-only clearcutting on postharvest hydrologic losses, nutrient capital, and regrowth. *Forest Science* 34: 412-428.
- Marron, N., Gielen, B., Brignolas, F., Jian, G., Johnson, J.D., Karnosky, D.F., Polle, A., Scarascia-Mugnozza, G., Schroeder, W.R. & Ceulemans, R. 2008. *Poplars and willows in the world – chapter 7. Abiotic stresses*. FAO, Forestry Department, International Poplar Commission Thematic Papers, Working Paper IPC/9-7, Rome, 84 pp.
- Marshall, J.D. & Zhang, J. 1994. Carbon isotope discrimination and water-use efficiency in native plants of the North Central Rockies. *Ecology* 75: 1887-1895.
- Mátyás, C. & Peszlen, I. 1997. Effect of age on selected wood quality traits of poplar clones. *Silvae Genetica* 46: 64-72.
- Mejnartowicz, L. 1982. Morphology and growth of *Alnus incana* × *glutinosa* F1 hybrids. *Arboretum Kórnickie* 26: 15-29.
- Miettinen, L. 1932. Untersuchungen über den Zuwachs der Weissenerlenbestände. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 18.1: 1-100. På finska, tysk sammanfattning.
- Miller, G.W. 2000. Effect of crown growing space on the development of young hardwood crop trees. *Northern Journal of Applied Forestry* 17: 157-167.
- Miller, H.G. 1995. The influence of stand development on nutrient demand, growth and allocation. *Plant and Soil* 168-169: 225-232.
- Mitchell, C.P., Sennerby-Forsse, L. & Zsuffa, L. 1988. Biomass qualities and potential for genetic improvement in poplars and willows. *Biomass* 17: 21-37.
- Moffat, A.J., Armstrong, A.T. & Ockleston, J. 2001. The optimisation of sewage sludge and effluent disposal on energy crops of short rotation hybrid poplar. *Biomass and Bioenergy* 20: 161-169.
- Mohn, C.A. & Randall, W.K. 1971. Inheritance and correlation of growth characters in *Populus deltoides*. *Silvae Genetica* 20: 182-184.
- Möller, G. & Rytterstedt, P. 1974. Gödslingsseffektens varaktighet och förlopp hos tall och gran. *Föreningen Skogsträdsförädling & Institutet för Skogsförbättring, Årsbok 1974, Uppsala, s. 75-97.*
- Nagoda, L. 1968. Volumvekt og vanninnhold hos gråor (*Alnus incana*). *Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole* 47(13), Ås, 9 s.
- Nagoda, L. 1981. Fysiske egenskaper hos osp (*Populus tremula* L.). *Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole* 60(7), Ås, 192 s.
- Näsholm, T., Nohrstedt, H.-Ö., Kårén, O., Kytö, M. & Björkman, C. 2000. How are forest trees affected? In: *Effects of Nitrogen Deposition on Forest Ecosystems* (Bertills, U. & Näsholm, T., eds.), Swedish Environmental Protection Agency, Report 5067, Stockholm, pp. 53-75.
- Nepveu, G. & Velling, P. 1983. Individual genetic variability of wood quality in *Betula pendula*. *Folia Forestalia* 575: 1-21. På finska, engelsk sammanfattning.

Neuman, D.S., Wagner, M., Braatne, J.H. & Howe, J. 1996. Stress physiology - abiotic. In: *Biology of Populus and its implications for management and conservation* (eds. Stettler, R.F., Bradshaw Jr, H.D., Heilman, P.E. & Hinckley, T.). NRC research Press Ottawa, pp. 423-458.

Niemistö, P. 1991. Growing density and thinning models for *Betula pubescens* stands on peatland in northern Finland. *Folia Forestalia* 782: 1-36. På finska, engelsk sammanfattning.

Niemistö, P. 1995. Influence of initial spacing and row-to-row distance on the growth and yield of silver birch (*Betula pendula*). *Scandinavian Journal of Forest Research* 10: 245-255.

Nilsson, L.O. & Wasielewski, D. 1987. Influence of fertilization in a natural *Populus tremula* stand. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2: 343-348.

Olson, J.R., Jourdain, C.J. & Rousseau, R.J. 1985. Selection for cellulose content, specific gravity, and volume in young *Populus deltoides* clones. *Canadian Journal of Forest Research* 15: 393-396.

Olsson, M. 1996. Långsiktiga näringsbalanser vid uttag av skogsbränsle. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 135(13): 37-44.

Opdahl, H. 1992. Bonitet, vekst og produksjon hos osp (*Populus tremula* L.) i Sør-Norge. *Meddelelser fra Skogforsk* 44.11: 1-44.

Opdahl, H. & Veidahl, A. 1993. Gråor – produksjon og økonomi. *Aktuelt fra Skogforsk* 5-93: 7-10, NISK & NLH, Ås, Norge.

Övergaard, R. 1980. Klibbalens produktion i Malmöhus län. SLU, Skogsmästarskolan, Examensarbete, Skinnskatteberg, 73 s.

Ovington, J.D. & Madgwick, H.A.I. 1959. The growth and composition of natural stands of birch. 1. Dry-matter production. *Plant and Soil* 10: 271-283.

Pallardy, S.G. & Kozlowski, T.T. 1981. Water relations of *Populus* clones. *Ecology* 62: 159-169.

Parfitt, R.I. & Stott, K.G. 1987. The effects of nitrogen, phosphorus and potassium levels on the productivity of 13 willow clones. In: *Biomass for Energy and Industry* (Grassi, G., Delmon, B., Molle, J.-F. & Zibetta, H., eds.), Proc. 4th EC Conf., Orleans, France, pp 546-550.

Perala, D.A. 1979. Regeneration and productivity of aspen grown on repeated short rotations. USDA Forest Service, Research Paper NC-176, North Central Forest Experiment Station, St Paul, MN, 7 pp.

Perala, D.A., Host, G.E., Jordan, J.K. & Cieszewski, C.J. 1996. A multiproduct growth and yield model for the circumboreal aspens. *Northern Journal of Applied Forestry* 13: 164-170.

Perry, D.A. 1985. The competition process in forest stands. In: *Attributes of Trees as Crop Plants* (Cannell, M.G.R. & Jackson, J.E., eds.), Titus Wilson & Son, Kendal, Cumbria, pp. 481-506.

Persson A. 1973. Ett försök med snabbväxande *Populus*-arter. Rapporter och Uppsatser Nr 27. Institutionen för Skogsproduktion. Skogshögskolan, Stockholm, Sverige.

Persson, T. 1996. Lövskog i Sydsverige. Södra skog, Region Syd, Kristianstad, 16 s.

Perttu, K.L. 1993. Biomass production and nutrient removal from municipal wastes using willow vegetation filters. *Journal of Sustainable Forestry* 1: 57-70.

- Perttu, K. 1996 Willow vegetation filters: principles, results and economy. Swed. Univ. Agric. Sci., Dept. Short Rotation Forestry, Rep. 57, Uppsala, pp. 149-157.
- Petrini, S. 1945. Tre försöksytor i aspskog. *Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt* 34: 309-325.
- Pitt, D., Weingartner, D. & Greifenhagen, S. 2001. Precommercial thinning of trembling aspen in northern Ontario: Part 2 – Interactions with *Hypoxylon* canker. *The Forestry Chronicle* 77(5): 902-910.
- Pontailleur, J.Y., Ceulemans, R. & Guittet, J. 1999. Biomass yield of poplar after five 2-year coppice rotations. *Forestry* 72: 157-163.
- Prégent, G. & Camiré, C. 1985. Biomass production by alders on four abandoned agricultural soils in Québec. *Plant and Soil* 87: 185-193.
- Rice, J.A., MacDonald, G.B. & Weingartner, D.H. 2001. Precommercial thinning of trembling aspen in northern Ontario: Part 1 – Growth responses. *The Forestry Chronicle* 77: 893-901.
- Rogers, D.L., Stettler, R.F. & Heilman, P.E. 1989. Genetic variation and productivity of *Populus trichocarpa* and its hybrids. III. Structure and pattern of variation in a 3-year field test. *Canadian Journal of Forest Research* 19: 372-377.
- Ruark, G.A. & Bockheim, J.G. 1988. Biomass, net primary production, and nutrient distribution for an age sequence of *Populus tremuloides* ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research* 18: 435-443.
- Rytter, L. 1995. Effects of thinning on the obtainable biomass, stand density, and tree diameters of intensively grown grey alder plantations. *Forest Ecology and Management* 73: 135-143.
- Rytter, L. 1996. Grey alder in forestry: a review. *Norwegian J. Agric. Sci., Suppl.* 24: 61-78.
- Rytter, L. 1998. *Löv- och lövblandbestånd – ekologi och skötsel*. SkogForsk, Redogörelse nr 8 1998, Uppsala, 62 s.
- Rytter, L. 2002. Nutrient content in stems of hybrid aspen as affected by tree age and tree size, and nutrient removal with harvest. *Biomass and Bioenergy* 23: 13-25.
- Rytter, L. 2004. Produktionspotential hos asp, björk och al – en litteraturstudie över möjligheter till och konsekvenser av biomassa- och gagnvirkesuttag. Skogforsk, Redogörelse nr 4, Uppsala, 62 s.
- Rytter, L. 2006. A management regime for hybrid aspen stands combining conventional forestry techniques with early biomass harvests to exploit their rapid early growth. *Forest Ecology and Management* 236: 422-426.
- Rytter, L. & Jansson, G. 200X. Pruning of hybrid aspen for improved wood quality. manuskript
- Rytter, L. & Stener, L. 2003. Clonal variation in nutrient content in woody biomass of hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *P. tremuloides* Michx.). *Silva Fennica* 37: 313-324.
- Rytter, L. & Stener, L.-G. 2005. Productivity and thinning effects in hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *P. tremuloides* Michx.) stands in southern Sweden. *Forestry* 78: 285-295.
- Rytter, L. & Werner, M. 1998. *Lösam lövskog – steg för steg*. SkogForsk,Handledning, Uppsala, 43 s.

- Rytter, L. & Werner, M. 2007. Influence of early thinning in broadleaved stands on development of remaining stems. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22: 198-210.
- Rytter, L., Slapokas, T. & Granhall, U. 1989. Woody biomass and litter production of fertilized grey alder plantations on a low-humified peat bog. *Forest Ecology and Management* 28: 161-176.
- Rytter, L., Sennerby-Forsse, L. & Alriksson, A. 2000. Natural regeneration of grey alder (*Alnus incana* [L.] Moench.) stands after harvest. *Journal of Sustainable Forestry* 10: 287-294.
- Rytter, L., Stener, L.-G. & Werner, M. 2002. Hybridasp – ett lönsamt alternativ som passar i det nya skogsbruket. SkogForsk, Resultat nr 10, Uppsala, 4 s.
- Rytter, L., Ericsson, T. & Rytter, R.-M. 2003. Effects of demand-driven fertilization on nutrient use, root:plant ratio and field performance of *Betula pendula* and *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 401-415.
- Rytter, L., Karlsson, A., Karlsson, M. & Stener, L.-G. 2008. *Skötsel av björk, al och asp*. Skogsstyrelsen, Skogsskötselserien nr 9, Jönköping, 122 s.
- Saarsalmi, A. 1995. Nutrition of deciduous tree species grown in short rotation stands. Diss., University of Joensuu, Faculty of Forestry, Joensuu, 60 pp.
- Saarsalmi, A. & Mälkönen, E. 1989. Biomass production and nutrient consumption in *Alnus incana* stands. *Folia Forestalia* 728: 1-16. På finska, engelsk sammanfattning.
- Saarsalmi, A., Palmgren, K. & Levula, T. 1985. Biomass production and nutrient and water consumption in an *Alnus incana* plantation. *Folia Forestalia* 628: 1-24. På finska, engelsk sammanfattning.
- Saarsalmi, A., Palmgren, K. & Levula, T. 1991. Biomass production and nutrient consumption of the sprouts of *Alnus incana*. *Folia Forestalia* 768: 1-25. På finska, engelsk sammanfattning.
- Saarsalmi, A., Palmgren, K. & Levula, T. 1992. Biomass production and nutrient consumption of *Alnus incana* and *Betula pendula* in energy forestry. *Folia Forestalia* 797: 1-29. På finska, engelsk sammanfattning.
- Scarascia-Mugnozza, G.E., Ceulemans, R., Heilman, P.E., Isebrands, J.G., Stettler, R.F. & Hinckley, T.M. 1997. Production physiology and morphology of *Populus* species and their hybrids grown under short rotation. II. Biomass components and harvest index of hybrid and parental species clones. *Canadian Journal of Forest Research* 27: 285-294.
- Seiler, J.R. & McCormick, L.H. 1982. Effects of soil acidity and phosphorus on the growth and nodule development of black alder. *Canadian Journal of Forest Research* 12: 576-581.
- Shoulders, E. & Wittwer, R.F. 1979. Fertilizing for high fiber yield in intensively managed plantations. Proc. *Impact of Intensive Harvesting on Forest Nutrient Cycling*, State Univ. N.Y., Syracuse, pp. 343-359.
- Sikström, U., Nohrstedt, H.-Ö., Pettersson, F. & Jacobson, S. 1998. Stem-growth response of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* to nitrogen fertilization as related to needle nitrogen concentration. *Trees* 12: 208-214.

- Silvola, J. & Ahlholm, U. 1995. Combined effects of CO₂ concentration and nutrient status on the biomass production and nutrient uptake of birch seedlings (*Betula pendula*). *Plant and Soil* 168-169: 505-511.
- Skogshögskolan 1970. Ved- och massaegenskaper hos björk - En orienterande undersökning. Skogshögskolan, Inst. f. skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser Nr 18, Stockholm, 55 s.
- Skogsstyrelsen 2008. *Skogsstatistisk årsbok 2008*. Skogsstyrelsen, Jönköping, 337 s.
- Smidt, M.F. & Blinn, C.R. 2002. Harvest caused soil disturbance decreased suckering capacity of quaking aspen (*Populus tremuloides* Michx.) following growing season harvests in Minnesota, USA. *Forest Ecology and Management* 163: 309-317.
- Smith, J.H.G. & DeBell, D.S. 1974. Some effects of stand density on biomass of red alder. *Canadian Journal of Forest Research* 4: 335-340.
- Sonesson, J., Albrektson, A. & Karlsson, A. 1994. Björkens produktion på nedlagd jordbruksmark i Götaland och Svealand. SLU, Inst. f. skogsskötsel, Arbetsrapport Nr 88, Umeå, 31 s.
- Ståål, E. 1986. *Eken i skogen och landskapet*. Södra Skogsägarna, Växjö och Karlshamn, 127 s.
- Steineck, F. 2003. Tidig gallring i eftersatta lövbestånd med ackumulerande energiskördare. Sydved Energileveranser, distrikt Syd, Vittsjö, 10 s.
- Steinhilb, H.M. & Erickson, J.R. 1970. Weights and centers of gravity for quaking aspen trees and boles. USDA For. Serv., Res. Note NC-91, 4 pp. St. Paul, Minnesota.
- Stener, L.-G. 1998. Analys av fiberegenskaper för kloner av hybridasp. SkogForsk, Arbetsrapport nr 387, Uppsala, 11 s.
- Stener, L.-G. 2004. Resultat från sydsvenska klontester med poppel. Skogforsk, Arbetsrapport nr 571, Uppsala, 27 s.
- Stener, L.-G. 2007. Utvärdering av sydsvenska avkommeförsök med klibbal. Skogforsk, Arbetsrapport nr 649, Uppsala, 43 s.
- Stener, L.-G. & Hedenberg, Ö. 2003. Genetic parameters of wood, fibre, stem quality and growth traits in a clone test with *Betula pendula*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 103-110.
- Stener, L.-G. & Karlsson, B. 2004. Improvement of *Populus tremula* × *P. tremuloides* by phenotypic selection and clonal testing. *For. Genet.* 11: 13-27.
- Stiell, W.M. & Berry, A.B. 1986. Productivity of short-rotation aspen stands. *The Forestry Chronicle* 2/86: 10-15.
- Sveriges Skogsvårdsförbund 1994. *Praktisk Skogshandbok*. 14:e uppl., Sv. Skogsv. förb., Djursholm. 510 pp.
- Tamminen, Z. 1970. Fuktighet, volymvikt, m.m. hos ved och bark – III. Björk. Skogshögskolan, Inst. f. virkeslära, Rapporter R 63, Stockholm, 34 s.
- Tammisola, J., Varhimo, A., Velling, P., Viherä-Aarnio, A., Kauppinen, V., Sundquist, J. & Lapinjoki, S. 1995. Variation in the wood and pulping properties of European white birch. *Paper and Timber* 77: 648-654.

- Telenius, B.F. 1999. Stand growth of deciduous pioneer tree species on fertile agricultural land in southern Sweden. *Biomass and Bioenergy* 16: 13-23.
- Tillström, G. 2000. Utvärdering av avverkning och flisning på Fulltofta. Sydved Energileveranser, distrikt Syd, Vittsjö, 3 s.
- Tschaplinski, T.J., Tuskan, G.A. & Gunderson, C.A. 1994. Water stress tolerance of black and eastern cottonwood clones and four hybrid progeny. I. Growth, water relations, and gas exchange. *Canadian Journal of Forest Research* 24: 364-371.
- Tveite, B. 1994. Gjädsling på fastmark med andre näringsstoff enn nitrogen. Vekstresultat frå nordiske gjädslingsforsök. *Aktuelt fra Skogforsk* 4-94, NISK, Ås, s. 107-112.
- Tyree, M.T., MacGregor, M.E. & Cameron, S.I. 1979. Physiological determinants of poplar growth under intensive culture. In: *Poplar research, management and utilization in Canada*, (eds. Fayle, D.C.F., Zsuffa, L. & Anderson, H.W.). Ont. Min. Natur. Resourc. Inform. Pap. No. 102.
- Uri, V., Tullus, H. & Löhmus, K. 2002. Biomass production and nutrient accumulation in short-rotation grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. *Forest Ecology and Management* 161: 169-179.
- Utkin, A.I., Gul'be, Y.I., Ermolova, L.S., Kaplina, N.F. & Rozhdestvensky, S.G. 1987. Primary productivity of birch, aspen, grey alder stands in Yaroslavl province (USSR) as an example of production invariability of the vegetation cover. Proc. IUFRO Proj. Grp P1.09.00, *Integrated Research in Biomass for Energy*, Ljubljana, Yugoslavia, 1986. Swed. Univ. Agric. Sci., Sect. Energy Forestry, pp. 29-38.
- Vadla, K. 1999. Verdiøkning og lønnsamhet ved stammekvistning – en litteraturstudie. NISK/NLH, Rapport fra skogforskningen Supplement 7, Ås, 15 s.
- Walfridsson, E. 1978. Stamkvistningens ekonomi. *Sv. Skogsv. -förb. Tidskr.* 76: 457-466.
- van den Burg, J. 1988. Bodenansprüche von Leuce-Pappeln. *Die Holzzucht* 42: 29-32.
- van den Burg, J. & Schoenfeld, P.H. 1978. Populierenteelt, bodemvruchtbaarheid en grondonderzoek. Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Mededeling No. 171, 7 pp.
- van den Driessche, R. 1984. Nutrient storage, retranslocation and relationship of stress to nutrition. In: *Nutrition of Plantation Forests* (Bowen, G.D. & Nambiar, E.K.S., eds.), Academic Press, London, pp. 181-209.
- van den Driessche, R., Rude, W. & Martens, L. 2003. Effect of fertilization and irrigation on growth of aspen (*Populus tremuloides* Michx.) seedlings over three seasons. *Forest Ecology and Management* 186: 381-389.
- van der Meiden, H.A. & Kolster, H.W. 1981. Biomass production with poplar. In: *Energy From Biomass*, 1st E.C. Conf. (eds. W. Palz et al.), pp. 193-197. Appl. Sci. Publ., London.
- Vares, A. 2000. Biomass, nitrogen and phosphorus allocation in above-ground parts of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) plantations. *Baltic Forestry* 6: 47-52.

- Weih, M. & Nordh, N.-E. 2002. Characterising willows for biomass and phytoremediation: growth, nitrogen and water use of 14 willow clones under different irrigation and fertilisation regimes. *Biomass and Bioenergy* 23: 397-413.
- Velling, P. 1979. Wood density in two *Betula pendula* Roth progeny trials. *Folia Forestalia* 416, 24 pp.
- Verwijst, T. 1991. Shoot mortality and dynamics of live and dead biomass in a stand of *Salix viminalis*. *Biomass and Bioenergy* 1: 35-39.
- Willebrand, E., Ledin, S. & Verwijst, T. 1993. Willow coppice systems in short rotation forestry: effects of plant spacing, rotation length and clonal composition on biomass production. *Biomass & Bioenergy* 4: 323-331.
- Wittwer, R.F. & Immel, M.J. 1977. A comparison of five tree species for intensive fiber production. *Forest Ecology and Management* 1: 249-254.
- Wittwer, R.F. & Stringer, J.W. 1985. Biomass production and nutrient accumulation in seedling and coppice hardwood plantations. *Forest Ecology and Management* 13: 223-233.
- Vuokila, Y. 1977. On the growth capacity of aspen stands on good sites. *Folia Forestalia* 299: 1-11. På finska, engelsk sammanfattning.
- Yoda, K., Kira, T., Ogawa, H. & Hozumi, K. 1963. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. *Journal of Biology Osaka City University* 14: 107-129.
- Yu, Q., Pulkkinen, P., Rautio, M., Haapanen, M., Alén, R., Stener, L.G., Beuker, E. & Tigerstedt, P.M.A. 2001. Genetic control of wood physicochemical properties, growth, and phenology in hybrid aspen clones. *Can. J. For. Res.* 31: 1348-1356.
- Zak, D.R., Pregitzer, K.S., Curtis, P.S., Vogel, C.S., Holmes, W.E. & Lussenhop, J. 2000. Atmospheric CO₂, soil-N availability, and allocation of biomass and nitrogen by *Populus tremuloides*. *Ecological Applications* 10: 34-46.
- Zavitkovski, J. 1971. Dry weight and leaf area of aspen trees in northern Wisconsin. In: *Forest Biomass Studies* (Young, H.E., ed.), Life Sci. & Agric. Exp. State Univ. of Maine, Orono, pp. 193-203.
- Zheng, Z., Liu, F. & Zang, D. 1987. Effect of water supply on volume increment in young poplar plantation. Proc. IUFRO Proj. Grp P1.09.00, *Integrated Research in Biomass for Energy*, Ljubljana, Yugoslavia, 1986. Swed. Univ. Agric. Sci., Sect. Energy Forestry, pp. 80-96.

Bilaga 9

Snabbväxande lövträd: *Salix* på jordbruksmark

Theo Verwijst, Inst. för Växtproduktionsekologi, SLU

Nils-Erik Nordh, Inst. för Växtproduktionsekologi, SLU

Innehåll

1	Principer för odling av snabbväxande lövträd, främst <i>Salix</i>	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Växtmaterial och dess naturliga utbredning	1
1.3	Egenskaper	2
2	Forskning rörande odlingssystem med <i>Salix</i> i Sverige.....	2
2.1	Historik	2
2.2	Senare forskning och utveckling	3
2.3	Framtida planer.....	3
3	Ståndorts- och ljuskrav	4
3.1	Ljus	4
3.2	Vatten	4
3.3	Näring.....	5
4	Skötselmodeller för odling av <i>Salix</i>	5
4.1	Val av odlingsplats	5
4.2	Markförberedelser	6
4.3	Plantering	6
4.4	Ogräsbekämpning efter plantering	7
4.5	Ogräsbekämpning år 1 och året efter skörd.....	7
4.6	Gödsling, allmänt	7
4.7	Slam.....	8
4.8	Skörd	8
4.9	Uppbrytning av en odling.....	9
5	Odlingssystem	9
5.1	Ekonomiska och tekniska aspekter.....	9
5.2	Kunskap behövs	10
6	Produktionsnivåer.....	11

7	Vad påverkar tillväxten och vilka förbättringar kan göras?	11
7.1	Etablering	11
7.2	Förädling av Salix som energigröda.....	11
7.3	Mark och vatten.....	12
7.4	Näringsbehov och gödsling	12
7.5	Uthållig produktion	12
7.6	Effekter av skötselåtgärder	12
8	Utredningen SOU 2007:36 Bioenergi från jordbruket – en växande resurs.....	13
9	Referenser.....	14

1 Principer för odling av snabbväxande lövträd, främst *Salix*

1.1 Bakgrund

En avgörande faktor för användning och odling av lövträd är att produktionen av vedbiomassa är hög och uthållig. Lövträd utgör för närvarande 17-18 % av landets virkesförråd (Skogsstyrelsen 2008). Snabbväxande lövträd är också högintressanta för intensivt skogsbruk med kort omloppstid, dvs. vid anläggning av högproduktiv skog på såväl skogs- som åkermark.

Det finns även flera andra faktorer som talar för en utökning av lövträdsarealen. Svensk skogsindustri har brist på lövråvara och importerar årligen omkring 4 miljoner m³ rundvirke av lövträd. I delmålen för "Levande skogar", som är en del av de "Svenska miljömålen", anges att arealen äldre lövrik skog ska ökas liksom arealen mark som ska föryngras med lövskog. Certifieringsorganisationerna FSC och PEFC kräver också att certifierade skogsfastigheter ska verka för att etablera och hålla en högre andel lövträd än vad som tidigare i allmänhet varit fallet. Det finns också ett myndighetsintresse att vid energiomställningen utveckla skogsskötselsystem där man förutom gagnvirke även kan utvinna biobränslen på ett effektivt och miljöriktigt sätt.

Lövträdslag som är aktuella för intensiv odling för produktion av vedbiomassa utgörs av pionjärträdslag med snabb etablering och hög initial tillväxt. Trädslagen måste vara anpassade till rådande klimat så att inte vitalitet och uthållighet äventyras. De trädslag som bedöms vara intressanta för att uthålligt producera vedbiomassa under svenska förhållanden hittas framförallt inom *Salix*-familjen som utgörs av asp och poppel (*Populus*) och vide, sälg och pilarter (*Salix*). Intresset för *Salix*-släktet beror främst på att dessa arter, som är ljuskrävande pionjärträd, har en mycket hög tillväxthastighet under ungdomsstadiet.

I jämförelse med andra jordbruksgrödor är biomassaproduktionen av *Salix* under korta omdrev (3-4 år i stubbskottsbruk) lika hög som för de högst avkastande jordbruksgrödorna och högre än för konventionellt skogsbruk (Karačić et al. 2003). *Salix* är en intressant gröda för jordbrukare i och med att en del av skötseln kan göras med befintliga jordbruksmaskiner och genom en skörde/intäktstakten som visserligen är lägre än vid vanliga jordbruksgrödor men är mycket högre än vid omställning till skogsbruk.

Modern *Salix*-odling har utvecklats i Sverige sedan 1970-talet, och en kommersialisering av produktionssystemet som en alternativ jordbruksgröda skedde under 1980-talet. Den exponentiella ökningstakten med avseende på odlingsareal avstannade dock under 1990-talet när Sverige gick med i den Europeiska Unionen (EU), som för en jordbrukspolitik som främjar odling av ettåriga grödor. Emellertid har det svenska odlingsystemskonceptet exporterats till ett flertal länder inom EU, främst till England och Polen, och utvecklingen av liknande system har kommit igång i större skala på Nya Zeeland och i USA (Volk et al. 2004) både med avseende på framställning av energiråvara och med hänsynstagande till miljön.

1.2 Växtmaterial och dess naturliga utbredning

Salix-släktet är taxonomiskt komplext och omfattar, beroende på den taxonomiska skolan, mellan 350 och 500 olika arter världen över (Argus 1999). I motsats till släktet *Populus* kan *Salix* inte indelas i klart avskilda sektioner (Argus 1997). Ungefär 10% av alla *Salix*-arter utgörs av en- eller flerstammiga träd, som för vissa arter kan uppnå en höjd på över 20 meter. Majoriteten av *Salix*-arterna är dock mångstammiga och buskformiga, och uppvisar en stor variation i höjd mellan arterna, från några cm till > 20m.

Salix är främst ett boreal-arktiskt släkte, med en naturlig utbredning i norra hemisfären. De flesta arterna förekommer i Kina och i forna Sovjetunionen. Några endemiska arter finns i Japan och Indien, men släktet förekommer även i södra hemisfären i Afrika och Central- och Syd-Amerika.

Salix har introducerats i Sydostasien och på Nya Zeeland och många arter har flyttats långt utanför deras naturliga utbredningsområden. Till exempel baseras de svenska energiskogsodlingarna på *Salix viminalis* (introducerad under 1700-talet från kontinental-Europa i korgflätningssyfte) och på hybrider mellan *S. viminalis* och några andra arter, *S. burjatica* och *S. schwerinii*, som nyligen introducerades från Sibirien.

Romarna odlade *Salix* redan för 2 000 år sedan och i modern tid har förädlingsprogram funnits i Sverige, England, Belgien, Frankrike, Kroatien, Polen, Ungern, forna Jugoslavien, Rumänien, Bulgarien och Kina, samt även på Nya Zeeland, Argentina, Chile, Kanada och i USA (Verwijst 2001). Utvecklingen av ny molekylär metodik i växtförädling kommer med all sannolikhet att påskynda förädlings- och urvalsprocesserna (Kopp et al. 2001) och leda till växtmaterial med högre produktivitet och större odlings säkerhet.

Produktionssystemen för *Salix* varierar från enstammiga träd med ca 500 träd ha⁻¹ och omdrevslängder på 20 år till system med stubbskottsbruk med en halv miljon skott ha⁻¹ som skördas årligen. Samspel mellan markbördighet, planteringstäthet och skördeintervall kan utnyttjas för att producera stammar av önskad dimension och skötseln anpassas därefter. Produktionssystemet som används kommersiellt i Sverige idag utgår från ca 13 000 sticklingar ha⁻¹ i ett system med dubbla rader, som ger upphov till flerstammiga buskar som bildar bestånd som skördas vart tredje till vart fjärde år.

1.3 Egenskaper

Intresset för *Salix*-släktet beror främst på att dessa arter, som är ljuskrävande pionjärträd, har en mycket hög tillväxthastighet under ungdomsstadiet. Många *Salix*-arter och hybrider kan lätt förökas vegetativt genom sticklingar, och de flesta arter och hybrider skjuter många nya skott efter borttagning av äldre skott och stammar (Mitchell et al. 1992).

Salix har under svenska förhållanden en hög och väl dokumenterad produktionspotential (Christersson 1986) som dock oftast inte utnyttjas till fullo i kommersiell odling (Mola Yudego et al. 2008).

För att tillvarata *Salix*-släktets tillväxtpotential krävs en markbördighet som motsvarar den som vi hittar på de flesta svenska jordbruksmarker. För att upprätthålla den långsiktiga tillväxten behövs en resurstillförsel i form av näring på en nivå som motsvarar den näringsmängd som förs bort vid skörd. *Salix* kräver i jämförelse med konventionellt skogsbruk en relativt intensiv skötsel, men i jämförelse med konventionellt jordbruk är skötseln av *Salix* mycket extensiv. Vedproduktionen av *Salix* i Sverige har hittills skett för bioenergi-ändamål, och inte för virkes- eller pappersmassamarknaden. I enstaka odlingar kombineras produktions- och miljömål såsom fånggröda av kväve i anslutning till reningsverk och för fastläggning av oönskade ämnen vid industriella anläggningar. *Salix*-odlingar används även som mottagare (recipient) av aska och i större skala som recipient av avloppslamm (Adler et al. 2008). *Salix* kan användas som buffert mellan kväverika jordbruksmarker och deras omgivning, som vindskydd och snöfång och som funktionella landskapselement i andra sammanhang (Verwijst 2001).

2 Forskning rörande odlingssystem med *Salix* i Sverige

2.1 Historik

Den svenska *Salix*-forskningen initierades i slutet av 1960-talet, efter att skogsindustrin förutspådde att en brist på kortfiber-råvara skulle uppstå på 2000-talet. Professor Gustav Sirén vid dåvarande skogshögskolan i Stockholm påbörjade en utveckling av odlingssystem som kunde använda sig av den höga produktionspotentialen i snabbväxande lövträd (*Salix* och *Populus*).

På grund av tidigare rätt tveksamma resultat med poppelsläktet i Sverige (genom försök med icke-anpassat material från USA) satsade prof. Sirén på *Salix*. Strax efter starten av *Salix*-projektet visade det sig dock att skogsindustrins prognos var felaktig. Oljekrisen i början på 1970-talet ledde emellertid till en fortsättning på projektet, som sedan dess gick under namnet "Energiskogsprojektet". Tidiga tester (Sirén 1983) utfördes både med utländska kloner av trädformiga *Salix*-arter och med buskformiga sorter insamlade av Energiskogsprojektet. Bland annat gjordes försök med mycket höga planteringstätheter, mellan 60 000 till 90 000 sticklingar ha⁻¹. Ytterst få kloner uppfyllde kriterierna för acceptabelt odlingsvärde och år 1978 inleddes de så kallade "Landskottskampanjerna", som gick ut på att hitta domesticerade och förvildade kloner med hög längdtillväxt, främst *S. viminalis* och *S. dasyclados*, inom landets gränser.

Klonerna testades för resistens mot patogener (främst mot bladrost, *Melampsora*), för frosthärdighet, skottskjutnings- och produktionskapacitet, och ett urval skedde för förädling och tidig uppförökning för kommersiellt bruk. Under projektets första årtionde gjordes en bred FOU-ansats som täckte allt från teknikutveckling, agronomi, genetik och förädling till ekologi och fysiologi och mycket grundläggande och tillämpad kunskap kunde erhållas. Dåvarande kunskapsläge redovisas utförligt i Sirén (1983).

2.2. Senare forskning och utveckling

Den breda naturvetenskapliga ansatsen i *Salix*-forskningen fortsatte under 1980- och 1990-talen vid SLU, och en gradvis kommersialisering av odlingssystemet *Salix* påbörjades, med understöd av politisk/ekonomiska styrmedel. Under tiden fortsatte även utveckling av tillämpningar av systemet för miljööndamål (Perttu 1993, Perttu et al. 1997), och de kommersiella odlingar kunde också användas i forsknings- och utvecklingssyfte. En syntes av *Salix*-forskningen i Sverige under 1990-talet har sammanställts och presenterats av Prof. Stig Larsson (ER 30:2004), och så sent som 2007 gjordes en utförlig utredning av *Salix* som jordbruksgröda i en statlig offentlig utredning. (SOU 2007:36). Slutsatserna rörande *Salix* i denna utredning står sig även idag.

2.3 Framtida planer

En stor del av den nationella forskningsfinansieringen av *Salix*-forskningen styrs och genomförs utifrån samhällets behov av biobränslen och inriktar sig på en vidare implementering av odlingssystemet på kommersiell basis, genom att stärka biobränsleproducenternas konkurrenskraft. Detta framgår till exempel tydligt från målformuleringen rörande *Salix* i det pågående forsknings- och utvecklingsprogrammet hos Statens Energimyndighet (SE):

1. Det kommersiellt tillgängliga sortmaterialet av *Salix* ska på medellång till lång sikt påtagligt förbättras och möta framtida marknadens behov av nya växtegenskaper. Svensk kommersiell förädling ska vara internationellt ledande och ha stöd av kompetens från universiteten.
2. Lönsamheten inom *Salix*-odlingen ska på kort till medellång sikt öka genom förbättringar i maskinell utrustning, skötselinsatser eller andra typer av åtgärder som stärker grödans konkurrenskraft.

Beträffande tillvägagångssättet skriver SE: "För att nå dessa mål täcker delområdet följande ämnesområden och aktiviteter: *Salix-relevant genetik och växtförädling*; Förädlingsverksamheten omfattar relativt forskningsintensiv metodik och långsiktiga mål. Området täcker även de

understödjande discipliner som krävs för att på sikt vidareutveckla en ny portfölj av kommersiellt växtmaterial. Verksamheten genomförs i form av ett större tvärdisciplinärt projekt som startat under 2007.

Marknadsnära industridrivna utvecklingsprojekt rörande Salix; Ämnesområdet inkluderar all form av FoU-verksamhet med potential att på kort till medellång sikt förbättra förutsättningarna för *Salix*-branschens nyckelaktörer. Verksamheten kan avse t.ex. skötselrelaterade frågor, maskinutveckling, icke-tekniska hinder, etc. Projekten ska ledas av industriella aktörer. Projekten ska ha det gemensamt att resultaten ska utnyttjas kommersiellt direkt efter projektslut”.

3 Ståndorts- och ljuskrav

De buskformiga arterna av *Salix*, som gett upphov till de kloner-som används i kommersiella odlingar i Sverige idag, är pionjärarter som förekommer naturligt på öppna våtmarker och längs med vattenbryn. Dessa naturliga biotoper karakteriseras därmed av en relativ hög vattentillgång, god tillgång till ljus och i många fall även av en god tillgång på näring. Även om vissa arter kan förekomma på alkaliska marker, förekommer de flesta arter på neutralt substrat, ner till ett pH på ca 5. I praktiken rekommenderas inte marker med ett pH under 5.5 och inte över 7.5 för *Salix*.

3.1 Ljus

Under etableringen är *Salix* en konkurrenssvag gröda med långsam bladyteutveckling jämfört med ogräs och många andra jordbruksgrödor. Efter etablering och kronslutning kan ett maximalt bladyteindex på 6 till 8 m²/m² uppnås vilket innebär att konkurrensen om ljus mellan gröda och ogräs blir ett mindre problem.

Däremot leder konkurrensen om ljus – under pågående biomassa-ackumulering i ett bestånd – till påtaglig skott- och busk-dödlighet. Hela 90 % av de små skotten producerade från en buske (= stol) efter nedkapning dör innan skörd inom ett omdrev (Verwijst 1991).

Denna så kallade självgallring är ofrånkomlig i en växande skottpopulation och kan även leda till påtaglig stoldöd av de svagväxande stolarna (Verwijst 1996a, 1996b). Även skador av sjukdomar, insekter och frost kan vara en orsak till asymmetrisk konkurrens om ljus och därigenom resultera i partiell stoldöd (Verwijst 1993). Långtidsförsök (Nordh 2005) visar att de dominerande stolarna genom bortfall av de mindre stolarna kan producera mera och i viss mån kan kompensera för stolförlusten.

3.2 Vatten

Vatten anses av många vara den begränsande faktorn i majoriteten av de kommersiella *Salix*-odlingarna i Sverige. En grödas biommassaproduktion, ställt i relation till vattenförbrukningen, kan uttryckas som ”Water use efficiency” (WUE) i g/kg. Vattenhushållning i *Salix* tycks vara i paritet med eller något bättre än för andra trädslag och har beroende på metod beräknats till 4-6 g/kg (Lindroth et al. 1994). Weih och Nordh (2005) visade i kortvariga experiment på skillnader i WUE mellan kloner och även på förekomsten av interaktioner mellan klon och omgivning. Även om man allmänt anser att inomartsvariationen för WUE är ganska liten så finns det smärre skillnader i WUE på skottnivå mellan *Salix*-kloner (Linderson et al. 2007). Det finns också tecken på att kloner skiljer sig i förmåga att anpassa sig till temporär vattenstress genom ändring i WUE och en möjlig förklaring är att det under vattenstress sker en större allokering av resurser till rötter än under en bättre vattentillgång (Linderson et al. 2007, Wikberg och Ögren 2007). Wikberg och Ögren (2007) kom även till slutsatsen att WUE och resistens/tolerans mot torka är kopplade och att båda egenskaperna därmed kan förbättras genom förädling. I odlingspraktiken rekommenderar man mojordar, lätta leror, mellanleror och även styva

leror, dvs. med andra ord jordar med en bra vattenhållande förmåga som lämpliga platser för *Salix*-odling. Sandjordar och övriga uttorkningsbenägna substrat anses vara olämpliga för *Salix* om man inte kan övergå till bevattning i kritiska skeden.

3.3 Näring

Näringsbehovet av växter styrs av en växts näringsupptagningsförmåga, som dels är genetiskt betingad och dels beror på växtens storlek. Dessutom är näringsupptaget temperaturberoende och kopplat till växtens vattentillförsel. Generella modeller avseende näringsbehov och tillväxthastighet, utvecklade från studier på tomat och björk, gäller även för *Salix* (Ericsson 1994) och studier har genomförts i kontrollerade experiment i klimatkammare såväl som i lysimeterförsök. Liksom för andra växter minskar fördelningen av resurser till rötterna vid ökad tillgång på näring (t. ex Stadenberg et al. 1994). Kvävebehovet kan täckas genom växttillgängligt restkväve i marken, mineralisering under säsongen samt genom tillförsel av kväve genom atmosfärisk deposition och gödsling. Därmed är gödslingsbehovet kopplat till upptag i växten samt till markens förmåga att leverera kväve.

Det tycks finnas ett negativt samband mellan tillväxthastighet och hur effektivt näring och vatten kan utnyttjas av växten; kloner med hög tillväxt vid optimala betingelser tenderar att vara känsliga för närings- och vattenstress (Weih 2001). Mykorrhiza kan möjligen bidra till näringsupptag. Det finns belagt att mykorrhiza förekommer associerat med *Salix*-rötter i odlingar (Baum et al. 2002) men dess betydelse för rotupptag av näring är inte klarlagt. *Salix*-stolar anses allmänt ha ett effektivt upptag av näring från marken (Elowsson 1999). Det borde därför vara liten risk för kväveutlakning från produktionsodlingar, något som stöds av data från avrinningsstudier (Aronsson et al. 2000).

Det har visat sig förvånansvärt svårt att fastställa handfasta gödslingsrekommendationer i kommersiella odlingar. Få data finns redovisade i vetenskapliga tidskrifter över systematiskt genomförda gödslingsförsök och dessa data är svårtolkade (Alriksson et al. 1997). Det finns till exempel indikationer på att höga kvävegivor leder till minskad tillväxt under år 3 och 4.

Vanligtvis rekommenderas att bestånden blir skördade i intervall om 3-5 år. År 1 och 2 efter skörd föreslås näringstillförsel om 80 kg N, 40 kg P och 120 kg K.

(http://fert.yara.se/se/crop_fertilization/crop_advice/agriculture/salix/salix.html)

Användande av slam från kommunala reningsverk rekommenderas där så är möjligt.

4 Skötselmodeller för odling av *Salix*

Salix-odlingens etablering och skötsel har, i termer av planteringstäthet, omdrevslängd och klonsammansättning, utvecklats mot användning av en universal odlingsmodell utan större variation i de odlingsparametrar som skulle kunna varieras för att uppnå en högre anpassning till ståndort eller befintlig lokal logistik. När denna jordbruksanpassade modell (innehållande ett dubbelradsystem, buskformiga arter, korta omdrevslängder mellan tre och fem år, och en planteringstäthet mellan 10 000 och 15 000 sticklingar per hektar i monoklonala bestånd) kommersialiserades, försvann så gott som all forskning som ägnade sig åt alternativa odlingsmodeller (trädformiga arter, polyklonala bestånd, omdrevslängder på 8 till 10 år i glesare förband, etablering genom liggande långskott och sådd av stambitar, etc.). Nedanför återges de praktiska rekommendationer som nyligen utfärdats till lantbrukarna (Gustafsson et al. 2008).

4.1 Val av odlingsplats

Odlingsplats skall väljas så att avstånd till köpare av flis är så kort som möjligt. Fälten bör inte vara för små. Sammanhängande enheter större än 5 hektar rekommenderas. Både korta transportavstånd för flis

och större fält ger bonus vid betalning av flis till odlare. Marker med god produktionsförmåga ger som för alla andra växter en högre produktion. Markens pH-värde bör vara mellan 5,5 och 7,5. Mojordar, lätta leror, mellanleror och även styva leror är lämpliga platser för *Salix*-odling. Sandjordar kan också vara lämpliga om plantorna har tillgång till vatten. *Salix* växer bra på mulljordar, men sådana jordar är ofta svårskötta med avseende på ogräsbekämpningen. Mulljordar är dessutom ofta lågt belägna och kan vara utsatta för frost. Om det finns stor risk för frost måste frosttåligare sorter användas. Mindre skiften i områden dominerade av skog bör undvikas eftersom risken för viltskador är stor. Starkt kuperade fält kan innebära att skörden försvåras och bör därför också undvikas. Eftersom transport av *Salix*-flis sker till övervägande del i containers på tunga fordon är det viktigt att *Salix*-odlingen är lätt åtkomlig från vägar som är farbara även vintertid. Nydränerade fält bör undvikas, eftersom inväxning av rötter kan ske i rörsystemen. Arkeologiska intressen och naturvårdsintressen måste beaktas innan man anlägger odlingar. Eftersom en *Salix*-odling sannolikt kommer att växa på samma plats i mer än 20 år och skotten emellanåt kan nå en höjd av 7-8 meter, så är det viktigt att ta hänsyn till hur odlingen påverkar landskapsbilden. Länsstyrelsens naturvårdsenhet kan ha synpunkter på detta. Därför kan det vara bra att bilda sig en uppfattning om lämpligheten med odling innan ansökan om planteringsstöd lämnas in till Länsstyrelsen. Rätt placerad kan en *Salix*-odling bidra positivt till landskapsbilden. I ett öppet landskap, dominerat av ettåriga jordbruksgrödor erbjuder *Salix*-odlingen en ny miljö, där många växter kan etablera sig och där fåglar och andra djur finner skydd och föda.

4.2 Markförberedelser

Markförberedelserna året före plantering är av största betydelse för att först och främst utrota kvickrot, men även andra fleråriga ogräs. Bästa sättet att göra det är att träda marken ett år under vilket man bekämpar kvickroten med glyfosatpreparat (Roundup) under sommaren. Om skiftet är bevuxet med gröda året före plantering bekämpas kvickroten efter skörd med samma preparat, gärna i kombination med mekanisk stubbearbetning. Endast mekanisk bekämpning av kvickroten räcker inte. Under hösten ska fältet plöjas. Om det finns kvickrot kvar på våren kan ytterligare en sprutning med glyfosat utföras, så sent som möjligt före plantering. Kvickroten ska ha utvecklat 3-4 blad för att sprutningen skall få effekt. Det är då viktigt att jorden inte bearbetas före sprutningen.

Innan plantering sker ska marken harvas som inför normal sådd. En väl bearbetad planteringsbädd gör att jorden ansluter tätt mot sticklingen och därmed motverkas uttorkning. Bearbetningsdjupet vid harvningen ska vara 6–10 cm. Detta är speciellt viktigt på hårda leror. Större stenar måste plockas bort från fältet, eftersom skördemaskinerna kapar av *Salix*-skotten med hjälp av sågklingor och eventuell stenförekomst kommer att försvåra skörden avsevärt. Om det finns större uppstickande stenar i odlingen blir skördekostnaden högre och odlaren kan bli ersättningskyldig vid haveri av sågklingor.

4.3 Plantering

Planteringsmaterialet består av ettåriga *Salix*-skott. Dessa bereds på vintern och förvaras fram till planteringen vid -4°C i frysrum och levereras i lådor några dagar innan plantering. Det är viktigt att lådorna placeras skuggigt och svalt under planteringen. Det bör tas fram kartor över arealerna som skall planteras så att odlarna och entreprenörerna lätt kan planera hur planteringen skall ske, med hänsyn till tillfartsvägar och riktning av rader och kantzoner. Plantering sker från slutet av april fram till mitten på juni, men bör helst starta så tidigt på våren som mark- och väderförhållanden tillåter. Tidig plantering innebär bättre förutsättningar för en bra etablering och god tillväxt under första året. *Salix* planteras i förband med dubbelrader. Avståndet mellan raderna är alternerande 75 respektive 150 cm. Radavståndet är anpassat så att skördemaskinerna kan skörda två rader åt gången, samtidigt som det finns plats för skördare och följevagnar att ta sig fram i odlingen. Avståndet mellan plantorna i raderna är ca 60–65 cm.

Planteringen sker med en maskin som i ett och samma moment klipper långskotten till sticklingar och sedan planterar dessa. Sticklingarna är cirka 18 cm långa och vid plantering trycks sticklingen ned i

den bearbetade marken så att endast 1-2 cm sticker upp ovanför markytan. Då får sticklingen god jordkontakt och risken för uttorkning minskas. Det totala antalet sticklingar som planeras per hektar är cirka 13 000. Det är viktigt att planera planteringen väl, så att skötsel och skörd kan utföras så rationellt som möjligt, men också för att utnyttja mesta möjliga areal av fältet. Raderna bör därför placeras så att de blir så långa som möjligt och helst bör radslutet ansluta mot en körväg eller liknande. I radslutet måste det finnas en vändteg på 8–10 m, eftersom skördemaskinerna kräver utrymme för att kunna vända. Mot djupare diken skall vändtegen vara 10 m, annars räcker 8 m. Kring övriga delar av odlingen lämnas en kantzon på ca 3 m. Vid plantering intill större vägar bör en bredare kantzon lämnas för att minska viltolycksrisken. Entreprenörerna som utför planteringen har ofta kunskap om detta och ger i allmänhet råd till odlarna innan planteringen startar.

4.4 Ogräsbekämpning efter plantering

Ogräsbekämpningen under etableringen av en *Salix*-odling är oerhört viktig. Ogräset påverkar *Salix*-plantorna negativt genom att konkurrera om ljus, vatten och näring. I en odling med mycket ogräs kommer *Salix*-plantorna att försvagas och växa långsammare. Bekämpningen av ogräset under planteringsåret sker både kemiskt och mekaniskt. Direkt efter planteringen, innan sticklingarna börjat skjuta skott (helst inom en veckas tid), sprutas fältet med någon lämplig jordherbicid (Cougar eller Bacara), som hindrar fröogräset att utvecklas. Senare på säsongen, när verkan av herbiciden avtagit, krävs som regel upprepade mekaniska insatser för att hålla ogräset under kontroll. Om bekämpningen utförs enbart med kultivator eller en liknande ogräshacka är rekommendationen att göra 3 körningar under säsongen. Används en ogräsharv rekommenderas däremot 6-8 körningar. Det är av mindre betydelse vilket redskap som används. Det väsentliga är att bekämpningen genomförs och att ogräset hålls under kontroll. Oavsett vilket redskap som används är det viktigt att den första körningen (och de påföljande) görs i rätt tid för att få god effekt. För att avgöra när det är dags att bekämpa kan följande tumregel vara till hjälp: Bekämpa ogräsen mekaniskt om det finns 2–3 ogräs som är större än 2 cm under en handflata

4.5 Ogräsbekämpning år 1 och året efter skörd

Om ogräset inte är under full kontroll efter planteringsåret är det viktigt att utföra mekanisk bekämpning även året efter. Eftersom *Salix*-plantorna då är bättre etablerade räcker det som regel med två körningar i början på säsongen med kultivator eller liknande ogräshacka för att ge plantorna möjlighet att växa ifrån ogräset. Om det skulle behövas så är det möjligt att bekämpa kemiskt även i växande gröda, t ex mot tistel och baldersbrå (Matrigon) eller mot gräs (Focus Ultra). De kemiska ogräspreparat som kan användas i *Salix*-odlingar har dock ofta en relativt smal verkan och ska därför bara användas som ett komplement till den mekaniska bekämpningen. Där ogräsbekämpningen varit effektiv under planteringsåret behövs senare inga ytterligare insatser. I det skedet har *Salix*-plantorna utvecklat ett större rotsystem och bildar då många nya skott som tillsammans effektivt beskuggar ogräset. I de fall där ogräsbekämpningen lyckats mindre bra, kan det vara befogat att göra ytterligare någon mekanisk bekämpning, t ex efter en skörd. På vintern efter planteringen så kapas årets skott av för att plantorna skall utveckla ett tätare bestånd. Avkapningen kan göras med en slätterbalk, slätterkniv eller någon form av betesputsare.

4.6 Gödsling, allmänt

När *Salix*-odlingen är etablerad ska den gödslas och det är huvudsakligen kväve som måste tillföras. Växtnäringen kan antingen tillföras med handelsgödsel eller med slam från kommunala avloppsreningsverk. Slam måste dock kompletteras med extra kvävegödsling. Kvävebehovet varierar beroende på beståndets ålder och skottens utveckling. I äldre odlingar kommer kväve att frigöras från det lager av nedfallna blad som bildas och behovet av gödsling minskar då. I princip är det den mängd

kväve som finns i skotten och förs bort vid skörd som måste ersättas med gödsling. En rekommendation för årlig kvävegödsling är följande:

Odlingsår	Kvävegödsling (kg/ha)
Planteringsåret	0
År 1	45
År 2	100-150
År 3	0
Skörd	
År 4	100-150
År 5	100
År 6	0
Etc.	

Att gödsling inte sker år 3 och år 6 (dvs. tredje tillväxtåret), beror mest på att det är svårt att köra ut gödning när bestånden är uppvuxna. Första och andra produktionsåren kan gödslingen utföras med en rampspridare, som kan användas så länge skotten böjer sig för rampen utan för mycket motstånd. Använd något skydd under traktorn för att hindra skador på barken när skotten böjs mot traktorn. När skotten blir högre måste någon annan teknik användas, t ex en hög-spridare, för att sprida gödningen. Som hög-spridare kan en ombyggd gödselspridare användas. Tallrikarna sitter på ett stativ som går att höja och sänka efter *Salix*-fältets höjd. Gödseln blåses med en fläkt upp till tallrikarna. Spridningsbredden är ca 36 meter och kapaciteten ca 5 ha/timme.

4.7 Slam

Spridning av slam i *Salix* sker antingen direkt före plantering, året efter plantering eller året efter skörd och de vanligaste maskinerna för slamspridning är Hill-spridare och konventionella stallgödselspridare. Slamspridning utförs av Lantmännen Agroenergi AB på begäran av odlaren (förutsatt att slam finns tillgängligt inom odlingsområdet). Nedmyllning av slam direkt efter spridning medför att förluster av ammoniak-kväve minimeras, samt att de hygieniska kraven på hantering av slam uppfylls. Spridning i växande gröda utan nedmyllning kan därför innebära vissa problem, främst med avseende på smittskyddsaspekter. För att lösa problemet kan man göra en ogräskultivering efter spridningen, för att öka kontaktytan mellan slam och jord och därmed snabbare få igång nedbrytningsprocesserna i slammet. Näringsammansättningen i slam motsvarar inte exakt behovet i *Salix*. Slammet tillgodoser behovet av fosfor, medan det på de flesta jordar behöver tillföras kalium på annat sätt. Även kväve behöver som tidigare nämnts tillföras.

4.8 Skörd

Salix-odlingen är skördemogen då vedbiomassan överstiger 25 ton torrsbstans per ha eller då stamdiametern vid basen på de grövsta skotten överstiger 6 cm. Det här inträffar vanligtvis då skotten nått en ålder av 3-4 år. Skörd av *Salix* sker på vintern då plantorna invintrat och fällt sina blad. Då är också värmeverkens behov av flis som störst. Skörden utförs med en maskin som både kapar skotten och direktflisar. Flisen blåses över i en container som sedan lastas på lastbil för transport till värmeverket. Eldning av *Salix*-flis sker utan föregående torkning och ofta i en bränsleblandning med 5-25% *Salix*-flis.

4.9 Uppbrytning av en odling

Det kan finnas olika skäl till att bryta upp en *Salix*-odling. Antingen fattar man beslut om att använda marken till annan odling eller så vill man kanske byta en gammal odling mot en med nyare sorter. Momentet att bryta en odling är inte alltför komplicerat, eftersom rötterna i en odling är relativt grunt liggande. Efter avslutad skörd låter man stubbarna stå kvar och bilda nya skott under våren. När skotten är i god tillväxt under sommaren bredsprutas hela odlingen med en mix av glyfosat och MCPA för att döda *Salix*-plantorna. Därefter använder man sig av en betesputsare för att slå sönder de unga skotten och stubbarna. Slutligen bearbetas marken med ett tungt tallriksredskap, alt. Carrier, som skär sönder stubbar och rotrester, utan att riva upp dem till markytan. Efter stubbearbetningen kan marken antingen omplanteras med ny *Salix* eller användas för odling av andra jordbruksgrödor.

5 Odlingssystem

Under de senaste decennierna har tyngdpunkten i *Salix*-forskningen legat på de biofysiska förutsättningarna för *Salix*-odling, medan de socio-ekonomiska och tekniska aspekterna av odlingssystemet har studerats i mindre omfattning. Utgångspunkten har varit att tekniska och ekonomiska förbättringar skulle drivas av en etablerad marknad efter att en ekonomisk subventionering av odlingssystemet gjordes i början.

5.1 Ekonomiska och tekniska aspekter

Bland annat stigande energipriser har lett till intäktsökningar för *Salix*-odling, och befintlig infrastruktur vad gäller transportvägar samt avsättningsmöjligheter för *Salix*-flis till värmeverk är goda. Under den tidiga kommersialiseringen av odlingssystemet genomfördes även stora sänkningar av kostnaderna för främst plantering och skörd genom fortlöpande mekanisering och rationalisering. Under det senaste decenniet har dock kostnadsänkningarna avstannat genom att de drivande krafterna för teknikutvecklingen, dvs. utökning av odlingsarealen, har avstannat. I utredningen ”SOU 2007:36 Bioenergi från jordbruket – en växande resurs” framgår att det är många samspelande faktorer som ligger till grund för den avstannade arealutbredningen av *Salix*. Under mars år 2009 bekräftade Pål Börjesson att det som skrevs om *Salix*-produktion i SOU 2007:36 fortfarande är högst aktuellt, samt att osäkerheten i de faktorer som påverkar den framtida utbredningen av *Salix*-arealen snarare har ökat än minskat. Följande avsnitt (mellan ” ”) kommer från ovan nämnda utredning.

”Genom ökad *Salix*-produktion stimuleras teknikutveckling av hanterings- och logistiksystem. Dessutom byggs en kompletterande resursbas till skogsbränslen upp som i framtiden också kan utnyttjas vid produktion av den så kallade andra generationens biodrivmedel”.

”Behovet av trädbränslen som *Salix* är normalt som störst i tätbefolkade områden med stora fjärrvärmesystem. Dessa återfinns oftast i jordbruksbygder med goda förutsättningar för *Salix*-odling. Det finns i dag en ”begynnande marknad” för *Salix* som råvara till fjärrvärme- och kraftvärmeverk. Den nuvarande arealen om cirka 15 000 hektar är mindre än de förväntningar om framtida arealer som fanns under 1990-talet. Det finns därför skäl att fråga sig om det finns realistiska förutsättningar för att få till stånd en så pass kraftig ökning av odlingsarealen som utredningens modellberäkningar pekar på. Utredningen har försökt analysera varför arealen *Salix*-odlingar inte fått den förväntade omfattningen. En sådan analys kan också ge vägledning när det gäller att fastställa de förutsättningar som krävs för att jordbruket skall bli en konkurrenskraftig producent av *Salix*”.

”I samband med att omställningsprogrammet introducerades fanns en förväntan om att *Salix*-odlingen skulle få en större omfattning än vad som hittills blivit fallet. Det är traditionella täckningsbidragskalkyler som legat till grund för de orealiserade förväntningarna. För att bedöma om dessa förväntningar har varit relevanta måste vi ta ställning till på vilka grunder de vilar. (Det är viktigt att notera att dessa tidigare gjorda kalkyler inte är identiska med de kalkyler som utredningen

gjort). För att värdera relevansen av förväntningarna gäller det att analysera om kalkylmodellerna använts på ett sätt som reflekterar den beslutssituation som en lantbrukare står inför när han/hon skall besluta sig för att odla *Salix* eller inte”.

”Vad är det som har orsakat att förväntningar om ökade marknadsandelar som tidigare lönsamhetsanalyser pekat på inte har förverkligats? Det kan bero på att förväntningarna baserats på kalkylmässigt felaktiga grunder sett ur ett beslutsfattarekonomiskt perspektiv. Det kan finnas en rad faktiska omständigheter till detta:

1. De tidiga satsningarna på *Salix*odlingarna resulterade i låga skördenivåer. Dessa skördenivåer har i de beslutsfattarekonomiska kalkylerna inte anpassats till den verkliga skördeutvecklingen.
2. Lantbrukarna är riskobenägna. Fleråriga grödor med lång omloppstid gör grödan mer riskfylld jämfört med bl.a. ettåriga spannmålsgrödor. Lantbrukarna vill bibehålla en flexibel beslutssituation, något som ettåriga grödor tillgodoser bättre än fleråriga grödor. Likviditetsproblem kan uppstå.
3. Osäkerhet om hur *Salix* kommer att behandlas i den framtida jordbrukspolitiken.
4. *Salix* påverkan på landskapsbilden uppfattas av vissa lantbrukare som negativ.
5. Komplicerat regelverk.
6. Avsaknad av konkurrens på marknaden för sticklingar och för skörd av *Salix*odlingar, vilket påverkat kostnadsbilden”.

”Om och hur de tidigare gjorda täckningsbidragskalkylerna beaktat de uppräknade faktorer påverkar självklart utfallet av lönsamhetsberäkningarna och kan därmed vara en förklaringsfaktor till de realiserade förväntningarna. Grunden för de höga förväntningarna har varit de täckningsbidragskalkyler som gjordes på 1990-talet. Det har inte varit möjligt för utredningen och gå tillbaks och analysera dessa kalkyler. Utredningen har gjort modellberäkningar enligt en traditionell täckningsbidragskalkyl och jämfört resultaten från dessa med modellberäkningar som beaktat de ovan uppräknade faktorerna. Enligt utredningen gör resultatet från en sådan analys det möjligt att bedöma om förväntningarna tillkommit på grunder som inte tagit tillräcklig hänsyn till alla påverkande faktorer”.

”Alla påverkande faktorer bör om möjligt ingå i en beslutsfattarkalkyl och denna skall innehålla kostnads- och prisnivåer som speglar verkligheten på marknaden. Det skall poängteras att vi nu inte försöker bedöma den ur samhällets synpunkt lämpliga omfattningen av *Salix*arealen. En sådan bedömning bör bl.a. baseras på en samhällsekonomisk analys”.

5.2 Kunskap behövs

Ovanstående analys visar på nödvändigheten av en ”Integrated Assessment” som inkluderar både socio-ekonomisk och biofysisk information. Detta krävs dels för att kunna förklara varför utökning av *Salix*-arealerna i Sverige har avstannat, och dels för att – under givna politiska förutsättningar – kunna förutse hur ekonomin vid produktion av *Salix* kommer att förhålla sig till andra former av markanvändning i en framtid som kommer att präglas av för flera grödor väsentliga förändringar i klimat.

Även om forskning om och utveckling av odlingssystemet med *Salix* har lett till ett alternativt markanvändningssystem för bioenergiändamål, finns det utrymme för förbättringar som gör att konkurrenskraften i systemet ökar. En del frågor är av socio-ekonomisk natur (se ovan), men för att

öka produktionsnivån behövs även mer kunskap av agro-teknisk och biologisk natur (från växtmaterialkaraktärisering till planteringsförfarande och skördelogistik).

Sist, men inte minst, är det nödvändigt att kunskapen struktureras och förmedlas till dem som behöver den. Många lantbrukare upplever idag att rådgivning om *Salix*-odling är eftersatt.

6 Produktionsnivåer

Det råder stor förvirring kring vilka produktionsnivåer som *Salix* kan uppnå. En anledning till detta är att olika produktionsbegrepp används utan att detta klart definieras. Man måste skilja på följande tre begrepp: *Potentiell produktion* är den nivå som teoretiskt kan nås om en växt av en viss genetisk konstitution kan tillgodogöra sig all inkommande fotosyntetisk aktiv strålning, vilket dock är beroende av rådande temperaturer. För flera *Salix*-kloner ligger denna nivå på väl över 35 ton torrsubstans per hektar och år. (2) *Nåbar produktion* anger den ovan nämnda nivå men inkluderar begränsningar i produktionen beroende av vatten- och näringsbrist samt räknar bort den fraktion som inte kan skördas (rötter) (3) *Aktuell produktion* är den produktion som man erhåller efter nedsättning av den nåbara produktionen genom insektsangrepp, frostsador och påverkan av andra skadegörare samt ogräs. I praktiken har en produktion på 0 till ca 20 ton torrsubstans per hektar och år uppmätts, och de sämre resultaten har varit en följd av misskötsel.

En nyligt genomförd studie (Blas Mola-Yudego et al. 2008) visar att de genomsnittliga låga produktionsnivåerna i över 2000 *Salix*-odlingar i Sverige under perioden 1998-2005 (2,6; 4,2 och 4,5 ton torrsubstans per hektar och år i första, andra och tredje omdrevet) är följden av dålig skötsel. Lantbrukarna som lyckas bra med etablering av *Salix* skördar över 6 ton torrsubstans per hektar och år i andra omdrevet och de är då ändå långt ifrån de produktionsnivåer som nås av de bästa *Salix*-odlarna.

SOU 2007:36 rapporterar följande om skördenivåer: ”De skördenivåer som används i en kalkyl skall naturligtvis vara empiriskt förankrade och ingå med samma värde i en beslutsfattarkalkyl och en traditionell täckningsbidragskalkyl. När *Salix* introducerades i Sverige förväntades, enligt SLU, skördenivåer på upp till 15 ton ts per hektar. De praktiska skördenivåerna från dessa odlingar blev dock betydligt lägre, oftast mindre än hälften. Orsakerna till detta är bl.a. misslyckade etableringar på grund av dålig ogräsbekämpning, utebliven gödsling, olämpliga sorter samt plantering på lågproduktiv åkermark. Lärdomarna från dessa första praktiska odlingar är att *Salix* kräver bra åkermark, omsorgsfull etablering, anpassad gödsling och bra sortval för att ge stora skördar. Det är också viktigt att sorter tas fram som passar i olika regioner. Idag uppskattas skördenivåerna för *Salix* till mellan 7 och 10 ton ts per hektar och år i välskött odlingar. (Börjesson 2007). Det är alltså inte de inledande misslyckade skördesiffrorna som skall ingå i kalkylerna utan de som nås vid god skötsel”.

7 Vad påverkar tillväxten och vilka förbättringar kan göras?

7.1 Etablering

Etableringen är det i särklass viktigaste skedet i ett *Salix*-bestånd och har långtgående konsekvenser för produktionsnivåerna under följande omdrev. Frågor angående markberedning, ogräsbekämpning och sticklingskvalitet är än idag högaktuella, och den teknik som används i dagens kommersiella odlingar medger påtagligt utrymme för förbättringar.

7.2 Förädling av *Salix* som energigröda

En fortsatt forskningssatsning på *Salix*-förädling och -genetik genomförs för närvarande (se avsnitt 2.3) och konkreta resultat i form av nya kloner är nödvändiga på längre sikt. Under de senaste

decennierna har, till följd av klimatförändringarna, temperaturen höjts i Sverige och även nederbörds mängderna förväntas öka. Detta innebär att vi kan vänta oss att Sverige kommer att få lika stora problem med bladrost som redan förekommer på *Salix* i de mera maritima delarna av Europa. Den genetiska variationen i operationella kloner i Sverige är liten idag och endast fortsatt förädling (för svenska förhållanden) kan föregripa att vi får ökade problem med patogener i *Salix*-odlingen.

7.3 Mark och vatten

Vid energiskogsodlingens början bestämdes att odling av *Salix* endast skulle ske på mark som inte kunde utnyttjas av det traditionella skogs- och jordbruket. Således startades stora försök med energiskogsodlingar på torvmarker och i torvtäcker. Överskottsproduktionen i det svenska subventionerade jordbruket i mitten av 1980-talet var drivande i frågan om alternativa jordbruksgrödor, och dåvarande beräkningar visade att ca 1 miljon ha jordbruksmark skulle kunna användas för produktion av biomassa för energiändamål.

Redan tidigt stod det klart att torvmarker och organogena jordar med lågt pH, liksom marker som är utsatta för sena vårfroster var olämpliga för *Salix*-odling. När allt mer jordbruksmarker blev tillgängliga för *Salix*-odling visade sig att odlingsresultaten var proportionella till markbördigheten, så som för vanliga jordbruksgrödor, under förutsättningen att vattentillgängligheten var god under tillväxtsåsongen. Därmed är förutsättningarna för markval vid odling av *Salix* för biomassa-ändamål tydliga. I förekommande fall (odlingssystem som har andra, t.ex. miljömål som huvudsyfte) bestäms markvalet utifrån andra premisser, och då kan även lättare marker vara lämpliga i kombination med spridning av kväverikt vatten.

7.4 Näringsbehov och gödsling

Det teoretiska näringsbehovet i *Salix*-odling är känt och proportionerligt med tillväxten. I och med att tillväxten är beroende av flera andra faktorer, och därmed mycket variabel, har det varit svårt att utfärda tydliga och klara gödslingsråd. Emellertid finns dock vissa rekommendationer (se avsnitt 4.6). Både i Sverige och Danmark pågår och planeras för fortsatt forskning med målet att få ökad klarhet i gödslingsbehovet hos *Salix*. Samtidigt som gödsling i de flesta fall ökar produktionsnivåerna finns det belägg för att gödsling av *Salix* kan vara oekonomisk pga. de nuvarande höga priserna på mineralgödsel (Blas Mola-Yudego et al. 2008).

7.5 Uthållig produktion

Det har visat sig vara förvånansvärt svårt att förutse produktionsnivåerna i senare omdrev i *Salix*-bestånd. I kommersiella bestånd saknas oftast den dokumentation som behövs för att kunna förklara produktionsresultaten på längre sikt. I forskningsexperiment med adekvat dokumentation och långtidsuppföljning har det funnits påtagliga brister i anslagsgivarnas uthållighet, och därmed har flera på längre sikt mycket värdefulla experiment fått avbrytas.

Av de få experiment som utvärderades över en längre tid har det dock framgått att väletablerade bestånd kan behålla sin höga produktivitet under minst fem omdrev, dvs. över en 20-års period.

7.6 Effekter av skötselåtgärder

Det är numera välbelagt att det är viktigt att följa de utfärdade skötselrekommendationerna (se avsnitt 4) om man vill uppnå höga produktionsnivåer. Kunskapsläget är tillfredställande med avseende på de flesta åtgärder, men den praktiska implementeringen är desto sämre.

I och med att en *Salix*-odling står och faller med etableringen är det angeläget med fortsatt forskning med mål att kunna få fram snabba och jämna nyetableringar av *Salix*. Flera forskningsprojekt med kortare löptid pågår kring specifika skötselåtgärder i Sverige.

8 Utredningen SOU 2007:36 Bioenergi från jordbruket – en växande resurs

Utredningen ”SOU 2007:36 Bioenergi från jordbruket – en växande resurs” innehåller mycket fakta om *Salix*-produktion och utredningens bedömning är aktuell än idag. Därför återges nedan utredningens sammanfattande bedömning av förutsättningarna för att odla *Salix* på ett konkurrenskraftigt sätt:

”I dag odlas *Salix* på 15 000 hektar. Det är en för liten areal för att odlingen skall kunna realisera de stordriftsfördelar i form av kostnadsänkningar som kan uppnås vid en sammanlagd odlad areal om cirka 50 000 hektar. Utgångspunkten för utredningen är att biobränslen i framtiden inte kommer att räcka till och att det därför finns skäl att utveckla ett väl fungerande system för produktion av *Salix* som råvara för ett framtida energisystem baserat på förnybara energikällor. Sverige är i dag världsledande på detta område och det finns goda förutsättningar för att Sverige just på detta område skulle kunna bli ett föregångsland och därmed skapa förutsättningar för att exportera det teknik- och systemkunnande som Sverige under lång tid byggt upp. En ökad areal av *Salix*odlingar är en förutsättning både för teknikutveckling och ökad konkurrens på marknaden för tjänster kring *Salix*odlingen. Det är därför av stor vikt att en utökad areal av *Salix*odling kommer till stånd.

Det skulle möjligtvis kunna uppfattas att det föreslagna stödet skulle leda till en snedvridning av konkurrensen gentemot leverantörer av skogsbränsle och halm till potentiella värme- och kraftverk.

Utredningen har analyserat den möjliga expansionen av fjärrvärmeutbyggnaden och uppskattat den till cirka 20 TWh till år 2020. En utökad odling från i dag cirka 15 000 hektar till cirka 100 000 hektar *Salix* innebär att *Salix* skulle svara för cirka 20 procent av utbyggnaden av fjärrvärmesystemet. Utredningen bedömer att en sådan utökad omfattning av *Salix*odlingen inte skulle innebära att man därmed hämmar expansionen av råvaror baserad på Grot eftersom i framtiden bioenergi kommer att vara en bristvara. Den regionala konkurrensen mot ökat uttag av skogsbränslen bedöms bli relativt begränsad eftersom *Salix* framför allt kommer att odlas i intensiva jordbruksområden med liten skogsbränslepotential. Konkurrensen mot ökad användning av halm för energiändamål bedöms bli begränsad i mellersta Sverige p.g.a. en relativt liten halmpotential i kombination med en stor avsättningspotential inom fjärrvärmesektorn. Halmpotentialen är till största delen koncentrerad i södra Götaland där en stimulerad *Salix*marknad eventuellt skulle kunna få en tillfälligt hämmande effekt på utnyttjandet av halm. Halmen kan emellertid av kostnadsskäl inte transporteras längre sträckor. I praktiken kan dock detta motverkas av att halmen finns direkt tillgänglig i dag, jämfört med *Salix*produktionens ledtider, och att bärning och hantering av halm är kostnadseffektivt redan i dag. I norra Sverige bedöms *Salix*odling inte komma att ske i någon större skala varför konkurrens mot stråbränslen som rörfen bedöms bli marginell. Det mest kostnadseffektiva sättet att använda biobränsle för att reducera utsläppen av växthusgaser är i dagsläget att använda biobränslen för uppvärmning och kraftproduktion.

Sammantaget betyder detta att utredningen bedömer expansionen av *Salix* som en viktig förutsättning dels för att medverka till att reducera utsläppen av växthusgaser på ett effektivt sätt, dels för att Sverige skall kunna tillgodogöra sig resultatet av den tidigare omfattande satsningen på forskning och utveckling av *Salix* och som gjort Sverige världsledande på området. Sverige har genom detta FUD-program skapat unika förutsättningar för att odla och använda *Salix* i energisystemet. Det gäller den potentiella avsättningen inom den framtida fjärrvärmeutbyggnaden, de odlings- och skördesystem som utvecklats och de högvärdiga sticklingar som förädlats fram. Till detta kommer att användningen av *Salix* för värme- och kraftproduktion är ett kostnadseffektivt sätt att minska utsläppen av växthusgaser.

Det råder i dag en ganska stor tveksamhet till odling av *Salix* för energiändamål. Denna tveksamhet har sin grund i dels tveksamheter inför lönsamheten av odlingen, dels en tveksamhet till de miljömässiga egenskaperna hos *Salix*odlingen. Även värme- och kraftvärmesidan har visat viss tveksamhet inför grödans eldningsegenskaper. Dessa faktorer motverkar sammantaget den expansion av *Salix*odlingarna som från samhällets sida är önskvärd. Odlingar av *Salix* eller andra snabbväxande lövträd på åkermark kan tillföra ökad biologisk mångfald i ett landskapsperspektiv, särskilt om alternativet är spannmålsodling på åkermark i homogena jordbrukslandskap. Särskilt småskaliga energiskogsodlingar kan höja det estetiska landskapsvärdet genom att tillföra variation och struktur i ett annars homogent jordbrukslandskap.

Odlingar av *Salix* kan på olika sätt bidra till att uppnå flera av miljö kvalitetsmålen, exempelvis Begränsad klimatpåverkan, Ett rikt odlingslandskap, Giftfri miljö och Ingen övergödning. Ett problem är dock att åtgärder för att uppnå dessa miljömål kan motverka varandra. Odlingar kan ofta lokaliseras, utformas och skötas så att de främjar miljömålen Ett rikt odlingslandskap och Ett rikt växt- och djurliv. Dock kan motsatsförhållanden uppstå mellan dessa miljömål och miljömålet Begränsad klimatpåverkan, som främjas mest av kommersiella odlingar med hög biomassaproduktion och hög kolinlagring. Vissa farhågor är välgrundade. Mycket avgörs av hur väl man lyckas i planeringsprocessen vid anläggande av *Salix*. Trots att åtgärder för att höja *Salix*odlingars natur- och landskapsvärde är väl kända sedan länge, utnyttjas de positiva möjligheterna för biologisk mångfald och kulturmiljö sällan i den praktiska odlingen.

Enligt utredningens bedömning är väl anlagda *Salix*odlingar lönsamma för odlarna och de tillför värmeverken ett värdefullt bränsletillskott. Samtidigt kan *Salix*arealerna innebära positiva miljövärden för samhället. Detta motiverar att informations- och rådgivningsinsatser riktas till lantbruket och dess rådgivningsorganisationer, värmeverken samt till länsstyrelserna. Lokal och regional samverkan mellan t.ex. företag och kommuner bedöms av utredningen vara av stor betydelse för den fortsatta utvecklingen”.

Utredningen lämnar även konkreta förslag för en jordbrukspolitisk hantering av stödsystemet för *Salix*.

9 Referenser

Adler, A., Dimitriou, I., Aronsson, P., Verwijst, T., & Weih, M. 2008. Wood fuel quality of two *Salix viminalis* stands fertilised with sludge, ash and sludge-ash mixtures. Biomass and Bioenergy 32 (10): 914-925.

Alriksson B., Ledin S. and Seeger P.: Effect of nitrogen fertilization on growth in a *Salix viminalis* stand using a response surface experimental design. Scandinavian Journal of Forestry Research, 12, 4, p. 321-327.

Argus, G.W.1997. Infrageneric classification of *Salix* (Salicaceae) in the new world. Systematic Botany Monographs 52. 121 p.

Argus, G.W. 1999. Classification of *Salix* in the new world. Botanical Electronic News 227. 6p.

Aronsson P.G.,Bergström L.F., Elowson S.N.E 2000. Long-term influence of intensively cultured short-rotation Willow Coppice on nitrogen concentrations in groundwater Journal of Environmental Management 58:135-145

Baum, C., Weih, M., Verwijst, T. & Makeschin, F. 2002. The effects of nitrogen fertilisation and soil properties on mycorrhizal formation of *Salix viminalis*. Forest Ecology and Management 160: 35-43.

- Christersson, L. 1986. High technology biomass production by *Salix* clones on a sandy soil in southern Sweden. *Tree Physiology* 2: 261–272.
- Elowson, S. 1999. Willow as a vegetation filter for cleaning of polluted drainage water from agricultural land, *Biomass Bioenergy* 16:281–290.
- Ericsson T. 1994. Nutrient cycling in energy forest plantations. *Biomass & Bioenergy* 6:115-121.
- Gustafsson, J., Larsson, S. And Nordh, N-E. 2008. Manual för *Salix* odlare. Lantmännen Agroenergi AB/*Salix*. Örebro.
- Karačić, A., Verwijst, T. & Weih, M. 2003. Above-ground woody biomass production of short-rotation *Populus* plantations on agricultural land in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 427-437.
- Kopp, R.F. L.B. Smart, C.A. Maynard, J.G. Isebrands, G.A. Tuskan and L.P. Abrahamson. 2001. The development of improved willow clones for eastern North America. *The Forestry Chronicle*. 77(2):287-292.
- Larsson, S. 2004. Syntes av forskning rörande *Salix* inom programmet Fasta biobränslen från jordbruksmark. Statens Energimyndighet 2004.
- Linderson, M-L, Iritz, Z. and Lindroth, A. 2007: The effect of water availability on stand level transpiration, water use efficiency and radiation use efficiency of field-grown willow clones. *Biomass and Bioenergy* 31(7): 460-468.
- Lindroth, A., Verwijst, T. & Halldin, S. 1994. Water-use efficiency of Willow. Variation with season, humidity and biomass allocation. *Journal of Hydrology* 156: 1-19.
- Mitchell, C.P., J.B. Ford-Robertson, T. Hinckley and L. Sennerby-Forsse (eds.) 1992. *Ecophysiology of Short Rotation Crops*. Elsevier Applied Science, London. 308 p.
- Mola Yudego, B. and P. Aronsson, 2008. Yield models for commercial willow biomass plantations in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 32:829-837.
- Nordh, Nils-Erik (2005) Long term changes in stand structure and biomass production in short rotation willow coppice. Doctoral diss. Dept. of Crop Production Ecology, SLU. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae* vol. 2005:120.
- Perttu, K.: 1993, Biomass production and nutrient removal from municipal wastes using willow vegetation filters, *J. Sustainable Forestry* 1(3), 57–70.
- Perttu, K. L. and Kowalik, P. J.: 1997, *Salix* vegetation filters for purification of water and soils, *Biomass Bioenerg.* 12(1), 9–19.
- Sirén, G.1983. Energiskogsodling. Nämnden för energiproduktionsforskning. Stockholm. 255p.
- Skogsstyrelsen 2008. Skogsstatistisk årsbok 2008. Skogsstyrelsen, Jönköping, 337 s.
- ”SOU 2007:36 Bioenergi från jordbruket – en växande resurs. Betänkande av Utredningen om jordbruket som bioenergiproducent. Stockholm 2007
- Stadenberg, A. J. S. McDonald, and S. Palmer. 1994 Diurnal variation in leaf extension of *Salix viminalis* at two nitrogen supply rates. *Tree Physiol* 1994 14: 1131-1138.

- Verwijst, T. 1991. Shoot mortality and dynamics of live and dead biomass in a stand of *Salix viminalis*. *Biomass & Bioenergy* 1: 35-39.
- Verwijst, T. 1993. Influence of the Pathogen *Melampsora epitea* on Intraspecific Competition in a Mixture of *Salix viminalis*. *Journal of Vegetation Science*, Vol. 4, No. 5, (Sep., 1993), pp. 717-722
- Verwijst, T. 1996a. Cyclic and progressive changes in short-rotation willow coppice systems. *Biomass and Bioenergy* 11: 161-165.
- Verwijst, T. 1996b. Stool mortality and development of a competitive hierarchy in a *Salix viminalis* coppice system. *Biomass and Bioenergy* 10: 245-250.
- Verwijst, T. 2001. Willows: An underestimated resource for environment and society. *The Forestry Chronicle* 77-2: 281-285.
- Volk, T.A., Verwijst, T., Tharakan, P.J., Abrahamson, L.P. & E.H. White. 2004. Growing fuel: a sustainability assessment of willow biomass crops. *Front. Ecol. Environ* 2004; 2(8): 411-418. Growing fuel: a sustainability assessment of willow biomass crops. *Front Ecol Environ* 2004; 2(8): 411-418
- Weih M, Nordh N-E (2005) Determinants of biomass production in hybrid willows and the prediction of field performance from pot studies. *Tree Physiol* 25:1197-1206.
- Weih M. 2001. Evidence for increased sensitivity to nutrient and water stress in a fast-growing hybrid willow compared with a natural willow clone. *Tree Physiol* 21:1141-1148.
- Wikberg, J. and E. Ögren 2007 Variation in drought resistance, drought acclimation and water conservation in four willow cultivars used for biomass production. *Tree Physiology* 2007 27(9):1339-1346.

Bilaga 10

Effekter på vedegenskaper och råvarans användning vid intensivodling av barr- och lövträd

Erik G. Ståhl

Mats Nylinder, Institutionen för Skogens produkter och marknader, SLU

Innehåll

Omvärld och avgränsning	1
Intensivodlingens effekter på vedegenskaperna hos barr- och lövträd.....	1
Intensivodling av gran	1
Tidigare publikationer	2
Intensivodlingens effekter på vedegenskaperna hos gran	2
Förväntade effekter på vedegenskaper vid intensivodling i praktisk skala.	3
Användningsområden för råvara och avsättningsförhållanden för produkter från intensivodlad barrskog.....	4
Ökat utnyttjande av hybridasp.....	5
Hybridaspens vedegenskaper och användningsområden	5
Ökat utnyttjande av contortatall	6
Contortatallens vedegenskaper och användningsområden	6
Referenser.....	7

Omvärld och avgränsning

Med intensivodling menar vi skogsskötselåtgärder med syfte att ge en god kronutveckling och bibehålla en väl fungerande grönkrona för att snabbt producera avverkningsmogna bestånd. Exempel på intensivodling är skogsodling på ej utnyttjad jordbruksmark, utnyttjande av snabbväxande trädslag och växtförädlade odlingsmaterial, upprepad eller kontinuerlig gödsling, radikal markbehandling, tidig utglesning av stamantal.

I det följande kommer vi att belysa principerna för hur olika former av intensivodling påverkar vedegenskaper. Vi gör det med utgångspunkt i tre exempel, nämligen;

- intensivodling av gran (*Picea abies*) på bördiga marker.
- ökat utnyttjande av hybridasp (*Populus tremula* x *populus tremuloides*).
- ökat utnyttjande av contortatall (*Pinus Contorta*).

Intensivodlingens effekter på vedegenskaperna hos barr- och lövträd

Intensivodling med i första hand inriktning mot ökad diametertillväxt/stam medför en ökad årsringsredd.

Med ökad årsringsbredd fås för:

- barrträd ökad andel vårved. Vårveden kännetecknas av korta och tunnväggiga fibrer, medan sommarvedens är tjockväggiga. Skillnaden i väggjocklek medför att sommarveden har högre torr-rådensitet än vårveden. Ökad årsringsbredd medför därför ved med lägre densitet och ökad andel tunnväggiga fibrer.
- ströporiga lövträdslag som t.ex björk, asp, al och bok förändras inte vedens egenskaper med ökad årsringsbredd.

Densiteten (här definierat som torr vikt per rå volymenhet) är en egenskap som har starkt samband med många andra vedegenskaper och ofta stor betydelse för det slutliga råvaruutnyttjandet. Ett negativt samband finns mellan tillväxthastighet och densitet för barrträd. Frågan har ställts om inte effekten av en ökad diametertillväxt/stam kan elimineras av reduktionen i densitet och därmed torrsubstans. Så är inte fallet, men ökningen i torrsubstansproduktion kan i extremfall minska till ca 2/3 av ökningen i volymproduktion, normalt dock mindre.

Intensivodling av gran

Intensivodling på våra breddgrader medför en virkesproduktion/arealenhet som motsvarar vad som på många håll i Mellaneuropa är normala nivåer. Virket från dessa bestånd utnyttjas för flertalet träindustriella processer och anses ha egenskaper som endast marginellt avviker från den nordiska råvaran. Med detta sagt bör man komma ihåg att intensiteten i skogsskötseln i Sydeuropa ofta är avsevärt högre än vi anser försvarbart med rimliga krav på räntabilitet. Detta gäller under hela omloppstiden från val av föryngringsmetod, anläggningsförband och plantmaterial, röjnings och gallrings, -intervall, -form och -styrka, omloppstid och kompletterande åtgärder som stamkvistning, gödsling och bekämpning av skadegörare.

Intensivodling i sig behöver inte innebära en ökad diametertillväxt/stam. Man kan naturligtvis välja att fördela tillväxten på fler stammar per hektar för att minimera eventuella negativa effekter av snabbare tillväxt. För enkelhets skull har vi dock i vårt resonemang antagit att intensivodling medför en ökad diametertillväxt/stam under hela omloppstiden.

Tidigare publikationer

Inom ämnesområdet ”effekt på vedegenskaper av ökad tillväxt hos gran” finns en stor tidigare publicering. Denna sammanfattas väl av litteraturstudier i fem doktorandarbeten;

- Norén, A. 1996 Wood and pulp properties of juvenile *Picea abies* (L.) Karst. grown on agricultural and forest land
- Johansson K. 1997 Effect of Early Competition on Wood Properties of Norway Spruce
- Pape, R. 1999 Effects of Thinning on Wood Properties of Norway Spruce on Highly productive Sites
- Wilhelmsson, L. 2001 Characterisation of Wood Properties for Improved Utilisation of Norway Spruce and Scots Pine
- Lundgren, C. 2003 Wood and Fibre Properties of Fertilized Norway Spruce

Alla studierna sammanfattar ämnet, men Norén (1996) fokuserar på ståndortsskillnader, Johansson (1997) på förbandseffekter, Pape (1999) på gallringseffekter och Lundgren (2003) på gödslingseffekter. Wilhelmsson (2001) fokuserar på möjligheterna att modellera vedegenskaper i olika träd och bestånd.

Intensivodlingens effekter på vedegenskaperna hos gran

För gran och contortatall medför en snabb diametertillväxt i ungdomen att större mängd juvenilved (ved bildad nära märg, av ett ungt cambium) bildas i en kon inne i stammen. Juvenilved karakteriseras av stor andel vårved och därmed lägre densitet, kortare bredare fibrer med tunna cellväggar, större mikrofibrillvinkel (vilket i sin tur medför större längdkrympning) och en ökad andel reaktionsved i jämförelse med mogen ved. Det största problemet är att denna ved kraftigt avviker från den mogna vedens egenskaper och att förändringen sker så snabbt, ofta över några få årsringar. När väl mogen ved börjat bildas spelar diametertillväxten mindre roll för vedegenskaperna. Generellt gäller dock för barrträd att en ökad tillväxt inducerad genom gödsling eller friställning ger minskad sommarved och densitet, även under den senare delen av omloppstiden. För den sågade varans egenskaper har traditionellt en ökad diametertillväxt under den första tredjedelen av omloppstiden (den tid när juvenil ved bildas i stammens nedre delar) betraktats som negativt, men som betydelselöst eller positivt under senare delen av omloppstiden. Ett undantag har varit de frodvuxna solitära granar som under hela sin omloppstid haft god näringstillgång och vuxit utan nämnvärd ljuskonkurrens. En komplicerande faktor är frågan om intensivodling (kontinuerlig gödsling) förlänger den juvenila perioden.

Ökad tillväxt medför vanligtvis grövre grenar men grenutvecklingen kan påverkas med förbandets täthet, gallringsform och även genom stamkvistning. Grenutvecklingen i ett glest planteringsförband kan eventuellt kompenseras med en efterföljande höggallring enligt Phister et al (2007). Om höjtillväxten ökar, ökar även avståndet mellan grenvarv vilket medför mer kvistfri ved.

Skador och fel på träd påverkar ofta värdet av den producerade råvaran mer än ved och virkesegenskaperna i sig. Vindbrutna träd, rötskadade eller älgbetade stammar förlorar stora delar av sitt värde. Men även mindre skador kan ge upphov till försämrade effekter, t.ex. missfärgningar,

barkdrag eller kådlåpor. Stamskador, frekvens krokiga träd och sprötkvistar/dubbelstammar kan ofta kopplas till odlingslokalens läge (frostsador på lågt liggande lokaler) eller markstruktur (uppfrysning på sedimentmarker) men knappast till tillväxthastigheten i sig. På skogsodlad åkermark har en ökad frekvens skador redovisats av Norén (1996). För barrträd har samband indikerats att den ökade andelen juvenilverd med sämre hållfasthet och större flexibilitet skulle medföra ökad frekvens av krokiga stammar med reaktionsved som följd.

De problem med stamsprickor i gran som redovisades av Persson (1994) kan ses som ett exempel på svårprognosticerade skador med effekt på framtida utnyttjande vid intensivodling. Stamsprickor, ofta flera meter långa, uppkom under sent 1980-tal på intensivodlade granbestånd i mellersta och södra Sverige. Skadorna drabbade främst bestånd på nedlagd åkermark med dåligt klimatanpassade odlingsmaterial och låg densitet. Den direkta orsaken angavs till torkstress. Stockar med stamsprickor duger ej till sågtimmer, men bestånd med skadade stammar har generellt låg densitet och virket låg hållfasthet.

Valet av ett glest utgångsförband medför bland annat att andelen juvenilverd ökar, densiteten minskar och grengrovleken ökar i rotstocken (Johansson 1997). Även möjligheten att successivt avlägsna skadade stammar i röjningar och gallringar minskar. I täta ursprungsförband ökar däremot risken för spridning av rottröta

När virkesegenskaper på intensivodlade skogsmarker jämförs med normalt odlad råvara måste vi särskilja gallringsvirket från slutavverkningsvirket. Möjligheterna är goda att vid successiva röjningar och gallringar av fullt slutna bestånd avverka träd med skador och de mest ogynnsamma vedegenskaperna. Dessa skulle då i första hand falla inom kategorin energisortiment eller massaved där dessa egenskaper är av mindre betydelse. Pape (1999) konstaterar att gallringens effekter på densiteten är små och främst beror av avlägsnandet av förväxande träd. Gallringsformens inverkan på trädens framtida densitetsutveckling är begränsad. Gallring minskar generellt andelen juvenilverd i det kvarstående beståndet och effekten blir större vid höggallring än vid låggallring. Växtvridenhet (=fibervinkel) hade ett positivt samband med årsringsbredd och hårda låggallringar medförde ökad växtvridenhet. Hårda låggallringar medförde också en ökad vårvedsandel, en minskad cellväggstjocklek och en ökad kvot mellan fibertjocklek och cellväggstjocklek (ett uttryck för fiberns risk att kollapsa under tryck).

Vid kontinuerlig gödsling under en hel omloppstid kan vi förvänta oss att densiteten minskar på det gödslade virket, cellväggarna blir tunnare och mikrofibrillvinkeln ökar (Lundgren 2003). Mängden juvenil ved/stam kommer att öka, och eventuellt kommer juvenil ved att bildas under en längre period. Gödsling kan även medföra fler och grövre grenar per löpmeter virke (Mäkinen et al 2001).

Förväntade effekter på vedegenskaper vid intensivodling i praktisk skala.

Om intensivodling genomförs i stor omfattning kan vi förvänta oss att industri och samhälle tillförs stora volymer råvara. Även om den virkesråvara som då produceras inte alltid motsvarar nuvarande råvara är det tillkommande kvantiteter som väl kan utnyttjas inom energisektorn, som massaråvara eller inom sågverks- och träindustri. Vad avser barrvirke måste vi dock direkt konstatera att den ökade tillväxten i volym sjunker vid omräkning till torrsubstansproduktion pga. att densiteten i virket sjunker vid ökad årsringsbredd.

Jämförs vedegenskaper på intensivodlad råvara med det vi idag producerar kan vi förvänta oss följande. Årsringsbredd och andelen vårved kommer att öka, främst i de inre årsringarna. Andelen juvenilverd kommer att öka. Fiberdimensionerna kommer att förändras i främst gallringsvirket, där en ökad andel tunnväggiga fibrer kan förväntas. Densiteten blir lägre vilket innebär ökade transportkostnader till industrin, lägre energi- och massautbyte per volymsenhet men även per torr viktsenhet.

För den sågade varan innebär den lägre densiteten en sämre beständighet samt en minskad ythårdhet på sågad vara. Andelen konstruktionsvirke med nedsatt hållfasthet kommer att öka, främst på grund av en ökad kvistdiameter. En ökad växtvridenhet och mikrofibrillvinkel medför att den för formstabiliteten så viktiga längdkrympningen ökar och att mer virke kommer att vrida sig vid förändrad luftfuktighet. Virket blir dock lättare efter torkning. En komplikation, speciellt vid sågning och torkning av virke med alltför mycket juvenilverd/låg densitet är att virket trasas sönder under sågning och spricker vid efterföljande torkning. Detta är speciellt accentuerat när frodvuxet och senvuxet virke torkas samtidigt.

För energisortimenten kommer det stamvirke av barrved som utnyttjas att, vid en viss given dimension, ha lägre energiinnehåll än idag. Effekten av intensivodling på GROT-sortimentets energiinnehåll kan vi ej uttala oss om.

Användningsområden för råvara och avsättningsförhållanden för produkter från intensivodlad barrskog

Råvara av barrträd producerad vid intensivodling bör i första hand ha massaindustrin som användare. Vid storskalig intensivodling kommer en relativt homogen och lättbearbetad massaråvara att produceras i en omfattning som möjliggör storskalig anpassning. Produceras råvara i tillräcklig mängd har massaindustrin upprepade gånger visat sig kunna anpassa sina processer. Enligt Wahren (1995) kan man när det gäller svensk barrved ”få ut ett speciellt värde genom att ta fram sortiment eller fraktioner där fibrerna är speciellt tunnväggiga. Om det gick att ta fram fibrer med ungefär samma längd och bredd som dagens granfibrer men med väsentligt tunnare fiberväggar så skulle det göra det möjligt att bygga in tillräcklig styrka och styvhet i ännu tunnare papper eller skikt i kartong. Om fibrerna är tunnväggiga så binder dom bättre till varandra. Då kan man också lägga i betydligt mer lera, krita eller mald kalksten för att ge ljusspridning och opacitet. Ju tunnare fibrer desto jämnare papper kan man göra vid erforderlig styrka”. Nu skulle inte denna råvara passa alla massabruk men tillräckligt många för att svälja huvuddelen av den producerade råvaran. Den skulle kunna stå för förstärkningen av returmassa, och förbättra tryckbarheten och styrkan på kartong. Går den intensivodlade barrträdsråvaran primärt till massaved kommer den dessutom att bidra till energisektorn..

Avsättningsmöjligheterna för denna typ av massa torde på sikt öka. Returmassor med slitna och processade fibrer måste ständigt kompletteras och förstärkas med långa, starka och sega fibrer. Det ständigt ökade kravet på bilder och information på olika förpackningar bör även gynna den långa, breda, tunnväggiga fibern. Denna typ av fibrer är svårt att producera i varmare klimat men i Nordeuropa går det bra!

Att utnyttja intensivodlade barrträd som timmer, kubb och klintimmer i sågverken är naturligtvis också fullt möjligt. Det sågade virket skulle i huvudsak användas på samma sätt som idag, som byggnads- och konstruktionsvirke, formvirke och emballage. Andelen av sämre kvaliteter skulle öka men vi bedömer det osannolikt att sågverken skulle särsortera timmer från intensivodling. Den ökade andelen juvenilverd, låg densitet och kvistgrovlek skulle innebära problem vid sönderdelning, torkning och ytbehandling. Sannolikt skulle antalet reklamationer öka något. Sidoutbyten från timmer i grova dimensioner kommer dock i stort att motsvara dagens kvalitet.

I ett läge där stora arealer intensivodlade granmarker utnyttjades, tror vi att de mest snabbväxande bestånden borde undvikas av sågverken. Här skulle kombinationen av mycket breda årsringar med mycket vårved, grova grenar och låg densitet ge upphov till en råvara som är svår att såga, torka och vidareförädla, där utnyttjande av virket skulle försvåras och där egenskaper på slutprodukten skulle ifrågasättas.

Efterfrågan på sågverksindustrins produkter är när detta skrivs extremt svag. När den på sikt kommer att förbättras ökar i första hand sågverkens efterfrågan på bra råvaror. Först i ett läge med brist på råvara efterfrågas de sämre kvaliteter som den intensivodlade granen utgör.

Intensivodling av barrträd kommer sannolikt att producera stora mängder GROT (grenar och topp) och skadad råvara (röta mm) för energiproduktion. Vi finner det däremot osannolikt att nämnvärda kvantiteter friskt stamvirke från intensivodling av gran kommer att utnyttjas direkt inom energisektorn. Undantag från detta kan dock ske i energianläggningars omedelbara närhet. Starka argument för primärt utnyttjande av råvaran i massaindustrin är att den ändå på sikt kommer att utnyttjas för energiproduktion och att massaindustrin utnyttjar energin effektivt.

Ökat utnyttjande av hybridasp

Med ökat utnyttjande av hybridasp avser vi odling främst på nyligen nedlagd åkermark eller äldre åkermark där en generations odling av gran gett upphov till stora rötskador. Vi avser aktivt förädlingsarbete med urval av ett fåtal kloner, hägnad föryngring och, på lämpliga lokaler, kompletterande näringstillförsel. Bestånden förutsätts även skötas intensivt med markbehandling, maskinell bekämpning av ogräs och underväxt, röjning mm.

Hybridasp är liksom asp ljuskrävande. Hybridasp kan växa på de flesta ståndorter men producerar som bäst på finjordsrika eller mullrika bördiga marker med god vattentillgång.

Hybridaspens vedegenskaper och användningsområden

Virke av hybridasp har i stort samma egenskaper som vanlig asp. Hybridaspens ved är lätt, mjuk, elastisk och rätfibrig. Aspvirke har generellt sett ett mycket brett användningsområde och kan t.ex. utnyttjas som timmer till sågverken, som tändsticksvirke och är en utmärkt råvara till papper. Aspråvaran kan både kokas och sönderdelas mekaniskt och bidrar med ljushet i massan (Rauna J 2002) I Europa och Nordamerika används virket även inom skivindustrin t.ex. till plywood, OSB och MDF och spånskivor. Användning av asp är betydligt mer omfattande i Norge än i Sverige och används där till bl.a. panelvirke (Frivold 1988). Veden är även en utmärkt råvara för energisektorn (Ekström 1987) även om energiinnehållet är lågt.

Hybrid Aspen har samma användningsområde som vår vanliga asp. Hybrid Aspen kan dock förväntas ha klart förbättrade ved- och virkesegenskaper då genetiskt förädlingsarbete förutom ren volymförbättring ofta medför kvalitativa förbättringar. Speciellt i trädslag där generationstiden är kort kan stora vinster göras snabbt genom anpassning till industriella krav (Rautio et al 2001)(Jfr. eucalyptusförädling i tropiska länder). Odling av hybridasp innebär en typ av klonskogsbruk med relativt kort omloppstid 20 - 30 år. Detta innebär i förhållande till det traditionella skogsbruket goda förutsättningar att genom förädling ta fram kloner med efterfrågade egenskaper vars virke kan tas tillvara inom relativt kort tid. Hybridasp tillhör de ströporiga lövträden vars virkesegenskaper endast anses påverkas marginellt av tillväxthastigheten. Man har dock i förädlingsarbetet av hybridasp påvisat stor genetisk variation i densiteten men även ett negativt samband med tillväxten för olika kloner. Urval av kloner som kombinerar god densitet och tillväxt bör skapa förutsättningar att få fram allt bättre odlingsmaterial för kommersiell odling av hybridasp (Sternier 1998). Genom urval i kombination med vegetativ förmering kan vi initialt förvänta oss snabba förändringar t.ex. av fiberegenskaper (Pulkkinen 2001), kvistfria sektioner, skador och missfärgningar.

Till skillnad från barrträden producerar lövträd som får växa fort dessutom vanligtvis ett friskt virke med mindre defekter i form av missfärgningar från grenar och skador (Rytter & Werner 2003). Undantaget från denna regel är grengrovleken som vanligtvis följer tillväxthastigheten väl.

Idag importeras asp främst för att förse massa- och pappersindustrin med råvara. Det bör finnas goda möjligheter till framtida avsättning av ett större utbud av aspvirke i Sverige. En nackdel med det nuvarande utbudet av inhemska asp är att det ofta består av mycket små, geografiskt utspridda partier av skiftande kvalitet. Vid intensivodling av hybridasp bör det framtida utbudet bestå av större partier mer enhetlig råvara och därmed få en fördelaktigare avsättning. Då odlingen av hybridasp blir en form av klonskogsbruk finns möjlighet att erhålla extremt väldefinierad råvara, väl anpassad för specificerade slutprodukter inom massa- och pappersindustrin, t.ex. högkvalitativt tryckpapper. Naturligtvis finns även risk för att olämpliga egenskaper oavsiktligt anrikas eller att svamp och skadeinsekter kan medföra skador som påverkar virkets egenskaper. Den samhällsekonomiska risken minskas dock av att virket åtminstone bör kunna utnyttjas för energiändamål. I övrigt berörs ej riskfilosofin i detta kapitel.

Ökat utnyttjande av contortatall

Utnyttjandet av contortatall i Sverige måste ses som ett skolexempel på introduktionen av en exot. Naturligtvis har programmet haft motgångar men i det stora hela har det varit framgångsrikt. Introduktionen genomfördes för att åtgärda en befarad svacka i råvarutillgången för massaindustrin i norra Sverige.

En bra sammanfattning av introduktionen finns redovisad i Skogsstyrelsens utredning "Contortatallen i Sverige – en lägesrapport" (Skogsstyrelsen(1992)).

Contortatallens vedegenskaper och användningsområden

Vad skulle då ett fortsatt utnyttjande av contortatall och ett eventuellt utnyttjande i södra och mellersta Sverige medföra för förändring i den producerade råvarans egenskaper? Contortatall kommer att producera större volymer/ha än tallen. Detta medför en ökad slutenhet i bestånden, ökad konkurrens och större möjligheter till ett bra urval vid gallringar.

Frekvensen skador, sprötkvistar och krokiga stammar för contortavirket motsvarar eller är något lägre än tallens. Här måste dock nämnas att jämförelsen görs med dagens planterade tallbestånd och inte med äldre, naturligt förnygrade bestånd.

En jämförelse av vedegenskaper för tall och contortatall av rätt härkomst skulle utfalla till contortatallens fördel. Vid samma dimension har contortatall bättre kvistegenskaper och längre, slankare fibrer än tallen. Den något lägre densiteten kompenseras av en betydligt högre torrsustansproduktion (Ståhl & Persson 1988).

Som massaråvara har contortatallen i jämförelse med tall lägre barkhalt men högre kvisthalt, något lägre densitet och torrsustanshalt, smala och tunnväggiga fibrer. Contortaved ger "samma" sulfatmassautbyte som tallmassaved men ett lägre utbyte av tallolja. Massaved från contortatallen är dock till skillnad från tallmassaved användbar som råvara för mekanisk massa.

Som råvara för sågat virke har contortatallen en stor fördel i sina friska kvistar. Vad avser impregnerbarhet, blånad, hyvling, limning och lagring är skillnaderna mellan trädslagen försumbara. Contortatallen har en större kärnvedsandel än tallen (Andersson 1987). Vid torkning spricker contortavirket mindre ofta än tall, men däremot är sprickor i kvist vanligt, såväl före som efter bearbetning. Det finns möjligheter att utnyttja contortavirke som hållfasthets sorterat konstruktionsvirke. Kvistdimensioner och densitet ger dock contortan något sämre värden än tall.

Vår bedömning är att contortatall som ursprungligen planterades för att kokas till massa kommer att vara en betydande råvara för sågverksindustrin i norra Sverige.

Referenser

- Andersson E. 1987 *Pinus Contorta* Träd- och vedegenskaper. SUAS Dep. of Forest Products Report No 186
- Ekström, H., 1987. Lövvirke, tillgång och industriell användning. Rapport 197. Institutionen för virkeslära, SLU, Uppsala.
- Frivold, L.,H., 1988. OSP I byggningen och hus. Norges lantbrukshöskola, Ås.
- Johansson K. 1997 Effect of Early Competition on Wood Properties of Norway Spruce *Dissertation Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 19*
- Lundgren, C. 2003 Wood and Fibre Properties of Fertilized Norway Spruce *Dissertation Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 288*
- Määkinen H., Saranpää P. & Linder S. 2001 Effect of nutrient optimization on branch characteristics in *Picea abies*(L.)Karst. *Scand. J. Of For. Res.* 16(4): 354-362
- Norén, A 1996 Wood and pulp properties of juvenile *Picea abies* (L.) Karst. grown on agricultural and forest land *Dissertation ISRN SLU-SKOPRO-R-40-SE*
- Pape, R. 1999 Effects of Thinning on Wood Properties of Norway Spruce on Highly productive Sites *Dissertation Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 88*
- Persson A. 1994 Stem cracks i Norway spruce in southern Scandinavia: causes and consequences. *Annales des Sciences Forestieres* No 51, 315-327
- Pfister O., Wallentin C., Nilsson U. & Ekö P-M. 2007 Effects of wide spacing and thinning strategies on wood quality in Norway spruce (*Picea abies*) stands in southern Sweden. *Scand. J. Of For. Res.* 2007; 22:333-343
- Pulkkinen P. 2001 The effect of wood properties to the possibilities of vegetative propagation of hybrid aspen *In: Aspen in papermaking Univ. Of Helsinki. Dep. Of Applied Biology, Publications* 5:34-39
- Rauna J. 2001 Industrial use of aspen fibres *In: Aspen in papermaking Univ. Of Helsinki. Dep. Of Applied Biology, Publications* 5:1-4
- Rautio M., Kangas T., Auterinen T., Álen R. & Pulkkinen P. 2001 Wood quality components of hybrid aspen for paper making *In: Aspen in papermaking Univ. Of Helsinki. Dep. Of Applied Biology, Publications* 5:19-26
- Rytter, L., Werner, M., 2003. Virkeskvalitetsfel och apteringsråd för lövträd.Handledning. Skogforsk.
- Skogsstyrelsen 1992 Contortatallen i Sverige – en lägesrapport. Skogsstyrelsens contortautredning. ISBN 91-576-4604-X
- Stener, L., G., 1998. Anallys av fibregenskaper för kloner av hybridasp. Arbetsrapport Nr 387, Skogforsk. Uppsala.
- Ståhl E.G. & Persson A. 1988 Wood quality and volume production in four 24-year-old provenance trials wih *Pinus contorta* *Stud. For. Suec.* No. 179

Wahren D. 1995 Hardwoods as a papermaking raw material of the future Stora Teknik. Corporate Research center, Report B 95/2015 TKF 1-11

Wilhelmsson, L. 2001 Characterisation of Wood Properties for Improved Utilisation of Norway Spruce and Scots Pine *Dissertation Acta Universitatis Agriculturae*

Bilaga 11

Risker för insektsskador på trädskiktet

Åke Lindelöw, Enheten för skogsentomologi, Institutionen för ekologi, SLU

Innehåll

1. Inledning.....	1
2. Contorta.....	1
3. Gran.....	2
Gödsling.....	2
Nedlagd jordbruksmark.....	3
Dikesrensning.....	3
4. Hybridasp.....	3
Virkesskadegörare.....	4
Primära skadegörare av betydelse.....	4
Exoter.....	4
5. Sitkagran.....	5
Sitkalus.....	5
6. Lärk.....	5
Referenser.....	5

1. Inledning

Det ligger i sakens natur att säkra förutsägelser om risker för eventuella biotiska skador att uppträda i bestånd med exotiska trädslag eller i högproducerande granbestånd i grunden är omöjliga att göra. Forskning rörande insekt-växt relationer har visat på samband mellan egenskaper hos träden och olika insektsarters utveckling på dessa träd. Kunskap om hur dessa egenskaper hänger ihop med risker för utbrott med skador som följd är dock fragmentarisk.

Å ena sidan ingår att ha en uppfattning om hur de inhemska insektsarterna uppträder om de erbjuds ändrade förhållanden såsom nya skötselmetoder, nytt genetiskt skogsodlingsmaterial, nya trädslag, andra markförhållanden samt ändrat klimat. Och å andra sidan att bedöma risker för att exotiska insektsarter arter införs och etableras på de inhemska trädslagen respektive de införda trädslagen. Exempel på svåra insektsskador finns i båda fallen. Och i många fall har inga negativa skadeverkningar registrerats och det kan vara särskilt intressant att granska dessa.

2. Contorta

Mer än 600 000 ha skogsmark har planterats med contorta i Sverige. Merparten av denna areal finns i mellersta delen av landet, där delar av Medelpad har mer än 10 % contortaskog. Merparten av arealen har planterats under de senaste 50 åren. Eftersom många skogsinsekter har utbrott med långa, oregelbundna tidsintervall kan vi inte fullständigt avläsa resultatet av denna storskaliga introduktion av ett exotiskt trädslag. Dessutom har successivt allt mer nordliga provenienser använts. De dåliga erfarenheterna av detta trädslag i Skottland och på Island kan inte överföras direkt till svenska förhållanden. I Skottland angreps stora arealer contorta på torvmark av tallfly (Panolis flammea) och på Island har beskogning med användning av contorta omöjliggjorts på grund av kroniska angrepp av tall-lus (Pineus pini). Tallfly har haft enstaka massutbrott i södra delen av Sverige på torr mark och tall-lusens krav på ett mildt vinterklimat gör att skador av denna insekt är mycket sällsynta i Sverige. Erfarenheten av skogsodling med contorta i Sverige har visat att skador förorsakade av insekter hitintills varit marginella. Två arter har dock utmärkt sig genom att uppträda särskilt ofta och talrikt nämligen röd tallstekel (Neodiprion sertifer) och tallblomvivel (Anthonomus phyllocola). Båda arterna är utbredda och allmänna i vanlig tallskog. I fallet med tallblomvivel har denna närmast blivit en karaktärsinsekt i röjningsbestånd av contorta. Anledningen till att denna art, vars larver utvecklas i hanblomställningen, blir så talrik är troligen contortans stora blommor, tidiga och rikliga blomning. Angrepp av röd tallstekel minskar tillväxten under flera år men träden överlever. Röda tallstekeln uppträder med utbrott, oregelbundet i tiden, regionalt i tallskogar, men bekämpas inte.

Totalt har ett drygt 60-tal insektsarter noterats leva på contorta (80 i Norden). Arter som lever på barr, blommor, kottar, knoppar och skott utgörs av arter som också utvecklas på vanlig tall. Några arter har uppträtt i mängd, uppenbarligen gynnade av contortans egenskaper som värdräd. Exempel är tallblomvivel och tallkottvivel (Pissodes validirostris). Bark- och vedlevande insektsarter visar ett annat mönster med arter som normalt lever på gran. Bland dessa finns sextandad barkborre (Pityogenes chalcographus) och granbarkborre (Ips typographus). Båda dessa har iakttagits kolonisera och döda contortaträd. Den sextandade barkborren anlägger gångsystem under barken och lägger ägg men larverna utvecklas i liten omfattning och förökningen blir för det mesta obetydlig.

När skogsvårdslagens begränsning av contortans användning söder om 60° breddgraden (59° 30') infördes var skälet var bl.a. att det ansågs föreligga en allmänt högre risk för skador av insekter. Historiska utbrott av barrskogsnunna (Lymantria monacha), tallmätare (Bupalus piniaria) och tallfly m.fl. samt iakttagelser av allvarliga skador av skott- och knopp-levande insekter i proveniensförsök med contorta i södra Sverige fördes fram. Också erfarenheter från bl.a. Skottland där tallflyangrepp omöjliggjort odling av contorta på torvmark (något som ingen kunde förutse!) uppmärksammades vid denna tid. Utbrott av barrskogsnunna, tallfly och tallmätare är i hög grad relaterade till sandiga/svaga

marker i södra Sverige. Likaså uppträder angrepp av skottvecklare i hög grad i glesa planteringar på svaga marker. Utbrott av dessa arter inträffar med olika styrka med oregelbundna tidsintervall som kan vara flera decennier långa. Barrskogsunnans utbrottsfrekvens är ett bra exempel. Det är nästan 100 år mellan de två utbrotten som drabbat mer än 1000 ha skog.

Det finns inget idag som talar för att utbrott av dessa insekter blivit mer frekventa i södra Sverige inte heller inträffar längre norrut, inte heller att odling av contorta kommer att öka sannolikheten för utbrott. Avläsningar i olika proveniensförsök och avkomme-försök har inte heller visat några speciella problem med skadeinsekter i södra Sverige under de senaste decennierna.

Som exempel på förutsägelser baserade på ett förändrat klimat tas här endast upp röd tallstekel. Utbrott av denna art förutsägs öka i Finland om lägsta vintertemperatur ökar med ökad ägg-överlevnad som följd.

Snytbagge äter på contortaplantor i stor utsträckning. Däremot tycks contorta ha bättre förmåga att tåla gnaget och dessutom innehålla gnagavskräckande substanser med högre överlevnad som resultat. Hur stor denna effekt är kvantitativt i planteringar med contorta är inte känt (?).

Snytbaggens reproduktion i contortarötter har inte undersökts i Europa.

Risken för exoter? Inga av contortans insektsarter i ursprungsområdet har etablerat sig i Europa. Antalet insektsarter av exotiskt ursprung som etablerar sig i Europa ökar dock exponentiellt med ökad internationell handel och detta trots en omfattande växtskyddslagstiftning och tillsyn. Många skogslevande insektsarter, som etablerat sig i Europa har sitt ursprung i Nordamerika. Det finns därför anledning att förhindra insektsarter som lever på contorta i Nordamerika att införas till Europa och Sverige. Bland dessa är "Contortabastborren" (*Dendroctonus ponderosae*) som för närvarande har ett utbrott som berör mer än 9 miljoner ha i British Columbia.

3. Gran

Gödsling

Tillförsel av näringsämnen tex. kväve i trädet medför att födans kvalitet förbättras för många insektsarter. Insekter som har ett nära samband med sitt värdräd, gallbildande, skottlevande eller sugande insekter såsom bladlöss gynnas ofta om värdrädet växer bättre som en följd av gödsling. Individerna blir större och får därmed högre fekunditet. Gödsling leder ofta till en minskning av koncentrationen av kol-baserade sekundära kemiska ämnen som utgör en del av trädets försvar mot insekter och patogener. Mekanismen är att dessa ämnen går till tillväxt om näringstillgången är god och finns då inte tillgängligt för växten att producera försvarssubstanser. Mönstret är dock inte genomgående.

Slutsatsen är att generellt torde gödsling medföra större insektsproblem än tvärtom.

Å andra sidan leder en snabbare tillväxt till kortare odlingstid och därmed en mindre risk att ett insektsutbrott inträffar. Större barrmassa kan ge större tolerans mot barrätning. Fler kådkanaler ger större motståndskraft mot tex. barrsteklar, barkborrar och vivlar. Här kan det finnas skillnader mellan olika barrträdsarter.

Försök med gödsling av gran har undersökts i Finland och i långtidsförsök med upprepade gödslingar har inte frekvensen insektsskador ökat.

Generell slutsats: Upprepad kvävegödsling av gran leder inte med nödvändighet till ökade insektsskador.

Nedlagd jordbruksmark

Betingelserna för skogsodling på mark som använts för jordbruksändamål skapar särskilda förutsättningar för trädens växt och risk att drabbas av skador. Här ska endast några exempel anföras som visar svårigheten att förutsäga riskerna.

Vid odling av gran har i många fall träden råkat in i ett stresstillstånd till följd av extrema markförhållanden, som predisponerat dem för angrepp av tex. dubbelögad bastborre (*Polygraphus poligraphus*) (i kombination med honungsskivling och varm väderlek) eller andra barkborrar, som förmår kolonisera och slutgiltigt döda träden. Angrepp av dubbelögad bastborre är alltid förenat med att träden lider av torka/svag ståndort/konkurrens.

Kroniska uppträdande av granbarrstekel (*Pristiphora abietina*) har uppstått på gräsrika betesmarker, både här och i andra delar av Europa. Trots att arten tillhör de mest studerade vad gäller populationsdynamik är förståelsen av de kroniskt höga populationstätheterna på dessa marktyper ännu dålig och mekanismerna bakom till stora delar okända. Dessa skador har iakttagits i mindre omfattning i södra Sverige.

Dikesrensning

Hastiga förändringar i vattentillgången i jorden drabbar trädslagen olika. Gran är mycket känslig för överskott på vatten tex. i samband med översvämningar kan träden pga syrebrist för rötterna snabbt dö. De koloniseras då av olika barkborrearter. Beroende på när träden dör kommer olika arter av barkborrar att kolonisera träden. Ofta gynnas de tidigt flygande arterna då effekten av vattenöverskott inträffar först under hög- och sensommar och träden är disponerade för angrepp året därpå.

4. Hybridasp

Odlingen av hybridasp är, i motsats till contorta, betydligt mer blygsam med en total areal idag som omfattar ca. xxx ha. Bedömningar av risker med en ökad odlingsareal av denna art stödjer sig i hög grad på de erfarenheter som finns från andra europeiska länder, dock med den reservationen att Sveriges kärvare klimat innebär att en del arter saknas här och de som finns, inte lika ofta får utbrott.

En fyllig sammanställning över tänkbara insektsskador på hybridasp gjordes år 198? Av Bengt Ehnström på dåvarande institutionen för skogsentomologi, SLU, Uppsala. I denna slås fast, med den begränsade erfarenhet vi har i Norden om insektsskador på *Populus* förutom *P. tremula*, att insektsfaunan knappast skiljer sig mellan olika *Populus*-arter eller deras hybrider.

Insektsskador på skogsträd finns dokumenterade sedan 1700-talet. Dock är det sällan skador på asp eller hybridasp nämns. Riktade inventeringar av insektsskador i hybridasp-planteringar har gjorts i Finland.

Ehnström har redovisat en systematisk genomgång av alla skadeinsekter (marginella-allvarliga) men utan hänvisningar till hur arterna uppträder längre söderut i Europa.

Några exempel.

Blåslössen *Pachypappa tremulae* och *Pachypapella lactea* värdväxlar mellan asp och gran och utgör ett visst problem i plantskolor där angrepp på containerodlade granplantor förekommer på många håll i världen, även Nordamerika.

En viss skadegörelse kan förväntas på beskogad åkermark av stritar, lövvivlar, bladhorningar och knäppare. De tre sistnämnda är polyfaga och gynnas av den vegetation som finns i området som planteras, men är ett övergående fenomen.

I samband med torkstress och värme kan en del bark- och vedlevande insektsarter (*Agrilus populneus*) angripa och döda asp. Ett fenomen som tidigare observerats i Sverige och som

eventuellt kan öka i frekvens om klimatet blir varmare och torrare.

Virkesskadegörare

Gråbandad barkbock (*Xylotrechus rusticus*). Larverna utvecklas under bark och i ved på färskt obarkat virke. Problemet undviks genom säker lagring.

Primära skadegörare av betydelse

Större aspvedbock (*Saperda carcharias*) angriper 2-10 cm stammar i exponerat läge. Larven utvecklas nedtill inne i veden på det växande trädet. Alla stammar i en gles kultur kan vara koloniserade. Sekundärangrepp av träfjäril och rötsvampar kan utgöra följdskador .

Angripna träd förlorar tillväxt och (i en studie i Finland var angripna träd i medeltal 2 m kortare än oangripna. Däremot fanns det ingen skillnad i diametertillväxt mellan skadade och oskadade träd. Andelen med röta vid en jämförelse mellan hybridasp och vanlig asp var 27 respektive 14 %. Däremot var det ingen skillnad i angreppsfrekvens mellan arterna.

Mindre aspvedbock (*Saperda populnea*) utvecklas som larv inne i den levande veden på klena aspar 1-3 cm i diameter. Angreppet yttrar sig som en stamgall. Ofta bryts stammen vid gallbildningen. Asp på svag mark kan medföra ett större problem lokalt. Under 1950-talet var arten så allmän i hybridaspplanteringar att olika bekämpningsmetoder testades.

Ytterligare ett stort antal insektsarter kan förväntas uppträda mer talrikt och i en del fall som skadedjur om odlingen av hybridasp ökar kraftigt.

Flera arter som utvecklas på det levande trädet visar stor variation i preferens och framgång beroende på värdväxtens genetiska ursprung. Det gäller tex. en del bladbaggar (*Chrysomelidae*) och även alviveln (*Cryptorhynchus lapathi*) är väl studerat i detta avseende i Nordamerika. Använt plantmaterial bör väljas också med hänsyn till dessa arters preferenser.

Det finns anledning att värdera de fältförsök som gjorts i områden där dessa och andra skadegörare, arter som också finns i Sverige.

Mycket forskning inom GMO pågår med *Populus*. Bl.a. har man infört den gen som styr hudömsning hos insektslarver i poppel och fått resistens mot larvernas gnag.

Exoter

Den kinesiska långhorningen *Anoplophora glabripennis* (ALB) har oavsiktligt introducerats på flera platser i Europa. Arten har i de flesta fallen inkommit med emballagevirke av poppel från Kina. Arten är mycket polyfag och angriper och utvecklas i en mängd olika lövträd. Än så länge har enbart träd i urban miljö angripits, möjligen beroende på att träden här är mer stressade och därmed mottagliga för angrepp. Arten har vid några tillfällen påträffats i emballagevirke i Sverige.

Generell slutsats: Kända aspinsekter kan bli aktuella och få större betydelse som skadedjur igen, tex. mindre aspvedbock. Val av genetiskt material torde vara betydelsefullt för att undvika skador av insekter som utvecklas på levande träd. Möjligheter att använda genförändrat material med egenskaper som förhindrar skador av insekter öppnar nya möjligheter att förebygga skador.

5. Sitkagran

Sitkagran används i stor skala i Europa, bl.a. i Storbritannien, Belgien och Frankrike. I Danmark och Norge har arten testats i omfattande försök.

Jättebastborre (*Dendroctonus micans*) har angripit sitkagran i många europeiska länder. Danmark och Frankrike har haft utbrott som berört bestånd med både Sitkagran och vanlig gran eller rena Sitkabestånd. Till Storbritannien infördes arten oavsiktligt i mitten av 1970-talet och har sedan dess varit föremål för omfattande åtgärder att stoppa utbredningen och minska skadorna bl.a. genom att introducera rovskalbaggen *Rhizophagus grandis*, som lever monofagt på jättebastborrens ägg och larver. Utbrott av jättebastborre har i första hand relaterats till torkstress (juli) i kombination med stark vinterkyla. Även förekomst av rotticka kan predisponera träden för angrepp.

Jättebastborre har under de senaste decennierna skadat gallringsbestånd av gran i Blekinge och östra Skåne. I en del fall har bestånden avvecklats pga. den höga frekvensen skadade stammar. En ökad odling av sitkagran medför säkerligen ökade skador av denna insekt, även på vanlig gran. Eftersom jättebastborren utvecklas i levande träd har skogshygien ingen förebyggande effekt på populationen.

Sitkalus

Sitkalusen suger av barren som efter hand blir brun-grå och ramlar av i förtid. Träden förlorar i tillväxt. Atlantiskt klimat med milda vintrar gynnar sitkalusens utveckling och förökning. Flera utbrott har noterats i Norge.

Sitkagran är mer mottaglig och en större andel av barrmassan drabbas vid samma populationstäthet av löss jämfört med vanlig gran. Även vid låga tätheter kan barrförlusterna bli avsevärda. Angreppen på sitkagran är också relaterat till proveniens. Sitkalusens ökning i Storbritannien anses bero på ett förändrat klimat under de senaste 40 åren.

6. Lärk

Relativt få insekter som lever på lärk har koloniserat Sverige. Det rör sig om några arter växtsteklar och fjärilar. Den begränsade arealen lärkskog och därmed förekomsten av döda och döende träd har utgjort ett hinder för många bark- och vedlevande insekter att etablera sig i Sverige. En av dessa arter som lever monofagt på lärk är lärkbocken (*Tetropium gabrieli*). Den upptäcktes så sent som 2006 i Blekinge på döda lärkar och har uppenbarligen etablerat sig i sen tid.

Lärkborre (*Ips cembrae*) är närstående till granbarkborre (*Ips typographus*) och kan som denna ibland döda träd. Arten upptäcktes i Danmark i mitten av 1990-talet och har vid upprepade tillfällen angripit och dödat växande lärkträd. Lärkborre har vid flera tillfällen iakttagits i importerat lärkvirke i hamnar, men inte ute i skogen. Särskilda åtgärder tex. hantering av obarkat virke, vindfällda träd kan bli nödvändiga om denna art etablerar sig i Sverige.

Referenser

Bejer, B. 1988. Sitka spruce and *Dendroctonus micans*. Dansk Skovforenings Tidsskrift 73: 34-42.

- Bratt, K., Sunnerheim, K., Nordenhem, H. 2001. Pine weevil (*hylobius abietis*) antifeedants from lodgepole pine (*Pinus contorta*). *Journal of chemical ecology* 27: 2253-2262.
- Broberg, C., Borden, J., Gries, R. 2005. Olfactory and feeding preferences of *Cryptorhynchus lapathi* L. (Coleoptera: Curculionidae) among hybrid clones and natural poplars. *Environmental entomology* 34 : 1606-1613.
- Coyle, David R.; Coleman, Mark D.; Durant, Jaclin A.; Newman, Lee A. 2006. Multiple factors affect pest and pathogen damage on 31 *Populus* clones in South Carolina. *Biomass & Bioenergy*, 30 : 759-768.
- Day, K. R., Halldorsson, G., Harding, S., Straw, N. 1998. The green spruce aphid in Western Europe: Ecology, status, impacts and prospects for management. A research initiative undertaken through European Community Concerted Action AIR3-CT94-1883 with the co-operation of European Communities Directorate-General XII Science research and Development (Agro-industrial research). Technical Paper – Forestry Commission 24 105 pp.
- Dean S. D., Constance, A. H., Gary, W. C., and John, C. Z.. Tree growth and stand development of four *Populus* clones in large monoclonal plots. *New Forests* 14: 1–18, 1997.
- Ehnström, B. 198?. Insektsskador på hybridasp – En faktasammanställning. 27 pp.
- Evans, H.F. 1985. Great spruce bark beetle, *Dendroctonus micans*: an exotic pest new to Britain. *Antenna* 9: 117-121.
- Hannon, E., Kittelson, N., Eaton, J., Brown, J. 2007. Screening Hybrid Poplar Clones for Susceptibility to *Cryptorhynchus lapathi* (Coleoptera: Curculionidae) *J. of Economic Entomology* 101: 199-205.
- Harding, S. & Lind Jörgensen, M. 1997. Udbredelse og angreb af lærkebarkbillen – situationen I 1996. *Skoven* 4: 210-211.
- Johnson, J. D., Johnson, K. R. Hybrid poplar genotype affects attack incidence by the poplar-and-willow borer (*Cryptorhynchus lapathi*). *Western Journal of Applied Forestry*. 18: 276-280.
- Kytö, M. 1999. Impact of forest fertilization on the vitality and pest resistance of conifers. Avh. Finnish forest research institute, research papers 742.
- Leather, S. & Barbour, D. 1987. Associations between soil type, lodgepole pine (*Pinus contorta* Douglas) provenance, and the abundance of the pine beauty moth, *Panolis flammea*. *Ent exp et appl.* 43: 295-303.
- Lekander, M. 1951. The Occurrence of Forest Insects in Sweden in the Period 1741-1945. *Meddelanden fran Statens Skogsforskningsinstitut* Vol. 39 207 pp.
- Lemperiere, G.; Bailley, D. 1986. Comments on the outbreaks of spruce bark beetle in Limousin. *Forets de France* 290: 18-22.
- Lima, M., Harrington, R., Saldana, S., et al. 2008. Non-linear feedback processes, and a latitudinal gradient in the climatic effects determine green spruce aphid outbreaks in UK. *Oikos* 117: 951-959.
- Lindelöw, Å. 2000. Bark- and wood-living insects in timber imported to Sweden – aspects on the risks for establishments of new species. In *Invasive species and timber import from Russia*. Ed. Björn Ökland. *Aktuellt fra skogforskningen* 4/00.

Lindelöw, Å. & Björkman, C. 2001. Insects on lodgepole pine in Sweden – current knowledge and potential risks. *Forest Ecology and Management* 141: 107-116.

Löyttyniemi, K. 1972. Insect damage in hybrid Aspen stands. *Silva Fennica* 6 : 187-192.

Näsholm, T., Nohrstedt, H.-Ö., Kårén, O., Kytö, M. & Björkman, C. 2000. Hur påverkas träden? In: *Effekter av kvävedofall på skogsekosystem* ed. by Bertills, U. & Näsholm, T. Naturvårdsverket Rapport 5066, Trelleborg, pp. 53-74.

Roques, A., Rabitsch, W., Rasplus, J.-Y., Lopez-Vaamonde, C., Nentwig, W., Kenis, M. 2009. Alien Terrestrial Invertebrates of Europe. In *Handbook of Alien Species in Europe*. Ed. Drake, J. Springer.

Rolland, C; Lemperiere, G. 2004. Effects of climate on radial growth of Norway spruce and interactions with attacks by the bark beetle *Dendroctonus micans* (Kug., Coleoptera : Scolytidae): a dendroecological study in the French Massif Central. *For. Ecol. and Man.* 201: 89-104.

Schwenke, W. 1982. *Die Forstschädlinge Europas*.

Straw, N., Fielding, N., Green, G, et al. 2005. Defoliation and growth loss in young Sitka spruce following repeated attack by the green spruce aphid, *Elatobium abietinum* (Walker). *For. Ecol. Man.* 213: 349-368.

Välimäki, S & Heliövaara, K. 2007. Valimäki S, Heliövaara K Hybrid aspen is not preferred by the large poplar borer (*Saperda carcharias*) *Arthropod-Plant Interactions* 1 4 205-211.

Virtanen, T., Neuvonen, S., Nikula, A., Varama, M., Niemilä, P. 1996. Climate change and the risks of *Neodiprion sertifer* outbreaks on Scots pine. *Silva Fennica* 30: 168-177.

Wainhouse, D. 2005. *Ecological methods in forest pest management*. Oxford University press. 228 pp.

Westgarth-Smith, A., Leroy, S., Collins, P., et al. 2007. Temporal variations in English populations of a forest insect pest, the green spruce aphid (*Elatobium abietinum*), associated with the North Atlantic Oscillation and global warming. *Quaternary international* 173: 153-160.

Muntliga uppgifter av Christer Karlsson, SLU, Johan Kron SkogForsk, Pelle Gemmel SCA, Björn Elwing SLU, Ola Rosvall SkogForsk)

Bilaga 12

Skötselmetoder och svampangrepp på träd

Jan Stenlid, Institutionen för skoglig mykologi och patologi, SLU

Innehåll

1. Inledning.....	1
2. Skadesvampar.....	1
2.1 Skadesvamp på gran.....	1
2.2 Skadesvampar på Pinus contorta.....	2
2.3 Skadesvampar på lärkträd.....	3
2.4 Skadesvampar på Sitkagran.....	3
2.5 Salix på åkermark.....	4
2.6 Svampangrepp på poppel och hybridasp.....	5
3. Åtgärder specifikt.....	6
3.1 Grupp 1 - Tillräckligt beprövade skötselmodeller för storskalig tillämpning.....	6
3.2 Grupp 2 - Skötselmodeller som kräver forsknings-/utvecklingsinsatser men som ändå kan startas i begränsad skala.....	7
3.3 Grupp 3 - Skötselmodeller som bedöms kräva mera omfattande forsknings-/utvecklingsarbete före framtida storskalig tillämpning.....	8
Erkännande.....	8
Referenser.....	8

1. Inledning

I detta avsnitt har en översikt av viktiga skadesvampar gjorts för ett antal trädslag. Skötselalternativ som kan komma att utnyttjas vid MINT-scenarier i framtiden har bedömts med avseende på deras möjliga inverkan på svampangrepp. Vi måste dock komma ihåg att ett samspel finns mellan skadegörare, värdträd och miljö. I ljuset av framtida klimatförändringar kan nya skadebilder uppstå i redan befintliga värd-skadegörarförhållanden. Vi kan också befara att sjukdomar från kontinenten sprids till vårt land.

2. Skadesvampar

2.1 Skadesvamp på gran

Den viktigaste skadesvampen på gran är rotticka som orsakar rottröta på gran. Ca 15 % av de avverkningsmogna granarna i Sverige är rötskadade och av dessa angrepp är ca 2/3 orsakade av rotticka. Rottickan sprids i bestånden vid gallring och slutavverkning då färsk ved exponeras för sporer. Detta gäller då temperaturen överstiger 5 grader på dygnsmedeltal. De största riskerna för nyinfektion är således under sommartid. Rötan kan växa upp till 12 meter i stammen men ett genomsnitt för röta i gran i Sverige kan ligga på ca 4 meter. Gammal röta kan finnas kvar under flera årtionden och spridas från gamla rotsystem. Redan etablerad röta utgör den viktigaste spridningsvägen i gammal skogsmark, bidraget från sporinfektioner är mindre men den exakta andelen är svår att bedöma. Vi vet att andelen rötade träd har ökat under de senare åren troligen som en följd av ökad sommaravverkning.

Honungsskivling är den näst vanligaste orsaken till röta i gran. Rötan sprids i likhet med rottickan via rotkontakter men också via svampens rotliknande ”rhizomorfer”. Honungsskivlingsröta finns kvar i skogsmark så länge vi odlar träd. Rötan stiger sällan mer än ca 1 meter upp i stammen.

Röta kan också initieras i stam och rotskador på träd. Dessa uppkommer vid avverkningar, transporter, vindbrott eller från barkflängning av vilt. Storleken på barkskadan avgör hur långt den sprids i stammen, större skador ger allvarligare rötskada. Skador på stambasen ger kraftigast rötutveckling. Gödsling kan öka spridningen av röta i stammen. I röta som initierats av stamskador dominerar blödskinnet (*Stereum sanguinolentum*).

Grenar och toppar på gran kan angripas av *Gremmeniella abietina*. Typiskt resultat är att toppen dör, vilket ger en krök eller sprötkvist i stammen då trädet ersätter toppen från en av de högst belägna överlevande grenarna.

Toppar på gran angrips av Grankotterost (*Thekopsora areolata*). Toppar av granen kan angripas och ge försämrade stamform. Blomning och kottar hos gran angrips också av grankotterosten. Svampens biologi samvarierar med blomning och kottproduktion så att de somrar som ger bäst fröproduktion också ger de bästa betingelserna för infektion av *Thekopsora*. Angrepp av grankotterost kan reducera produktionen av frö avsevärt. Grankotterosten värdväxlar med hägg och om man avlägsnar häggen eller placerar fröplantager på ett avstånd av mer än 500 meter från hägg bör man kunna minska riskerna med grankotterosten.

Stamkvistning på hösten kan ge angrepp av barrträdskräfta orsakad av *Phacidium coniferarum*. Detta problem kan undvikas genom att utföra eventuell stamkvistning vid annan tid på året.

”Gråtande granar” är ett fenomen då delar av granens bark dör och ger upphov till kådflöde. Orsaken till dessa symptom är inte fullständigt utredd men fenomenet är korrelerat till hög radiell tillväxt och har en stor genetiskt betingad komponent.

Barren hos gran kan angripas av ett antal rotsvampar av släktet *Chrysomyxa*. Dessa ger spektakulära färgningar av barren som så småningom faller av. Upprepade angrepp kan ge tillfälligt nedsatt tillväxten men sjukdomarna är inte kända för att signifikant och långsiktigt nedsätta tillväxten eller kvaliteten hos beståndet.

2.2 Skadesvampar på *Pinus contorta*

Contortan har i princip samma spektrum av skadegörare som den svenska tallen. Det finns dock en del viktiga undantag där Contortan har visat lägre mottaglighet än *P. sylvestris*. I dagsläget har vi odlat Contorta under lång tid och använder frömaterial och plantor som produceras i Sverige. De viktigaste skadegörarna är inte specifika för Contorta och risken för överföring av nya svampskadegörare till andra träd i Sverige är liten.

Contortatallen angrips av *Gremmeniella abietina* som är den svåraste skadegöraren och angrepp på vuxna träd kan ge svår tillväxtnedsättning medan angrepp på ungskog och plantor kan döda hel abestånd. Två typer av symptom förekommer vilka orsakas av två olika raser av svampen. Den ena typen ger upphov till stamkräftor och barkskador i delar av trädet som finns under snötäcke på vintern. Dessa skador är främst i nordliga delar av landet, och särskilt i kärvare klimatlägen. Gremmeniella-angrepp kan också ske i kronan ovan snötäcket. De skadorna sker främst i syd- och mellansverige även om sjukdomen förekommer i hela landet. Den svenska tallen är mer känslig än contortan för skador i kronan orsakade av denna typ av Gremmeniellasvampen. Nordliga och lokala provenienser av tall och även contorta har visat sig mindre mottagliga för Gremmeniella än sydliga provenienser. Det är viktigt att se till att odlingsmaterialet är anpassat till lokalklimatet.

Rotröta på tall orsakad av tallformen av rotticka (*Heterobasidion annosum sensu strictu*) är en viktig skadegörare i Svealand och Götaland, särskilt på sandiga marker. I norra delen av landet där contortan odlas förekommer inte *H. annosum s.s.* utan endast *H. parviporum* som är nästan helt specialiserad på gran. Rotröta är därför av mindre betydelse där contortatallen odlas idag. Skulle Contorta odlas i södra Sverige bör man stubbehandla mot rotticka under sommarhalvåret.

Honungsskivling (*Armillaria ostoyae* och *Armillaria spp.*) har angripit och dödat tall och Contorta i planteringar. Det rör sig först och främst om träd med dålig rotning som hänger samman med paper pot – en äldre metod för att driva upp planteringsmaterial. Honungsskivlingsangrepp motverkas bäst genom att ha välväxande träd som inte utsätts för kraftig stress. Dålig rotning vid planteringen, och torka kan t.ex. ge en sådan stress. Planteringar på mark utan tidigare skogshistoria har oftast obetydliga angrepp av honungsskivling. Stubbrytning kan vara en metod att minska infektionstrycket på gammal skogsmark.

Contortan kan angripas av snöskytte (*Phacidium infestans*). Svampen utvecklas under snötäcket på vintern och dödar barr och knoppar på de angripna plantorna. I Norrland kan detta vara ett allvarligt problem för förnygring. Genom att unga plantor av Contorta växer snabbare än tall växer Contortan snabbare ur problemet. Färska hyggesrester (ett år) intill plantor kan fungera som smitthärdar och bör avlägsnas.

Rotmurklan (*Rhizina undulata*) angriper barrträdsrötter på hyggen efter hyggesbränning. De flesta barrträd är känsliga, också contortan. Svampens sporer ligger vilande i marken i de flesta skogar och gror efter stark uppvärmning av marken (25-30 grader C). Hyggesvila under två till tre år efter hyggesbränning gör att svampens mycel minskar så kraftigt att skadorna blir marginella.

Barrträdskräftan (*Phacidium coniferarum*) kan ge allvarliga skador på Contortatallen. Detta gäller särskilt om Contortatan stamkvistas på hösten eller vintern. Unga träd kan dö av svampangreppet och i

äldre träd som överlever ger övervallningarna av skadorna och blånad med kraftiga kvalitetsnedsättningar av virket. Motåtgärden är att inte stamkvista under hösten.

Contortatallen angrips i Sverige i regel inte av tallskytte (*Lophodermium seditiosum*), gråbarrsjuka (*Lophodermella sulcigena* och *Lophodermella conjuncta*), knäckesjuka (*Melampsora pinitorqua*), Norrländsk tallkräfta (*Lachnellula pini*), Tallticka (*Phellinus pini*) eller törskaterost (*Cronartium flaccidum*). Det är möjligt att tallskytte kan bli ett problem om Contortan odlas i sydliga delar av landet. Tallskyttesvampen kan infektera *P. contorta* men har en begränsad utbredning i de områden där contortan odlas idag. I Litauen har man rapporterat relativt kraftiga angrepp av tallskytte från contortatall. Tallskytte ger en nedsatt tillväxt men orsakar normalt sett inte mortalitet annat än i plantskolestadiet. Knäckesjuka har rapporterats från Contorta, dock i mycket lägre frekvens än för tall. Knäckesjukan kan motverkas genom att mängden ung asp hålls nere i närheten av tallplanteringar eftersom knäckesjuka värdväxlar mellan tall/Contorta och asp. Vi har inte mycket information från äldre Contortabestånd, och det kan hända att norrländsk tallkräfta och tallticka kan bli problem i äldre skog av Contorta. Norrländsk tallkräfta ger som regel en kräfta med övervallning i stambasen, talltickan en röta i kärnvedsdelen av stammen. Inga kända motåtgärder finns mot dessa två sjukdomar.

2.3 Skadesvampar på lärkträd

Den viktigaste skadesvampen på lärkträd är lärkträdskräftan (*Lachnellula wilkomii*). Svampen angriper kvistar grenar och stammar. Den dödar innerbarken och trädet försvarar sig genom att valla över skadan. Svampen dör inte utan angreppen fortsätter och träden kan dö av kräftsåren om de växer runt stammen eller får träden i slutändan en kraftigt deformerad stam som inte kan sågas. Den europeiska lärken är mottaglig medan östasiatiska genotyper klarar sig bättre. Hybridlärken är motståndskraftig mot kräftan. Odlingsmaterialet är alltså en viktig förutsättning för odling av lärk. Frö från hybridlärk kan möjligen ge mottagliga plantor.

Lärkträd är också mottagliga för rotticka som kan ge ordentliga rötskador. Rapporter om detta är framför allt från de sydligare delarna av vårt land och infektionerna orsakades av *H. annosum* s.s. De värsta angreppen var på tidigare rötangripen gran. Man bör överväga att stubbehandla lärk i gallring för att motverka rötspridning.

Lärken fungerar som alternativ värd för en del arter av björkrost, poppelrost och sälgrost. Närhet till lärk kan ge en tidigare utveckling av bladrost under sommaren och därmed kraftigare tillväxtnedsättning för mottagliga lövträd. Rosten angriper barr på lärkträden och ger ingen allvarlig effekt på trädens hälsa.

Lärken är känslig för barrträdskräftan (*Phacidium coniferarum*), man bör således undvika att stamkvista lärk under hösten.

Honungsskivling (*Armillaria* sp.) kan döda unga lärkträd.

Äldre lärkträd kan rötas av grovticka *Phaeolus schweinitzii*. Svampen sprids som en rotröta och ger brunröta i stambasen. Detta problem borde gå att motverka genom att avverka träden innan de blivit överåriga.

2.4 Skadesvampar på Sitkagran

Sitkagranen är liksom vår svenska gran känslig för rotröta orsakad av rottickan och honungsskivling. För att motverka infektioner bör man stubbehandla vid avverkning under sommarhalvåret.

Även i andra avseenden kan man förvänta sig att svampangreppen på Sitkagran är av liknande natur som på vår gran.

2.5 Salix på åkermark

I svenska Salixodlingar har vi hittills haft problem med tre huvudtyper av sjukdomsangrepp:

1. Bladrost är den mest förekommande sjukdomen och anses vara den för närvarande viktigaste. Salix har odlats som kommersiell bioenergigröda på åkermark sedan början av 1990-talet. Innan dess hade salixforskning och erfarenheter med pilodling för korgframställning visat att bladrost (*Melampsora* spp.) är ett hot mot odlingssäkerheten.

Bladrosten orsakas av svampen *Melampsora* spp., som är värdväxlande, i detta fall med lärk som mellanvärd, men angreppen kan förmodligen överleva i sälgs-kott under vintern. Rostangreppen utvecklas under sensommaren och hösten och blir kraftigast under svala och fuktiga år. *Melampsora* epitea kan enbart angripa vissa salixarter. Det är även så att en viss typ av svampen huvudsakligen angriper korgvide (*Salix viminalis*) medan en annan typ angriper sammetsvide (*Salix dasyclados*). Dessa salixarter är de två huvudarter som används i odlingarna, även om sorterna numera oftast är hybrider med andra salixarter.

En salixsort som är mottaglig för bladrost kan förlora upp till 40% av stambiomassan. Det finns även rapporter om att hela odlingar slagits ut. Förmodligen har då flera skadliga faktorer samverkat. Kraftigt rostangripna blad faller av i förtid och detta försvagar plantan, särskilt som rosten brukar återkomma varje år. Förtida bladfällning försvårar plantans invintring och försvagade plantor blir lättare angripna av sjukdomar på stammarna.

Den viktigaste motåtgärden mot bladrost är resistensförädling. Upprepade urval för rostresistens har lett till att nya salixsorter angrips lite eller inte alls av bladrost. Risken finns dock alltid att nya raser av rosten utvecklas som kan angripa även de resistenta sorterna. Men genom att nya sorter hela tiden tas fram kan man hålla rosten stången.

Generellt sett är bladrostangreppen mindre norrut i odlingsområdet. Bladrosten gynnas av gödsling, så en stor och sen gödselgiva är inte att rekommendera på en mottaglig sort. Närhet till lärkskog är förmodligen också något som kan öka bladrostangreppen i Salix även om de luftburna sporererna kan transporteras mycket långt. Under milda vintrar kan rosten troligen övervintra på Salix.

2. Stamsår och stamkräfta kan omfatta allt från fläckar med död bark till stora sår på stammarna. Skadorna orsakas av ett antal olika Ascomycet-svampar. Den art som är vanligast i Sverige heter *Cryptodiaporthe salicella*. Dessa svampar är i allmänhet svaga patogener och angriper skott eller plantor som försvagats, t.ex. av konkurrens eller frostsador. Ofta är det fråga om en kedjereaktion: ett sent rostangrepp ger sämre frosthårdighet och därmed frostsador, som öppnar för stamsador av svampar, vilket i svåra fall får till följd att planteringen slås ut helt. Pilskorv orsakad av bl.a. *Venturia saliciperda* kan ge vissning av toppskott.

3. Bakterieangrepp visar sig med att skott och stammar på förvåren visar mörkbruna till svarta fläckar med lös, vattmig bark. Från sådana symptom har bakterien *Pseudomonas syringae* isolerats, en organism som gynnas av låga temperaturer. Skadorna uppstår under milda vintrar och orsakas troligen av en kombination av bakterieinfektion och frost på dåligt härdade plantor.

Förutom ovan nämnda patogener angrips Salix bl.a. av svampar som orsakar olika bladfläcksjukdomar, samt av silverglans (*Chondrostereum purpureum*), men dessa sjukdomar har hittills har inte utgjort några problem för odlingen. Inte heller har det rapporterats några allvarliga virussjukdomar på Salix.

2.6 Svampangrepp på poppel och hybridasp

Poppel har ett ganska stort antal skadegörare som kan begränsa avkastningen. Till stor del beror problemen på att den genetiska variationen i odlingsmaterialet är låg. Om en skadegörare kan angripa en populär poppelklon kan den också få en vid geografisk spridning.

Hybrid Aspen angrips av stamkräfta (aspräfta) orsakad av *Entoleuca mammata* (*Hypoxyton mammatum*). Den amerikanska aspen är något mer mottaglig än den europeiska men också naturliga bestånd av asp är angripna hos oss. Det odlingsmaterial som är aktuellt för praktiskt bruk i Sverige har valts ut för att klara sig från stamkräfta och bör således vara relativt resistent mot aspräfta. Rekommenderad skötsel i Nordamerika för att motverka *E. mammata* omfattar få och lätta gallringar med målet att behålla ett vitalt och lagom slutet bestånd.

Hybridasp kan också få kronbrand orsakad av *Valsa nivea*, på 50-talet var det allvarliga angrepp i hybridasp-planteringar. Men dagens odlingsmaterial är också relativt resistent mot kronbrand. Ett antal andra svamparter kan orsaka kräftskador på hybridasp t.ex. *Ceratocystis fimbriata*, *Ceratocystis* spp., *Fusarium* spp. och *Neofabrea populi*.

Hybridasp utsätts också för *Venturia tremulae* som orsakar aspskorv. Svampen finns också mycket frekvent på vanlig asp samt på poppel. Skorven kan ge omfattande död i kvistar och toppar och svåra år med fuktig och kylig väderlek, kan ge rejäla angrepp. Det viktigaste motåtgärden är att odla mindre mottagliga kloner av hybridasp.

Discosporium populeum, också känd som "Dothichiza", är en av de mest utbredda svaghetsparasiterna på popplar av sektionen Aigeiros. Svampen ger död av kvistar och kräftsår i kronan på popplar särskilt efter torka. Den viktigaste åtgärden är att se till att popplar odlas på inte alltför torra ståndorter. Tillräckligt vida förband för att undvika ljuskonkurrens rekommenderas också. Bladrost kan ge stress som predisponerar för Dothichiza. En annan vanlig svaghetsparasit på poppel är *Cytospora chrysosperma*. Den orsakar också stamkräftor och död av kvistar i kronan på poppel. Motåtgärderna är desamma som för Dothichiza.

Ett av de viktigaste hoten mot hybridpoppel i Europa är bakteriekräfta orsakad av *Xanthomonas populi*. Bakterien orsakar stamkräftor och död i kronan hos mottagliga kloner. Den är vindspridd via vattendroppar vid våt väderlek och angriper poppel på kontinenten främst i västeuropa. Bakterien har också påträffats på poppel i Danmark och Skåne. Huvudåtgärden är att använda ett motståndskraftigt växtmaterial. Det är viktigt att inte plantera infekterade plantor eftersom levande växter är den troliga vägen för långväga spridning.

Andra kräftsjukdomar och barkdöd på poppel orsakas av *Ceratocystis fimbriata* och andra arter av släktet *Ceratocystis* samt arter av släktet *Fusarium*.

Poppel har problem med rostsvampen *Melampsora larici-populina* i Europa. Bladen angrips och faller av i förtid vilket ger tillväxtnedsättning. Även skotten kan angripas. På kontinenten är en annan viktig rostart på poppel *Melampsora alii-populina*. Symptom och implikationer för skogsbruk är liknande som de för *Salix*. Dvs rostsporer kan spridas långväga med vind, men angreppen börjar troligen tidigare i planteringar om det finns lärkräd på nära håll som kan fungera som tidiga spridningshärdar till poppeln i början av sommaren. När väl rosten börjat föröka sig på poppelblad blir spridningen av rostsporer från poppel till poppel dominerande. Resistensförädling är troligen den enda vettiga vägen att motverka angrepp. Men, förädlingen måste hela tiden vara aktiv, svampen kan snabbt föröka sig om nya aggresiva former uppstår genom mutation eller sprids till området från avlägsna angrepp.

Tallens knäckesjuka (*Melampsora pinitorqua*) är den viktigaste av rostsvamparna på asp. På grund av knäckesjukan har man försökt utrota aspen från förnyelseytorna. Knäckesjuka kan förekomma i

betydande grad i tallungskogar om det finns aspsly i närheten. Sjukdomen angriper tallens växande årsskott vilka den skadar eller kan döda.

Klimatet har en viktig roll i knäckesjukans förekomst. Regn och fuktig väderlek och luftens temperatur inverkar på sporens mängd och spridning. 50 meters avstånd från sporspridningsstället minskar infektionen med hälften och på över 200 meters avstånd är sjukdomen ringa och har ingen inverkan på plantornas utveckling. Enda effektiva bekämpningsmetod är fortfarande att avlägsna aspen från tallodlingarna.

Rotsjukdomar på asp och poppel har inte givit allvarliga problem i Sverige. Rotticka angriper asp i undantagsfall. Honungsskivling finns som sekundär svamp dock ej i åkerplantering. *Ganoderma applanatum* är en rot- och stamrötesvamp som kan ge skador i äldre aspbestånd. *Rosellinia necatrix* ger rottröta på poppel i tempererade klimat i södra Europa..

Aspticka är den viktigaste rötsvampen på asp. Infekterar i stamskador och via undertryckta grenar där den sedan kan ligga latent och utvecklas då det finns välutbildad kärnved. Den viktigaste skötselåtgärden mot aspticka är att inte hålla aspen i långa omloppstider och därigenom begränsa rötans tid att utvecklas i kärnveden.

Ett antal sjukdomar skulle kunna bli allvarliga för odling av hybridasp, om de får fäste i Sverige. Det kanske största hotet utgör *Neofabrea populi* som observerats ge stora skador som kräftsvamp på hybridasp i Finland och Norge. I nordamerika har man problem med *Septoria musiva* som orsakar bladfläckar och kräftor på skott och stammar. Sjukdomen kan tänkas importeras till oss.

3. Åtgärder specifikt

3.1 Grupp 1 - Tillräckligt beprövade skötselmodeller för storskalig tillämpning

Fastmarksgödsling av medelålders och äldre tall- och granskog

Fastmarksgödsling av medelålders tall och gran kan förväntas öka risken för sjukdomar om gödslingen i sig gör träden mer mottagliga för angrepp eller om angrepp som fanns etablerat i det gödslade trädet utvecklas snabbare eller kraftigare. Generellt är biotrofa skadegörare (som tar sin näring från levande celler, exvis rostsvamp) ofta gynnade av välvuxna träd med vitala värdceller. Detta står i kontrast till nekrotrofa skadegörare (som dödar värdceller innan de livnär sig på deras innehåll, tex rotticka) vilka gynnas av värdträd i stress eller med dålig näringsbalans.

För granens viktigaste skadegörare rotticka finns inga entydiga samband med gödsling dokumenterade. Välvuxna granar har större rotsystem vilket ökar risken att bli utsatta för smitta, å andra sidan utbildar träd med välbalanserad näring ett bättre försvar av t.ex. fenoliska substanser. Fältundersökningar från en rad länder ger också divergerande resultat på röta efter gödsling. Man har dock sett att röta i körskador (mestadels bödskein) sprider sig bättre i stammen om skogen gödslats än då den inte gödslats. Honungsskivling angriper träd under stress i högre grad än träd som växer väl. Sammantaget ger litteraturen inte stöd för att gödsling skulle ge kraftigt ökad risk för röta i gran eller tall. Dock är det viktigt att påpeka att om man inte begränsar rötspridning genom att undvika skador och behandla stubbar mot rotticka i avverkningar kommer man få en stor andel träd med röta som inte ger produktion av högkvalitativt virke.

När det gäller rostsvampsangrepp kan man förvänta sig mer mottagliga träd efter gödsling. Det gäller framför allt törskate och knäckesjuka på tall.

Angrepp av *Gremmeniella* är allvarligare på tall som växer på bördiga marker (granmarker). Man kan förvänta sig att gödning av tall ökar mottagligheten för *Gremmeniella*.

Ungskogsgödning av gran, med och utan användning av förädlat material

Ungskogsgödning av gran kan medföra ökad risk för rostangrepp av grankotterost i toppskottet.

Klonskogsbruk av gran

Klonskogsbruk ger möjligheter att utnyttja ett odlingsmaterial som har en högre resistens mot skadegörare. Detta gäller särskilt gran med högre motståndskraft mot rotticka. Tester är utförda på ett stort material av klongran och en signifikant genetisk komponent finns i materialet för hur väl det motstår rötspridning i veden. Detsamma gäller för kloner av gran som planetrats i fält och blivit utsatta för naturlig smitta. Resistensen är inte kopplad till tillväxtfaktorer hos träden så det är möjligt att välja ett odlingsmaterial som både växer bättre och är mer rötbeständigt. På samma sätt borde det vara möjligt att välja resistentare material mot *gremmeniella* där plusträd av tall inte är mer mottagliga än genomsnittet av tallar.

Contortaodling på fastmark

För contortatallodling på fastmark bör man vara uppmärksam på risken för *Gremmeniellaskador* om man väljer ett odlingsmaterial som inte är härdigt för sin ståndort.

Salix på jordbruksmark

Salix-odling på jordbruksmark är ett beprövat koncept. Den allvarligaste svampskadegöraren är bladrost. Odlingsmaterialet som erbjuds idag är utprovat för att ha en låg känslighet för bladrost.

Dikesrensning och gödning av nedlagd jordbruksmark och torvmark med låga naturvärde

Inga allvarligare förändringar i angreppen av skadesvamp befaras som särskilt är kopplade till dessa åtgärder.

3.2 Grupp 2 - Skötselmodeller som kräver forsknings-/utvecklingsinsatser men som ändå kan startas i begränsad skala

Odling av hybridasp på åker- och skogsmark

Hybrid Aspen har odlats i testplanteringar sedan 1940-talet och de kloner som klarat sig bäst med avseende på svampangrepp är med i odlingsmaterialet som planeras för framtiden. Det betyder att selektion har gjorts mot de mest mottagliga genotyperna när det gäller bladrost, aspskorv, kronbrand och *Hypoxylon*-kräfta. Om omloppstiderna hålls rimligt korta kommer troligen inte stamröta att vara något större problem.

Varning får utfärdas för att nya skadesvampar kan öka i betydelse om arealen för hybridasp skulle utvidgas betydligt. De allvarligaste hoten därvidlag är troligen stamkräfta orsakad av *Neofabrea populi* som har varit problematisk i Finland, och att nya genotyper av bladrost uppträder.

Odling av lärk och sitkagran på åker- och skogsmark

Lärkträdet är ju en mer eller mindre neutraliserad invandrare i våra skogsmarker. Den bör ha exponerats för de flesta sjukdomar som den är känslig för hos oss. För odling av lärk gäller det att vara uppmärksam på att ha ett odlingsmaterial som inte är känsligt för lärkkräfta. Man kan också notera att bladrost på salix, björk och poppel värdväxlar med lärk. Dessa rostangrepp har ingen större betydelse för lärkträdet men kan ge ökade rostangrepp lokalt på lövskogspanteringar.

För både lärk och sitka bör man undvika att smitta odlingarna med rotticka. Åkerplanteringar ska definitivt stubbehandlas i gallringar. På gammal skogsmark kan man överväga att bryta bort stubbar innan planteringen.

3.3 Grupp 3 - Skötselmodeller som bedöms kräva mera omfattande forsknings-/utvecklingsarbete före framtida storskalig tillämpning

Poppelodling på nedlagd åkermark

Odlingsmaterialet för poppel är inte testat i någon större utsträckning för våra klimatförhållanden. Flera av de viktigaste skadegörarna på poppel gynnas av stress och det är inte otroligt att nya typer av skador kan uppstå om materialet används i nya klimatregimer.

Gödsling av björk-, asp- och alskog, med eller utan användning av förädlat material

Återigen gäller det att växtliga skott och blad blir mer mottagliga för rostsvamp. Gödsling kan förväntas ge mer växtliga skott med ökad känslighet för rostangrepp. I den mån man kommer att utnyttja stubbskott för regenerering av lövskog, t.ex. hybridasp, kommer dessa att vara starkt mottagliga för rostangrepp. (Björk, al, asp hybridasp och poppel)

Gödsling av contortaskog på fastmark

Tall på goda marker är mer mottaglig för *Gremmeniella*. Den största risken för gödsling av contorta ligger i att träden blir mer mottagliga för *Gremmeniella*, speciellt riskabelt är detta de år när vädret gör dem mottagliga.

Erkännande

Konstruktiv granskning av texten har utförts av Dr. Elna Stenström.

Referenser

Anonym. 1988. En bok om skogens hälsa. Samerka AB, Helsingfors.

Bernhold A, Hansson P, Rioux D, Simard M & Laflamme G, 2009. Resistance to *Gremmeniella abietina* (European race, large tree type) in introduced *Pinus contorta* and native *Pinus sylvestris* in Sweden. Canadian Journal of Forest Research 39:89-96.

Butin H. 1995. Tree Diseases and Disorders. Causes, Biology, and Control in Forest and Amenity Trees. ISBN13: 9780198549321. Oxford University Press.

Cellerino GP & Gennaro M. 1999. Review of Poplar diseaseases. FAO International Poplar. <http://www.efor.ucl.ac.be/ipc/pub/celle01/celle01.htm>

Eidmann, H.H. & Klingström, A. 1990. Skadegörare i skogen. ISBN:9127338770. Natur och Kultur, Stockholm.

Ostry, ME & Anderson, NA. 2009. Genetics and ecology of the *Entoleuca mammata*-*Populus* pathosystem: Implications for aspen improvement and management. *Forest Ecology and Management*. 257:390-400

Samils, B. 2005 Genetic structure of *Melampsora larici-epitea* in Northwestern Europe. In : *Rust Diseases of willow and poplars*. Pei, M. H.; McCracken, A. R. Red. CABI Publishing; Wallingford; UK pp 91-98.

Skogsskada. <http://www-skogsskada.slu.se/SkSkPub/MiPub/Sida/SkSk/SkogsSkada.jsp>

Strouts, RG & Winter, TG. 1994. Diagnosis of ill-health in trees. Department of Environment, Forestry Commission, UK.

Woodward, S, Stenlid, J, Karjalainen, R & Hüttermann, A. 1998. *Heterobasidion annosum* biology, ecology, impact and control. CAB International, Wallingford, UK.

Bilaga 13

Risken för angrepp av rotröta

Jonas Rönnberg, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU

Innehåll

1. Inledning.....	1
2. Huvudalternativ	1
2.1 Ungskogsgödsling av gran	1
2.2 Contorta ev. med gödsling.....	2
2.3 Gödsling i etablerad skog av gran och tall	2
2.4 Kloner av gran	3
3. Kompletterande alternativ	3
3.1 Hybridlärk	3
3.2 Sitka.....	3
3.3 Björk.....	3
3.4 Kustgran	3
Referenser.....	4

1. Inledning

Rotröta är en av de allvarligaste skadegörarna på levande skog, framför allt gran i Sverige. Uppskattningsvis 20-25 % av alla avverkningsmogna granar i Sverige är drabbade av rotröta. Rotröta är ett samlingsnamn för ett flertal svampar som orsakar röta i stående levande träd och bryter ned veden i rötter respektive den nedre delen av stammen. I och med detta blir veden oanvändbar för både sågtimmer respektive massaved. Till slut blir den även ointressant för biobränslen då både cellulosa och lignin bryts ned. I Sverige är det framför allt rotticka (*Heterobasidion* spp.) respektive honungsskivling (*Armillaria* spp.) som orsakar omfattande skador. Normalt brukar man anse att rottickan är den viktigaste för svensk skogsindustri och detta avsnitt kommer därför att fokusera på den svampen under ett antal huvudpunkter även om honungsskivling finns omnämnd. Texten gör inte anspråk på att ge en fullständig biologisk bild av vare sig rotticka eller honungsskivling utan utreder endast skötseleffekterna på dessa.

2. Huvudalternativ

2.1 Ungskogsgödsling av gran

Gödsling kan ge högre tillväxt och borde rent logiskt även ge friskare träd, träd utan bristsymptom. Det finns dock några möjliga risker. A) Träd som växer fort får bredare årsringar och en lucker vedstruktur som kan göra det lättare för eventuella skadesvampar att sprida sig snabbt i veden och därigenom skapa en ökad förlust av frisk ved. B) Man kan spekulera i om gödslingen även ökar pH-värdet eller ändrar näringsbalansen i marken. Ett ökat pH-värde kan i sig missgynna konkurrerande arter av svampar och ge bättre möjligheter för ex. rottickan att snabbare sprida sig ett bestånd. C) En snabbare tillväxt gör också att trädens rotsystem snabbare kommer i kontakt med andra infekterade träd eller gamla stubbar från tidigare generationer och därigenom tidigare plocka upp smittan. En kompenserande faktor är dock kortare omloppstider till följd av snabbare tillväxt.

I vissa studier har man belagt ett samband mellan bevattning och gödsling samt spridningshastigheten av rotticka i artificiellt infekterade träd (Wahlström & Barklund 1994). Motsvarande samband kunde inte ses för honungsskivling (*Armillaria ostoyae* och *A. borealis*). I en amerikansk studie med olika typer av gödsling kunde man inte se någon effekt efter 10 år på förekomsten av honungsskivling i lärk (*Larix occidentalis*) respektive kustgran (*Abies grandis*) (Filip et al. 2002). I en polsk studie fann man dock ett positivt samband mellan gödsling och den senare delen av sjukdomsutvecklingen för honungsskivling på tall (Rykowski 1983). Likaså har man konstaterat att gödsling gynnar angrepp av honungsskivling på Douglas (Entry et al. 1991). Gödselmedel utan kalk respektive kväve kan dock vara positivt för motståndskraften hos vanlig svensk tall. I en finsk studie klarade sig tallen bättre undan angrepp av rotticka om den fick gödselmedel med P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn och B, än de som inte fick något gödselmedel alls (Piri 2000). När det gäller gran finns det studier som visar på att rottickan kan sprida sig snabbare i frodvuxen ved och att kalkning kan förvärra situationen (Dimitri & Schumann 1989). Piri (1998) kunde inte se någon signifikant påverkan av olika gödselmedel, med eller utan kalk respektive kväve.

Jämförande studier över hela omloppstiden med skötsel i enlighet med föreliggande förslag i kombination med ungskogsgödsling respektive under senare delen av omloppstiden finns inte. Forskningen är till viss del bristande och pekar i olika riktningar inom området. Det rekommenderas att man bättre undersöker relationen mellan näringstillförsel och förekomsten av olika rötsvampar. I avvaktan bör man iakttä en viss skepsis till gödsling för att inte förvärra situationen med infektioner av rotticka på gran. Slutsatserna är dock något mer positiva gällande tall.

2.2 Contorta ev. med gödsling

Hos gran orsakar rotticka stamröta som gör virket otjänligt som sågtimmer och i många fall även som massaved. Tallar däremot dör ofta som en följd av rottickans angrepp utan att infektionen syns i stammen. Problemet med den svenska tallen, *Pinus sylvestris*, har hittills varit störst på sandiga marker i södra Sverige. Finska studier har visat att även contortatallen, *Pinus contorta*, blir angripen av rotticka när den planterats på tidigare infekterad granmark (Piri 1996). Det sägs ibland i Sverige att rotticka inte är ett problem på contortatall vilket kan bero på att symptomen kan vara samma som för tall, ett successivt avdöende i bestånden, och därför lätta att missa eller hänföra till någon annan orsak (Vollbrecht et al. 1995, Petrylaitė 2004). Enligt SCA har man i Sverige bara sett problemet på träd i yngre bestånd etablerade på tidigare rötskadad mark. Vad som händer senare i contortabestånden är dock inte helt klarlagt för svenska förhållanden.

S-formen är vanlig i hela Sverige och angriper nästan uteslutande gran. I Finland har man även hittat ansemliga angrepp av S-formen på contortatall som tidigare planterats på infekterad granmark (Piri 1996). P-formen, som attackerar tall, contortatall, gran och björk m.fl. har bara hittats från södra upp till mellersta Sverige (Redfern 1982, Swedjemark & Stenlid 1995, Korhonen et al. 1998, Rönnberg et al. 2006).

I de nordligare delarna av Sverige finns idag ca 600 000 ha planteringar med contorta. En stor del av dessa står inför en första gallring. Som indikerats ovan finns det en risk för att dessa bestånd redan har infektioner av rotticka från förra generationen (Piri 1996). Det är också möjligt att nya infektioner kan tillkomma i gallringarna. Det är dock inte klart i vilken omfattning stubbarna utgör en inkörsport för S-formen. Rottickans S-form kan infektera och överleva i tallstubbar men verkar inte kunna sprida sig vidare till andra levande tallar (Rönnberg et al. 2006). Contortans vedegenskaper avviker dock något från tallens och det är möjligt att stubbarna faktiskt blir infekterade och att infektionen sprider sig till träd i det kvarstående beståndet. I detta fall kan stubbehandling bli en aktuell åtgärd men effekten påverkas då av eventuella befintliga infektioner från förra generationen.

Även om S-formen inte skulle infektera contortastubbar så gör P-formen det (Redfern 1982). Det kan tyckas ointressant att tala om P-formen eftersom den inte finns i de områden med mycket contorta men om den å andra sidan avses införas i södra Sverige blir närvaron av P-formen i allra högsta grad relevant. En annan fråga rör varför P-formen inte har spridit sig vidare norrut. En hypotes som förts fram är svampens temperaturberoende, att det är för kallt i norrland (Korhonen et al. 1998). Det är således möjligt att en temperaturhöjning till följd av växthuseffekten tillåter P-formen att sprida sig norrut. Detta skulle innebära en framtida risk för infektioner i både contorta och tallbestånd, något som tidigare diskuterats av Berglund (2005). Därför bör även ev. klimatförändringar tas med i analysen rörande rottickan.

2.3 Gödsling i etablerad skog av gran och tall

I allt väsentligt hänvisas till resonemang respektive referenser givna under huvudpunkt 1. Det bör påpekas att eftersom gödslingen kommer in senare i omloppstiden kommer effekten på rotticka att bli mindre helt enkelt på grund av att tiden från gödsling till avverkning är kortare. Rottickan ges tidsmässigt mindre utrymme att hinna utvecklas som en följd av gödslingen. Studier som explicit har jämfört de olika skötselalternativen givna för huvudpunkt 1 respektive 3 är dock inte kända. Yde-Andersen (1977) kunde dock inte se någon effekt av gödsling av äldre bestånd av gran på frekvensen rotticka ca 10 år efter behandlingen. Tall i äldre ålder bör inte heller bli ett problem eftersom den brukar anses mindre mottaglig senare under omloppstiden (Rennerfelt 1952).

2.4 Kloner av gran

Flera undersökningar har visat på skillnader i mottaglighet hos olika individer av gran för angrepp av rotticka. Man har även konstaterat att de gener som styr mottagligheten för infektion av rotticka inte är kopplad till tillväxten. Det är således möjligt att använda vissa kloner av gran och samtidigt kunna hålla en hög tillväxt (Swedjemark & Karlsson 2004). Granklonerna är inte helt resistenta och angreppets svårighetsgrad är kopplad till vilken individ av rottickan som attackerar trädet (Rodriguez et al. 2009). Även om klonskogsbruk skulle kunna utgöra ett sätt att öka tillväxten måste man vara mycket försiktig med valet av kloner. Vid fel val kan rottickans tillväxt i träden bli direkt förödande med mycket höga spridningshastigheter som följd (Capretti & Goggioli 1992). Det finns även en risk att rottickan på sikt kan anpassa sig till mindre mottagliga grankloner. En riskspridning förordas därför starkt.

3. Kompletterande alternativ

3.1 Hybridlärk

Hybridlärken förs ofta fram som ett alternativ till gran. Skälen som nämns är dels den starka ungdomstillväxten, dels stormfastheten men motståndskraften mot angrepp av rotticka. Motståndskraften mot rotticka är dock både överdriven och helt felaktig. I områden där rottickans P-form är obefintlig kan hybridlärken vara ett alternativ. I andra områden där P-formen förekommer frekvent kan det vara mycket olämpligt att ersätta granen med hybridlärk. I flera försök har hybridlärken angripits kraftigt av rottickans P-form (Rönnerberg & Vollbrecht 1999, Vollbrecht & Stenlid 1999). Det har även framkommit resultat som tyder på att även hybridlärken i likhet med gran kräver fördyrande åtgärder i form av stubbehandling vid gallring under rottickans sporspridningstid (Mårtensson 2007). Lärken kan växa vidare med infektionen i stammen utan att synbart må dåligt.

3.2 Sitka

Sitkagran kan bli mycket kraftigt angripen av rottickans P-form om etablering sker på tidigare infekterad mark av tall eller gran (Rönnerberg et al. 1999, Vollbrecht et al. 1995). I de fall rottickans S-form är den enda förekommande är kunskapen inte lika god. Eftersom vanlig gran blir så pass infekterad tyder det på att även sitkagranen bör bli det. Sitkagran har ofta föreslagits som ett bra alternativ till gran i kustnära områden i södra Sverige, men här är det alltså inte att rekommendera på grund av närvaron av rottickans P-form. Vanlig gran har i jämförelse klarat sig bättre än sitkan. I likhet med gran och lärk kan sitkan växa med infektionen i stammen utan att trädet direkt uppvisar några uppenbara symtom.

3.3 Björk

I områden där rottickans P-form förekommer finns uppenbara risker för angrepp även på björk (Lygis et al. 2004). Generellt ses lövträd som mindre mottagliga för just rotticka men det gäller alltså inte alla arter. Björk bör dock kunna vara ett gott alternativ till gran i vissa områden med liten förekomst av rottickans P-form.

3.4 Kustgran

Kustgran kan utgöra ett alternativ till ex gran. Kustgran har visat sig ligga i nivå med gran när det gäller motståndskraft mot angrepp av rotticka (Rönnerberg et al. 1999, Vollbrecht et al. 1995). Typiskt för kustgransbestånden är att de ofta är mer infekterade tidigt under omloppstiden för att sedan uppvisa något avtagande infektionsfrekvenser. Kustgran dör en tid efter angreppet i likhet med tall.

Referenser

- Berglund, M. 2005. Comparison of the growth of *Heterobasidion annosum* and *Heterobasidion parviporum* in southern and northern Sweden following inoculation of Norway spruce trees and stumps. In: Berglund, M. Infection and growth of *Heterobasidion* spp. in *Picea abies*. Control by *Phlebiopsis gigantea* stump treatment. Acta Universitatis Agriculturae Suecia. SLU Doctoral thesis no. 2005:36, Faculty of Forest Science. ISBN 91-576-7035-8.
- Capretti, P. & Goggioli, V. 1992. Observation on the longevity and the spread of *Heterobasidion annosum* in stumps of white fir and Norway spruce. *Micologia Italiana*, 21: 15-20.
- Dimitri, L. & Schumann, G. 1989. Further experiments on the host/parasite relationship between Norway spruce and *Heterobasidion annosum*. In: Morrison, D.J.(ed.), Proceedings of the Seventh IUFRO Conference on Root and Butt Rots. Canada, August 1988. Forestry Canada, Victoria, British Columbia, Canada, pp. 171-179.
- Entry, J.A., Cromack, K. Jr., Kelsey, R.G., & Martin, N.E. 1991. Response of Douglas-fir to infection by *Armillaria ostoyae* after thinning or thinning plus fertilization. *Phytopathology*, 81: 682-689.
- Filip, G.M., Ganio, L.M., Oester, P.T., Mason, R.R. & Wickman, B.E. 2002. Ten-year effect of fertilization on tree growth and mortality associated with *Armillaria* root disease, fir engravers, dwarf mistletoe, and western spruce budworm in northeastern Oregon. *Western Journal of Applied Forestry*, 17: 122-128.
- Korhonen, K., Capretti, P., Karjalainen, R. & Stenlid, J. 1998. Distribution of *Heterobasidion annosum* intersterility groups in Europe. Chapter 6, in: Woodward, S.; Stenlid, J.; Karjalainen, R.; Hüttermann, A., (eds.). *Heterobasidion annosum*: Biology, ecology, impact and control. CAB International, 589 pp. ISBN 0-85199-275-7.
- Lygis, V., Vasiliauskas, R. & Stenlid, J. 2004. Planting *Betula pendula* on pine sites infested by *Heterobasidion annosum*: disease transfer, silvicultural evaluation, and community of woodinhabiting fungi. *Canadian Journal of Forest Research*, 34: 120-130.
- Mårtensson, S. 2007. Förekomst av rotticka i första generationens lärk på tidigare betes- och åkermark. Southern Swedish Forest Research Centre, Alnarp, Sweden. Final thesis no. 100, 20 p. (Master's thesis in Swedish with English summary.)
- Petrylaitė, E., 2004. Presence of *Heterobasidion annosum* and the need for stump treatment in monocultures of Scots pine in southern Sweden? Southern Swedish Forest Research Centre, Alnarp, Sweden. Final thesis no. 53, 21 p. (Master's thesis.)
- Piri, T. 1996. The spreading of the S type of *Heterobasidion annosum* from Norway spruce stumps to the subsequent tree stand. *European Journal of Forest Pathology*, 26: 193-204.
- Piri, T. 1998. Effects of vitality fertilization on the growth of *Heterobasidion annosum* in Norway spruce roots. *European Journal of Forest Pathology*, 28: 391-397.
- Piri, T. 2000. Response of compensatory-fertilized *Pinus sylvestris* to infection by *Heterobasidion annosum*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15: 218-224.

- Redfern, D.B. 1982. Infection of *Picea sitchensis* and *Pinus contorta* stumps by basidiospores of *Heterobasidion annosum*. *European Journal of Forest Pathology*, 12: 11-25.
- Rennerfelt, E. 1952. Om angrepp av rotröta på tall (On root-rot attack on Scots pine). Meddelande från Statens Skogsforskningsinstitut 41, 1-40. (In Swedish with English summary.)
- Rodriguez, Y.P., Gerendai, A.Z., Pappinen, A., Peltola, H. & Pulkkinen, P. 2009. Differences in wood decay by *Heterobasidion parviporum* in cloned Norway spruce (*Picea abies*). *Canadian Journal of Forest Research*, 39: 26-35.
- Rönnerberg, J. & Vollbrecht, G. 1999. Early infection by *Heterobasidion annosum* in *Larix × eurolepis* seedlings planted on infested sites. *European Journal of Forest Pathology*, 29: 81-86.
- Rönnerberg, J., Vollbrecht, G. & Thomsen, I.M. 1999. Incidence of butt rot in a tree species experiment in northern Denmark. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14: 234-239.
- Rönnerberg, J., Petrylajtė, E., Nilsson, G. & Pratt, J. 2006. Two studies to assess the risk to *Pinus sylvestris* from *Heterobasidion* spp. in southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 21: 405-413.
- Rykowski, K. 1983. The influence of fertilizers on the occurrence of *Armillaria mellea* in Scots pine plantations. III. The spread of *A. mellea* mycelium inside fertilized and non-fertilized pine roots. *European Journal of Forest Pathology*, 13: 77-85.
- Swedjemark, G. & Karlsson, B. 2004. Variation in incidence and genetic impact on natural infection of *Heterobasidion annosum* in *Picea abies* (L.) Karst. in genetic trials in south Sweden. *Forest Ecology and Management*, 203: 135-145.
- Swedjemark, G. & Stenlid, J. 1995. Susceptibility of conifer and broadleaf seedlings to Swedish S and P strains of *Heterobasidion annosum*. *Plant Pathology* 44(1): 73-79.
- Wahlström, K.T. & Barklund, P. 1994. Spread of *Armillaria* spp. and *Heterobasidion annosum* in Norway spruce exposed to drought, irrigation and fertilization. In: Johansson, M. and Stenlid, J.(eds.), *Proceedings of the Eighth IUFRO Conference on Root and Butt Rots*. Swedish University of Agriculture Sciences, Uppsala, Sweden, pp. 582-591.
- Vollbrecht, G. & Stenlid, J. 1999. Transfer of the P-type of *Heterobasidion annosum* from old-growth stumps of *Picea abies* to *Picea abies* and *Larix x eurolepis*. *European Journal of Forest Pathology*, 29: 153-159.
- Vollbrecht, G., Johansson, U., Eriksson, H. & Stenlid, J. 1995. Butt rot incidence, yield and growth pattern in a tree species experiment in southwestern Sweden. *Forest Ecology and Management* 76: 87-93.
- Yde-Andersen, A. 1977. Fomes annosus-angreb ved fosfor- og kvælstofgødskning af gamle rødgranbevoksninger. Det forstlige forsøgsvæsen i Danmark, Beretninger udgivne ved den forstlige forsøgskommission, 1 (287): 61-68. (In Danish with English summary.)

Bilaga 14

Skötselmetoder och viltskador

Roger Bergström, Skogforsk

Innehåll

1. Syfte och definitioner	1
2. Viltbete	1
2.1 Viltskador på gran	1
2.2 Viltskador på tall	2
2.3 Viltskador på contorta-tall.....	2
2.4 Viltskador på hybridlärk.....	3
2.5 Viltskador på Sitkagran	3
2.6 Viltskador på Salix på åkermark	3
2.7 Viltskador på poppel och hybridasp	3
2.8 Viltskador på kustgran.....	4
3. Åtgärder specifikt	4
3.1 Grupp 1 - Tillräckligt beprövade skötselmodeller för storskalig tillämpning	4
3.2 Grupp 2 - Skötselmodeller som kräver forsknings-/utvecklingsinsatser men som ändå kan startas i begränsad skala	6
3.3 Grupp 3 - Skötselmodeller som bedöms kräva mera omfattande forsknings-/utvecklingsarbete före framtida storskalig tillämpning	6
Referenser.....	7

1. Syfte och definitioner

Detta kapitel handlar om intensivskogsbruk och förändrade risker för viltskador på växande träd.

Vilt definieras enligt lagstiftningen som alla vilda däggdjur och fåglar. Här avses främst hjortdjur, men även i viss mån vildsvin, harar och smågnagare.

Ett införande av intensivskogsbruk skulle komma att ske parallellt med den pågående klimatförändringen vilket komplicerar prognoserna om intensivskogsbrukets verkningar. Om klimatet fortsätter att bli varmare kommer på längre sikt flera potentiellt skadegörande arter (t.ex. kronhjort, dovhjort, vildsvin) att utöka sitt utbredningsområde norrut. Rådjur som redan finns i svaga stammar i norr kommer att bli talrikare. Smågnagarstammarna kommer också att påverkas av bl.a. förändringar i snötäcket.

2. Viltbete

Viltorsakade skador på skog är oftast en mer eller mindre slumpmässig effekt av djurens bete. Detta är dock inte slumpmässigt utan styrs av bl.a. födoväxternas egenskaper och närmiljöns karaktär. Många förändringar i skogsskötseln kommer därför att påverka betesmönster, vilka i sin tur påverkar skadenivåer och skademönster.

Antalet djur per ytenhet är också av betydelse och förhållandet mellan betesresurserna och vilttätheten påverkar skadenivåer. Eventuella negativa effekter av djurens bete kan därför motverkas med t.ex. ökad avskjutning och biotopförbättringar/förändringar och utfodring, åtgärder som ligger utanför det traditionella skogsbruket och som inte behandlas i denna rapport. Ej heller behandlas i denna rapport viltavskräckande medel (repellent), som kan användas i många sammanhang då det gäller att minska bete på t.ex. träd.

Växtätarnas skiftande val av födoslag visar sig tydligt vad gäller växtarter. Vissa födoväxter är omtyckta (prefererade) och andra undviks. Vissa arter äts mycket och andra lite. Om främmande trädarter börjar odlas i betydligt större omfattning än idag kan viltets preferenser och andra betesmönster förändras. Skadebilden kan alltså bli en annan om trädarten i fråga blir mycket vanligare i landskapet. Sådana förändringar i betes- och skademönster kan vara svårt att förutsäga. Generellt sett så är de inhemska trädslagens roller och skadebilder relativt välkända medan mycket är okänt om de exotiska trädslagen. Än mindre vet vi om hur betes- och skadekänsliga olika kloner är av arter som skulle komma att användas i ett framtida intensivskogsbruk.

2.1 Viltskador på gran

Granplantor äts av flera stora växtätare, som älg, rådjur och harar. Skadenivåerna har varit högst i den södra tredjedelen av landet. Troligen är det rådjuren som står för största delen av plantbetet. Vid höga tätheter av rådjur, som t.ex. under början av 1990-talet, betades på vissa områden upp till 50 % av de satta plantorna. Skadenivån har därefter sjunkit men kan lokalt vara besvärande. Vid bete skadas oftast toppskottet med potentiella verkningar på virkeskvalitet och tillväxt. Om plantorna är små vid betestillfället kan kvalitetsskadorna hamna under framtida stubbskär. Detta utesluter inte att produktionsförluster uppstår. Vi ökande höjd på plantorna avtar omfattningen av toppskottsbyte. Planttyperna (täckrot, barrot eller självföryngrade) påverkar skaderisken. Studerade betes- och skademönster visar att vitaliteten och tillväxthastigheten hos plantor är positivt relaterat till skaderisken.

Som större individer (>1m) kvistbetas inte granen i någon större utsträckning, inte ens vid höga vilttätheter. Rapporterat kvistbete är oftast av lokal natur. En besvärande typ av skada på medelålders

gran är gnag eller flängning av bark, främst av kronhjort och älg. Enskilda granbestånd kan drabbas mycket hårt, även om skadenivån på landskapsskala oftast är låg.

Vildsvinen har de senaste 30 åren expanderat starkt i södra Sverige. En oro finns för att denna art bidrar till att sprida rotrötan (främst på gran) och därmed ge högre antal skadade stammar. Det finns för närvarande ingen kunskap om detta och en nyligen utskickad förfrågan till många forskare i Europa har inte givit någon ytterligare information om problemet.

Smågnagare äter i någon utsträckning bark på gran.

2.2 Viltskador på tall

Tall utgör viktig föda för flera stora växtätare. För älg är tallen stapelföda under vintern och genom älgens bete orsakas de viltrelaterade skogsskador som är av störst ekonomisk betydelse. Även flera andra viltarter äter av och skadar tallen även om omfattningen är dåligt känd. Rådjuren äter i huvudsak på tallplantor (vid höga tätheter i betydande grad) och så gör även haren. Generellt föredras tallplantor framför granplantor. Tallen betas och skadas sedan upp till dess att den är 4-5 m. Barkgnag kan dock ske på fullvuxna tallar. Trädets tillväxthastighet, proveniens och storlek vid betestillfället, liksom vissa beståndsegenskaper är faktorer som påverkar växtätarnas betesmönster och därmed skadorna. Skador på virkets kvalitet uppstår genom att toppskottet betas, stammen bryts eller barken gnags eller flängs. Produktionsförluster sker genom att barrbiomassan minskar vid bete.

Flera sorkarter gnager bark på tall och s.k. sorkår kan skadorna bli omfattande.

2.3 Viltskador på contorta-tall

Det är okänt i vilken omfattning olika viltarter som rådjur, kronhjort, dovhjort och hare äter på och skadar contorta. Mer känt är älgens bete på contorta.

Skadenivån på bestånd i västra Nordamerika är relativt låg, vilket torde bero på att contortan inte är en speciellt viktig födoväxt. En sammanställning av Riksskogstaxeringen i Rosvall och Friberg 1888/89 visar att skadenivån på svenska bestånd också är relativt låg. Särskilt är det sällsynt med svårt skadade bestånd. Dessa författare summerar också genom att säga att "Älgskadorna är i huvudsak mindre omfattande och mindre allvarliga på contortatall än på vanlig tall". Än tydligare blir skillnaderna vid högt betestryck. Skadad areal var fyra gånger högre för svensktall än för contortatall och ser man bara till svårare skador var det sex gånger större skadad areal på svensktallen. Tendensen var att det var mer skador på contorta i södra än i norra Sverige.

En allmän bild som stöds av vissa data och allmänna observationer är att om contortan växer insprängd i svensktallbestånd (genom t.ex. hjälpplantering) är skadorna svårare än i rena contortabestånd. Orsaken till detta kan enligt betesteorierna vara att sällsynta/ovanliga arter ska betas mer än vanliga, vilket i sin tur kopplar till de stora växtätarnas benägenhet att försöka uppnå en blandad diet. En annan faktor är att en del skador på contorta är fejningsskador och det har visats för andra stora växtätare att sådana skador tenderar att drabba ovanliga arter insprängda i bestånd av andra arter.

I experiment där de två tallarterna har satts bredvid varandra för att eliminera effekterna av habitat, betades svensktallen mer av älg om svensktallen kom från marker med hög produktivitet. Då svensktallen kom från lågproduktiva marker betades de båda arterna lika mycket (mätt som g konsumerad biomassa per träd). Barkgnag och flängning är 6-20 gånger intensivare (mätt som % gnagd bark per träd med medelhöjd 2,1 m) hos contortatall än hos svensktall.

En polsk studie indikerar att rådjuren skulle föredra contortatall framför svensktall. En svensk studie med många contortaprovenienser visade att rådjuren bidrog till att slå ut vissa planteringar i söder och att skador i övrigt främst orsakades av fejning. Fejningsskador av rådjur på contorta är relativt vanliga men överstiger inte 1 % av stammarna enligt äldre undersökningar.

Smågnagarnas barkgnag på contorta är vanligare än på svensktall. Gnaget är också vanligare på produktivare marker och på gräsrika marker samt tycks vara kopplat till topparna i smågnagarcyklerna i norr. Svenska försök har visat att olika provenienser drabbades olika hårt av de studerade växttätarna, älg, rådjur och sork.

2.4 Viltskador på hybridlärk

Bete på lärkträd är lite studerat i Sverige. I Tyskland och England har den rankats i en mellangrupp vad gäller risk för hjortdjursbete. Beträffande barkgnag har den i flera länder också placerats i en mellangrupp – varken hög risk eller mycket låg risk. Erfarenheter från södra Sverige tyder på att hybridlärken utsätts för fejning och betesskador främst då den förekommer i små planteringar eller då den är insprängd i bestånd av andra arter.

2.5 Viltskador på Sitkagran

Det finns inga studier av bete eller skador på Sitkagran i Sverige. Erfarenheter från Danmark, Storbritannien och Tyskland indikerar att sitkagran i likhet med flera andra *Picea*-arter tillhör de mindre omtyckta arterna vad gäller kvistbetning av kronhjort och rådjur. Arten tycks betas främst under vintern men även försommarbetet på växande skott har observerats. Även från USA rapporteras sitkagranen var en lågrankad födoväxt för klövvilt men visst bete förekommer på nya skott under våren.

Också utsattheten för barkflängningen tycks vara lägre än för många andra barrträd. I en sammanställning anges sitkagran i detta avseende som undviken ("avoided"). Barkgnag kan förekomma på träd åtminstone upp till 50 år gamla.

2.6 Viltskador på Salix på åkermark

Salixarter är begärliga (prefererade) arter för flera vilda växtätare. Detta stämmer också för de arter och kloner som används idag vid energiskogsodling även om det finns klon- och artskillnader vad gäller smaklighet. Bete på Salix kan ske hela året. Starkt dominerande är kvistbete, medan lövrepning är sällsynt. Älg och annat klövvilt liksom harar betar i salix-odlingar. Hur stor del av observerad betning som olika viltarter står för är inte utrett, men i öppna jordbruksområden där älgen är ovanlig är också betet avsevärt lägre. Salix har god förmåga att klara skador, men riktigt hårt bete kan hålla odlingar nere i beteshöjd.

2.7 Viltskador på poppel och hybridasp

Poppel

Observationer i Skåne visar att både hjortdjur och harar kan skada poppel, både genom fejning och bete. Ringbarkning har också observerats. En snabb tillväxt hjälper poppeln att komma snabbt ur beteshöjd. I ett examensarbete intervjuades poppelodlare i Skåne. Den allmänna bilden var att man inte såg poppel som särskilt begärlig för vilt.

Hybridasp

Bete på hybridasp är inte särskilt studerat i Sverige. De i hybriden ingående asparterna är båda begärliga betesväxter inom sina utbredningsområden och svenska praktiska erfarenheter och studier av lyror visar att det kan vara ett omfattande bete om odlingar inte hägnas. Detta gäller särskilt i skogsbygder. Vattensork förmodas vara ett stort problem om hybridasp sätts på mullrika jordar.

2.8 Viltskador på kustgran

Ingen kunskap i Sverige. Anses allmänt i Nordamerika som dålig betesväxt både för tama och vilda större växtätare.

3. Åtgärder specifikt

3.1 Grupp 1 - Tillräckligt beprövade skötselmodeller för storskalig tillämpning

Fastmarksgödsling av medelålders och äldre tall- och granskog

En ökad fastmarksgödsling med kväve av medelålders träd skulle sannolikt inte medföra ökade viltskador på träden. Inga observationer eller studier finns av att barknag skulle öka efter gödsling. Det kan dock inte helt uteslutas då flera rapporter visar på ett svagt positivt samband mellan frekvensen barknag och markens produktivitet. Markvegetationen skulle sannolikt bli något bättre ur födosynpunkt, vilket skulle kunna innebära ökad konsumtion i fältskiktet och möjligen minskad skaderisk för omkringliggande skadekänsliga bestånd. I den mån vegetationssammansättningen förändras mot mer gräsrika miljöer på bekostnad av bärris skulle detta vara negativt för de större växtätarna. Fältskiktets betydelse i dessa avseenden är beroende av snöförhållandena.

Ungskogsgödsling av gran, med och utan användning av förädlat material

Kvävegödsling ökar foderproduktion och näringskvalitet hos foderväxter på fastmark, så även på gran. Generellt kommer kvävegödslade ungsogar att bli begärligare. Tyvärr finns liten kunskap om vad som händer med betesbegärlighet och skaderisker hos unga gödslade granar, vilka normalt betas i mycket liten utsträckning. Försök med gödsling av granungskogar i 2-5 m's höjd har dock inte resulterat i märkbart ökat bete eller skador. Om både förädling och gödsling ger större årsskott kan dessa, och då framför allt toppskottet, bli så tjockt att det inte kommer att betas – ett mönster som observerats på annat håll. Detta skulle medföra färre stamskador.

Sammanfattningsvis är prognosen att kvävegödsling i granungskog, med eller utan förädlat material, inte nämnvärt kommer att öka skaderisken på gran.

Klonskogsbruk av gran

Olika trädkloner varierar i morfologi (t.ex. tillväxthastighet/skottstorlek) och kemi (t.ex. kväve, fenoler) – egenskaper som ofta är viktiga för de stora växtätarnas selektion av föda. Flera experiment med bete på olika kloner visar att betesmönster och betes-/skaderisker kan variera kraftigt mellan kloner. Försök med nio björkkloner i Finland visade att hare, åkersork och älg uppvisade relativt likartade födopreferenser för de olika klonerna.

Viltbete på gran är mest omfattande på plantstadiet och det är troligt att olika kloner kommer att betas med olika intensitet. Med rådande kunskap kan endast tester visa på framtida skaderisker.

Contortaodling på fastmark

I ett proveniensförsök i Västerbotten förklarades skadevariation till 22 % av tillgängligheten (hur luckigt det var omkring contortaparcellerna) och 40 % av den nordamerikanska proveniensen. Generellt finns det en hel del stöd för att sydliga provenienser betas mer än nordliga, vad gäller båda tallarterna.

En annan fråga av vikt för betestryck och skador är i vad mån fältskiktet förändras och därmed födoresursen ändras. Viktiga faktorer för de större växttätarna (inkl smågnagare) är hur gräsen och risen förändras i contortabestand jämfört med svensktallbestand. Bärri och ljungräs är viktiga för älg under vår och höst och under vintern om snötäcke saknas eller är tunt. Älgen kan då ta ca 30 % av sin vinterföda från fältskiktet. Detta avlastar i sin tur buskskiktet från bete. Även för de övriga hjortdjuren (rådjur, kron- och dovhjort), och då särskilt för rådjur, är de nämnda risen mycket viktig föda i stort sett hela året.

Sammanfattningsvis kommer risken för skador att vara mindre än vad den är på svensktall (vid lika vilttäthet), särskilt om det förnygras med rena contortabestand. Proveniensen påverkar skaderisken.

Salix på jordbruksmark

Salixodlingar för energiändamål planerades i början på marginella jordbruksmarker och man ansåg att viltet var ett av de största hoten mot odlingarna. Situationen har blivit annorlunda. Många odlingar ligger idag på goda jordar i jordbrukslandskap. Därmed minskar risken för bete av framför allt älg, men sannolikt i betydande utsträckning även av andra hjortdjur. Odling av salix i skogsbygder kommer mest troligt att kräva stängsling i etableringsskedet och troligen också vid skottförnyring efter skörd. Då odlingarna vuxit upp är de ofta så täta att de förutom i kanterna är en "födoöken". Även vid relativt låga tätheter av vilt kan betestrycket bli avsevärt p.g.a. salixarternas begärighet. Bland de problem som energiskogsodlare upplever så rankades viltskador på fjärde plats efter ogräs, frost och svamp.

Dikesrensning och gödsling av nedlagd jordbruksmark och torvmark med låga naturvärden

Bete efter gödsling med olika medel och givor på myrmark visar att gödsling med fosfor (som enskilt ämne eller i kombination med kväve och kalium) ger tydliga positiva effekter på födoväxters fosforinnehåll och effekterna varade minst fem år efter gödsling. Särskilt på fosforgödslade ytor var nyttjandet (mätt som spillning och bete) högre av älg, rådjur och hare. På sina håll var älgens bete mycket kraftigt på tall.

En finsk studie visar att kvävegödsling på fattiga, dikade myrmarker resulterade i tydligt mer älgbete på tall, även om inte tallens höjdtillväxt påverkades. Fosfor påverkade tallens höjdtillväxt och hade en svagt höjande effekt på älgbetet. Framför allt kvävegödslingens effekter på betets intensitet var dosberoende.

Sammanfattningsvis kommer den gödsling som ger tillväxteffekter på träd på myrmark att också medföra ökat bete och ökad skaderisk (jämfört med situationen före gödsling). Detta gäller även vid askgödsling.

3.2 Grupp 2 - Skötselmodeller som kräver forsknings-/utvecklingsinsatser men som ändå kan startas i begränsad skala

Odling av hybridasp på åker- och skogsmark

Det är betydande skaderisker vid odling av hybridasp. Hittillsvarande erfarenheter tyder på att odling av hybridasp blir svår att genomföra utan hägn. Möjligen kan ohägnad odling ske om det sker ute i öppna jordbrukslandskap. Troligen blir det också svårt att hitta andra skötselåtgärder som tillräckligt kan reducera skaderisker. Att undvika odling på mullrika jordar föreslås som ett sätt att reducera skador av främst vattensork.

Odling av hybridlärk och sitkagran på åker- och skogsmark

Hybridlärk

Kunskapen är begränsad och det är svårt att prognostisera vad som händer vid mer omfattande odlingar. Många arter betar på lärk och det finns anledning att vara uppmärksam på skaderisker. Baserat på praktiska erfarenheter bedöms inte viltskador bli ett stort problem på hybridlärk om den föryngras i större bestånd och därmed inte endast förekommer i småbestånd, dungar eller som art vid hjälplantering.

Sitka

Baserat på utländska erfarenheter förväntas inga omfattande skador på Sitkagran. I Storbritannien förekommer bete främst då träden är i höjdintervallet 0,3-0,6 m. Toppskotts-bete är vanligast i den övre delen av detta intervall och väldigt lite bete sker över 0,85 m. Bra att plantera högre plantor (>0,4 m) för de klarar sig bättre än lägre plantor. Generellt sett anges återhämtningsförmågan vara god efter arten utsatts för bete.

3.3 Grupp 3 - Skötselmodeller som bedöms kräva mera omfattande forsknings-/utvecklingsarbete före framtida storskalig tillämpning

Poppelodling på nedlagd åkermark

Praktiska erfarenheter i Sverige talar för att poppelodling inte i någon större grad kommer att hindras av viltbete. Men poppel betas och fejas och hägn kan inledningsvis komma att krävas vid täta viltstammar och till ytan små odlingar. Arten växer snabbt ur beteshöjd. Sannolikt kommer fältskiktets karaktär att påverka risken för skador av smågnagare.

Gödsling av björk-, asp- och alskog, med/utan användning av förädlat material

Dessa tre arter representerar tre olika betesgrupper: prefererad (asp), medelprefererad (björk) och undviken (al). Som diskuterat för andra arter ovan kommer gödsling sannolikt att medföra ökat bete och ökade skaderisker på de aktuella trädslagen, och kanske mest på björk. Aspen är ändå så högt prefererad och alen är mycket lite betad. Erfarenheter från experiment med kvävegödsling i tallungskog med inblandning av bl.a. björk och asp är att både sommar- och vinterbetet ökade 2-3 gånger på björk men gödslingseffekterna var svaga på aspbetet.

Gödsling av contortaskog på fastmark

Vid gödsling av äldre bestånd torde skaderisken inte förändras. Kanadensiska studier indikerar att gödsling ökar risken för contortaplantor att bli skadad av bete från bl.a. snöskohare och att älg föredrar gödslade framför ogödslade ungsskogar av contorta.

Odling av kustgran på åker- och skogsmark

Den generella bilden i andra länder är att kustgranen är lite betad och att skaderisken därmed skulle vara liten.

Referenser

Ball, J. P. 2002. Potential Effects of Nitrogen Fertilization on Vertebrates in the Boreal Forest – Opublicerad rapport till Forskningsprogrammet “Kvävegödsling 2002”.

Ball, P.J., Danell, K. & Sunesson, P. 2000. Response of a herbivore community to increased food quality and quantity: an experiment with nitrogen fertilizer in a boreal forest. – J. Appl. Ecol. 37:1-9.

Bergquist, J., Bergström, R. and Zakharenka, A. 2003. Responses of young Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) to winter browsing by roe deer (*Capreolus capreolus*). - Scandinavian Journal of Forest Research 18:368-376.

Bergström, R. and Christel Guillet. 2002. Summer browsing by large herbivores in bioenergy forests. Biomass & Bioenergy 23: 27-32.

Contortautredningen 1992. Contortatalen I Sverige – en lägesrapport.

Danell, K., K. Huss-Danell, och R. Bergström. 1985. Interactions between browsing moose and two species of birch in Sweden. - Ecology 66 (6): 1867-1878.

Hansson, L. 1985. Damage by wildlife, especially small rodents, to North American *Pinus contorta* provenances introduced to Sweden. – Canadian Journal of Forestry 15:1167-1171.

Hugosson, T., Rytter, L. & Werner, M. 2004. Åkerplanteringar med hybridasp har klarat sig bra! – Resultat från Skogforsk 2004:14.

Jia, J., Niemelä, P., Rousi, M. and Härkönen, S. 1997. Selective browsing of moose (*Alces alces*) on birch (*Betula pendula*) clones. – Scan. J. For. Res. 12:33-40.

Jonsson, V. 2008. Skogsbrukets erfarenheter av Poppel *Populus* sp. i Skåne. - Examensarbete nr 109, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU, Alnarp.

Kullberg, Y. and R. Bergström. 2001. Winter browsing by large herbivores on deciduous seedlings in southern Sweden. Scandinavian Journal of Forest Research 16:371-378.

Laine, J. and Mannerkoski, H. 1980. Effect of fertilization on tree growth and elk damage in young Scots pine stands planted on drained, nutrient-poor open bogs. Acta Forestalia Fennica 166. pp. 32-34. In Finnish with English summary.

Lindlöf, B. 1987. Response by herbivores to nutrient change in vegetation after fertilization. – I doktorsavhandling från Zoologiska Institutionen, Stockholms universitet.

Månsson, J., Bergström, R. och Danell, K. Fertilization - effects on deciduous tree growth and browsing by moose. – Forest Ecology and Management, in press.

Niemelä, P & Danell, K. 1988. Comparison of moose browsing on Scots pine (*Pinus sylvestris*) and lodgepole pine (*P. contorta*). Journal of Applied Ecology 25: 761-775.

Rosvall, O. & Friberg, G. 1988/89. Contortatall och älgskador. – Institutet för skogsförbättring. Skogsträdsförädlingsinformation 1988/89 Nr 4.

Sjöberg, K. och Danell, K. 2001. Introduction of lodgepole pine in Sweden – ecological relevance for vertebrates. Forest Ecology and Management 141:143-153.

Bilaga 15

Beskrivning av produktionsmodell och skötselprogram

Urban Nilsson, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU

Nils Fahlvik, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU

Ulf Johansson, Tönnersjöhedens och Skarhults försöksparker, SLU

Innehåll

Innehåll.....	2
1 Produktionsmodell och skötselprogram	3
1.1 Produktionsmodell för gran- och tallbestånd	3
1.3 Produktion för grankloner, contorta, sitka och lärk.....	5
1.3 Konventionell gödsling och askgödsling på torvmark	5
1.4 Behovsanpassad gödsling (BAG).....	5
1.5 Gallringsuttag	6
1.6 Omloppstid	6
1.7 Justering av tillväxt på grund av förändrat klimat.....	6
Referenser.....	7

1 Produktionsmodell och skötselprogram

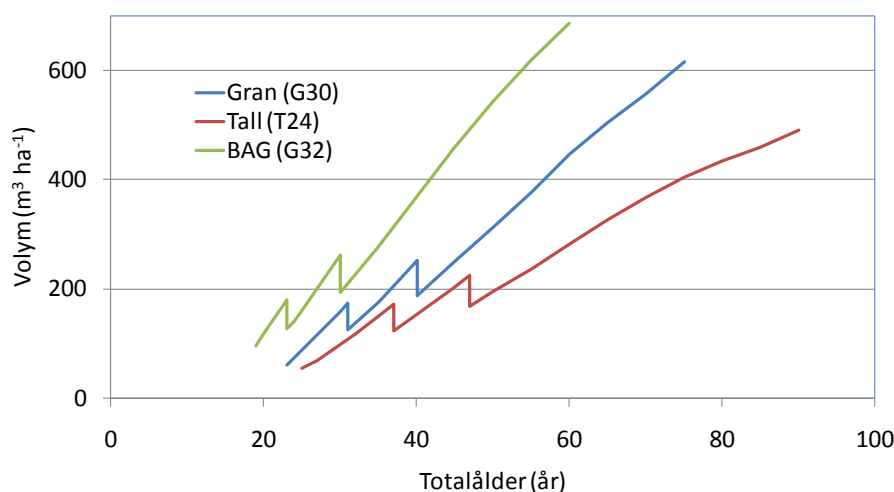
1.1 Produktionsmodell för gran- och tallbestånd

Gran- och tallbestånds utveckling simulerades med hjälp av produktionsverktyget DT (Nilsson & Fahlvik 2006). Alla bestånd simulerades från övre höjden 11 m och stamantalet antogs vara 2000 stammar per hektar. För att kunna utföra simuleringarna med DT behövdes utgångslägen i form av grundyta vid övre höjden 11 m för de olika beståndstyperna. Utgångslägen skattades med hjälp av data från förbands- och röjningsförsök (Ulvcroona opubl) och med data från gallrings och gödslingsförsök (Eriksson & Karlsson 1997). Vid samma ståndortsindex var grundytan vid övre höjden 11 m var lägre för gran än för tall. Grundytan i utgångsläget ökade med ökande ståndortsindex för både tall och gran (Tabell 1).

Tabell 1. Grundyta ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) vid övre höjden 11 m för tall och granbestånd för olika ståndortsindex. Grundytan beräknades vid övre höjden 11 m.

Sl(m)	Grundyta ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)	
	Tall	Gran
16	16.80983	
20	18.20453	18.06819
24	19.85139	18.42183
28	21.75041	19.44395
32	23.90159	21.13455
36		23.49363

Beståndens utveckling skattades med ett gallringsprogram innehållande två gallringar, varav den första gjordes vid ca 13 m övre höjd och den andra vid ca 16 m övre höjd (Figur 1). Båda gallringarna hade karaktär av låggallring. Den andra gallringen hade gallringskvot 0.8 medan gallringskvoten i den första gallringen var 0.9-0.95 på grund av stickvägsupptagning. Beståndens täthet efter gallring var något högre än vad som rekommenderas i Skogsstyrelsens gallringsmallar för att beståndens täthet inte väsentligt skulle påverka totalproduktionen. Efter den andra gallringen simulerades beståndets utveckling till medeltillväxtens kulmination.



Figur 1. Exempel på den stånde volymens utveckling med beståndsålder för gran och tallbestånd samt för BAG.

Regressionsfunktioner med P som beroende variabel och SI som oberoende variabel skattades för gran och för tall. Funktionerna var:

$$P_{\text{gran}}=0.0557+0.0736*SI_{\text{gran}}+0.0075*SI_{\text{gran}}^2$$

$$P_{\text{tall}}=-0.7997+0.1174*SI_{\text{tall}}+0.0072*SI_{\text{tall}}^2$$

På motsvarande sätt skattades regressionsfunktioner med SI som beroende och P som oberoende variabler. Dessa regressionsfunktioner var enligt följande:

$$SI_{\text{gran}}=8.8489+2.7315*P_{\text{gran}}+0.0432*P_{\text{gran}}^2$$

$$SI_{\text{tall}}=8.1168+2.9185*P_{\text{tall}}-0.0576*P_{\text{tall}}^2$$

Slutligen skattades separata regressionsfunktioner för total produktion vid totalåldrarna 15-95 år med 10 års intervall. I tabell 2 anges regressionskoefficienter för dessa regressionsfunktioner.

Tabell 2. Regressionsfunktioner för skattning av totalproduktion vid olika ålder för BAG, Gran, Tall och Lärkbestånd. Funktionerna hade formen $P_{\text{år}}=a+b*SI+c*SI^2$ där $P_{\text{år}}$ var totalproduktionen vid totalåldern år; SI var ståndortsindex och a, b och c var regressionskoefficienter.

	Totalålder	a	b	c
BAG	25	-162.6	11.8	
	35	-133.4	16.7	
	45	-165	23.5	
	55	-131.2	27.6	
	65	-35	28.5	
Gran	15	93.13	-8.2857	0.18229
	25	181.24	-20.0357	0.56473
	35	34.9	-11.4464	0.58705
	45	-128.872	0.4821	0.53125
	55	-291.7	15.7321	0.36235
	65	-602.7	43.0536	-0.04911
	75	-878.27	70.1089	-0.52121
	85	-1091.4	93.6429	-0.96429
	95	-599.87	50.75	0.09375
Tall	25	-2.2	-6.55	0.375
	35	-19.55	-3.33	0.42999
	45	-182.39	11.3705	0.26004
	55	-415.293	32.2616	-0.04129
	65	-516.836	45.6259	-0.27344
	75	-638.579	60.4759	-0.55022
	85	-674.857	68.6536	-0.72768
	95	-659.45	71.1625	-0.76563
	Lärk	15	288	-14.772
25		611	-31.364	0.6617
35		893	-45.832	0.9669

1.3 Produktion för grankloner, contorta, sitka och lärk

Effekter av förädling samt byte av trädslag beräknades genom en justering ståndortsindex. I första steget beräknades en ny produktionsnivå och i andra steget beräknades ett justerat SI med hjälp av regressionsfunktionerna som beskrivits ovan.

Planteringar med grankloner och sitka antogs ge samma produktionsvinst jämfört med plantering av fröförökad gran. Produktionsnivån för kloner Sitka beräknades genom att ansätta de förädlingsvinster som tagits fram av Rosvall & Wennström (2008) (Tabell 3)

Tabell 3. Koefficienter för beräkning av förädlingsvinst (Rosvall & Wennström 2008)

Period	Gran	Gran klon	Tall	Contorta
2010-2020	1.16	1.34	1.12	1.1
2020-2030	1.19	1.39	1.14	1.21
2030-2040	1.25	1.44	1.16	1.28
2040-2050	1.3	1.48	1.22	1.34
2050-2060	1.35	1.5	1.28	1.4
2060-2070	1.39	1.5	1.3	1.45
2070-2080	1.43	1.5	1.36	1.5
2080-2090	1.48	1.5	1.37	1.53
2090-2100	1.49	1.5	1.44	1.53
2100-2110	1.49	1.5	1.44	1.53

Produktionen för contortaplanteringar antogs vara 40% högre än för tallplanteringar utan förädlingsvinst. Till det ansattes en förädlingsvinst enligt Tabell 3. Med hjälp av denna korrigerade produktionsnivå beräknades nya justerade SI med hjälp av regressionsfunktioner som beskrivs ovan. Därefter beräknas totalproduktion efter totalåldern 25-95 år i steg på tio år med regressionsfunktioner med det korrigerade SI som oberoende variabel (se ovan). Produktionen för tall och granplanteringar justerades för förädlingsvinster med koefficienter enligt Tabell 3 på liknande sätt som för grankloner.

Produktion för lärkplanteringar skattades med hjälp av produktionstabeller som upprättats med hjälp av data från experiment och praktiska planteringar i södra Sverige. Produktion på nyförnygrad torvmark som askgödslas beräknades med funktioner för grankloner om SI för gran översteg 26 m och med funktioner för tall för lägre ståndortsindex.

1.3 Konventionell gödsling och askgödsling på torvmark

Produktionseffekten av konventionell gödsling i mogna tall- och granbestånd beräknades med hjälp av gödslingsreaktionsfunktioner (Pettersson 1984 a,b). Produktion för bestånd där gödsling kombinerades med antingen grankloner eller contorta beräknades genom att först beräkna ett justerat SI för granklon respektive contorta enligt ovan och därefter lägga på gödslingsreaktionen. Gödsling av contorta antas ge samma produktionseffekt som gödsling av tall. De gödslingsreaktionsfunktioner som används vid gödsling för tall används därför också för gödsling av contorta men med justerat ståndortsindex. Askgödsling på torvmark antogs ge en produktionsökning om 25 m³sk ha⁻¹ under en tioårsperiod.

1.4 Behovsanpassad gödsling (BAG)

För simulering av effekten av behovsanpassad gödsling användes data från näringsoptimeringsexperimenten i Flakaliden och Asa (Bergh *et al.* 1999; Bergh *et al.* 2005). För respektive försöksområde anpassades ett utgångsläge och SI så att DT på ett riktigt sätt skattade tillväxten för de fastgödslade ytorna. Därefter användes detta utgångsläge för att skatta totalproduktion vid totalåldern 25, 35, 45, 55 och 65 år för dessa provtytor med samma gallringsprogram som

beskrivits ovan. Den skattade totalproduktionen reducerades med 10% för att kompensera att gödsling skedde vart annat år istället för varje år som i experimenten, och för att gödslingen i praktiken inte får samma jämna spridning som i kontrollerade försök. För kontrollytorna i Flakaliden var SI G22 medan SI för de ogödslade ytorna i Asa var G32. Produktionsnivån vid BAG i bestånd med SI mellan Flakalidens och Asas SI antogs vara linjärt beroende av SI. Då plantering av grankloner kombinerades med BAG beräknades först ett justerat SI för granklon enligt beräkningsgången som beskrivits tidigare. Med det justerade SI-värdet beräknades sedan produktion för BAG.

1.5 Gallringsuttag

Som beskrivit ovan antogs att gallringsprogrammen innehöll endast svaga gallringar och att den stående volymen därmed var högre än vad som rekommenderas i gallringsmallar. Gallringarna ansattes tidigare för hga SI än för låga men det uttaget i volym var ungefär densamma oberoende av SI (Tabell 4). Gallringsuttagen för klon och Sitka var antogs vara samma som för gran medan gallringsuttagen för contorta var samma som för tall. Lärk hade samma gallringsuttag oavsett ståndortsindex.

Tabell 4. Gallringsuttag (m³ ha⁻¹) för gran, tall, BAG och lärkbestånd.

Gran	Ståndortsindex (m)									
	0-23.99		24-27.99		28-32.99		33-37.99		38-	
	ålder	volym	ålder	volym	ålder	volym	ålder	volym	ålder	volym
	55	60	45	48	35	47	25	55	25	59
	65	62	55	60	45	57	35	58	35	63

Tall	Ståndortsindex (m)											
	0-17.99		18-21.99		22-25.99		26-29.99		30-33.99		34-	
	ålder	volym	ålder	volym	ålder	volym	ålder	volym	ålder	volym	ålder	volym
	75	50	55	50	45	50	35	50	25	50	25	100
	85	50	65	50	55	50	45	50	35	50		

BAG	Ståndortsindex (m)			
	0-26.99		28-	
	ålder	volym	ålder	volym
	75	50	55	50
	85	50	65	50

Lärk	Ståndortsindex (m)	
	ålder	volym
	15	47
	25	99
	35	43

1.6 Omloppstid

Beståndens omloppstid sattes till den tidpunkt när medeltillväxten uppgick till 95% av medeltillväxtens kulmination för gran, sitkagran och lärk medan tall och contorta slutavverkades vid den tidpunkt när medeltillväxten kulminerade (Tabell 2.3.4:3). Den tidigare slutavverkningstidpunkten för gran, sitka och lärk motiveras av hänsyn till risk för storm- och rotröteskador.

1.7 Justering av tillväxt på grund av förändrat klimat

Tillväxten justerades med hänsyn till framtida klimatförändringar genom att använda de tillväxtkvoter som tagits fram i SKA-VB 08 (Tabell 5). För varje period beräknades en ojusterad tillväxt som sedan justerades med period- och regionspecifika korrektionsfaktorer för gran respektive tall. För contorta användes korrektionsfaktorer för tall medan korrektionsfaktorer för gran användes för sitka och lärk.

Totalproduktionen beräknades sedan genom att addera denna justerade tillväxt till totalproduktionen vid föregående period.

Tabell 5. Korrektionsfaktorer för justering av tillväxten med hänsyn till framtida förändrat klimat. Beräkningsområdena var i huvudsak län eller sammanslagning av län men BD och AC län delades i kust och inland, Z delades i Jämtland och Härjedalens kommun och W delades i Särna-Idre och övriga.

Beräknings- område	Gran	Tall
BDL	43	30.1
BDK	46.2	35.5
ACL	35.8	25.2
ACK	37.3	28.7
ZJ	30.1	20.3
ZH	27.6	22.5
Y	21.6	11
X	18.7	9
WSI	23.7	16.9
WÖ	24.1	20.5
S	22.2	21.1
T	26.1	25.4
U	23.6	22.4
C	24.4	23.3
AB	23.3	21.7
D	20.9	20.8
E	16.9	16.4
R	25.2	24.8
OPD	21.1	20.2
PV	17.3	16.4
F	20.2	7.7
G	19.6	21.1
H	15.9	17
N	18.8	20.5
LM	32.3	24.8
K	24.7	24
I	18.2	20.8

Referenser

Bergh, J., Linder, S., Lundmark, T. and Elfving, B. 1999 The effect of water and nutrient availability on the productivity of Norway spruce in northern and southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 119: 51-62.

Bergh, J., Linder, S. and Bergström, J. 2005. The potential production for Norway spruce in Sweden. *Forest Ecology and Management* 204: 1-10.

Eriksson, H. & Karlsson, K. 1997. Olika gallrings- och gödslingsregimers effekter på beståndsutvecklingen baserat på långliggande experiment i tall- och granbestånd i Sverige. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsproduktion, Rapport 42, 135 sid.

Nilsson, U. & Fahlvik, N. 2006. Ekonomisk analys av praktisk produktionsoptimering i granplanteringar. I Slutrapport för Fiberskogsprogrammet (Eds. Bergh, J. & Oleskog, G.). SLU, Inst f Sydsvensk Skogsvetenskap, Arbetsrap. 27, 106-129.

Pettersson, F. 1994 a. Predictive functions for impact of nitrogen fertilization on growth over five years (Skogforsk, Report No. 3, 1994), 56 s. Oskarshamn.

Pettersson, F. 1994 b. Predictive functions for the total response in growth to nitrogen fertilization, duration and distribution over time. (Skogforsk, Report No. 4, 1994), 56 s. Oskarshamn.

Rosvall, O. & Wennström, U. 2008. Förädlingseffekter för simulering med Hugin i SKA 08. SkogForsk, Arbetsrapport 655, 37 sid.

Bilaga 16

Trädslagsförsök med inhemska och utländska barr- och lövträd

Ulf Johansson, Enheten för skoglig fältforskning, SLU

Nils Fahlvik, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU

Urban Nilsson, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU

Innehåll

Innehåll.....	2
1. Inledning.....	3
2. Material och metoder.....	3
3. Resultat och diskussion	4
4. Slutsatser	6
Referenser.....	6

1. Inledning

Projektet "Produktionsförsök med nya trädslag" startade 1990 med medel från Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsfond. Projektets mål var att öka kunskaperna om för skogsbruket tänkbara trädslag vad avser produktion och ekologisk stabilitet. Arbetet i och ansvaret för projektet delades mellan SkogForsk och SLU, där SkogForsk ansvarade för anläggning av fältförsöken och studier av utveckling de första fem åren. För den långsiktiga uppföljningen av produktion och stabilitet ansvarar SLU.

Den serie med trädslagsförsök som anlades inom projektet är landsomfattande och utgörs av totalt 9 fältförsök. Dessa anlades i tre olika breddgradsområden som representerar olika temperatur och ljusklimat. Inom varje breddgradsområde anlades ett fältförsök på vardera ståndorterna "åkermark", "bördig granmark" och "medelgod-svag tallmark". I försöksserien ingår totalt 13 trädslag som inte är inhemska i Sverige. Därutöver ingår tall, gran och vårtbjörk som jämförelseträdslag. De utländska trädslagen testas i de breddgradsområden och på de ståndortstyper där de bedöms vara tänkbara alternativ till våra inhemska trädslag. Detta innebär att alla trädslag inte testas i alla försök. I de flesta försöken representeras varje art av flera provenienser/kloner för att i viss mån motverka negativa effekter av eventuellt olämpliga proveniensval.

Syftet med denna studie var att, som ett faktaunderlag till delprojekt 2 inom MINT-utredningen, redovisa resultat från den sydligaste försökslokalen i det södra breddgradsområdet inom ovan nämnda försöksserie.

2. Material och metoder

Försöket i Bullstofta representerar åkermark i den sydligaste av de tre breddgradsområdena. Försökslokalen (lat. 55°59'N, long. 13°00'E, alt. 85 m ö h) är belägen söder om Ekeby i Svalövs kommun, Skåne län. Lokalen är en nedlagd jordbruksmark som innan försökets anläggning användes för vallodling. Marken är helt plan och uppfattas som homogen. Försöksområdets storlek är 3,1 ha.

Försöket omfattar åtta trädslag som vardera representeras av en eller flera olika provenienser/kloner (Tabell 1). Försöksplantorna odlades vid SkogForsks försöksstationer i Brunnsberg och Ekebo samt vid Svenska Skogsplantors anläggning i Kulleberga. Planteringsförbandet var 2x2 m för alla trädslag. Inom en parcell var de olika ingående sorterna slumpmässigt utplanterade.

Försöksdesignen är ett blockförsök i tre upprepningar med bruttoparceller av storleken 36x36 m. Mätningar utförs på nettoparceller med en areal på ca 0,1 ha.

Inom försöksområdet utfördes en kemisk ogräsbehandling på hösten 1992 och påföljande vår harvades marken. Planteringen utfördes våren 1993. Hela försöksområdet inhägnades till skydd mot viltskador. Under etableringsskedet hämmades plantornas utveckling av ymnig gräsvegetation och dessutom drabbades vissa trädslag av frostsador. Hjälpplantering av vissa trädslag utfördes 1994. Vid en revision hösten 1997 efter fem växtsäsonger i fält var överlevnaden 92 % för hela försöket. Gallringar i försöket har utförts 2001, 2003 och 2009. De ingående trädslagen har gallrats vid olika tidpunkter och antalet gallringar varierar mellan trädslagen beroende på skillnader i ungdomsutvecklingen. I samband med gallringen 2003 upptogs ett stickvägsnät inom försöksområdet vilket planerades så att det i mitten av varje nettoparcell löper en genomgående stickväg.

Produktionsmätningar i försöket har utförts 2003, 2006 och 2009. År 2006 arrangerades försöket som ett produktionsförsök enligt vedertagen standard för svenska långtidsförsök. Vid varje revisionstillfälle mättes diameter och registrerades skador på alla träd inom nettoparcellerna. På utvalda provträd mättes

höjd, krongränshöjd och i förekommande fall barktjocklek. Fältmätningar och primärbearbetning följer gällande standard för svenska produktionsförsök (Karlsson 1998).

Tabell 1. Trädslag och plantmaterial i fältförsöket 2297 i Bullstofta, Skåne län.

Trädslag	Proveniens/klon	Planttyp	Plantålder, år
<i>Abies grandis</i> (kustgran)	Menzies Bay, Vancouver; Trout lake, Washington; Yellow point, Vancouver; Langesö, Danmark	Täckrot	2-3
<i>Larix x eurolepis</i> (hybridlärk)	Plantage Maglehem	Täckrot	2
<i>Picea abies</i> (gran)	Vitebsk Venedvinsk; Grodno Ivje; Plantage Maglehem	Barrot	3
<i>Picea sitchensis</i> (sitkagran)	Masse, Queen Charlotte Island; Seward, Kenai Peninula; Plantage Flensburg	Täckrot	2
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (douglasgran)	Quesnel, British Columbia; Campbell River, Vancouver; Darrington, British Columbia; Langesö Danmark	Täckrot	2
<i>Betula pendula</i> (vårtbjörk)	Plantage Oitti; Brunnsberg beståndsfrö; Plantage Sävar 2	Täckrot	2
<i>Populus tremula x tremuloides</i> (hybridasp)	Klon från hybridaspbestånd i södra Sverige	Barrot	1
<i>Populus trichocarpa</i> (balsampoppel)	86 kloner från södra Finland	Barrot	1

3. Resultat och diskussion

Försökslokalen utgörs av en mycket bördig nedlagd jordbruksmark i ett gynnsamt klimatläge. Ståndortsindex för gran uppskattas vid revisionen 2009 till 43,6 m, men då beståndet fortfarande är ungt kommer detta värde sannolikt att sjunka vid högre ålder. Trots detta, så indikerar beståndet att ståndorten har en för svenska förhållanden mycket hög produktionspotential, väl i nivå med de ur produktionssynpunkt allra bästa i landet. Kombinationen av högt näringsutbud och gynnsamt klimat gör att produktionsförutsättningarna för de flesta trädslag är mycket goda på denna lokal.

Ungdomsutvecklingen skiljer sig mellan trädslagen. De snabbväxande trädslagen hybridasp och poppel hade vid mätningen 2009 (vid 17-19 års ålder) nått en övre höjd av 22-23 m medan motsvarande för barrträden gran, sitkagran, kustgran och douglasgran var 11-14 m (Tabell 2). Hybridlärk och björk intog en mellanställning med övre höjd i intervallet 16-18 m. De observerade skillnaderna i höjdtutveckling illustrerar de snabbväxande lövträdslagens utpräglade pionjära egenskaper i jämförelse med barrträdens mera sekundära ekologiska egenskaper.

Skillnaderna i ungdomsutveckling har också medfört att trädslag med stort ljusbehov – hybridasp, poppel, björk och lärk – gallrats tidigare och intensivare än de mera skuggtåliga barrträden gran, sitkagran och kustgran. Detta har i hög grad påverkat dimensionsutvecklingen och vid 17-19 års ålder

har hybridasp och poppel en medeldiameter på 23-24 cm medan motsvarande för gran och sitkagran är ca 15 cm (Tabell 2). Hybridlärk är intermediär med ca 20 cm medeldiameter medan björk trots snabb ungdomsutveckling och tidig gallring uppvisar en svagare dimensionsutveckling.

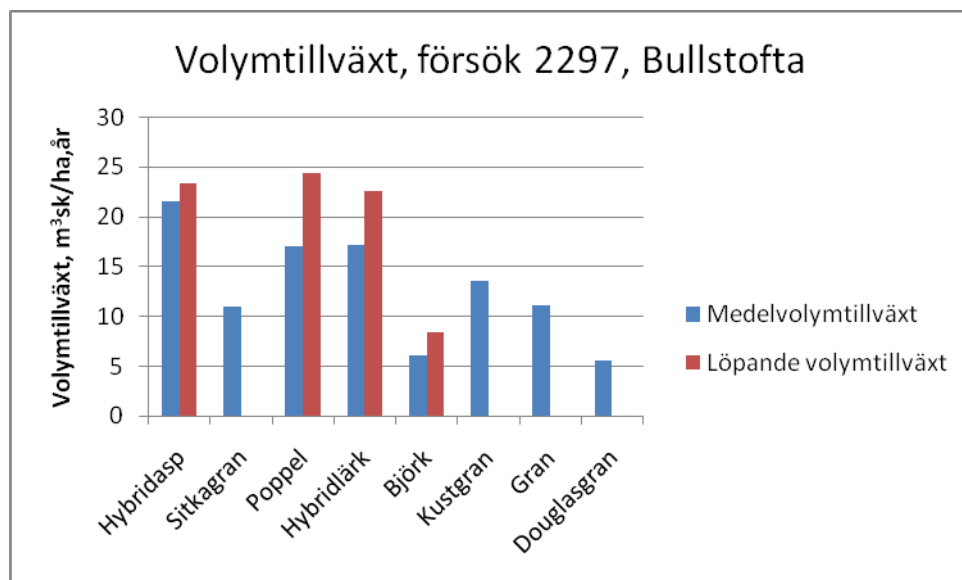
Tabell 2. Kvarvarande bestånd efter gallring 2009 i trädslagsförsöket 2297 Bullstofta, Skåne län. Medeltal av 3 block.

Trädslag	Ålder, år	Medeldiameter, cm	Övre höjd, m	Stamantal, st/ha	Grundyta, m ² /ha	Volym, m ³ sk/ha	Antal gallringar
Hybridasp	17	23.0	23.3	360	14.8	155	3
Sitkagran	18	15.4	12.3	1190	22.1	127	1
Poppel	17	24.4	22.0	321	15.0	139	3
Hybridlärk	17	19.6	17.8	627	18.6	146	2
Björk	18	11.9	16.1	758	8.2	51	2
Kustgran	18	16.7	13.5	1081	28.2	169	1
Gran	19	14.8	12.6	1299	22.4	135	1
Douglasgran	18	12.6	11.7	1219	14.8	78	0

De ovan nämnda skillnaderna i trädslagens höjd- och dimensionsutveckling återspeglas också vid en jämförelse av trädslagens volymproduktionsutveckling fram till 17-19 års ålder (Figur 1):

- De snabbväxande lövträden hybridasp och poppel har redan vid 17 års ålder en hög medelvolymproduktion. För hybridasp ligger den över 20 m³sk/ha, år medan poppel ligger på ca 17 m³sk/ha, år. Den löpande volymtillväxten ligger för båda trädslagen mellan 20-25 m³sk/ha, år vilket innebär att medeltillväxten kommer att stiga ytterligare. Huvudskälet till att poppel har sämre tillväxt än hybridasp är att den drabbats av olika svampsjukdomar, vilket bekräftar tidigare iakttagelser att poppel i Sverige generellt har problem med klimatisk anpassning.
- Hybridlärk har också uppnått en medelvolymproduktion på ca 17 m³sk/ha, år, dvs. ungefär samma nivå som poppel och liksom poppel fortfarande ökande. Tillväxtnivån för hybridlärk är i detta försök högre än vad som förväntas på bördig skogsmark i södra Sverige (Ekö *et al.* 2004).
- Barrträden gran och sitkagran har båda en årlig medeltillväxt på ca 11 m³sk/ha, vilket vid denna ålder är mycket hög tillväxtnivå. Uppgifter om löpande tillväxt saknas ännu men bedömningen är att den ligger väl över medeltillväxten varför denna kommer att öka med stigande ålder. Detta bekräftar, som tidigare nämnts, att ståndorten har mycket hög produktionspotential.
- Kustgran har en medeltillväxt på drygt 13 m³sk/ha och överstiger därmed gran, vilket är i linje med gällande uppfattning. Douglasgranens medeltillväxt är endast ca hälften av granens vilket främst beror på omfattande avgångar under etableringsperioden orsakade av bl a frost.

- Björkens produktion uppgår till ca hälften av granens. Denna produktionskillnad mellan trädslagen överensstämmer med vad som erhållits i andra studier (Ekö *et al.* 2008).
- Försöket är ännu ungt. Trädslagen har olika tillväxtrytm och deras medeltillväxt kommer att kulminera vid olika ålder. Produktionskillnaderna mellan trädslagen kommer därför att ändras med stigande beståndsålder.



Figur 1. Volymtillväxt i trädslagsförsök 2297, Bullstofta, vid revision 2009.

4. Slutsatser

Försöket bekräftar att de snabbväxande lövträden hybridasp och poppel uppnår hög tillväxt vid tidig ålder och att de ur produktionssynpunkt är intressanta trädslag för intensivodling på nedlagd åkermark. Detsamma gäller hybridlärk. Gran och sitkagran har långsammare ungdomsutveckling men uthålligare tillväxt. Kustgran och douglasgran är allför oprövade trädslagsalternativ medan björkens produktionspotential är för låg för att trädslaget skall vara intressant i ett storskaligt intensivskogsbruk.

Referenser

Ekö, P-M., Johansson, U., Pettersson, N., Bergqvist, J., Elfving, B. & Frisk, J. 2008. Current growth differences of Norway spruce (*Picea abies*), Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Birch (*Betula pendula* and *Betula pubescens*) in different regions in Sweden. *Scand. J. For. Res.* 23:307-318

Ekö, P. M., Larsson-Stern, M. & Albrektson, A. 2004. Growth and yield of hybrid larch (*Larix x eurolepis* A. Henry) in Southern Sweden. *Scandinavian journal of forest research*, 2004, vol. 19, no 4, pp. 320-328

Eriksson, H. & Johansson, U. 1989. Ett intressant trädslagsförsök i Halland. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 6:27-35

Karlsson, K., 1998. A strategy for reducing the number of sample trees when estimating stand volume on a sample plots. *Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Yield Research, Report 43*, 18 pp.

Vollbrecht, G., Johansson, U., Eriksson, H. & Stenlid, J. 1995. Butt rot incidence, yield and growth pattern in a tree species experiment in southwestern Sweden. *Forest Ecology and Management* 76:87-93

Bilaga 17

Forskarseminarier

Ulf Johansson, Enheten för skoglig fältforskning, SLU

Nils Fahlvik, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU

Urban Nilsson, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU

Uppsala

Vid det öppna forskarseminariet i Uppsala 2008-12-10 framkom bl a följande synpunkter:

Fastmarksgödsling. Potentialen för ökning av gödslingsarealen finns främst inom privatskogsbruket. Kunskapsunderlaget om gödsling i yngre och medelålders gallringsskog är bättre än för ungskogsgödsling.

Ungskogsgödsling av gran. Fältförsök hos SkogForsk med ungskogsgödsling ger lägre tillväxteffekter än motsvarande försök hos SLU. Ett antal ekonomiska kalkyler har visat på dålig lönsamhet för ungskogsgödsling. Förrättnings tiden blir lång för ungskogsgödsling.

Gödslingsreaktionen för contortatall liknar den för tall och gran.

Klonskogsbruk. Den kombinerade effekt av gödsling och användning av grankloner bedöms vara multiplikativ. Det finns idag identifierade rötresistenta kloner av gran.

Contortaplantering på fastmark innebär ungefär samma kostnader som för tall men ger högre tillväxt och därför högre ekonomisk avkastning.

Våtmarker. Kunskaperna är begränsade om produktionseffekter av dikesrensning.

Biotiska skador. Det är viktigt att beakta risk för rotröta på contortatall om den förflyttas söderut. Douglasgran är känslig för rotröta i ungdomen men mera motståndskraftig i äldre skog. Det finns begränsade kunskaper om risken för insektsskador vid klonskogsbruk med gran. Det finns aggressiva insekter på lärk i bl.a. Danmark och Polen.

Virkesegenskaper. Intensivodling av udda trädslag kan innebära osäker avsättning p g a små kvantiteter. På barrträd sjunker veddensiteten och på lövträd stiger den när årsringsbredden ökar. Samma gäller för andra vedegenskaper. Klonskogsbruk kan redan idag inriktas mot utvalda kloner med önskvärda vedegenskaper.

Snabbväxande lövträd. Frost är ett problem för poppel, likaså en förhöjd stormrisk.

Umeå

Vid det öppna seminariet i Umeå 2008-12-15 framkom bl a följande synpunkter:

Ungskogsgödsling. Vid intensivodling görs stora uttag av biomassa vilket kan ge risk för nedsatt framtida produktion. Viktigt är att beakta kretsloppsanpassade gödselmedel såsom vedaska. Det finns risker med att i förtid ta ut produktionshöjningen efter gödsling i andra bestånd än de gödslade.

Klonskogsbruk. Det saknas idag produktionsteknik för storskalig tillämpning.

Contortaodling passar inte på jordbruksmark utan bör reserveras för trivial skogsmark.

Salix. Idag avverkas många *Salix*-odlingar för tidigt på grund av tekniska skäl.

Dikesrensning bör snarare ses som en metod att upprätthålla produktionen än att öka den. Det är viktigt med underhåll av gamla dräneringssystem på åkermark. Nydikning bör vara med som produktionshöjande åtgärd. Kompletteringsdikning bör finnas med som ett alternativ.

Poppel har hög produktionspotential och snart finns det nya odlingsmaterial. Poppel anses inte vara lika utsatt för viltbete som många andra lövträdsdrag.

Allmänt. Kombinationer av metoder är intressanta och kanske kan synergieffekter därigenom uppstå. För att minimera risker är det viktigt att satsa på robusta metoder för intensivodling.

Bilaga 18

Erfarenheter av skötselmetoder för plantageskogsbruk med tall i sydöstra USA

Ulf Johansson, Enheten för skoglig fältforskning, SLU

Nils Fahlvik, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU

Urban Nilsson, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU

Intensivodling av skog bedrivs på många håll i världen. Ett av de mer välkända och framgångsrika exemplen är det plantageskogsbruk med tall (loblolly pine *Pinus taeda*, slash pine *Pinus palustris*) som sedan på 1950-talet bedrivs i sydöstra delarna av USA (Fox et al.2007).

USA sydstater har sedan lång tid varit en viktig skoglig råvarubas och skogbruk har i dessa trakter en lång tradition. Från ett i huvudsak exploaterande skogsbruk under tidigare århundraden, startades under 1920-talet storskaliga skogsplanteringsprogram med tall på övergivna skogsområden och nedlagda jordbruksmarker. Dessa intensifierades efter andra världskriget och utgör idag en värdefull skogsindustriell råvarubas. Arealen kommersiella tallskogsplantager har i sydöstra USA ökar dramatiskt från 0,7 milj ha i början av 1950-talet till ca 13 milj ha år 2000.

Den enorma uppbyggnaden av tallskogsplantagerna i sydöstra USA är en resultatet av genomtänkt skogsskötselstrategi som byggt upp i nära samverkan mellan US Forest Service, skogliga myndigheter, skogsforskningsprogram vid regionens universitet och skogsindustrin.

Forsknings- och utvecklingsinsatser inom såväl grundläggande som tillämpade ämnesområden har inriktas mot skötselmetoder, genetik, prognosmodeller för tillväxt, mm. Parallella forskningsinsatser på södra halvklotet (Chile, m fl länder) har även påvisat att de aktuella tallarterna potentiella produktionsförmåga ligger långt över den som uppnåtts i praktiskt skogsbruk i sydöstra USA. Flera förklaringar föreligger men det har satt fokus på vikten av intensiva och integrerade skogsskötselsystem för att uppnå hög biomassaproduktion.

Huvudmetoderna i den skogsskötselstrategi som kännetecknar tallplantageskogsbruket i sydöstra USA är:

- Effektiv skogsplantproduktion.
- Skogsträdsförädling och genetiska vinster.
- Markbehandling.

- Vegetationskontroll.
- Gödsling.

En effektiv plantproduktion identifierades tidigt som en grundbult i uppbyggnad av plantageskogsbruket. Forsknings- och utvecklingsinsatser med start redan på 1920-talet resulterade tidigt i anvisningar för fröinsamling, fröbehandling, plantskolerutiner, plantproduktion och planteringsmetoder. Trots detta utgjorde avgångar i planteringar länge ett besvärande problem och krävde fortsatta forskningsinsatser vilka fokuserades på betydelsen av att effektivisera plantskolearbete och planthanteringsrutiner. Viktiga beståndsdelar i ett effektivare plantskolearbete var stratifiering (storlek och familjer) av frö, reducerad täthet i odlingssängar, plantbeskärning, rotbeskärning och mykorrhiza inokulering. Förbättrade planthanteringsrutiner fokuserades bl a på plantupptagning, plantransport och användning av kylvagnar. Sammantaget har effektivisering av plantskole- och planthanteringsrutinerna gjort att plantöverlevnad successivt kunnat förbättras till nivåer som överstiger 90%.

Skogsträdförädlingen introducerades tidigt och uppbyggnad av fröplantager för att producera genetiskt förbättrat frö kom igång redan på 1920-talet. Höga kostnader för fröplantager i kombination en utbredd skepsis mot att urval och förädling kunde leda till genetiska vinster bromsade emellertid utbyggnaden. Det svängde inte förrän på 1950-talet då övertygande resultat om förädlingens genetiska vinster kunde presenteras och ekonomiskt värderas. Konceptet med etablerade fröplantager slog därefter snabbt igenom och kom att byggas ut till att bli den dominerande fröproduktionsmetoden. Den första generationens fröplantager levererade frö under 1960-1970-talen med en beräknad genetisk vinst på 8-12% i volymproduktion och 20% i värdeproduktion. Den andra generationens fröplantager byggdes ut under 1980-talet och svarar idag för mer än 50% av det totala fröbehovet.

Volymproduktionsvinsten beräknas vara 14-23% högre än i bestånd anlagda med frö från första generationens fröplantager. Fortfarande idag anläggs de flesta tallplantageskogarna med frö från fritt pollinerade halvsyskon familjer men utvecklingen går i riktning mot ökad användning av frö från kontrollerade korsning mellan elitkloner. I framtiden beräknar man högre vinster (i storleksordningen 50%) genom satsningar på utveckling av klonskogsbruk med vegetativ förökning för att massproducera identiska kopior av utvalda kloner med önskvärda egenskaper vad gäller produktion och vedegenskaper. På ännu längre sikt (flera decennier) antar man att transgena träd kommer att innebära ännu högre genetiska vinster.

Markbehandling var i den tidiga uppbyggnaden av plantageskogsbruket länge en okänd skötselmetod men misslyckad beståndsanläggning på grund av kraftig vegetationskonkurrens på många marker påvisade behovet. Intensiva mekaniska markbehandlingsmetoder började därför tillämpas med syfte att minska vegetationskonkurrensen. Det mest besvärande konkurrensproblemet var lövslyuppslag. Bränning och harvning prövades för att minska lövslyproblemet men med nedslående resultat. Radikala markberedningsmetoder med hyggesplöjning och bulldozers prövades under 1960- och 1970-talen. De gav kraftiga tillväxtökningar på i storleksordning 15-90% jämfört med obehandlad mark. En form av djupplöjning prövades under 1980-talet men visade sig ha begränsad effekt på plantöverlevnad och tillväxt. Det blev också uppenbart att de radikala markbehandlingsmetoderna riskerade att genom utlakning utarma markernas näringsförråd och förorsaka långsiktig nedsättning av markernas produktionsförmåga. Man började därför på 1970- och 1980-talen att använda kemiska markbehandlingsmetoder med herbicider för att kontrollera konkurrerande vegetationsuppslag och samtidigt undvika de radikala markberedningsmetodernas negativa effekter på näringsutlakningen. De kemiska markbehandlingsmetoderna som kunde utföras till lägre kostnader kom därför under 1990-talet att successivt ersätta de mekaniska och utgör idag inom många områden den dominerande markbehandlingsmetoden. Inom låglänta områden med fuktiga marker började man redan på 1930-talet att i samband med markbehandling även utföra skyddsdikning i syfte att avleda överskottsvatten. På 1960-talet introducerades en form av markberedning som åstadkom en förhöjd planteringspunkt vid plantering på dessa ståndortstyper. Metoden gav snabbt positiva men kortvariga tillväxteffekter.

Vegetationskontroll med herbicider dominerades under 1960- och 1970-talen av fenoxiättiksyror men sedan dessa förbjöds har de successivt ersatts av nya herbicider såsom glyfosat, hexazinon, imazapyr, m fl. Dessa har visat sig vara ännu effektivare än fenoxisyrorerna för kontroll av lövsly. Långsiktiga tillväxtökningar i tallplanteringarna har dokumenterats och användning av herbicider för vegetationskontroll i samband med plantering är idag en standardmetod. Ett idag ökande problem är emellertid uppslag av konkurrerande naturlig föryngring av tall eftersom mekanisk röjning inte tillämpas.

Gödslings produktionshöjande effekt i tallplanteringar kunde dokumenteras i tidiga forskningsresultat men det dröjde in på 1960-talet innan metoden fick genomslag i praktisk tillämpning. Ett genomslag kom sedan det påvisats stora tillväxteffekter av fosforgödslning på torvmarker. Svårtolkad tillväxtrespons av andra gödslingsregimer och på andra marktyper begränsade dock skogsgödslings tillämpning. Intensifierade forskningsinsatser under 1970- och 1980-talen kunde successivt klarlägga att tillväxten på de arealmässigt dominerande marktyperna begränsades av både kväve (N) och fosfor (P). Gödslning med dessa näringsämnen i medelålders tallbestånd gav tillväxteffekter på i storleksordning 25% under 6-10 års perioder efter spridningen. Dessa resultat gjorde att den praktiska skogsgödslingen snabbt ökade i omfattning från en nivå år 1988 på 6000 ha/år till 480000 – 560000 ha per år under perioden efter år 2000. Fram till år 2004 har ca mer än 6,4 milj ha tallplantager gödslats i USA.

Sammanfattningsvis har de skötselmetoder i tallplantageskogsbruket i sydöstra USA genomgått en dramatisk utveckling under de senaste 50 åren och detta skogsbruk torde idag vara bland det mest intensiva i världen. Tillväxttakten i dessa skogar överstiger idag 28 m³/ha, år. Medelvirkesförråden har sedan 1950-talet ökat från 84 m³/ha till 420 m³/ha år 2000. De olika skötselmetodernas relativa bidrag till denna ökning har ändrats över tiden. Förädlingens bidrag till detta har successivt ökat och beräknas idag stå för det största bidraget till tillväxthöjningarna. Även effekter av gödslning och vegetationskontroll har ökat över tiden och dessa åtgärders bidrag bedöms som likvärdiga. Effekter av markbehandling och plantering är relativt sett lägre och mera konstanta över tid. Trots höga kostnader för de intensiva skötselinsatserna uppvisar detta skogsbruk en god lönsamhet på grund av höga tillväxtnivåer och korta omloppstider. Trots att förutsättningarna i sydöstra USA i många avseenden skiljer sig från det skandinaviska skogsbruket, visar detta exempel tydligt att ståndortsanpassade och integrerade skötselmetoder där genetiska vinster från skogsträdsförädling kombineras med skogsskötselmetoder som optimerar resursinsatserna under omloppstiden kan spela en nyckelroll för att uppnå hög biomassa produktion vid intensivodling.

Referenser

Allen, H.L., Fox, T.R., & Campell, R.G. 2005. What is ahead for intensive pine plantation silviculture in the South? *South. J. Appl. For.* 29:62-69

Fox, T.R., Allen, H.L., Albaogh, T.J., Rubilar, R. & Carlson, C.A. 2007. Tree nutrition and forest fertilization of pine plantations in the southern United States. *South. J. Appl. For.* 31:5-11

Fox, T.R., Jokela, E.J. & Allen, H.L. 2007. The development of pine plantation silviculture in the southern United States. *Journal of Forestry* 2007:337-347