

## Kostnadsoptimering av beståndsanläggningskedjan – litteraturstudie

Ulf Sikström, Helena Gålnander och Karin Hjelm, Skogforsk

### 1. Inledning

I Sverige finns en skyldighet att anlägga ny skog efter avverkning (Skogsstyrelsen 2015). Kravet är att det, vid senaste tidpunkt för hjälpplantering, ska i allmänhet finnas ett lägsta plantantal på 900–2300 plantor per hektar beroende på trädslag och markens bördighet (ståndortsindex  $H_{100}$ ). Enligt Nilsson et al. (2010) är dock en vanlig målsättning hos svenska skogsägare att ha 1800–2500 levande plantor i slutet av föryngringskedjet (ca 1,3 m medelhöjd för huvudträdslaget) vid plantering av tall (*Pinus sylvestris* L.) och gran (*Picea abies* L. Karst).

Av den föryngringsavverkade arealen under perioden 2011–2013 planterades 75 %, 18 % föryngrades naturligt, 5 % såddes och på 2 % vidtogs ingen åtgärd. År 2013 planterades totalt 176 000 hektar och 84 % av denna planterade areal uppfyllde kraven för godkänd föryngring enligt skogsvårdslagens krav (Skogsstyrelsen 2014). Den totala markberedda arealen i landet var 185 000 hektar och markberedning utfördes på 92 % av den planterade arealen. Denna andel har ökat under de senaste ca 15 åren, i slutet av 1990-talet var andelen 87 % (Skogsstyrelsen 2014). Enligt samma källa hjälpplanterades 28 000 hektar 2013. Omfattningen av röjning var 392 000 hektar enligt uppgifter från Skogsstyrelsen medan Riksskogstaxeringen uppger 265 000 hektar (Skogsstyrelsen 2014). De ovan nämnda skogsvårdsåtgärderna – markberedning, plantering och röjning – är således omfattande årliga återkommande åtgärder i svenskt skogsbruk. Det är även känt att kostnaderna för dessa åtgärder är relativt höga i Sverige och att kostnadsutvecklingen inte har varit lika gynnsam för skogsvårdsåtgärder som för avverkning av skog (Brunberg 2014). Därför är det angeläget att hålla nere kostnaderna men samtidigt beakta vilka resultat som uppnås, d.v.s. utföra åtgärder på ett kostnadseffektivt sätt. Även om föryngringsresultatet i termer av antal plantor per hektar och andel godkända föryngringar ökat de senaste decennierna finns det en potential att ytterligare förbättra föryngringsresultatet. Skogsstyrelsen menar att variationen i föryngringarnas kvalitet är stor (Bergqvist et al. 2016). De flesta håller god kvalitet men fortfarande finns föryngringar med bristfällig kvalitet och kalmarkstiden är i många fall för lång i förhållande till vad som är lämpligt enligt Skogsstyrelsen. Det borde också vara angeläget för skogsägarna att kunna välja och tillämpa rätt skogsvårdsåtgärder för att verkligen uppnå ett resultat i paritet med de mål man satt upp för föryngringsarbetet.

Det vanligaste sättet att etablera ny skog i Sverige efter föryngringsavverkning är alltså plantering, som för det mesta föregås av markberedning. Ett antal år senare utförs vanligtvis röjning, vilken i vissa fall behöver upprepas. Syftet med röjning är att gynna de framtida beståndsbildande huvudstammarna. Dessa tre åtgärder sammantaget kallar vi i fortsättningen ”beståndsanläggningskedjan”. Kostnaden för de olika delmomenten kan variera beroende på exempelvis vilken markberedningsmetod som används, hur många och hur stora plantor som planteras samt hur många icke önskade stammar som måste röjas bort för att erhålla ett lämpligt stamantal av önskade trädslag. När ett bestånd ska anläggas i dagens skogsbruk finns det en strävan efter lägsta möjliga kostnad för respektive skogsvårdsåtgärd istället för att se till den totala kostnaden för hela beståndsanläggningskedjan. Detta har framkommit i intervjuer med företrädare för det operativa skogsbruket (Bilaga 2). Det kan innebära att en åtgärd med låg kostnad i början av kedjan leder till en högre totalkostnad för hela kedjan eftersom utformning och utförande av en tidig åtgärd påverkar resultat, tidsåtgång och kostnad för en senare åtgärd.

Omfattande forskning har sedan länge bedrivits kring de olika delmomenten i beståndsanläggningskedjan. Det finns många vetenskapliga studier som beskriver effekter på överlevnad och tillväxt hos tall och gran efter olika typer av markbehandling (exv. Hansson och Karlman 1997, Mäkitalo 1999, Johansson et al. 2013a). Den tidiga utvecklingen för tall- och granplantors beroende av plantstorlek vid plantering finns också studerad (exv. Johansson et al. 2015), liksom att det finns studier om etablering av och höjdtutveckling för lövplantor efter hyggesupptagning och hur dessa variabler påverkas av olika skogsskötselåtgärder i samband med återbeskogning av hyggen (exv. Karlsson et al. 2002, Johansson et al. 2013). Det finns även studier som belyser höjdförhållandet mellan planterade plantor och naturligt föryngrade björkar i föryngringskedet på hyggen (exv. Lehtosalo et al. 2010, Holmström 2015). Det sista är viktig information för att kunna bestämma behov av och lämplig tidpunkt för eventuell ungskogsröjning. Alla dessa åtgärder och effekterna av dessa på plantornas överlevnad och tillväxt är nödvändiga pusselbitar för att utforma och utvärdera olika typer av beståndsanläggningskedjor (se exv. Uotila et al. 2010). Vad vi känner till finns det inga rapporterade försök eller studier som beaktar hela beståndsanläggningskedjan och utvärderar alternativa "kedjor" för svenska förhållanden.

Det finns således ett stort behov av studier som beaktar hela beståndsanläggningskedjan vid föryngring i Sverige. I Skogforsk-projektet "Kostnadsoptimering av beståndsanläggningskedjan" var syftet att belysa tillämpning av ett helhetsperspektiv vid beståndsanläggning genom plantering av tall och gran. Med beståndsanläggning avses att uppnå ett definierat önskat tillstånd på ungskogen vid en tidpunkt i samband med eller strax efter sista röjning (ca 3 m höjd). Helhetsperspektivet handlar om att minimera totala kostnaden för hela beståndsanläggningskedjan, d.v.s. från första föryngringsåtgärd efter föryngringsavverkning fram till att det definierade ungskogstillståndet är uppnått, genom en optimal fördelning av kostnaderna på de olika föryngringsåtgärderna markberedning, plantering och röjning. Exempelvis kan en markberedningsmetod med låg kostnad eller en billig planttyp ge en mer långsam plantutveckling jämfört med en dyrare markbehandlingsmetod eller planttyp, vilket leder till en längre tid för att uppnå det önskade ungskogstillståndet. Ett annat exempel är att olika markberedningsmetoder kan ge olika omfattande lövuppslag och därmed olika hög kostnad för ungskogsröjning. En förutsättning för denna typ av analyser är att ha god kännedom av olika skogsvårdsåtgärder och dess effekter.

Det övergripande syftet för hela projektet var att bidra till en mer kostnadseffektiv beståndsanläggning av tall- och granskog vid plantering. Ansatsen var att belysa hur kostnaden för de olika åtgärderna markberedning, plantering och röjning kan fördelas optimalt för att minimera den totala kostnaden för beståndsanläggning. Projektet bestod av tre delar med följande delmål: (1) sammanställa befintlig kunskap och identifiera kunskapsluckor genom en litteraturstudie och en intervjustudie; (2) utifrån kunskapssammanställningen (delmål 1) redovisa exempel på olika beståndsanläggningskedjor och analysera kostnaderna för de olika alternativen; (3) utifrån delmål 1–2 ge förslag på forskning för att fylla några av de identifierade kunskapsluckorna samt utforma en försöksplan och anlägga ett fältförsök. Denna bilaga utgör dokumentationen för litteraturstudien, dvs. den ena delen av delmål 1 i projektet.

## 2. Syfte och avgränsning

Syftet med litteraturstudien har varit att sammanställa kunskap om åtgärderna markberedning, plantering och röjning samt interaktionseffekter metoderna emellan. Insamlad kunskap och data ska utgöra underlag för att belysa hur kostnader och resultat för hela beståndsanläggningskedjan kan optimeras genom att beakta delmomenten integrerat och inte som idag minimera kostnaden för varje åtgärd separat. I studien har en genomgång gjorts av markbehandling, plantering och röjning vid plantering av gran och tall. Ansatsen har varit att kvantifiera effekter av och skillnader mellan olika metoder på plantornas överlevnad och tillväxt. Effekten av de olika metoderna på icke önskat naturligt föryngrat plantuppslag, av främst lövplantor, har också sammanställts. Även betydelsen av plantstorlek och lämplig tidpunkt för röjning har belysts.

De avsnitt som ingår i litteraturstudien är: (1) plantering som aktiv skogsvårdsåtgärd; (2) beståndsanläggningskedjor och beslutsstöd för val av föryngringsmetod; (3) markbehandling – effekter av olika markberedningsmetoder på plantors överlevnad och tillväxt samt påverkan på marken i form av andel påverkad markyta och lövuppslag (främst björk); (4) betydelsen av olika plantstorlek vid plantering; (5) lämplig tidpunkt för röjning.

Genomgången begränsas till studier utförda inom Fennoscandia och till fastmark enligt den svenska definitionen, dvs. att det ska finnas mineraljord inom 30 cm djup från markytan. De markberedningsmetoder som ingår är fläckmarkberedning ("fläck"), harvning ("harv"), högläggning ("hög") och inversmarkberedning ("invers"). Plogning ingår inte i studien eftersom metoden inte får användas i Sverige (Skogsstyrelsen 2015). Beträffande olika planteringskoncept avgränsas studien till plantering av tall- och granplantor samt effekter av olika storlek på plantor. Röjning avser motormanuell ungsogsröjning till och med sista röjning.

### 3. Plantering som aktiv skogsvårdsåtgärd

Det finns flera studier som visar att en stor andel av planterade plantor inte finns kvar efter några år och att ett lyckat förnygringsresultat många gånger är beroende av naturligt insådda plantor. Under perioden 2007–2009 var ca 20 % av huvudplantorna på planterade hyggen naturligt förnygrade enligt rikstäckande inventeringar 5–7 år efter avverkningsanmälan (Bergquist et al. 2011). Det fanns en gradient över landet med drygt 30 % i norra Norrland, ca 25 % i S Norrland och Svealand samt knappt 15 % i Götaland. En generell trend under 00-talet var dock att andelen naturligt förnygrade plantor minskade. Enligt Bergquist et al. (2011) skulle 63 % av de planterade hyggerna vara godkända (åren 2007–2009) enligt Skogsvårdslagens krav om man inte räknade med naturligt förnygrade barrhuvudplantor jämfört med 80 % om de räknades in. Om inga naturligt förnygrade plantor togs med var endast 52 % av hyggerna godkända. En nackdel i denna surveystudie var att de planterade plantorna inte var permanentmarkerade, vilket ger osäkerhet i resultaten.

Däremot inventerade Ackzell et al. (1994) fasta provytor, med permanent markerade planterade plantor, på 97 hyggen (ståndortsindex 11–23 m) i mellersta och norra Norrland planterade av det praktiska skogsbruket. De rapporterar 44 % avgång av de planterade tall- och granplantorna och i genomsnitt var 17 % av huvudplantorna naturligt förnygrade 10 år efter plantering. De planterade plantorna var då 2–3 gånger högre än de naturligt förnygrade barrplantorna. Hyggerna hade hyggesrensats, markberetts och planterats med 2200–2500 plantor per ha (Ackzell et al. 1994). Även Persson (1990) redovisar liknande värden på avgångar i 10–14 år gamla planteringar, i medeltal 38 % för tall och 24 % för contorta. Det materialet innefattade 85 hyggen, också planterade av det praktiska skogsbruket, i ungefär samma geografiska område som i studien av Ackzell et al. (1994).

I ett material med 50 trakter från praktiskt skogsbruk, också belägna i mellersta och norra Norrland, redovisar Söderbäck (2012) en något lägre genomsnittlig avgång på ca 25 % för både tall och gran 10 år efter markberedning (harvning eller högläggning) och plantering. Även i denna studie var de planterade plantorna säkert identifierade eftersom de koordinatsattes vid planteringen. Baserat på 15 trakter [några samma som i Söderbäck (2012)], lokaliserade främst till mellersta Norrland, var det totala antalet huvudstammar i genomsnitt 1970 stycken per hektar (min 1190; max 3000). Av dessa var andelen naturligt förnygrade huvudstammar 27 % i medeltal efter röjning, vilka var relativt jämnt fördelade på tall, gran och löv (Kullström 2015). I bestånd som planerats med tall var andelen naturlig förnyring 24 % och i planterade granbestånd 30 %. Detta talar för relativt höga avgångar för de planterade plantorna. Förekomsten av naturligt förnygrade huvudplantor ökade med ökad markfuktighet samt minskade med ökad höjd över havet och med ökad beståndshöjd. Förekomsten påverkades även av markberedningsmetod (Harv 43 %; Hög 23 %) och jordart (sandig-moig morän och moig-mjällig-lerig morän > sandig morän). Planterade plantor hade högre medelhöjd än naturligt förnygrade. Inventeringarna gjordes ca 12–17 år efter plantering (Kullström 2015).

I en studie av Hallsby et al. (2015) med 14 försökslokaler över hela Sverige redovisas resultat där tre olika grader av "intensitet" i förnygringsarbetet jämfördes – hög intensitet (HI), normal (NI) och låg intensitet (LI). LI förnygrades naturligt utan några åtgärder. NI var praktiskt utförd förnyring enligt "lokal praxis". Vanligen utfördes markbehandling (harvning vanligast, men även fläckmarkberedning och högläggning) med efterföljande plantering två–tre år efter avverkning med 1-åriga täckrotsplantor för det mesta. HI var försöksmässigt anlagd och innehöll liknande markbehandling som NI (ungefär samma andel fläck, harv och hög) med efterföljande plantering av huvudsakligen 2–3-åriga täckrotsplantor direkt efter avverkning. I NI och HI planterades tall eller gran (i några fall contorta), 2000–3000 plantor per hektar. Röjning utfördes när det ansågs nödvändigt. Fyra till sju år efter avverkning var totala stamantalet dubbelt så högt i HI (3490 stammar per ha) än i LI (1684 stammar per ha) och NI låg där emellan (2339 stammar per ha). Alla tre behandlingar var statistiskt

signifikant skilda. I HI och NI var andelen planterade plantor 57 % respektive 51 %, naturligt förnygrade barrplantor stod för ca 30 % (ny insåning plus beståndsförnygring) och lövplantor för 14 % respektive 17 %. I LI var andelen beståndsförnygring ca 40 % av totala plantantalet och lövandelen 33 %. Efter 24–27 år var stamvolymen signifikant högre i HI (90 m<sup>3</sup> per ha) än i LI (36 m<sup>3</sup> per ha), men inte signifikant högre än i NI (65 m<sup>3</sup> per ha). Medeltillväxten under omloppstiden, simulerad i Heureka, beräknades vara 22 % respektive 25 % högre i NI och HI än i LI och dessutom kulminerade medeltillväxten 10 år tidigare i NI och 20 år tidigare i HI jämfört med LI. Författarna drar dock slutsatsen att en ökad intensitet i skogsvårdsåtgärder inte alltid ger påtagligt högre skogsproduktion och då inte kan motiveras strikt ekonomiskt. Samtidigt pekar man på att det finns många brister i studien eftersom utförda åtgärder i många fall är bristfälligt dokumenterade och att försöken har inventerats mycket sparsamt under försöksperioden, vilket bidrar till stora osäkerheter i försöksresultaten. Några egna reflexioner är att skillnaden i ”intensitet” i utförda åtgärder mellan HI och NI är dåligt dokumenterad, men tycks vara ganska marginell samt att den stora skillnaden i uppnådd tillväxt och virkesförråd (faktisk uppmätt och potentiell simulerad) ligger i skillnaden mellan HI/NI och LI. Det vill säga det biologiska resultatet ur virkesproduktionssynpunkt var betydligt bättre i HI och NI med aktiva åtgärder än i LI. Om alla dessa skogsvårdsinsatser är ekonomiskt motiverade är en annan sak, vilket dock inte behandlas i studien av Hallsby et al. (2015).

De ovan refererade studierna, med i många fall stora avgångar av planterade, ofta förädlade plantor, planterade efter markberedning, väcker frågor om noggrannhet och kostnadseffektivitet i utförda åtgärder. Om överlevnaden inte klaras bättre med befintliga plantantal och åtgärder är en möjlig väg att öka plantantalet eller att förbättra metoderna och bli noggrannare med de plantor man faktiskt planterar. En annan väg kan vara att minska planantalet vid plantering och i större utsträckning lita till naturlig förnygring. De olika alternativen beror på vad skogsägaren vill uppnå och kan leda till olika strategier för exv. markberedning och ge upphov till olika beståndsanläggningskedjor beroende på målen med beståndsanläggningen och det framtida beståndet. Skogsskötaren måste även väga in ekonomiska aspekter i förnygringsarbetet i form av kostnader för olika kedjor i förhållandet till uppnått resultat.

Förutom ekonomiska överväganden framförs ibland farhågor om negativa biologiska konsekvenser av olika skogsskötselåtgärder. Ett exempel är markberedning, särskilt radikal sådan. I regel ger markberedning en gynnsam effekt för barrplantors överlevnad och tidiga tillväxt (exv. Hansson och Karlman 1997, Mäkitalo 1999, Johansson et al. 2013a). Frågan är om dessa tidiga skillnader kvarstår över tiden, vilket en studie av Johansson et al. (2013a) talar för, i alla fall upp till ca 20 år efter plantering. En farhåga är om radikal markbehandling skulle kunna leda till minskad bördighet hos marken på ännu längre sikt och därmed minskad träd tillväxt p.g.a. ökad näringsomsättning och en större förlust av näring än där det inte är markberett. En studie av Örlander et al. (1996) talar dock inte för detta, i alla fall inte upp till ca 70 år efter markberedning, där tillväxten jämfördes i form av trädens övre höjd (genomsnittlig höjd för de 100 grövsta träden per ha). I de fem redovisade försöken var övre höjden lika eller något högre på de markberedda ytorna. Detta trots att de totala förråden av kol (C) och kväve (N) var märkbart lägre i den översta delen av marken. Det i sin tur indikerar att det snarare är flödet av växttillgänglig näring (främst N; jmf Binkley och Högberg 2016) som har stor betydelse för trädens tillväxthastighet än det totala förrådet av näring i marken som är mer eller mindre tillgängligt för träden.

#### 4. Beståndsanläggningskedjor och beslutsstöd för val av förnygringsmetod

Det finns studier baserade på empiriska data från fältförsök som belyser olika typer av förnygringsalternativ, främst utifrån biologiska aspekter på skogsproduktion (exv. Ackzell 1993, Nilsson et al. 2006). Det finns även studier som redovisar såväl biologiska effekter som olika typer av kriterier för att jämföra och rangordna olika beståndsanläggningskedjor. Rangordningen baseras ibland på enbart biologiska aspekter som plantantal och planthöjd, men ibland ingår även en värdering av osäkerhet och risk för det biologiska utfallet och ibland även kombinerat med ekonomiska aspekter för olika kedjor (exv. Ahtikoski et al. 2010). Vissa studier beskriver endast den tidiga plantetableringen i beståndsanläggningskedjan (exv. Miina och Saksä 2006, 2008, 2013) medan andra beaktar hela omloppstiden för olika förnygringsalternativ (Zhou 1999, Hyytiäinen et al. 2006, Uotila et al. 2010).

Baserat på inventeringar av tallförnygringar i södra Finland har Miina och Saksä (2008) utvecklat modeller för val av förnygringsmetod för tall. Modellerna kan användas för att simulera och jämföra utfall i form av sannolikheter för att erhålla olika planantal och dess medelhöjd 3, 4 och 5 år efter förnygringsavverkning för de olika metoderna plantering, sådd och naturlig förnygring. Några beroende variabler i modellen är temperatursumma, höjd över havet, markens bördighet och markberedningsmetod. Enligt författarna är modellen mest användbar för att jämföra utfall av de olika förnygringsmetoderna på olika ståndortstyper och betydelsen av markberedning. Deras slutsats är att plantering är den mest effektiva metoden på frisk mark av blåbärtyp (*Myrtillus*) och att sådd är effektivast på torr mark av lingon- (*Vaccinium*) och ljung- (*Calluna*) typ. Naturlig förnygring rekommenderas endast på torr ljungtyp och sämre vegetationstyper.

Miina och Saksä (2006, 2013) har även utvecklat liknande modeller som ovan för granförnygring i södra Finland. Huvudslutsatsen i Miina och Saksä (2013) är att plantering efter högläggning är den mest effektiva och säkra metoden vid förnygring av gran. Däremot sådd och naturlig förnygring av gran är inte att rekommendera p.g.a. den höga risken att misslyckas.

Utifrån data från åtta förnygringsförsök (4 "tallmarker" och 4 "granmarker") rangordnade Ahtikoski et al. (2010) 12 olika beståndsanläggningskedjor för förnygring av tall i norra Finland. Kedjorna jämfördes och värderades utifrån såväl total förnygringskostnad, sannolikhet för ett visst biologiskt resultat och ett index för kostnadseffektivitet baserat på både kostnad och sannolikhet för att nå ett visst resultat. I de studerade förnygringskedjorna ingick fyra markbehandlingsmetoder (fläck, plogning, bränning och harvning) kombinerade med tre förnygringsalternativ (sådd, plantering med täckrotsplantor och plantering med barrotsplantor). Resultaten visade att rangordningen för de olika kedjorna var olika beroende på vilka kriterier som användes. Om endast totala kostnaden beaktades var de flesta alternativen med sådd högt rankade för att nå ett mål på 1100 plantor per hektar drygt 20 år efter åtgärden. Däremot om sannolikheten för samma resultat (1100 pl/ha), eller kombinationen av sannolikhet och kostnad beaktades, kom alternativet med plogning och plantering med täckrotsplantor alternativt sådd högt i rankningen. Det gällde även harvning och täckrotsplantor, men då endast på "tallmarker". Med "tallmarker" avsågs ståndorter där den föregående skogen var talldominerad.

Uotila et al. (2010) rapporterar en studie med en jämförelse av två olika beståndsanläggningskedjor. De redovisar att den totala kostnaden var lägre för beståndsanläggningskedjan efter högläggning än efter harvning med efterföljande plantering av gran. Investeringen i högläggning var mer lönsam än harvning i termer av nuvärde fram t.o.m. efter första gallring (0–5 % ränta) (Uotila et al. 2010). Det förklarades av att högläggning gav högre överlevnad och högre tillväxt för granarna (huvudträdslaget) samt mindre lövuppslag med lägre tillväxt än efter harvning. En slutsats var att studien indikerade att det fanns en interaktion mellan markbehandlingsmetod och senare

skogsskötselåtgärder som är betydelsefull för olika beståndsanläggningskedjors lönsamhet (Uotila et al. 2010).

Kankaanhuhta och Saksa (2013) undersökte sambandet mellan nedlagda kostnader och uppnått resultat (antal huvudplantor) tre år efter plantering i 409 granföryngringar hos privata markägare i södra Finland. I de inventerade föryngringarna fann man ca 1800 plantor per hektar i medeltal (min 500; max 3000) fördelade på ca 1500 planterade plantor och 300 självföryngrade. De fann ett svagt samband mellan uppnått föryngringsresultat och nedlagda kostnader som i dessa "beståndsanläggningskedjor" inkluderade markberedning och hela planteringsåtgärden (plantor och plantering), men inte röjning. En extra investering på 100 € per hektar ökade antal plantor med 33 stycken per hektar. I medeltal var föryngringskostnaden 854 € per ha (min 167; max 1374) och kostnadsfördelningen enligt följande; (i) markberedning 194 € (23 %), plantkostnad 375 € (44 %), kostnad för plantering 270 € (31 %) och övriga kostnader 15 € per ha (2 %). Av de objekt som ingick i materialet var 47 % fläckmarkberedda, 33 % harvade, 19 % höglagda och 1 % inte markberedda. Motsvarande fördelning på använda plantor var att 21 % av objekten var planterade med 1-åriga täckrot, 69 % med 1,5 år eller äldre täckrot och 10 % med barrotsplantor.

Hyytiäinen et al. (2006) redovisar ekonomiska analyser för hela omloppstiden för fyra olika föryngringsmetoder (plantering, sådd, naturlig föryngring med 100 fröträd per ha och naturlig föryngring med 25 fröträd per ha) innehållande tre olika intensitet i markbehandlingen (ingen, konventionell harvning och intensiv harvning), dvs. totalt 12 olika föryngringsalternativ för tall i södra Finland. Det alternativ som gav högsta nuvärdet berodde till stor del på använd ränta i den ekonomiska analysen. Vid 1 % ränta gav plantering och sådd högsta nuvärdet, vid 3 % naturlig föryngring och vid 5 % var det sådd och naturlig föryngring som gav de högsta nuvärdena. En slutsats författarna drar är att investeringar i markberedning och föryngring bidrar till ökad sannolikhet att lyckas med beståndsetableringen och därmed minskad variation i erhållet nuvärde sett över hela omloppstiden, i alla fall vid en ränta på 1–3 %. Men, samtidigt framhålls att den optimala investeringen i beståndsanläggning är känslig för kostnaden för olika föryngringsåtgärder och använd ränta i kalkylen. Studien baserades på experimentella data från ett föryngringsförsök (10 års data) i kombination med en processbaserad modell för beståndstillväxt (PipeQual) samt en ekonomisk

De ovan refererade finska studierna belyser samt ger underlag för rangordning och val av olika beståndsanläggningskedjor med olika kombinationer av åtgärder. Vi har inte hittat några liknande studier för svenska förhållanden. Det finns en del studier i form av optimerande modellering av ekonomiskt utfall som exv. belyser val av olika föryngringsmetoder för tall (Zhou 1999) och bästa sätt att föryngra tall med fröträd (Zhou 1998). Men, det finns inga heltäckande studier och analyser av hela alternativa beståndsanläggningskedjor med olika ingående enskilda skogsvårdsåtgärder.

För att kunna kombinera ihop olika åtgärder och utvärdera det slutgiltiga resultatet – i form av total kostnad och uppnått resultat – av alternativa beståndsanläggningskedjor är det nödvändigt att känna till och kunna kvantifiera effekter av de enskilda ingående åtgärderna, exv. hur gran- och tallplantors överlevnad och tillväxt påverkas av olika markberedningsmetoder, liksom uppslaget av löv och behov av röjning.

## 5. Markbehandling

Markbehandling eller markberedning definieras som ”bearbetning av skogsmark i avsikt att åstadkomma en gynnsam grobädd för frön eller växtplats för plantor” (Skogsencyklopedin 2011). I detta avsnitt refereras markberedningsstudier med avseende på överlevnad och tidig höjdtutveckling för planterade gran- och tallplantor samt påverkan på marken och lövuppslag. Här ingår i första hand experimentella försök, men dessa data jämförs även med uppföljningar av praktiskt anlagda föryngringar. Syftet är att kvantifiera effekter av olika typer av konventionell mekanisk markberedning (fläck, harv, hög och invers) med avseende på de ovan nämnda variablerna. Jämförelser görs även mot ej markberedd mark. I slutet av varje avsnitt gör vi även en bedömning i syfte att försöka generalisera effekter av olika markbehandlingsmetoder baserat på refererade data.

Några generella problem för dessa generaliseringar är att: (i) det finns få försök, särskilt med effektperioder redovisade tills dess att föryngringen är säkerställd; (ii) det finns få försök med jämförelser av olika markbehandlingsmetoder och inga där samtliga metoder i denna sammanställning ingår; (iii) i vissa försök finns ingen obehandlad kontroll som jämförelse; (iv) det finns få försöksserier som täcker in och belyser betydelsen av geografiskt läge (klimat), ståndort och trädslag (gran jämfört med tall); (v) markberedningsmetoderna är inte standardiserade utan har i många fall utförts på olika sätt i de olika försöken (jmf Sutton 1993), vilket gör att data från olika studier inte är helt jämförbara; (vi) vissa metoder har utförts manuellt eller med utrustning som inte lämpar sig för rationell, praktisk drift och därigenom inte alltid går att direkt översätta till praktisk tillämpning; (vii) resultatet för en plantas etablering beror inte enbart på resultatet av en specifik markberedning utan även på egenskaper hos plantan och hur planteringen utförs (exv. planttyp, planthantering, val av planteringspunkt och planteringsdjup) (jmf Sutton 1993). Slutligen bör man även beakta att ofta är överlevnaden något högre i väl anlagda försök än i storskaliga planteringar.

### 5.1 Överlevnad

Det ser ut att finnas en generell effekt av markberedning på planterade gran- och tallplantor i form av ökad överlevnad i jämförelse med ej markberedd enligt de studier som sammanställts i Tabell 1. Däremot finns inga tydligt påvisbara skillnader mellan de olika markbehandlingsmetoderna – fläck, harv, hög och invers. Försök med en effektperiod på minst fyra år är redovisade (Tabell 1) eftersom planteringar i södra Sverige vanligtvis kan antas vara säkerställda med avseende på överlevnad efter den perioden (Elfving 1992 i Hallsby 2013). I kärva klimatlägen i norra Sverige kan det handla om uppemot 20–25 år efter plantering innan en föryngring är säkerställd (Elfving 1992 i Hallsby 2013; Hansson och Karlman 1997).

#### *Gran*

För gran är överlevnaden i storleksordningen 10–20 procentenheter (p.e.) högre för de markbehandlingsmetoder som testats i försök jämfört med plantering utan markbehandling. I de fall statistisk analys finns redovisad har det påvisats signifikanta effekter främst för harvning, högläggning och inversmarkberedning (Tabell 1). Studierna är i huvudsak lokaliserade till södra Norge och södra Sverige. Undantaget är studien av Johansson et al. (2013a) med två försökslokaler i södra Götaland och resterande åtta i mellersta och norra Sverige. Medeltalen för de två försökslokalerna i Götaland visade liknande överlevnad som för de övriga åtta försökslokalerna (Hjelm 2016, pers. medd.). I medeltal för alla 10 försökslokalerna var överlevnaden generellt lägre än i de övriga sydliga försöken i Tabell 1, men effekten av markberedning var i samma storleksordning (+10–20 p.e.). Överlevnaden i de markberedda försöksleden (67–77 %) i Johansson et al. (2013a) var liknande som den överlevnad på 75 % som Söderbäck (2012) redovisar i praktiska planteringar i mellersta Norrland 10 år efter plantering. Studierna med gran visar överlevnaden 4–18 år efter plantering (Tabell 1),



vilket talar för att den mest kritiska perioden för plantornas överlevnad har passerats i samtliga försök med hänsyn taget till försökens geografiska läge.

Grundat på redovisningen ovan är en generaliserad bedömning att ca 60 % av planterade granplantor överlever utan markberedning efter praktisk plantering i mellersta och södra Sverige. Efter harvning, högläggning eller inversmarkberedning torde överlevnaden kunna bli 75–80 %. Alla dessa bedömda värden bygger på att plantorna är skyddade mot angrepp av snytbagge på ett ändamålsenligt sätt. Fläckmarkberedning ingick endast i en studie vilket gör det svårt att ge en generaliserad bedömning av överlevnaden för den metoden.

### *Tall*

För de sex försöken med tall i södra Sverige gav harvning och inversmarkberedning ca 20 p.e. statistiskt påvisbar högre överlevnad jämfört med icke markberett (Tabell 1). Efter 4–5 år var den 90 % (medeltal), vilket var högre än för de icke markberedda kontrollerna, som hade ca 70 % överlevnad. De två nordliga försöken med tall hade generellt väsentlig lägre överlevnad (Tabell 1). I ett av försöken var överlevnaden högre efter fläckmarkberedning (+17–19 p.e.) än utan markberedning, vilket var en liknande effekt som för gran i södra Sverige. För både harvning och högläggning var effekten större (+31–36 p.e.). Överlevnader på 22–60 %, 18–27 år efter harvning och högläggning, i försöken i norra Sverige och Finland var lägre än i Söderbäcks (2012) inventeringar av planterade föryngringar. Dessa data visade en överlevnad på 75 % 10 år efter plantering när samma markbehandlingsmetoder (harv och hög) hade använts (Tabell 1).

Andel godkända planterade tall- och granplantor (även några hyggen med contorta ingick) var lika stor eller något högre i medeltal efter harvning än efter högläggning, 0–14 procentenheter beroende på markens ytstruktur, men det var ingen statistiskt påvisbar skillnad (Söderbäck 2012). Uppföljningen gjordes 10 år efter plantering på 50 hyggen i mellersta och norra Sverige. I samma material var överlevnaden för både tall och gran högre på marker klassade som ristyper (75–80 %) jämfört med högörttyper (57–70 %). För tall var överlevnaden även större på ristyper än på grästyper (62–69 %).

Liksom för granförsöken ovan är vår bedömning att inga stora ytterligare avgångar kan förväntas i tallförsöken (Tabell 1) med tanke på inventeringstidpunkten i förhållande till utförd plantering och geografiskt läge. En bedömd överlevnad för planterad tall i södra Sverige torde vara ca 70 % om ståndorten inte är markberedd medan den kan bli 90 % efter harvning eller inversmarkberedning. Dessa värden förutsätter att plantorna är ändamålsenligt skyddade mot snytbagge.

Med utgångspunkt från redovisad överlevnad på 75 % efter 10 år (Söderbäck 2012) i kombination med försöksdata (Tabell 1) är vår bedömning att plantöverlevnaden för tall i norra Sverige, till dess att föryngringen är säkerställd, kan vara ca 40 % om marken inte är markberedd. För harv och hög är bedömningen ca 70 % och något lägre för fläck. Viktigt att notera att det endast är två försök redovisade för tall i norra Sverige (Tabell 1) och det finns inga data för tall planterad i invers.

En annan bedömning är att den redovisade större markberedningseffekten för överlevnad för tall än gran mest troligt beror på skillnader i klimatiskt läge för studiernas lokalisering (Tabell 1) än på en trädslagseffekt. Detta med tanke på att överlevnaden för tall i södra och mellersta Sverige var liknande som för gran i samma region och betydligt högre än i norra Sverige (Tabell 1).

**Tabell 1. Överlevnad (andel överlevande plantor, %) för planterade gran- och tallplantor beroende på markberedningsmetod. Data från experimentella fältförsök och uppföljning i praktiskt planterade förnygringar. Inventeringar utförda 4–27 växtsäsonger efter plantering. Tecknet ~ anger att värdet är avläst från en figur. Värden inom parentes anger skillnaden i procentenheter jämfört med "Ej markberett" (Ej mb) i de fall det försöksledet finns. I samtliga fältförsök med gran och i försöken med tall i södra Sverige var plantorna skyddade mot snytbagge, åtminstone vid ett tillfälle, i samband med plantering.**

År efter plantering)	Ej mb	Fläck	Harv	Hög	Invers	Lokalisering / Referens
<b>Gran – fältförsök</b>						
4	~73		~90 (+17)		~97 (+24)	S Sverige. Bergquist et al. (2009) <sup>1</sup>
6	~86	~90 (+4)			~93 (+7)	SÖ Norge. Granhus et al. (2003) <sup>2</sup>
7	75			88 (+13)	94 (+19)	S Sverige. Johansson (pers. medd. 2016) <sup>3</sup>
8	74			89 (+15)		Mellersta Norge. Berge (1990) <sup>4</sup>
10	70		95 (+25)	96 (+26)	98 (+28)	N Sverige. Örlander et al. (1998) <sup>5</sup>
8			74	87		Mellersta Finland. Uotila et al. (2010) <sup>6</sup>
18	57			67 (+10)	77 (+20)	Hela Sverige. Johansson et al. (2013a) <sup>7</sup>
<b>Gran – praktiskt planterade förnygringar</b>						
10			75 %	75 %		Mellersta Sverige. Söderbäck (2012) <sup>8</sup>
<b>Tall – fältförsök</b>						
4	~70		~85 (+15)		~90 (+20)	S Sverige. Bergquist et al. (2009) <sup>1</sup>
5	70 63		96 (+26) 90 (+27)			Mellersta och S Sverige. Johansson et al. (2013b) <sup>9</sup>
13	~43	~60 (+17)		~74 (+31)		N Sverige. Fries (1993) <sup>10</sup>
18	16 32 9	34 (+18) 49 (+17) 28 (+19)		49 (+33) 68 (+36) 40 (+31)		N Sverige. Medel alla 3 tidpunkter, – Juni-plantering (n=1) – medel aug och sept (n=2) Hansson och Karlman (1997) <sup>10</sup>
25–27)		45 58 34	42 62 22			N Finland. Alla 8 försök, – varav 4 "tallmarker" – varav 4 "granmarker" Mäkitalo et al. (2010) <sup>11</sup>
<b>Tall – praktiskt planterade förnygringar</b>						
10			75 %	75 %		Mellersta Sverige. Söderbäck (2012) <sup>8</sup>

<sup>1</sup> Fyra betesförsök med fyra betesbehandlingar (BT09, BT12, BT24, BT42) och fyra markbehandlingar (ej mb, harv, invers, invers+gödsel). Medeltal för resp. mb-behandling (enbart) redovisade.

- <sup>2</sup> Åtta försökslokaler i SÖ Norge. 4 st avverkningsstyrkor: 35, 45, 55 och 100 % av grundytan (höggallring) med 6 sub-plot (3 olika mb-metoder: fläck, invers och omarkberett; utförda med grävskopa). Hälften planterade och hälften sådda. Endast planterade plantor på hygge redovisade här. 2-åriga täckrotsplantor gran (50 cm<sup>3</sup> behållare, 18-20 cm höga plantor).
- <sup>3</sup> Medeltal för tre plantyper (mini, täckrot och plugg) och två försökslokaler i S Sverige. Data efter tre år finns publicerat i Johansson et al. (2007).
- <sup>4</sup> Försök 480 m.ö.h. i Grane kommun i Norge. Planterat 1981 med 20 plantor i varje rad (totalt 72 rader). Hälften är planterat under skärm och hälften på kalhygge. Det är planterat i hög och mellan raderna (orört = ej mb). Här redovisas endast kalhyggesytorna.
- <sup>5</sup> Ett försök i Kulbäcksliden, Sverige (Lat 64 °N); 8 upprepningar; Haplic podsol; SI 19–21 m; Avverkat vintern 1984-1985: Marbehandling hösten 1986; Plantering (maj 1987); 2-åriga täckrotsplantor (gran,); plantering i "låg" och "hög" punkt; lövröjning juli 1989.
- <sup>6</sup> Antaganden i denna studie baserat på studier av Kuitunen (2001), Luoranen och Kiljunen (2006) samt Sakasa och Kankaanhuhta (2007) (samtliga på finska).
- <sup>7</sup> Försöksserie i Sverige med 10 försök (Lat 57–65 °N); 2500 pl/ha planterade; 1-åriga täckrotsplantor på alla lokaler utom de två sydligaste som planterades med 3-åriga barrotsplantor. Medeltal av 10 försök; SI 16–32 m varav åtta försök har SI 16–21 m; Störst avgångar under de 5 första åren. Resultat efter 5 och 14 år redovisas också i uppsatsen.
- <sup>8</sup> Uppföljning av 19 höglagda och 4 harvade praktiskt planterade hyggen med gran samt 20 höglagda och 11 harvade hyggen planterade med tall.
- <sup>9</sup> Två tidigare gödslingsförsök. Hagfors: 0N-450N-900N-1800N (N/ha); sandig moig morän; bonitet 5,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Nissafors: 0N-450N; Sandsediment; Bonitet 5,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Randomiserade blockförsök med 3 upprepningar; provytor 30 × 30 m (gödslade), split-plot 15 × 30 m (ej mb – mb). Plantering i 2 m förband med 1,5 år gamla täckrotsplantor. Plantor behandlade med Merit-Forest vid plantering och ombehandlade i fält våren efter och efter ytterligare 1 år i Nissafors. Nissafors stängslat.
- <sup>10</sup> Ett försök, Ainovardo SV Malmberget, N Sverige (Lat 66,5 °N; 440 m.ö.h.); SI=T18; Bonitet 3,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>; *Vaccinium myrtillus* (L.); Plantering 1977; 2-åriga barrotsplantor; Tall proveniens Vittangi. Vårplanteringen utfördes i juni och de två höstplanteringarna i augusti och september. Data även i Fries (1993) efter 12 vegetationsperioder.
- <sup>11</sup> N Finland (Lat 66–67 °N); 8 försök (4 tidigare tallskogar och 4 granskogar); 2500 pl/ha planterade tallplantor; täckrotsplantor. I studien ingår även sådd och barrotsplantor samt mb-metoderna bränning och plogning. Ingen konkurrens av löv på provytorna. Split-plot-försök (4 mb-metoder; 4 förnygringsmetoder; 3 förnygringsår). Liknande avgångsmönster över tiden för dessa två redovisade mb-metoder. Resultat efter 16 år finns redovisade i Mäkitalo (1999).

## 5.2 Tillväxt

Effekter av markberedning på gran- och tallplantors höjd har studerats i flera försök (Tabell 2). Försök som pågått under minst fem år är redovisade här, dvs. en minsta liknande effektperiod som för överlevnad ovan. I samtliga försök har markberedning ökat de planterade trädens höjd jämfört med icke markberedda provytor. Det gäller för både gran och tall, oberoende av geografiskt läge. För de praktiskt tillämpbara metoderna har markberedning i genomsnitt ökat trädens höjd med ca 20 % efter 5–27 år i de studier som redovisas i Tabell 2.

Utifrån dessa redovisade data går det inte att dra några generella slutsatser om skillnader i tillväxt mellan olika markberedningsmetoder. I surveystudien av Söderbäck (2012) var det heller ingen påvisbar skillnad mellan harvning och högläggning avseende trädens höjd 10 år efter plantering. Det gällde för både tall och gran som var ca 247 cm respektive ca 196 cm höga i medeltal efter båda metoderna. För data i Tabell 2 ser det dock ut att finnas en viss tendens till att mer intensiva markberedningsmetoder som hög och invers ger något högre tillväxt än (+20–25 %) än fläck och harv (+10–15 %), i samtliga fall jämfört med icke markberett. De intensivare metoderna karaktäriseras av att planteringspunkten är mer utpräglad med mineraljord på en omvänd torva och där aggregaten ofta gått djupare ner i marken. Att en intensiv metod som hyggesplöjning, särskilt djupplöjning ner till 40–60 cm, ger högre tillväxt har visats i några försök (Örlander et al. 2002; Nordborg et al. 2006).

De två försöken redovisade av Berge (1990) och Örlander et al. (1998) avviker från de ovan redovisade generella effekterna och visar högre medelhöjd på 50–150 % jämfört med icke markberett efter ca 10 år. En förklaring till att försöksledet med inversmarkberedning gett så stor effekt i Örlander et al. (1998) kan vara att denna "invers" gjordes med en hyggesplog (Martini-plog) varefter plogtiltan vändes tillbaka med gripen på en skotare, vilket borde ha gett en betydligt mer radikal omrörning av en stor andel av det ytliga markskiktet än de metoder som vanligen benämns "invers". Författarna anger även att under planteringsåret i det försöket var lufttemperaturen ovanligt låg och nederbörden hög, vilket kan ha bidragit till att de testade markberedningsmetoderna gav extra stor skillnad mot icke markberedda ytor. Det förhållandevis kärva klimatläget i studien av Berge (1990) kan möjligen ha bidragit till högläggnings stora överlägsenhet under de första knappa 10 åren i det försöket. Även studien av Örlander et al. (1998) var belägen i ett nordligt klimat.

I studien av Johansson et al. (2013a), med data upp till 18 år efter plantering, visade en tidigare uppföljning efter 14 år att höjdskillnaden för "hög" och "invers", jämfört med icke markberedd kontroll, var av samma storleksordning även då. Det tyder på att effekten av markberedning har begränsad varaktighet över tiden och gynnar den tidiga tillväxten efter plantering av gran och tall. Därefter får träden liknande tillväxt i markberett som i icke markberett, men det initialt vunna försprånget i markberett består även i fortsättningen.

Baserat på data i Tabell 2 gör vi bedömningen att, upp till 3–5 m trädhöjd, jämfört med ingen markberedning, ger fläckmarkberedning ca 15 % högre trädhöjd samt harvning, högläggning och inversmarkberedning ca 20 % högre höjd för planterade granplantor i södra Sverige. För planterade tallplantor i norra Sverige bedöms motsvarande effekter vara +10 % för fläck och +25 % för harv, hög och invers.

**Tabell 2. Medelhöjd (cm) för planterad gran och tall beroende på markberedningsmetod. Data är hämtade från experimentella fältförsök, från uppföljning av praktiskt planterade föryngringar och från en simulering. Plantorna är uppmätta 5–27 växtsäsonger efter plantering. Tecknet ~ anger att värdena är avlästa från figurer. I de försök där "Ej markberett" (Ej mb) ingått som ett försöksled anges den relativa höjden i jämförelse med Ej mb (= 100 %) inom parentes under den absoluta höjden. I samtliga fältförsök i södra Sverige var plantorna skyddade mot snytbagge, åtminstone vid ett tillfälle, i samband med plantering.**

År efter plantering	Ej mb	Fläck	Harv	Hög	Invers	Lokalisering / Referens
<b>Gran – fältförsök</b>						
6	~58	~66 (+14)			~72 (+24)	Medeltal av alla hyggesytorna på 8 lokaler i SÖ Norge. (Granhus et al. 2003) <sup>1</sup>
7	146			166 (+14)	179 (+23)	Medeltal för 3 planttyper (mini, täckrot, plugg) och 2 lokaler i S Sverige. (Johansson, opubl. data) <sup>2</sup>
8			68	110		Centrala Finland (Lat 62 °N). (Uotila et al. 2010) <sup>3</sup>
8	34 (			51 (+50)		Ett försök 480 m.ö.h. i Grane kommun i mellersta Norge. Berge (1990) <sup>4</sup>
10	80		150 (+88)	150 (+88)	200 (+150)	Ett försök, Kulbäcksliden, N Sverige (Lat 64 °N). (Örlander et al. 1998) <sup>5</sup>
Första röjning			117	172		Simulerad övre höjd vid tidpunkten för första röjning. (Uotila et al. 2010) <sup>6</sup>
18	346			424 (+22)	413 (+19)	Medelvärden från 10 försök över hela Sverige. (Johansson et al. 2013a) <sup>7</sup>
<b>Gran – praktiskt planterade föryngringar</b>						
10			ca 196	ca 196		Mellersta Sverige. Söderbäck (2012) <sup>8</sup>
<b>Tall – försök</b>						
5	100)		126 (+26)			Medeltal av två lokaler (Hagfors och Nissafors). (Johansson et al. 2013b) <sup>9</sup>
18	242	267 (+10)		303 (+25)		Ett försök, Ainovardo, i N Sverige (Lat 66,5 °N). (Hansson and Karlman 1997) <sup>10</sup>
25–27		589	575			N Finland (Lat 66–67 °N). (Mäkitalo et al. 2010) <sup>11</sup>
<b>Tall – praktiskt planterade föryngringar r</b>						
10			ca 247	ca 247		Mellersta Sverige. Söderbäck (2012) <sup>8</sup>

<sup>1</sup> Åtta försökslokaler i SÖ Norge. Fyra stycken avverkningsstyrkor: 35, 45, 55 och 100 % av grundytan (höggallring) med 6 sub-plot (3 mb-metoder: fläck, invers och omärkerett; grävskopa använd). Hälften planterade och hälften sådda. Endast planterade plantor på hygge redovisade här. 2-åriga täckrotsplantor gran (50 cm<sup>3</sup> behållare, 18-20 cm höga plantor) behandlade mot snytbagge (ej beskrivet hur).

<sup>2</sup> Data efter tre år finns publicerat i Johansson et al. (2007).

- <sup>3</sup> Ett försök; 7 år efter markbehandling; plantålder 8 år.
- <sup>4</sup> Planterat 1981 med 20 planter i varje rad (totalt 72 rader). Planterat i hög och mellan raderna (orört; = ej mb).
- <sup>5</sup> Åtta upprepningar; Haplic podsol; SI 19–21 m; Avverkat vintern 1984-1985: Marbehandling hösten 1986; Plantering (maj 1987) med 2-åriga täckrotsplanter; plantering i "låg" och "hög" punkt; lövröjning juli 1989.
- <sup>6</sup> Baserat på modeller av Kaila et al. (2006) (högläggning) och Valkonen (1997) (harvning).
- <sup>7</sup> Stor spridning mellan olika försök. Ingen skillnad i höjdtillväxt år 14–18, vilket indikerar att skillnaden uppkom under de 14 första åren. Tidsvinsten av markberedning ca 4 år i medeltal och upp till 11 år i enskilt försök.
- <sup>8</sup> Uppföljning av 19 höglagda och 4 harvade praktiskt planterade hyggen med gran samt 20 höglagda och 11 harvade hyggen planterade med tall.
- <sup>9</sup> Två tidigare gödslingsförsök. Hagfors: 0N-450N-900N-1800N (N/ha); sandig moig morän; bonitet 5,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Nissafors: 0N-450N; Sandsediment; Bonitet 5,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Randomiserade blockförsök med 3 upprepningar; provytor 30 × 30 m (gödslande), split-plot 15 × 30 m (ej mb – mb). Plantering i 2 m förband med 1,5 år gamla täckrotsplanter. Planter behandlade med Merit-Forest vid plantering och ombehandlade i fält våren efter och efter ytterligare 1 år i Nissafors. Nissafors stängslat.
- <sup>10</sup> Ståndortsindex, SI = T18; Bonitet 3,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>; *Vaccinium myrtillus* (L.); Plantering 1977; 2-åriga barrotsplanter; Tall proveniens Vittangi. Vårplanteringen utfördes i juni och de två höstplanteringarna i augusti och september. Data även i Fries (1993) efter 12 vegetationsperioder.
- <sup>11</sup> Åtta försök (4 tidigare tallskogar och 4 granskogar); 2500 pl/ha planterade tallplanter; täckrotsplanter. I studien ingår även sådd och barrotsplanter samt mb-metoderna bränning och plogning. Ingen konkurrens av löv på provytorna. Split-plot-försök (4 mb-metoder; 4 föryngringsmetoder; 3 föryngringsår). Liknande avgångsmönster över tiden för dessa två redovisade mb-metoder. Resultat efter 16 år finns redovisade i Mäkitalo (1999).

### 5.3 Markpåverkan – andel påverkad mark

Som tidigare nämnts är syftet med markberedning att ”åstadkomma en gynnsam grobädd för frön eller växtplats för plantor” (se inledning avsnitt 5). Med syftet att skapa en stabil och säker miljö för en planterad plantas etablering i skogsmark handlar det i princip om att ta bort markens översta organiska skikt och blottlägga mineraljord alternativt tillskapa en blandning av organiskt material och mineraljord helst överlagrad av bar mineraljord. På många marktyper finns det flera fördelar om planteringspunkten blir något högre än omgivande mark. Men, förutom att skapa en gynnsam miljö för önskade planterade plantor kan etablering av icke önskad naturlig föryngring gynnas, vanligtvis lövplantor och särskilt björk (se avsnitt 5.4). Detta talar för att minimera påverkan på marken i form av areal blottlagd mineraljord.

Vid plantering av 2000–2500 plantor per hektar och med antagandet att en planta behöver omgivande bar mineraljord med en radie på 0,1 m (från snytbaggessynpunkt) ger ett teoretiskt behov av 0,6–0,8 % bar mark (mineraljord). En mer praktiskt realistisk minsta storlek på bar mineraljordsyta som kan tillskapas på ett hygge i rationell drift ligger nog i storleksordningen 0,5 m × 0,5 m eller en radie på ca 0,3 m (0,25–0,30 m<sup>2</sup>; vanligt mått för intermittenta metoder) motsvarande 5–8 % av markytan. Dessutom kan det tillkomma en påverkan i varierande grad utöver den blottlagda mineraljorden, exv. p.g.a. körning. Med dagens metoder blir dock andelen påverkad mark betydligt större (Tabell 6).

Sammanställningen i tabell 6 visar på stor variation i andel påverkad markyta, både mellan och inom markberedningsmetod. Enligt dessa data orsakar hög vanligtvis minst andel påverkad markyta, i medeltal ca 35 % (n = 11) med lägsta och högsta andel på mellan 17–67 %. Harv låg på 50 % i medeltal (n = 7; 27–70 %). I studierna i tabellen där invers ingår var markberedningen inte utförd på ett sådant sett att de kan betraktas som en renodlad invers-metod (se avsnitt 5.2). Därför kan de angivna värdena på 36 % och 51 % vara missvisande. Den enda studien av fläck visade 49 % påverkad markyta (Tabell 6).

I de refererade studierna (Tabell 6) är inte alltid den använda inventeringsmetodiken fullständigt beskriven. Det gör det svårt att jämföra och värdera resultaten från de olika studierna. Man ska också ha i åtanke att många av de äldre studierna gjordes med den tidens maskiner och aggregat som idag kan vara modifierade eller inte längre är i drift. En faktor som har avgörande betydelse för resultatet är hur täta slag maskinen kör. Även marktypen påverkar resultatet olika för olika metoder. Den mest sentida jämförande studien utförd på tre objekt med olika svårartad terrängklassning med test av idag använda maskiner/metoder samt en metod under utveckling (”Kovesen”) visade att harvning gav 54 % påverkad markyta, högläggning 38 % och Kovesen 36 % (Tabell 6).

Sammanfattningsvis kan det konstateras att det är stor variation i redovisade resultat för andel påverkad mark vid olika typer av markberedning och andelen påverkad areal för olika metoder överlappar varandra. Men, vanligtvis torde hög kunna ge en mindre påverkan än harv.

**Tabell 6. Andel påverkad markyta (%) för olika markberedningsmetoder. Studierna angivna i kronologisk ordning utifrån publikationsår.**

Ej mb	Fläck	Harv	Hög	Invers/Koves	Referens
	49	50			Pothila och Pohjola (1985) i Mäkitalo (1990)
		54	35		Bäcke et al. (1986) <sup>1</sup>
			20–30		Adelsköld (1986) <sup>2</sup>
		70	30		von Hofsten (1989) <sup>3</sup>
			52–67		von Hofsten (1991) <sup>4</sup>
			50		Karlsson et al. (2002) <sup>5</sup>
			35		von Hofsten och Nordén (2002) <sup>6</sup>
		61			Nilsson et al. (2002) <sup>7</sup>
14			55	51	Hallsby och Örlander (2004) <sup>8</sup>
		27	19		Luoranen et al. (2007) i Uotila et al. (2010)
			17–19		Lehtosalo et al. (2010) <sup>9</sup>
		33	22		Sjögren (2013) <sup>10</sup>
		54	38	36	Hajek (pers. medd. 2016) <sup>11</sup>

<sup>1</sup> Medeltal för fem ståndortstyper i trakten av Rätansbyn där metoderna testats. Inventering genom linjetaxering. Hög = hög på omvänd torva med Bräcke högläggare; Harv = Järvsö Skogsmekan "Murveln".

<sup>2</sup> 20–25 % påverkad areal med Bräcke högläggare och 25–30 % med Donhög 190. I båda fallen 2 m mellan raderna och test i lätt, medelsvår och svår terräng.

<sup>3</sup> Donaren 230 MIDAS (MIDJeApplicerad Skogsharv). "Harv" avser kontinuerlig drift och "Hög" intermittent drift.

<sup>4</sup> Bräcke burna högläggare. Snarare ett variationsaggregat (fläck/hög) än en högläggare. Tre marktper testade med olika inställningar vilket gav variationen i påverkad areal.

<sup>5</sup> Högläggning utförd med grävskopa på två lokaler i Asa och på två lokaler på Tönnersjöheden. Högarna ca 20 dm<sup>3</sup> mineraljord ca 10–20 cm höga och hoppresade.

<sup>6</sup> Kombinerad risskotare och markberedare (GSSP97). Två grävblad placerade i midjan på basmaskinen. Maskinen kan användas som högläggare, men även skapa såddfläckar och andra former av planteringsställen.

<sup>7</sup> 8 % registrerat som bar mineraljord och 53 % som "berm", dvs. omvänd humus inblandad med mineraljord.

<sup>8</sup> Markberedningarna utförda med grävskopa med målet att skapa 0,5 m<sup>2</sup> stora ytor med 0,1–0,2 m djup mineraljord. Värden anger total andel påverkad markyta, i studien uppdelat på sju olika kategorier av markstörning. Invers gav mindre andel mark med nivåskillnad (15 %) jämfört med högläggning (40 %). Medeltal av 12 försökslokaler.

<sup>9</sup> 9–10 % registrerat som "hög" och 8–9 % som "fläck"; 81–83 % av marken var opåverkad.

<sup>10</sup> Harv ej specificerat; Hög = Bräcke Planter.

<sup>11</sup> Opublicerade data från Skogforsks senaste markberedningsförsök "Passagen" utanför Botsmark, Västerbotten.



## 5.4 Lövuppslag

I detta avsnitt belyser vi markberedningens effekter på uppslag av naturlig föryngring, främst björkuppslag. Det beror på att björk frekvent självsår sig på hyggen i princip i hela landet vilket betyder att röjning ofta blir en nödvändig del av beståndsanläggningskedjan vid anläggning av barrträdsbestånd. Röjning kan behövas för att undvika konkurrens med de planterade barrplantorna (exv. Andersson 1984, Barring 1984, Valkonen och Ruuska 2003, Fahlvik 2005).

En markstörning som bidrar till att det översta marklagret rörs om och mineraljord blottläggs, såsom vid markberedning, bidrar oftast till att skapa en bra grogrund för självföryngring av en mängd olika trädslag (exv. Agestam et al. 2003, Tabell 4 och 5). Bar mineraljord blottlagd vid markberedning ger ofta väsentligt ökad uppkomst och överlevnad av plantor (Nilsson et al. 2002 och referenser där), även björkplantor (Karlsson et al. 2002 och referenser där). På torr-frisk mark anses det nödvändigt att blottlägga mineraljorden för att erhålla naturlig föryngring av björk (Hagner 1962, Fries 1984).

Markberedning kan därför vara ett sätt att styra andelen självföryngrade plantor vid föryngring (exv. Karlsson et al. 2002, Karlsson och Nilsson 2005). Valet av markberedningsmetod har mest troligt betydelse för utfallet eftersom ju mer en metod stör markytan desto större blir vanligtvis antalet naturligt föryngrade plantor och därmed även andelen naturlig föryngring av totala antalet plantor. Fries (1984) drar slutsatsen att minimera andelen blottlagd mineraljord på fuktig och frisk mark för att minimera etableringen av björk på hyggen i barrträdsföryngringar. Det finns även andra viktiga faktorer som påverkar etableringen av naturlig föryngring. En faktor är avstånd till frökälla (Fries 1984, Karlsson 2001), andra är årsvariationen i producerad frö mängd och fröets grobarhet (Fries 1984). Även väderleken påverkar förutsättningarna för frögroning och planeterablering. Mikromiljön i marken är ytterligare en faktor som har stor betydelse för om ett frö gror och hur fröplantan sedan utvecklas (Wennström 2001, 2002). Olika substrats egenskaper (humus, blekjord och rostjord) och blandningar av dessa substrat i marken ger olika förutsättningar för groning. I groningspunkter nära marknivån kan det även bli för mycket fukt på vissa marker, medan det på upphöjda planteringspunkter vid exv. högläggning, särskilt i högar på omvänd torva, istället kan bli för torrt (Örlander et al. 1990). Uppfrysning av plantor kan förekomma i fläckar med ren mineraljord, särskilt på finkorniga och fuktiga marker (Goulet 1995).

Det finns även studier som visat på minskat antal lövplantor efter markberedning (exv. Karlsson och Nilsson 2005; Tabell 4). En orsak kan vara att den självföryngring som fanns redan innan åtgärden skadas av markberedningsaggregatet. Tidpunkten för när markberedning utförs kan vara en annan orsak. Om åtgärden sätts in direkt efter ett rikligt fröfall kan frön skadas och flyttas av aggregatet. Om markberedningen utförs under ett år med dålig frötillgång kan den vanligtvis gynnsamma markberedningseffekten för groning och planteterablering utebli om insåningen går för långsamt. Markberedning är färskvare och annan konkurrerande vegetation kan komma att etableras före de självföryngrade plantorna och de tidigare gynnsamma etableringspunkterna växer därmed igen (Karlsson och Örlander 2000). Effekterna av markberedning kan innebära en konkurrensfördel för planterade plantor eftersom de får ett försprång, vilket i sin tur har betydelse för röjningsbehov och -tidpunkt (Uotila 2010). Oavsett om man vill gynna eller inte gynna ett lövuppslag på en föryngringsyta bör man ta ovanstående i beaktande vid valet av markberedningsmetod och tidpunkt för åtgärden.

Enligt data från de studier som sammanställts i tabell 4 fanns det i medeltal 6 400 stycken (n = 8; variation 920–15 000) självföryngrade plantor per hektar (främst björk) på icke markberedda provtyor, på harvade 11 200 stycken (n = 8; 4 000–22 600), på höglagda 10 800 stycken (n = 9; 4 700–19 400) och 3600 stycken per hektar (n = 2; 2 100–5 000) på invers-/fläckmarkberedda provtyor. Det ger ca 70–75 % fler självföryngrade plantor på harvade och höglagda hyggen och drygt 40 % mindre

stammar av invers/fläck, i samtliga fallen jämfört med icke markberett. Dessa data var registrerade 5–14 år efter plantering. Motsvarande medelvärden för de studier som inkluderar icke markberedda ytor var: ej markberett 6 400 (n = 8) stammar per hektar, harv 9 200 (n = 6; +44 %), hög 10 800 (n = 2; +69 %) och invers 2 100 (n = 1; +132 %) stammar per hektar.

Detta material (Tabell 4 och 5) bekräftar att markberedning vanligtvis gynnar lövuppslag i förhållande till icke markberedd mark. Metoden invers/fläck avviker enligt medeltalet för de två studierna i Tabell 4. Men, i den enda studie där icke markberedd kontroll ingår var det ca 1,3 gånger mer löv ca 14 år efter inversmarkberedning och även efter högläggning (Johansson et al. 2013a), således ingen skillnad mellan hög och invers i antalet naturligt föryngrade plantor. I studien av Uotila et al. (2010; Tabell 4) var det stor skillnad i antal bortröjda stammar beroende på markberedningstyp. Det var nästan dubbelt så många, för granplantorna, konkurrerande naturligt föryngrade träd (främst löv) efter harvning än efter högläggning (Tabell 4).

Utifrån data i tabell 4 och 5 går det inte att dra några generella slutsatser om skillnader i lövuppslag beroende på markberedningstyp, eftersom det är alltför få studier och haltande jämförelser i redovisade data (Tabell 4 och 5). Dessutom har marktypen, främst markfuktighet (Fries 1984, Sikström 1997, Sikström och Pettersson 2005), men även markvegetation och markens bördighet (Lehtosalo et al. 2010; Tabell 5) betydelse för etablering av lövplantor. Enligt data från Riksskogstaxeringen är förekomsten av björk rikligast på fuktig mark (Johansson 1984). Dessa nämnda faktorer torde även ha betydelse för vilken effekten blir av olika typer av markberedning. Dessutom är det viktigt att beakta att de olika typerna av markberedning lämpar sig och rekommenderas för olika ståndortsförhållanden. Det kan ge viss bias i jämförelser av olika metoder som inte är testade på exakt samma ståndort.

I surveystudien av Lehtosalo et al. (2010) var det stor variation i naturligt föryngrade björkplantor (1 700–23 000 per ha) på 3–9 år gamla hyggen efter högläggning och plantering av gran i högarna. I medeltal på de 18 hyggen som inventerade var det 12 000 björkar per ha. Dessutom fanns det 1 905 granar per ha (planterade + naturligt föryngrade) samt 1435 övriga plantor (rotskott av björk och övriga trädslag). En del tidigare studier har visat på liknade mängd etablering av lövplantor efter manuellt avlägsnande av humusskiktet och olika typer av mekanisk markberedning (exv. harvning och plöjning) (se referenser i Lehtosalo et al. 2010). Däremot i en annan omfattande surveystudie i 2–4 år gamla granplanteringar i östra och södra Finland, refererad i Lehtosala et al. (2010), var förekomsten av björk 1200–2300 stammar per ha på marker av blåbärstyp.

Merparten björkar verkade ha etablerats under de tre första åren i studien av Lehtosalo m.fl. (2010). Det var liknande förekomst av lövplantor på treåriga hyggen både på icke markberedd areal som i de höglagda högarna och på ”fläckarna” intill högarna (Tabell 5). Däremot på sexåriga hyggen var det 2–3 gånger mer löv där markberedningen påverkat marken och den skillnaden var ännu större på nioåriga hyggen, särskilt efter högläggning (3–6 ggr mer). I en annan studie kulminerade antalet björkar 6–8 år efter markberedningen (referens i Lehtosalo et al. 2010). Där ingick dock en del mindre bördiga marker (blåbärs- och lingontyp) jämfört med i studien av Lehtosalo m.fl. (2010) (oxalis- och blåbärstyp). En slutsats som Lehtosalo et al. (2010) drar är att deras registrerade plantantal upp till nio år efter markberedning (10 000–35 000 per ha; Tabell 5) inte är lika höga vid en övre höjd på 3–4 meter (medelhöjd ca 2,5 m), troligen pga. självgallring.

Enligt Lehtosalo et al. (2010) stöder inte deras data hypotesen att uppkomsten av björk på högar skulle vara mindre (pga. ogynnsam etableringsmiljö) än på ostörd mark. Efter sex och nio år var det flest björkar på högarna (Tabell 5). Däremot var det färre björkar på högarna efter tre år. En

födröjning av etableringen av björk är en fördel för de planterade granplantorna från konkurrenssynpunkt.

Flera studier behandlar effekter av olika skärmtäthet på den naturliga föryngringen (exv. Nilsson et al. 2002, Karlsson och Nilsson 2005), men i Tabell 4 och 5 är endast resultat medtagna från studier på hyggen eller från studier där det ingår försöksled med kalavverkade provytor. Förutom att det är mindre frökällor är även groningsmiljön på hygge vanligtvis sämre jämfört med under en högskärm (jmf Karlsson och Nilsson 2005). En självföryngring på ett icke markberett hygge blir oftast mer ojämn (luckig), troligen beroende på varierande ståndortsförhållanden, olika goda fröår och mellanårsvariation i väderlek (Karlsson och Nilsson 2005). En rätt utförd markberedning bidrar till att tillskapa bra och jämna förhållanden för plantetablering.

Enligt data från Riksskogstaxeringen ökade det genomsnittliga antalet lövträd över brösthöjd (1,3 m) i Sveriges ungskogar från ca 2 100 till 3 400 per hektar från tidigt 1980-tal fram till år 2000 (Skogsdata 2002). Motsvarande ökning för barrträd var från ca 1 600 till 2100 träd per hektar. Utvecklingen har varit likartad i alla landsdelar i Sverige med undantag för lövträd i Götalands ungskogar, där ökningen var marginell. Johansson (1984) refererar några tidigare mer ingående analyser av förekomsten av lövträd i Sverige baserad på data från Riksskogstaxeringen. För huggningsklassen kalmark anges förekomst av 3 000-5 000 lövträd per hektar. För B1-klassen (< 0,1 m) redovisas 7 000 per hektar i genomsnitt (min 5 300; max 11 200), för klassen B2 (< 1,3 m) 2200 lövstammar per hektar (min 1200; max 4700) och för B3 (> 1,3 m) i medeltal 2 600 lövstammar per hektar (min 1800; max 4500).

Sammanfattningsvis kan vi konstatera att i många fall verkar markberedning gynna uppkomsten av självföryngrade plantor i jämförelse med icke markberedd mark. Beträffande en bedömning av förekomsten av frösådda lövplantor, främst björk, på hyggen i Sverige torde vanligt förekommande antal ligga inom angivna intervall för min- och maxvärden redovisade i Tabell 4, dvs. 1000–15000 lövplantor per hektar på icke markberedd mark och 2000–23000 på markberedd mark.

**Tabell 4. Antal naturligt förnygrade plantor (huvudsakligen björk) per hektar på hyggen med eller utan olika typer av markberedning. Värden är angivna som sammanvägda värden per hektar för hela arealen. Data från experimentella fältförsök och uppföljning i praktiskt planterade förnygringar. Inventeringar utförda 3–14 växtsäsonger efter plantering.**

År efter plantering	Trädslag	Ej MB	Harv	Hög	Invers/ Fläck	Referens
5	Björk	~5 000	~6 000			S Sverige (Nilsson et al. 2002) <sup>1</sup>
5	Björk	3 000		19 400		S Sverige (Karlsson et al. 2002) <sup>2</sup>
5	Samtliga	15 000 -	19 000 12 000		- 5 000	Resultat från Halland (över) och Kronoberg (under) varav 65 % björk. (Holmström 2015) <sup>3</sup>
5–8	Björk	14 400	6 100			8 försökslokaler i Götaland. (Karlsson and Nilsson 2005) <sup>4</sup>
3	Björk			4700		S Finland, Myrtillus-typ (Lehtosalo et al. 2010) <sup>5</sup>
3	Björk			15100		S Finland, Oxalis-Myrtillus-typ (Lehtosalo et al. 2010)
6	Björk			8500		S Finland, Myrtillus-typ (Lehtosalo et al. 2010)
6	Björk			16100		S Finland, Oxalis-Myrtillus-typ (Lehtosalo et al. 2010)
7	Samtliga		22 570	14 490		Centrala Finland, bortröjda stammar (ca 95 % löv) (Uotila et al. 2010) <sup>6</sup>
5-8	Löv	~2 500 ~2 000 ~8 000	~14 000 ~6 000 ~4 000			N Sverige (n=8) Mellersta Sverige(n=8) S Sverige (n=6) (Nilsson et al. 2006) <sup>7</sup>
9	Björk			6800		S Finland, Myrtillus-typ (Lehtosalo et al. 2010)
9	Björk			9600		S Finland, Oxalis-Myrtillus-typ (Lehtosalo et al. 2010)
14	Samtliga	921		2 151	2 136 (2 500 punkter)	Hela Sverige, stammar > 1,3m (Johansson et al. 2013a) <sup>8</sup>

<sup>1</sup> Ett försök (en yta); Tönnersjöheden (56°40' N); torr-frisk mark; grovt grus/sand under sandig moig morän; G30 m.

<sup>2</sup> Hyggesålderförsöken; fyra lokaler [2 huvudlokaler; Tönnersjöheden (56°20' N) och Asa (57°08' N)]; bördig mark i S Sverige; Asa frisk-fuktig sandig/sandig-moig, G28 m; Tönnersjö torr grov morän, G31 m.

<sup>3</sup>

<sup>4</sup> Åtta försökslokaler i Götaland; tre fläckmarkberedda och fem harvade; markfuktighet – sju friska och en torr; SI T22–26; markvegetationstyp – sju blåbär och en gräs.

<sup>5</sup> Surveystudie (kronosekvens) med olika gamla hyggen – 3, 6 och 9 år efter högläggning och plantering med gran. Totalt 18 hyggen i södra Finland (Lat 60,5–62° N), varav 9 stycken Myrtillus-typ och 9 stycken Oxalis-Myrtillus-typ. Tre hyggen vardera inventerade per hyggesålder och vegetationstyp.

<sup>6</sup> Data från ett fältförsök i centrala Finland (Suonenjoki).

<sup>7</sup> 22 lokaler (Skåne till Västerbotten) i norra (n=8), centrala (n=8) respektive södra Sverige (n=6).; frisk mark (1 torr); Sandig-moig morän (2 moig-lerig); SI Nord 20–24 m, Mellan 23–26 m, Syd 18–28 m Blåbärstyp, Blåbär-Gräs, UF eller Lingon-typ.

<sup>8</sup> Försöksserie i Sverige med 10 försök (Lat 57–65 °N); 2500 pl/ha planterade; 1-åriga täckrotsplanter på alla lokaler utom de två sydligaste som planterades med 3-åriga barrotsplanter. SI 16–32 m varav åtta försök har SI 16–21 m; Stammar över 1.3 m redovisade, huvudsakligen lövträd.

**Tabell 5. Antal naturligt föryngrade plantor (huvudsakligen björk) per hektar på hyggen med eller utan olika typer av markberedning. Värden är angivna som antal plantor per hektar för en specifik störningsklass (exv. ej mb, spår, tilta) som uppkommit vid markberedningen. Antalet plantor i en specifik störningsklass dividerades med andelen påverkad areal för den klassen för att representera hela arealen. Data från experimentella fältförsök och uppföljning i praktiskt planterade föryngringar. Inventeringar utförda 3–9 växtsäsonger efter plantering.**

År efter plantering	Trädslag	Ej MB	Harv	Hög	Invers/fläck	Referens
5	Björk	5 000	13 900 (spår) 2 900 (tilta)			S Sverige (Nilsson et al 2002) <sup>1</sup>
3	Björk	~4 500		~4 000	~9 500	3 hyggen i S Finland, Myrtillus-typ (Lehtosalo et al. 2010) <sup>2</sup>
3	Björk	~16 000		~12 000	~10 000	3 hyggen i S Finland, Oxalis-Myrtillus-typ (Lehtosalo et al. 2010)
6	Björk	~6 000		~20 000	~14 500	3 hyggen i S Finland, Myrtillus-typ (Lehtosalo et al. 2010)
6	Björk	~13 000		~35 000	~23 000	3 hyggen i S Finland, Oxalis-Myrtillus-typ (Lehtosalo et al. 2010)
9	Björk	~4 000		~25 000	~10 500	3 hyggen i S Finland, Myrtillus-typ (Lehtosalo et al. 2010)
9	Björk	~6 000		~28 000	~17 500	3 hyggen i S Finland, Oxalis-Myrtillus-typ (Lehtosalo et al. 2010)

<sup>1</sup> Ett försök (en yta); Tönnersjöheden (56°40' N); torr-frisk mark; grovt grus/sand under sandig moig morän; G30 m.

<sup>2</sup> Surveystudie (kronosekvens) med olika gamla hyggen – 3, 6 och 9 år efter högläggning och plantering med gran. Totalt 18 hyggen i södra Finland (Lat 60,5–62° N), varav 9 stycken Myrtillus-typ och 9 stycken Oxalis-Myrtillus-typ. Tre hyggen vardera inventerade per hyggesålder och vegetationstyp.

## 6. Betydelsen av olika plantstorlek vid plantering

Vid jämförelser av plantstorlek måste en rad faktorer beaktas. Plantor av olika storlek skiljer sig rent morfologiskt och har till exempel olika skott-rot-kvot, diameter, höjd och biomassa. Plantans morfologi beror inte bara på dess storlek, utan också på hur den odlats, dvs. vilken planttyp det är (barrot, täckrot eller hybridplanta) och vilket trädslag. Barrotsplantor odlas på friland och täckrotsplantor i krukor. Hybridplantor är täckrotsplantor som efter en tid planteras ut och växer på friland, vilket gör att de är en kombination av de båda tidigare beskrivna planttyperna. De tre planttyperna har därmed utvecklats olika, både under och ovan mark, under odlingstiden och dessa olikheter har betydelse när det gäller skadefrekvens och -grad (exv. snytbagge, vegetation och frost). Även ståndortsförhållanden i form av bl.a. geografiskt läge, bördighet samt förekomst av markvegetation och väderlek (exv. torkepisoder) i föryngringsskedet har betydelse för valet av plantstorlek (se Johansson et al. 2015). Barrotsplantor kan på grund av en lägre andel finrötter i jämförelse med täckrotsplantor vara känsligare för torka det första året efter plantering, medan de tack vare en större stamdiameter och mer biomassa är mindre känsliga mot snytbaggar, frost och betesskador (Nilsson et al. 2000). Deras resultat baseras på inventeringar av 20 hyggen i Småland och Halland.

Enligt Johansson et al. (2007) är små granplantor mer beroende av en intensiv markberedning för hög överlevnad och tidig tillväxt efter plantering. I deras studie baserad på försök på två lokaler i södra Sverige påvisades en snabb etablering och högre tillväxt av s.k. miniplantor (initial höjd 6 cm) jämfört med mer traditionella större plantor (initial höjd 25–28 cm) under de tre första tillväxtsångerna efter plantering när plantering skedde efter inversmarkberedning. Däremot om plantorna planterades i icke markberedd mark var responsen den omvända. Liknande resultat från ytterligare ett försök i södra Sverige har rapporterats av Johansson (2012), där små täckrotsplantor och sticklingar av gran hade en högre tillväxt än större hybridplantor de första fyra åren efter plantering i invers. Förklaringen till detta anses vara att de små plantorna är mer välbalanserade med en större rot i förhållande till skottet som gör att de etablerar sig snabbt. Större planttyper, som barrotsplantor och hybridplantor, har ofta en längre etableringstid eftersom rotsystemet behöver växa till och utvecklas innan de kan få en hög tillväxt ovan mark. Däremot hade de större plantorna både en högre överlevnad och tillväxt i den icke markberedda kontrollen. Mindre plantor verkar dock vara mer känsliga med avseende på miljön de planteras i samt hur de hanteras före och i samband med plantering. Dessutom är de mer utsatta för snytbaggeangrepp, uppfrysning och konkurrens från omgivande vegetation. Resultaten ovan överensstämmer med Nilsson et al. (2000) som jämfört barrotsplantor och täckrotsplantor på 20 olika hyggen i södra Sverige. Även studier från Finland visar liknande resultat där Tervo och Kautto (1999; i Heiskanen och Rikala 2006) fann att 1-åriga granplantor (initial höjd 15 cm) växte 7 cm mer på höjden än 2-åriga plantor (initial höjd 31 cm) under de första tre åren efter plantering. Även Heiskanen och Viiri (2005; i Heiskanen och Rikala 2006) rapporterade att 1-åriga plantor växte bättre än 2-åriga efter plantering.

Andra studier har visat på det omvända när det gäller tillväxten. Johansson et al. (2015) visade att stora täckrotsplantor av tall växte bättre än små (initial höjd 13 cm och 9 cm), och att det inte var någon skillnad mellan olika plantstorlekar för täckrotsplantor av gran (initial höjd 15 cm och 22 cm). Resultaten bygger på försök på sex lokaler i Norrland. Att det inte var några skillnader i tillväxt mellan granplantor av olika storlek i denna studie tror man beror på att plantorna i detta fall odlats fram för att ha samma relation mellan skott och rot, oavsett plantstorlek. Den lägre tillväxten för de små tallplantorna kan bero på djupplantering, men också på att tallen är ett primärträdslag och därmed reagerar annorlunda i jämförelse med granen. Även studier från Finland har visat på att biomassatillväxten var större för 2-åriga granplantor jämfört med 1-åriga efter plantering i hög och

inversmarkberedning (Heiskanen och Rikala 2006), och Heiskanen (2004; i Heiskanen och Rikala 2006) har visat på en högre initial tillväxt för 2-åriga plantor jämfört med 1-åriga.

En generell slutsats som kan dras av ovanstående studier är att en stor planta kan vara ett sätt att kompensera för en markberedning med undermåligt resultat eller då ingen markberedning utförts, dvs. kompensera i bemärkelsen att erhålla en acceptabel överlevnad. En stor planta är dock både dyrare i inköp och att plantera. Därför kan det löna sig att satsa på en lite dyrare och bättre markberedning samt att kombinera denna med en mindre och mer välbalanserad planta. Ovan nämnda slutsatser baseras på studier som rapporterats 3–5 år efter plantering, vilket är alltför kort tid för att kunna värdera mer långsiktiga effekter, exv. på tillväxt. Därför är det angeläget att bättre utreda interaktioner mellan olika plantstorlekar och markberedningsmetoder, både genom att fortsättningsvis följa redan etablerade försök och att etablera nya långtidsförsök.

## 7. Røjning

Den gängse betydelsen av røjning är en ”Beståndsvårdande utglesning av plant- och ungskog utan att gagnvirket tas tillvara” (Skogsencyklopedin 2011). Under senare tid har följande tillägg gjorts, ”Røjningsavfallet kan dock under vissa omständigheter tas tillvara som biobrånslä.” Syftet med røjning är ”främst att gynna önskade trädslag eller individer och att uppnå ett ändamålsenligt produktionsförband. Med røjningen läggs tillväxten över på färre stammar, vilka bedöms vara utvecklingsbara. Träden uppnår en jämnare och grövre medelstam. Detta sänker framtida skötselkostnader. Beståndskvaliteten höjs genom att skadade, grovkvistiga eller krokiga individer tas bort” (Skogsencyklopedin 2011).

Som konstaterades i avsnitt 5.4 konkurrerar självföryngrade plantor, främst löv men även barr, med planterade plantor (exv. Andersson 1984, Barring 1984). Denna självföryngring behöver i många fall røjjas bort för att gynna tillväxt och dimensionsutveckling av de kvarvarande träd som bildar det framtida beståndet. Tillväxten hos både tall och gran reducerades påtagligt av rikligt uppslag av löv i föryngringar (exv. Andersson 1984). Vid måttlig lövförekomst var tillväxtned sättningen större för tall än för gran och diametertillväxten minskade mer än höjdtillväxten. Vid mycket riklig lövförekomst var tillväxtreduktionen ungefär lika stor för båda trädslagen. Dessa påståenden bygger på en studie refererad i Andersson (1984). Där redovisades minskad medeldiameter med 35 % och reducerad höjd med 23 % för tall vid en genomsnittlig lövförekomst på ca 10 m<sup>2</sup> per hektar. Vid 20 m<sup>2</sup> per hektar var minskningen av diametern 50 % för tall och 40 % för gran. Vid ännu rikligare lövförekomst (50 m<sup>2</sup> per hektar) var minskningarna 50–70 % och liknande för både tall och gran. En annan slutsats var att tall är mer känslig för mekaniska skador p.g.a. lövet, även om också granar kan skadas. Studien byggde på inventering av 13 inte lövrøjda hyggen i södra Norrland. I medeltal var tallarna 19 dm höga och lövslyet 37 dm, granarna var 15 dm och lövslyet 49 dm på de inventerade hyggena.

För ordinära mineraljordar i södra Finland framhåller Lehtosala et al. (2010) att kombinationen högläggning och plantering med gran är en fördelaktig föryngringsmetod. I 9-åriga föryngringar var medelhöjden ungefär lika (2,4 m) för planterade granar efter högläggning och naturligt föryngrade lövplantor (Lehtosala et al. 2010). Deras studie indikerar att relativt intensiva skogsvårdsåtgärder, i deras fall högläggning i kombination med täckrotsplantor, bidrar till att stärka de planterade granarnas konkurrenskraft gentemot lövuppslag. De drar också slutsatserna att björkplantorna har betydligt högre tillväxt än granarna endast under de första åren och vid 1,5–2 m höjd är de två trädslagen lika höga. För tall anges motsvarande ”gränshöjd” till ca 1 m av Valkonen och Ruuska (2003). En annan slutsats av Lehtosala et al. (2010) var att det var en skev höjdfördelning bland björkarna med många låga björkar intill de högsta, vilket visar att etableringen sker under flera år och inte vid en specifik tidpunkt.

Simuleringar baserade på tallplanteringar i södra Finland indikerade att planterade tallar höll jämna steg med naturligt föryngrade björkplantor avseende höjduitveckling och att björkantall på upp till 10 000 per hektar inte påverkade tallens höjduitveckling (Valkonen och Ruuska 2003). Däremot påverkades tallens diametertillväxt och maximala grendiameter påtagligt.

Holmström (2015) redovisar data från røjningsförsök i södra Sverige (Halland och Kronoberg), där røjning utfördes vid tre olika ingångshöjder på granen; a) 1-2 m, b) 2-4 m samt c) 4-6 m. Fem år efter røjningen var granen och björken i behandling a) 5,2 m respektive 5,4 m, b) 7,0 m och 6,5 m, c) 8,6 och 9,0 m höga. Røjning gav en positiv tillväxteffekt på huvudstammarna av gran vid samtliga ingångshöjder jämfört med kontroll, vilket visar att även en tidig røjning är gynnsam för kvarlämnade huvudstammarna. Uppkomsten av stubbskott kan sänka tillväxten, men granen har i de flesta fall ett försprång som gör att de kan växa från dessa.



I en annan studie av Holmström (2015) gjordes röjning ner till 2000 plantor per hektar. Den planterade granen prioriterades. I vissa behandlingar bestod bestånden till 10–30 % av björk efter röjning, men detta påverkade inte granstammarnas tillväxt. Granens medelhöjd vid röjning var 1.45 m och björken 2 m.

### 7.1 Tidpunkt

En viktig fråga i röjningssammanhang är lämplig tidpunkten för åtgärden. Vid vilken höjd på det planterade barrbeståndet ska man röja lövträden och senare även eventuella stubbskott? Målet med röjningen är dels att så tidigt som möjligt minska konkurrensen från befintliga icke önskade lövträd, dels att de planterade barrplantorna ska få minimal konkurrens av stubbskott efter röjningen (Andersson 1984). Att lämna en lågskärm med björk i granföryngring kan vara ett sätt att reducera antalet stubbskott (Andersson 1984).

För att bedöma behovet av röjning och insatsen vid röjningen bör man inte bara ta antalet plantor i beaktande utan även deras spatiala fördelning samt ta hänsyn till dessa plantors storlek och tillväxt i förhållande till de planterade plantorna. Valet av markberedningsmetod och tidpunkten när den utförs kan vara av stor betydelse eftersom dessa faktorer påverkar både de planterade plantornas tillväxt, etablering av självföryngrade plantor samt kan ha effekter på redan befintlig hyggesvegetation.

I Uotila et al. (2010) bestämdes röjningstidpunkten utifrån att två kriterier skulle vara uppfyllda. Det första var att medelhöjden av björkstammarna skulle vara högre än granplantornas övre höjd av gran och det andra att efter röjningen skulle granarnas medelhöjd vara minst en meter högre än stubbskotten av björk fram till tidpunkten för första gallring.

De röjningskriterier som användes för planterade granbestånd i en studie av Miina och Saksa (2013) var följande: (i) bestånden med  $\geq 1500$  huvudstammar per hektar röjdes om lövträden (frösådda björkar och andra lövträd) i beståndet var  $>2000$  per hektar och  $>50\%$  högre än granarna; (ii) i de fall antalet huvudstammar var  $<1500$  per hektar utfördes röjning om antalet lövträd var  $>1000$  per hektar och övre höjden var  $>0,75$  m högre än de planterade granarna.

Vanliga rekommendationer inom det praktiska skogsbruket är att lövröjning i barrbestånd med rikligt lövuppslag bör utföras när barrstammarnas höjd är 1–2 m. Röjningen görs då till ett produktionsförband på mellan 2 000 och 2 500 stammar per hektar beroende på huvudträdslag (tall eller gran) och ståndortsindex. Ibland behövs ytterligare en röjning, särskilt på bördig mark och om det bildas mycket stubbskott. Denna slutröjning görs normalt när barrhuvudstammarna är 2–4 m höga. Även denna röjning görs till samma stamantal som vid den första röjningen (se ovan).

## 8. Kunskapsluckor och forskningsbehov

Baserat på genomgången litteraturstudie lyfts nedan identifierade kunskapsluckor fram. Dessa bör adresseras i kommande studier och forskningsprogram med syfte att i förlängningen kunna förbättra och effektivisera skogsbrukets förnyrningsstrategier och skogsvårdsåtgärder.

- Det faktum att det är stora avgångar av planterade, ofta förädlade plantor, planterade efter markberedning, väcker frågor om förnyrningsmetodernas säkerhet, utförandets noggrannhet och kostnadseffektiviteten för utförda åtgärder. Kostnaden för plantor och plantering är den klart största kostnadsposten i de flesta beståndsanläggningskedjor. Därför finns det ett behov av att tydligt klargöra orsaker till avgångar för att komma till rätta med problemen för att kunna vidta adekvata åtgärder i syfte att förbättra plantornas överlevnad.
- För att kunna analysera, värdera och jämföra olika beståndsanläggningskedjor, i form av total kostnad och uppnått resultat, är det nödvändigt att ha god kännedom om de olika ingående åtgärderna. Det gäller inte minst ”intäktssidan” i form av uppnått ungskogstillstånd. Därför behövs bättre kunskap och fler jämförande studier av:
  - hur gran- och tallplantors överlevnad och tillväxt påverkas av olika markberedningsmetoder,
  - etablering av och tillväxt för icke önskad självförnyring samt röjningsbehov (om och när) efter olika typer av markberedning,
  - interaktionen mellan olika planttyper (exv. storlek) och markberedningsmetoder.

Forskningsbehovet för dessa frågor är särskilt stort för tall (se tabell 1 och 2). Befintliga fältförsök behöver säkerställas och följas upp regelbundet. Nya fältförsök behöver etableras systematiskt och på ett standardiserat sätt samt täcka in olika marktyper och klimatlägen. Det är viktigt att försöken inventeras intensivt, särskilt i det tidiga etableringsstadiet. Det är också viktigt att försöken följs långsiktigt tills dess att ett framtida produktionsbestånd är säkerställt ungefär vid tidpunkten för sista röjning, dvs. vid några meters medelhöjd på huvudplantorna.

- Det finns behov av att utveckla modeller för, och relevanta mått på, uppnått ungskogstillstånd av olika beståndsanläggningskedjor. Dessa bör vara enkla att följa upp och utvärdera.
- Det finns behov av att utveckla och vidareutveckla markberedningsmetoder i syfte att minska andelen påverkad markyta utan att tumma på kravet att erhålla tillräckligt många och kvalitetsmässigt bra planteringspunkter.

## 6. Referenser

- Ackzell L. 1993. A comparison of planting, sowing and natural regeneration for *Pinus sylvestris* (L.) in boreal Sweden. *Forest Ecology and Management* 16: 229–245.
- Ackzell L., Elfving B. och Lindgren D. 1994. Occurrence of naturally regenerated and planted main crop plants in plantations in boreal Sweden. *Forest Ecology and Management* 65: 105–113.
- Adelsköld G. 1986. Jämförande försök med två högläggare. Skogsarbeten, Resultat Nr. 6. 6 s. ISSN 0280-1884.
- Agestam E., Ekö P.-M., Nilsson U. och Welander N.T. 2003. The effects of shelterwood density and site preparation on natural regeneration of *Fagus sylvatica* in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 176: 61–73.
- Ahtikoski A., Alenius V. and Mäkitalo K. 2010. Scots pine establishment with special emphasis on uncertainty and cost-effectiveness, the case of northern Finland. *New Forests* 40: 69–84.
- Andersson S.-O. 1984. Om lövröjning i plant- och ungskogar. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 3-4: 69–96.
- Berge J. 1990. Overlevelse, høydeutveckling og skader hos gran (*Picea abies* L. Karst.) plantet i markberedningshauger og urørt vegetasjon i høyereliggende skog i indre Helgeland. Norsk Institutt for skogforskning, Rapport 6/90. 19 s. Ås.
- Bergquist J., Löf M. and Örlander G. 2009. Effects of roe deer browsing and site preparation on performance of planted broadleaved and conifer seedlings when using temporary fences. *Scandinavian Journal of Forest Research* 24: 308–317.
- Bergquist J., Eriksson A. och Fries C. 2011. Polytax 5/7 återväxttaxering – Resultat från 1999–2009. Skogsstyrelsen, Rapport 1. 31 s. Skogsstyrelsens förlag. Jönköping. ISSN 1100-0295.
- Bergquist J., Edlund S., Fries C., Gunnarsson S., Hazell P., Karlsson L., Lomander A., Näslund B.-Å., Rosell S. och Stendahl J. 2016. Kunskapsplattform för skogsproduktion – Tillståndet i skogen, problem och tänkbara insatser och åtgärder. Skogsstyrelsen, Meddelande 1. 180 s. Jönköping.
- Binkley D. and Högberg P. 2016. Revisiting the influence of nitrogen deposition on Swedish forests. *Forest Ecology and Management* 368: 222–239.
- Brunberg T. 2014. Skogsbrukets kostnader 2014. Skogforsk, Kunskapsbanken, Artikel Nr. 102-2015. <http://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2015/skogsbrukets-kostnader-2014/>
- Bäcke J., Larsson M. Lundmark J.-E. och Örlander G. 1986. Ståndortsanpassad markberedning – teoretisk analys av några markberedningsprinciper. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Redogörelse Nr. 3. 48 s. ISSN 0346-6671.
- Bärring U. 1984. Riklig björkförekomstns inverkan på tall och grans ungdomsutveckling. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 3-4: 97–105.
- Fahlvik N. 2005. Aspects on precommercial thinning in heterogeneous forests in southern Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences, Doctoral thesis. 38 p. Alnarp. ISSN 1652-6880. ISBN 91-576-6967-8.
- Fries C. 1984. Den frösådda björkens invandring på hygget. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 3-4: 35–49.

- Fries C. 1993. Development of planted *Pinus sylvestris* and *P. contorta* after soil preparation in a northern climate. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 73–80.
- Goulet F. 1995. Frost heaving of forest tree seedlings: a review. *New Forests* 9(1): 67–94.
- Government of Canada. 1992. Fundamentals of mechanical site preparation. FRDA Report 178. 27 s. Victoria. ISSN 0835-0752.
- Granhus A., Brække F.H., Holt Hanssen, K. and Haveraaen O. 2003. Effects of partial cutting and scarification on planted *Picea abies* at mid-elevation sites in south-east Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 237–246.
- Hagner, S. 1962. Naturlig föryngring under skärm – en analys av föryngringsmetoden, dess möjligheter och begränsningar i ett Mellannorrländskt skogsbruk. *Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut, Band 52, Nr 4.* 263 s.
- Hallsby G. 2013. Plantering av barrträd. Skogsskötselserien nr. 3. 59 s. Skogsstyrelsen. <http://www.skogsstyrelsen.se/Global/PUBLIKATIONER/Skogsskotselserien/PDF/Plantering%20av%20barrtr%c3%a4d%20130130%20-%20f%c3%b6r%20publicering.pdf>
- Hallsby G. and Örlander G. 2004. A comparison of mounding and inverting to establish Norway spruce on podzolic soils in Sweden. *Forestry* 77: 107–117.
- Hallsby G., Ahnlund Ulvcrona K., Karlsson A., Elfving B., Sjögren H., Ulvcrona T. and Bergsten U. 2015. Effects of intensity of forest regeneration measures on stand development in a nationwide Swedish field experiment. *Forestry*; 0, 1–13, doi:10.1093/forestry/cpv010
- Hansson P. and Karlman M. 1997. Survival, height and health status of 20-year-old *Pinus sylvestris* and *Pinus contorta* after different scarification treatments in a harsh boreal climate. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12: 340–350.
- Heiskanen J. 2004 Effects of pre- and post-planting shading on growth of container Norway spruce seedlings. *New Forest* 27: 101–114.
- Heiskanen J. and Viiri H. 2005. Effects of mounding on damage of by the European pine weevil in planted Norway spruce seedlings. *Northern Journal of Applied Forestry* 22: 154–161.
- Heiskanen J. and Rikala R. 2006. Root growth and nutrient uptake of Norway spruce container seedlings planted in mounded boreal forest soil. *Forest Ecology and Management* 222: 410–417.
- von Hofsten H. 1989. Donare 380 MIDAS – nytänkande inom markberedningen. *Skogsarbeten, Resultat Nr. 23.* 4 s. ISSN 0280-1884.
- von Hofsten H. 1991. Bräcke burna högläggare – ett variationsaggregat med möjligheter. *Skogsarbeten, Resultat Nr. 15.* 4 s. ISSN 0280-1884.
- von Hofsten H. och Nordeén B. 2002. Kombinerad risskotare och markberedare. *Skogforsk, Resultat Nr. 11.* 4 s. ISSN 1103-4173.
- Holmström E. 2015. Regeneration and early management of birch and Norway spruce mixtures in southern Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences, Doctoral thesis. 55 p. + appendixes. Alnarp. ISSN 1652-6880. ISBN 91-576-6967-8.

- Holmström E., Hjelm K., Johansson U., Karlsson M., Valkonen S. and Nilsson U. 2015. Pre-commercial thinning, birch admixture and sprout management in planted Norway spruce stands in South Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, doi: dx.doi.org/10.1080/02827581.2015.1055792
- Hyytiäinen K., Ilomäki S., Mäkelä A. and Kinnunen K. 2006. Economic analysis of stand establishment for Scots pine. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 1179–1189.
- Johansson K. 2012. Bättre föryngring med rätt kombination av markberedning och plantor. Resultat nr 16, Skogforsk. 4 s.
- Johansson T. 1984. Antalet lövträd ökar – En analys av skogstillståndet. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* nr. 3-4: 15-23.
- Johansson K., Nilsson U. and Allen H.L. 2007. Interactions between soil scarification and Norway spruce seedling types. *New Forests* 33: 13-27.
- Johansson K., Nilsson U. and Örländer G. 2013a. A comparison of long-term effects of scarification methods on the establishment of Norway spruce. *Forestry* 86: 91–98.
- Johansson K., Ring E. and Högbom L. 2013b. Effects of pre-harvest fertilization and subsequent soil scarification on the growth of planted *Pinus sylvestris* seedlings and ground vegetation after clear-felling. *Silva Fennica* 47 no. 4 article id 1016. 18 p.
- Johansson K., Hajek J., Sjölin O. and Normark E. 2015. Early performance of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* – a comparison between seedling size, species, and geographic location of the planting site. *Scandinavian Journal of Forest Research* 30: 388–400.
- Kankaanhuhta V. and Saksa T. 2013. Cost-quality relationship of Norway spruce planting and Scots pine direct seeding in privately owned forests I Southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 28: 481–492.
- Karlsson M. 2001. Natural regeneration of broadleaved tree species in southern Sweden – Effects of silvicultural treatments and seed dispersal from surrounding stands. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. 44 s. Alnarp. ISSN 1401-6230 ISBN 91-576-6080-8
- Karlsson C. och Örländer G. 2000. Soil scarification shortly before a rich seed fall improves seedling establishment in seed tree stands of *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal Forest Research* 15: 256–266.
- Karlsson M. and Nilsson U. 2005. The effects of scarification and shelterwood treatments on naturally regenerated seedlings in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 205: 183–197.
- Karlsson M., Nilsson U. and Örländer G. 2002. Natural regeneration in clear-cuts: Effects of scarification, slash removal and clear-cut age. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17: 131–138.
- Kullström, M. 2015. Naturligt föryngrade huvudstammar i röjda bestånd etablerade efter plantering på SCAs mark. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Examensarbeten 2015:5. 36 s. ISSN 1654-1898.
- Kunskap direkt. Version 2015-10-13.  
<http://www.kunskapdirekt.se/sv/KunskapDirekt/Roja/Rojningens-ekonomi1/ny-Kostnader-och-prestationer/>

- Lehtosalo M., Mäkelä A. and Valkonen S. 2010. Regeneration and tree growth dynamics of *Picea abies*, *Betula pendula* and *Betula pubescens* in regeneration areas treated with spot mounding in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 25: 213–223.
- Miina J. and Saksa T. 2006. Predicting regeneration establishment in Norway spruce plantations using a multivariate multilevel model. *New Forests* 32: 265–283.
- Miina J. and Saksa T. 2008. Predicting establishment of tree seedlings for evaluating methods of regeneration for *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23: 12–27.
- Miina J. and Saksa T. 2013. Predicting establishment of tree seedlings in regeneration areas of *Picea abies* in southern Finland. *Baltic Forestry* 19(2): 187–200.
- Mäkitalo K. 1999. Effect of site preparation and reforestation method on survival and height growth of Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 512–525.
- Mäkitalo K., Alenius V., Heiskanen J. and Mikkola K. 2010. Effect of soil physical properties on the long-term performance of planted Scots pine in Finnish Lapland. *Canadian Journal of Soil Science* 90: 451–465.
- Nilsson U., Bergqvist J., and Langvall O. 2000. Barrot eller täckrot i sydsvenska granplanteringar? *Plantaktuellt* nr 4 2000.
- Nilsson U., Gemmel P, Johansson U., Karlsson M. and Welander T. 2002. Natural regeneration of Norway spruce, Scots pine and birch under Norway spruce shelterwoods of varying densities on a mesic-dry site in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 161: 133–145.
- Nilsson U., Örlander G. and Karlsson M. 2006. Establishing mixed forests in Sweden by combining planting and natural regeneration – Effects of shelterwoods and scarification. *Forest Ecology and Management* 237: 301–311.
- Nilsson U., Luoranen J., Kolström T., Örlander G. and Puttonen P. 2010. Reforestation with planting in northern Europe. *Scandinavian Journal of Forest Research* 25: 283–294.
- Nordborg, F., Nilsson, U., Gemmel P. and Örlander G. 2006. Carbon and nitrogen stocks in soil, trees and field vegetation in conifer plantations 10 years after deep soil cultivation and patch scarification. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21: 356–363.
- Persson P. 1990. Changes conditions open the door to new methods. *Sveriges Skogsvårdsförbunds tidskrift* 88(2): 29–37.
- Sikström, U. 1997. Avgång i skärmen och plantetablering vid förnygring av gran under högskärm – en surveystudie. *Skogforsk, Arbetsrapport nr 369*. 80 s. plus bilagor. Uppsala.
- Sikström, U. and Petterson, F. 2005. Förnygring av gran under högskärm – avgångar i skärmen, plantförekomst och planttillväxt. *Skogforsk, Arbetsrapport nr 589*. 105 s. Uppsala.
- Sjögren V. 2013. Naturlig förnygring efter markberedning med harv eller Bracke Planter I Småland. *SLU, Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Examensarbeten 2013:2*. 23 s. Umeå. ISSN 1654-1898.
- Skogsdata. 2002. *Skogsdata 2002*. SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik. ?? s. Umeå

- Skogsencyklopedin. 2011. Föreningen Skogen och Skogforsk.  
<http://www.kunskapdirekt.se/sv/kunskapdirekt/skogsencyklopedin/>
- Skogsstyrelsen. 2014. Skogsstatistisk årsbok. 368 s. Skogsstyrelsen, Jönköping. ISSN 0491-7847. ISBN 978-91-87535-05-5.
- Skogsstyrelsen. 2015. Skogsvårdslagstiftningen – Gällande regler 18 juni 2015. 92 s. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- Sutton, R.F. 1993. Mounding site preparation: A review of European and North American experience. *New Forests* 7: 151–192.
- Söderbäck E. 2012. Utvärdering av markberedning och plantering på SCA:s mark i Norrland 1998–2001 – Föryngringsresultat efter 10 år. Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Examensarbeten 2012:17. 36 s. Umeå. ISSN 1654-1898.
- Tervo L. and Kautto K. 1999. Ennakkotuloksia kuusen 1- ja 2-vuotisten paakkutaiminen istutuskokeista ja ahavavioitustsen merkityksestä 1-vuotiailla kuusen paakkutaimilla. In: Poteri, M. (Ed.) *Taimitarhatutkimuksen vuosikirja, 1999. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 755, 15–20* (in Finnish).
- Uotila K., Rantala J., Saksa T. and Harstela, P. 2010. Effects of soil preparation method on economic result of Norway spruce regeneration chain. *Silva Fennica* 44(3): 511–524.
- Valkonen S. and Ruuska J. 2003. Effects of *Betula pendula* admixture on tree growth and branch diameter in young *Pinus sylvestris* stands in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 416–426.
- Wennström U. 2001. Direct seeding of *Pinus sylvestris* (L) in the boreal forest using orchard or stand seed. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 204. Doktorsavhandling.
- Wennström U. 2002. Skogssådd med inblandning av plantagefrö ger bättre återväxt. *Skogforsk, Resultat Nr. 20*. 4 s. ISSN 1103-4173
- Zhou, W. 1998. Optimal natural regeneration of Scots pine with seed trees. *Journal of Environmental Management* 53: 263–271.
- Zhou, W. 1999. Risk-based selection of forest regeneration methods. *Forest Ecology and Management* 115: 85–92.
- Örlander G. och Gemmel P. 1989. Markberedning. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 3-89. 53 s.
- Örlander G., Egnell G. and Albrektsson A. 1996. Long-term effects of site preparation on growth in Scots pine. *Forest Ecology and Management* 86: 27–37.
- Örlander G., Hallsby G., Gemmel P. and Wilhelmsson C. 1998. Inverting improves establishment of *Pinus contorta* and *Picea abies* – 10-year results from a site preparation trial in northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13: 160–168.
- Örlander G., Nordborg F. and Gemmel P. 2002. Effects of complete deep-soil cultivation on initial forest stand development. *Studia Forestalia Suecica* no. 213. 20 s. ISSN 0039-3150. ISBN 91-576-6294-0.