



Redogörelse

Från Skogforsk nr. 1 2011

Förädlingseffekter i Sveriges skogar

– Kompletterande scenarier till SKA-VB 08

Effects of planting genetically improved seedlings on
forest growth and potential harvest in Sweden

– Complementary scenarios to SKA-VB 08



SKOGFORSK

Redogörelse

Från Skogforsk nr. 1 2011

Förädlingseffekter i Sveriges skogar

– Kompletterande scenarier till SKA-VB 08

Effects of planting genetically improved seedlings on forest growth and potential harvest in Sweden

– Complementary scenarios to SKA-VB 08

Redaktör: Mats Hannerz
Formgivning: Inger Petré
Figurer och tabeller:
Ingegerd Hallberg
Ansvarig utgivare: Jan Fryk
Omslagsbild: Stefan Örtenblad/
SKOGENbild

© Skogforsk 2011
ISSN 1103-4580
Gävle Offset AB, Gävle



SKOGFORSK

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
Tel. 018-18 85 00. Fax. 018-18 86 00
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se



Ola Rosvall, SkogD, forskningschef för forskningsprogrammet Skogsträdsförädling och forskningsstationschef i Sävar. Anställd 1975 och har arbetat med skogsskötselns forskning och skogsträdsförädling.



Anders Lundström, forskningsledare vid institutionen för skoglig resurshushållning, SLU i Umeå. Har under många år arbetat med utveckling av system för långsiktiga konsekvensanalyser baserade på Riksskogstaxeringens provtytor (tidigare Hugin och på senare tid RegVis). Även lett arbetet där beräkningssystemen utnyttjats för genomförande av olika scenarieanalyser.

Abstract

Here we report on the effect of planting genetically-improved seedlings on forest growth and logging in Sweden. The study used simulations based on the latest national forest growth-and-yield forecast for the period 2010-2119. The "Hugin system" was used for calculations based on national forest inventory data.

Genetically- improved seedlings will increase annual growth in Sweden by 10 million m³ by the end of this century. This increase is up to ten times greater than that achieved by the planting of fast-growing exotic lodgepole pine, as the latter is restricted to a much smaller area. It is also ten times that achievable through a moderate level of forest fertilization. The growth increase through genetically-improved plants could be further enhanced if the current shortage of seeds from spruce seed orchards could be overcome by increasing supply and if all the permitted area for vegetatively propagated trees is utilized.

The greatest production increase would be achieved if the whole seed orchard propagation system could be replaced by increasing vegetative propagation of elite seed lots produced by controlled crossing of intensively selected trees from the breeding front line by another a further 4 million m³ per year.

The environmental consequences of genetic improvement are minor since the conservation standards applied for forest management in the scenarios are the same as for unimproved trees. Using seed orchards seedlings is an easy and profitable decision for land owners to take compared to implementing other growth-enhancement measures, and there are no legal restrictions. Although very profitable, the amount of planting of vegetatively propagated stock is an open question because the unit price per plant is at least doubled.

REDOGÖRELSE

Förädlingseffekter i Sveriges skogar

– kompletterande scenarier till SKA-VB 08

**Effects of planting genetically improved seedlings
on forest growth and potential harvest in Sweden**

– Complementary scenarios to SKA-VB 08

Ola Rosvall & Anders Lundström

Förord

Den här rapporten är ett delresultat av ett uppdrag från Regeringen: Uppdrag om förbättrat växtodlingsmaterial, Jo2008/1883 i syfte ”att ta fram riktlinjer för vilket förnygringsmaterial som ska rekommenderas på olika marker ur produktions- och miljöperspektiv samt att beskriva hur frötillgången på förädlad material kan öka”.

Vi har analyserat betydelsen av att plantera olika typer av växtförädlade plantor för hela landets framtida tillväxt och avverkning.

Arbetet har genomförts i samarbete mellan Skogforsk och Institutionen för skoglig resurshushållning vid SLU i Umeå. Vi har använt Huginssystemet vid SLU och byggt vidare på den av Skogsstyrelsen nyligen genomförda nationella skogliga konsekvensanalysen SKA-VB 08. Projektet har genomförts i anknytning till och med delfinansiering från forskningsprogrammet Future Forests.

Sävar och Umeå januari 2011

Ola Rosvall och Anders Lundström

Innehåll

Sammanfattning	4
Summary	5
Bakgrund	6
Material och metoder	7
Scenarioupbyggnad	9
Specifikation av metodernas tillämpning	9
Areell omfattning	9
Förädlingsnivå	10
Planttillgång	11
Åtgärdsbeskrivning	11
Uppräkning till landsnivå	14
Resultat	15
Principer för tillväxtökningen i hela skogen	15
Tillväxtökning i F och Y län	16
Avverkningsökning i F och Y län	17
Tillväxtökning i Sverige	20
Tillväxteffekt av historiska planteringar	23
Naturvårdseffekter	23
Diskussion	24
Tillväxteffekter	24
Bevarad diversitet med vegetativ förökning	25
Intensivskogsbruk	25
Ekonomi	25
Natur- och miljöeffekter	26
Realiserbarhet	26
Referenser	28
Bilaga 1	29

Contents

Summary in Swedish	4
Summary in English	5
Background	6
Materials and methods	7
Scenarios	9
Specification of the methods	9
Areal extent	9
Level of genetic improvement	10
Plant supply	11
Description of measures	11
Extrapolation to national level	14
Results	15
Principles of growth increase in the entire forest	15
Growth increase in the countries of Jönköping and Västernorrland	16
Increase in logging in the countries of Jönköping and Västernorrland	17
Growth increase in Sweden	20
Effects of historical planting on growth	23
Effects on nature conservation	23
Discussion	24
Effects on growth	24
Preserved diversity with vegetative propagation	25
Intensive silviculture	25
Financial aspects	25
Effects on the environment and landscape	26
Feasibility	26
References	28
Appendix 1.	29

Sammanfattning

Vi har analyserat de långsiktiga effekterna på tillväxt och avverkning av att plantera olika typer av förädlade plantor med utgångspunkt i SKA-VB 08. Det är den senaste landsomfattande skogliga konsekvensanalysen av att tillämpa olika skogsskötsel och naturvård i landets framtida skogar. Vi beräknade tillväxtökningen under den närmaste 100-årsperioden för hela landet genom att först analysera Västernorrlands och Jönköpings län med simuleringsverktyget Hugin. Jämförelsen gjordes med SKA-VB 08:s scenario Produktion sedan det nollställdes för de tillämpade tillväxthöjande åtgärderna förädlade plantor, contortatall, traditionell och behovsanpassad gödsling samt ett varmare klimat. Scenariets förnyingsambition var oförändrad. Utgångsläget för våra jämförelser var en årlig tillväxt på cirka 115 miljoner m³sk på all produktiv skogsmark, och 100 miljoner m³sk på mark avsedd för virkesproduktion.

Våra begränsade simuleringar med två län gör att resultaten för landet är osäkra på detaljnivå. De är emellertid tillräckligt tillförlitliga för att visa att förädlade plantor kan öka tillväxten i hela landet med ca 10 miljoner m³sk per år eftersom de kan planteras på huvuddelen av skogsmarksarealen. Det är uppemot tio gånger större tillväxtökning än för både contortatall, som har betydligt större tillväxt men som bara är tillåten på en begränsad areal, och en bedömd rimlig nivå på traditionell skogsgödsling.

Tillväxtökningen genom förädlade plantor skulle kunna öka ytterligare om nuvarande brist på granplantagefrö kunde avhjälpas och om hela den areal utnyttjades som är tillåten för vegetativt förökade plantor från de bästa granmaterialen. Dessa båda åtgärder skulle var och en öka tillväxten mer än den bedömda rimliga skogsgödslingen. Allra störst effekt skulle uppnås om systemet med fröproduktion i både gran- och tallfröplantager kunde ersättas med vegetativ förökning av elitfröpartier som framställs genom korsning av förädlingsprogrammets successivt allt bättre träd. Då kunde man minska vänte-

tiden med 15-20 år för att producera frö i en fröplantage och dessutom undvika den negativa effekten av oförädlad pollen i plantagera. Det skulle öka den årliga tillväxten med ytterligare ca 4 miljoner m³sk i hela landet. Det är samma tillväxtökning som med det mest intensiva programmet med traditionell gödsling. Det skulle dessutom kunna ske genom att föröka högförädlade fröpartier med stor diversitet så att den genetiska variationen i skogsbestånden inte minskar.

Effekterna av förädlade träd på natur och miljö är små eftersom samma specifikation för naturvård tillämpas för skogens skötsel i scenarierna med förädlade träd som i scenarierna med oförädlade träd. Ökad tillväxt med förädlade träd kan också utnyttjas för att koncentrera dagens avverkningsnivå till en motsvarande mindre del av landskapet. Då frigörs mark för naturvårds- eller andra ändamål. Om förädlade träd används för att öka den totala tillväxten, som i de här simuleringarna, förväntas omloppstiden bli kortare. Simuleringarna resulterade emellertid inte i någon nämnvärd skillnad i omloppstid mellan scenarier med förädlad och oförädlad skog. Det var inte heller någon skillnad i andra naturvårdsindikatorer som andel lövskog, andel gammal skog eller storlek på virkesförråd.

Möjligheten att realisera olika tillväxthöjande metoder i svenskt skogsbruk diskuteras i rapporten. Att plantera förädlade plantor från fröplantager är mycket lönsamt eftersom kostnaden jämfört med oförädlade plantor är försumbar. Förädlade plantor tillhandahålls som förstahandsval av plantskolorna och nya fröplantager från den tredje omgången håller på att anläggas. Markägarna behöver således varken ha mycket kunskap eller finansieringsmedel för denna investering. Att välja förädlade plantor är således ett enkelt beslut att fatta jämfört med att tillämpa andra tillväxthöjande metoder och det finns inga lagstadgade restriktioner. Även om det är lönsamt att plantera vegetativt förökade plantor är omfattningen svår att förutse eftersom plantpriset åtminstone fördubblas.

Summary

Here we report on the effect of planting genetically-improved seedlings on forest growth and logging in Sweden. The study used simulations based on the latest national forest growth-and-yield forecast for the period 2010-2110 (SKA-VB 08, carried out by the Swedish Forest Agency). The “Hugin system” (provided by the Swedish University of Agricultural Sciences) was used for calculations based on national forest inventory data. We used the specification for silviculture and environmental objectives from the scenario “Production” after resetting the management intensity of various growth-enhancing methods to zero. We extrapolated figures for the whole of Sweden, based on detailed analyses of two counties, Jönköping (in southern Sweden) and Västernorrland (in the north). It resulted in an annual growth at a starting point for our comparisons of about 115 miljoner m³sk of which 100 is on land available for logging.

Although the simulation of just two counties limits the accuracy of the results, the reliability was considered adequate for the purpose of this study. Genetically improved seedlings can be applied on most forest sites where planting is used for regeneration (150,000-200,000 ha), and this will increase annual growth in Sweden by 10 million m³ in the second half of this century. This increase is up to ten times greater than that achieved by the planting of fast-growing exotic lodgepole pine, as the latter is restricted to a much smaller area (14,000 ha/year). It is also ten times that achievable through a moderate level of forest fertilization (60,000 ha/year).

The growth increase through genetically-improved plants could be further enhanced if the current shortage of seeds from spruce seed orchards could be overcome by increasing supply and if all the permitted area for vegetatively propagated trees is utilized (20,000 ha/year). Each of these two methods would enhance tree growth more than by moderate application of fertilizers.

The greatest production increase would be achieved if the whole seed orchard propagation system could be replaced by vegetative propagation of elite seed lots produced by controlled crossing of intensively selected trees from the breeding front line. Vegetative

propagation could reduce the waiting time for production from seed orchards by 15-20 years and also avoid the negative influence of unimproved pollen contamination, thereby enhancing annual growth across Sweden by another 4 million m³ per year. This is the same level of growth increase as could be achieved through the most intense application possible of traditional forest fertilization (200,000 ha per year). By using genetically-improved seed lots with a high genetic diversity, as a base for vegetative propagation, the genetic variation in forest stands would not be reduced, which can occur when individual, selected, well-tested clones are planted on large areas for many years.

The environmental consequences of genetic improvement are minor since the conservation standards applied for forest management in the scenarios are the same as for unimproved trees. Enhanced growth by genetic improvement can also be used to concentrate the current level of logging into a correspondingly smaller percentage of the landscape, releasing land for other environmental and land-use objectives. If improved trees are used to increase total growth, as in our simulations, the rotation time is expected to be shortened. However, the simulation results showed no differences in rotation time. Furthermore, there were no differences in other nature conservation indicators such as the proportion of broad-leaved tree species.

The potential for practical implementation of different growth-enhancing methods in Swedish forestry is discussed. Using genetically-improved seedlings from seed orchards is very profitable since the difference in cost compared with unimproved planting stock is negligible. Improved seedlings are the first choice provided by the nurseries and establishment of a third round of seed orchards is under way. Consequently, landowners do not need much knowledge or additional financial resources for investments. It is an easy decision to take compared to implementing other growth-enhancement measures, and there are no legal restrictions. Although very profitable, planting of vegetatively propagated stock is an open question because the unit price per plant is at least doubled.

Bakgrund

SKA-VB 08 är den senaste i raden av nationella skogliga konsekvensanalyser (Skogsstyrelsen, 2008). Där analyserades fyra framtidsscenarioer benämnda *Referens*, *Miljö*, *Produktion* samt *Miljö+Produktion*. I scenariot *Produktion* analyserades konsekvenserna för hela landets skogstillstånd av att i stor skala tillämpa ett antal tillväxthöjande skogsskötselmetoder. Scenariot innefattade intensivare förnygring, plantering av förädlade plantor och contortatall, samt både traditionell och behovsanpassad gödsling. Därtill utökades skogsmarken med plantering på åkermark. Allt detta simulerades tillsammans med inflytandet av ett varmare klimat både i referens- och produktionsscenariot. Även i referensscenariot ingår tillväxthöjande åtgärder men i mindre omfattning varför det inte går att analysera de enskilda åtgärdernas effekt. För några åtgärder gjordes det istället genom särskilda effektanalyser.

I produktionsscenariot steg den totala tillväxten i Sverige från 115 till 185 miljoner m³sk från den första till den sista tioårsperioden under ett sekel. Sammantaget svarade tillväxthöjande åtgärder på virkesproduktionsmarken för ca 20 miljoner m³sk extra i produktionsscenarioet efter 50 år. Detta var alltså utöver klimateffekten, som steg från 2 till 38 miljoner m³sk på virkesproduktionsmarken under hundraårsperioden. Effekten av förädlade plantor var 10-12 miljoner m³sk per år från och med period 2080-2089. Effekten av behovsanpassad gödsling var 6-10 miljoner m³sk, men den nivån nåddes redan i period 2030-2039. I övrigt går det inte att särskilja effekterna av åtgärderna intensiv förnygring, contortatall och gödsling. Den mycket starka klimateffekten försvårar också tolkningen av förädlings- och gödslingseffekterna.

En av åtgärderna i SKA-VB 08 var alltså att plantera förädlade plantor från fröplantager. Förädlingsnivåer för plantor från alla nu tillgängliga och framtida fröplantager samt för förflyttade beståndsfröplantor utarbetades länsvis för varje 10-årsperiod under kommande 100 år (Rosvall & Wennström, 2008). Hänsyn togs till att förädlingseffekten kommer att bli högre i framtida

fröplantager och till att det råder brist på plantagefrö under de närmaste årtiondena. Därför simulerades en något begränsad användning av förädlade granplantor. Resterande plantbehov täcktes med plantor från lämpligt beståndsfrö. I planen för SKA-VB 08 ingick att som kompensation för bristen på plantagefrö studera effekten av att plantera högförädlad gran med sticklingar på ca 5 % av skogsmarken, vilket är största tillåtna areal enligt nuvarande regler, men den effekten blev aldrig införd i produktionsscenarioet.

Det uppkommer en ca 20 år lång tidsfördröjning från det att en fröplantage anläggs tills den producerar frö i full skala. Det innebär att förädlingsnivån hos de plantor som planteras i skogen släpar 20 år efter den genetiska nivån i förädlingsprogrammen. Med vegetativ förökning av plantor, t.ex. somatisk embryogenes (SE) skulle den genetiska nivån hos plantor och förädling kunna hålla nästan jämna steg. Ett sådant scenario med vegetativ förökning har tidigare utarbetats med SKA 03 som grund (Rosvall m.fl., 2004 a och b).

Syftet med de här kompletterande konsekvensanalyserna med SKA-VB 08 som utgångspunkt var att uppdatera våra tidigare analyser baserade på SKA 03 (Skogsstyrelsen, 2004). Vi ville på samma sätt som tidigare beräkna landsomfattande effekter av skogsträdsförädling och relatera dem till effekterna av att intensifiera förnygringsarbetet, plantera contortatall och tillämpa skogsgödsling. För detta krävs ett referensscenario där alla åtgärder först nollställs och därefter tillämpas i olika kombinationer enligt ett schema som tar hänsyn till hur tillämpningen av en åtgärd på en areal kan utesluta tillämpningen av en annan.

Tidigare analyser visade att Västernorrlands (Y län) och Jönköpings län (F län) ger prov på intressanta regionala skillnader. De ger också resultat som är enkla att skala upp till Sverigenivå (Lundström m.fl., 2006). För det här syftet, att göra översiktliga konsekvensanalyser, anser vi att det är tillräckligt att basera beräkningar på simuleringar för dessa två län.

Material och metoder

Vi använde Huginssystemet vid SLU för att analysera konsekvenser av tillväxthöjande åtgärder i Sverige med hjälp av simuleringar med Rikskogstaxeringens data för Västernorrlands län (Y län) och Jönköpings län (F län). Huginssystemet och metodiken för att genomföra SKA-VB 08 finns detaljerat beskrivet i slutrapporten för SKA-VB 08 (Skogsstyrelsen, 2008). Först specificeras i detalj både skogsskötsel och naturvård i ett 100-årigt åtgärdsprogram uppdelat på 10-årsperioder. Åtgärder tillämpas på nuvarande skogstillstånd i form av Rikskogstaxeringens provtytor där varje träd är identifierat. Utvecklingen skrivs fram och åtgärder genomförs. I resultatet redovisas skogstillståndets utveckling, naturvårdens status och avverkningarnas storlek. Analysperioden omfattar tio 10-årsperioder från 2010 till 2110 och resultaten redovisas mitt i perioden, dvs. 2015 till 2105.

Inför genomförandet av SKA-VB 08 uppdaterades Huginssystemet för att på ett bättre sätt än tidigare simulera förädlings- och gödslingeffekter (Skogsstyrelsen, 2008). Förädlings effekterna simulerades genom att justera ståndortsindex vid beräkning av trädens tillväxt i ungskog och etablerad skog. Denna justering påverkar endast det planterade trädslaget, inte de naturligt föröngrade trädslag som finns på en provyta. För att inte över-skatta tillväxteffekten reducerades de beräknade genetiska effekterna med andelen naturligt föröngrade plantor av det planterade trädslaget. Reduktionen baserades på fördelningen av planterade och självföröngrade huvudplanter i Skogsstyrelsens återväxtuppföljning (Polytax R5/7).

Vi utgick från de specifikationer av skogsskötsel och naturvård som tillämpades i SKA-VB 08 (Skogsstyrelsen, 2008). För att detaljstuda de produktionshöjande åtgärder i den här undersökningen utgick vi från

scenariot *Produktion* och nollställde alla produktionshöjande åtgärder. Därigenom skapades ett jämförelsescenario kallat *Produktion 0*. Till skillnad från SKA-VB 08 tog vi inte hänsyn till effekten av ett förändrat klimat, eftersom underlaget för att samtidigt simulera klimat-effekter och produktionshöjande åtgärder är osäkert. Tillväxtnivån i scenariot *Produktion 0* innefattar all tillväxt på produktiv skogsmark, dvs. både på virkesproduktionsmark, hänsynsmark och i reservat. Åtgärder tillämpas dock bara på virkesproduktionsmarken.

I scenariot SKA-VB 08 *Produktion* ingick intensifierad föröngring, plantering av contortatall, traditionell gödsling och behovsanpassad gödsling (tabell 1). Jämfört med SKA-VB 08 scenariot *Referens* återstod efter nollställning av de produktionshöjande åtgärder endast ett mer intensivt föröngringsprogram i vårt jämförelsescenario *Produktion 0* (tabell 1 och 2).

För enskilda respektive övriga ägare sker plantering på 74,5 och 89,0 % av den totala föröngringsarealen. Sådd utförs på 0,5 och 1,0 %, naturlig föröngring på 24,5 och 10,0 % av föröngringsarealen (tabell 1). Föröngringsalternativet "Ingen åtgärd" tillämpades inte alls i produktions-scenariot. På liknade sätt var arealandelen markberedning högre i produktionsscenariot och det gjordes en något bättre ståndortsanpassning vid trädslagsvalet än i referensscenariot. Väntetiden vid skogsodling (hyggesvilans längd) förkortades från 3 till 2 år. Slutligen höjdes den årliga röjningsandelen till 95 % av inväxningen mot 83 % i scenariot *Referens*, och antalet stammar efter röjning sänktes till mellan 2 000 och 3 000 stammar per ha. I tabell 2 redovisas föröngringsmetodernas omfattning för F och Y län samt för hela landet i medeltal för de tre första 10-årsperioderna.

Tabell 1. Jämförelse mellan förnygringsintensiteten i SKA 03 (Skogsstyrelsen, 2004), Skogforsks scenarier *Förnygring* + (Rosvall m.fl., 2004a och b) samt SKA-VB 08 (Skogsstyrelsen 2008). Skogforsks scenarier byggde på SKA 03 med förnygringsintensitet *Förnygring* + hämtad från SKA 99 (Skogsstyrelsen 2000).

Åtgärd		Andel av totalt åtgärdad areal, %			
		SKA 03		Förnygring +	
		Y län	F län	Y län	F län
Plantering		63	58	85	76
Markberedning		70	47	88	73
SKA-VB 08 hela landet					
		Scenario Referens		Scenario Produktion	
Plantering	Enskilda	56,5		74,5	
	Övriga	71,4		89	
Markberedning	Enskilda	77,8		89	
	Övriga	95,9		93	
Antal plantor				+ 200	
Väntetid		3 år		2 år	
Contortatall		3 300 ha/år		20 000 ha/år	
Traditionell gödsling		25 000 ha/år		200 000 ha/år	
Behovsanpassad gödsling				1 114 000 ha (5 % av skogsmarken) etablerad under 50 år	

Tabell 2. Årliga åtgärdsarealer (1 000 ha) och fördelning (%) på olika förnygringsåtgärder i SKA-VB 08 scenarierna *Referens* och *Produktion* under period 1-3.

	SKA-VB 08 Referens			SKA-VB 08 Produktion		
	Y län	F län	Hela landet	Y län	F län	Hela landet
All förnygring	15,8	7,0	216,7	15,8	7,5	223,3
Plantering	9,3 (59 %)	5,6 (80 %)	144,3 (67 %)	14,4 (91 %)	7,39 (97 %)	200,9 (90 %)
Självförnygring	6,4 (41 %)	1,4 (20 %)	72,4 (33 %)	1,4 (9 %)	0,2 (3 %)	22,3 (10 %)
Markberedning	12,8 (81 %)	4,6 (66 %)	162,0 (75 %)	15,6 (99 %)	6,5 (86 %)	199,4 (89 %)

Scenarioupbyggnad

Strukturen för scenarioupbyggnaden framgår av schemat i tabell 3. Där beskrivs först intensiteten i åtgärderna som de tillämpades i SKA-VB 08 *Produktion: 2.0 Förädling SKA 08*, *3.0 Contorta SKA 08* och *3.0 Gödsling SKA08*. Vi definierade sedan scenariot *Rimlig* med bas i det från tillväxtåtgärder avskalade SKA-VB 08-scenariot *1.1 Produktion 0*. Till det adderades steg för steg åtgärderna *2.1 Förädling*, *3.1 Contortatall* och *4.1 Gödsling*. Den stegvisa arbetssättet innebär t.ex. att *2.1 Förädling* var basscenario för *3.1 Contortatall* och att specificerad areal contortaplantering sker genom att minska arealen planterad förädlad tall. Skillnaden i tillväxt visar den marginella tillväxtökningen av att plantera contortatall, inte den totala tillväxten av contortatall. Metoden gjorde det möjligt att samtidigt studera såväl de marginella som sammanlagda effekterna av flera åtgärder som tillämpas samtidigt.

För var och en av de olika åtgärderna studerades där-efter de marginella förändringarna av olika åtgärdsintensitet i jämförelse med de rimliga nivåerna. Här ingick framför allt ökad åtgärdsintensitet och större

behandlingsareal kallade *Intensiv nivå: 1.2 Föryngring Intensiv*, *2.2 Förädling Vegetativ*, *3.2 Contortatall Intensiv* och *4.2 Gödsling Intensiv*. För förädling prövades även ett medelintensivt scenario *2.1.1 Förädling med SE* på 5% av arealen. Några av scenarierna hämtades från SKA-VB 08 och några definierades på annat sätt. Dessa intensiva scenarier kan inte adderas på samma sätt som de rimliga. De intensiva nivåerna utgjorde för varje metod ett alternativ till motsvarande rimlig nivå.

Specifikation av metodernas tillämpning

I tabell 3 redovisas de årliga åtgärdsarealer som tillämpades för de olika metoderna. Åtgärderna tillämpades bara på mark för virkesproduktion och inte på någon typ av hänsynsmark enligt tabell 4.

Areell omfattning

Fördelningen av den nationella arealen för en åtgärd på län, markägarkategorier ståndortstyper etc. kan ske på olika sätt. Ett sätt är att fördela den så jämnt som möjligt, ett annat är att ta fasta på historiska uppgifter om hur skogsägare i olika landsdelar hittills valt metoder.

Tabell 3. Specifikation av olika tillväxthöjande åtgärder för två intensitetsnivåer *Rimlig* och *Intensiv*. Scenariot *Rimlig* består av många åtgärder som tillämpas samtidigt. Scenariot byggs upp stegvis genom att lägga till åtgärd efter åtgärd med start i *1.1 Produktion 0*. Övriga åtgärdsintensiteter är som alternativ till de rimliga men har inte beräknats för att vara adderbara.

Tillväxthöjande åtgärd	SKA-VB 08:s åtgärdsintensitet	Skogforsks åtgärdsintensitet		
	SKA-VB 08-Scenariot Produktion	Stegvis adderade åtgärder med rimlig intensitet <i>Rimlig</i>	Tilläggsåtgärd till <i>Rimlig</i> hämtade från SKA-VB 08	Ökad åtgärdsintensitet som alternativ till rimlig nivå <i>Intensiv nivå</i>
1. Föryngring	Se 1.1	1.1 Produktion 0 Produktionssceneriet i SKA 08 utan förädling, contortatall, gödsling etc.		1.2 Föryngring Intensiv Maximal ungskogskvalitet i alla nya föryngringar
2. Förädling	2.0 Förädling SKA 08 Fröplantage brist Verklig planttäckning och ingen särplockning av tall ¹⁾	2.1 Förädling Fröplantage 95 % 95 % planttäckning och ingen särplockning av tall ¹⁾	2.1.1 Förädling SE på 5 % 20 000 ha i Sverige 1 390 ha i F-län, 1 100 ha i Y-län ²⁾	2.2 Förädling Vegetativ Ingen tidsförlust för genetisk vinst p.g.a. fröplantager 95 % planttäckning ²⁾
3. Contorta	3.0 Contorta SKA 08 20 000 ha i Sverige 4 800 ha i Y-län	3.1 Contorta Tillåten 14 000 ha i Sverige, 2 000 ha i Y-län		3.2 Contorta Intensiv 30 000 ha i Sverige 4 000 ha i Y-län
4. Gödsling	4.0 Gödsling SKA 08 200 000 ha/år 4 500 ha i F-län, 23 000 ha i Y-län	4.1 Gödsling 60 000 ha i Sverige 1 600 ha i F-län, 7 500 ha i Y-län		4.2 Gödsling Intensiv 220 000 ha i Sverige 6 500 ha i F-län, 30 000 ha i Y-län

¹⁾ Enligt Rosvall och Wennström (2008). ²⁾ Enligt bilaga 4 i Rosvall och Wennström (2008) med uppdaterade vinster enligt bilaga 1.

Det senare har tillämpats i SKA-VB 08 för gödsling och contortatall och i vårt scenario för gödsling och SE-planter. Våra contortascenarior byggde däremot på en jämn fördelning av contortaplanteringarna mellan länen inom nuvarande tillåten areal. På så vis planteras mer contortatall i Y län i SKA-VB 08 scenariot *3.0 Contorta* (4 800 ha/år för att nå 20 000 ha per år i landet som helhet) än i *3.1 Contorta intensiv* (4 000 ha/år för att nå 28 000 ha) (tabell 3). Vid uppskalningen till nationell nivå togs hänsyn till den ojämna fördelningen av åtgärdsarealer mellan länen.

Förädlingsnivå

Förädlingseffekterna beräknades i jämförelse med den genetiska nivå som finns i de ursprungspopulationer som plustringarna är hämtade från. I Hugin görs jämförelse med den genetiska nivån för träd med lokal proveniens efter-

som de är representerade i Hugins ungskogsdatabas eller i de tillväxtfunktioner som används. Den provenienseffekt som innefattade både att urval av plustring kan ha skett i en bättre proveniens än den lokala och att förädlade planter förflyttas enligt nuvarande rekommendationer. De genetiska vinsterna redovisas i tabell 5 och exemplifieras för F län i figur 2.

Fröplantageplantornas förädlingsnivå hämtades från Rosvall & Wennström (2008) och är samma som användes i SKA-VB 08. Nu när ett antal mer intensiva förädlingsprogram med vegetativ förökning skall simuleras har beräkningarna utvecklats, vilket redovisas i bilaga 1. En viktig förändring var att förädlingsomdrevet förlängdes från 20 till 25 år samt att provenienseffekten modellerades så att den minskar utrymmet för urvalsförädling över tiden. Ökningen av den genetiska framsteget blev därmed något långsammare över tiden.

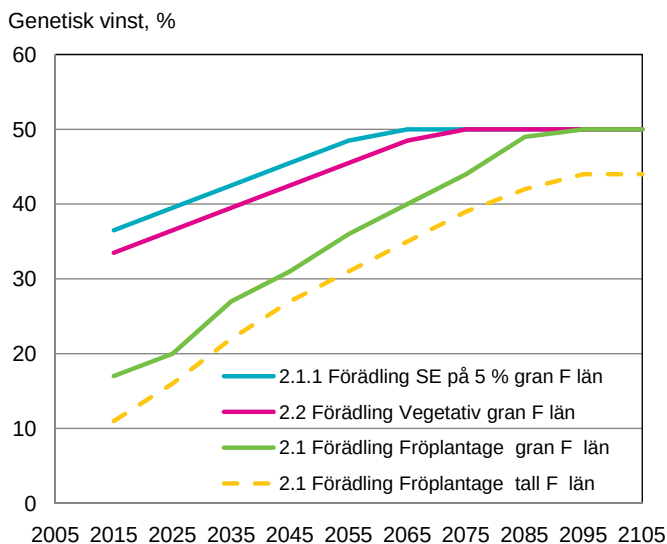
Tabell 4. Den produktiva skogsmarksarealens (1 000 ha) fördelning på markanvändningsklasser i SKA-VB 08. Hänsynsmarken för hela landet var uppdelad på 1 418 000 ha örörd och 616 000 ha anpassad skötsel (scenarierna *Referens* och *Produktion* enligt Skogsstyrelsen (2008)).

	Reservat	Hänsynsmark	Virkes- produktionsmark	Tillväxt 2015 % av all tillväxt	Totalt
Hela landet	956 (4 %)	2 034 (9 %)	20 383 (87 %)	88 %	23 369
Y län	218 (1 %)	112 (7 %)	1 563 (92 %)	91 %	1 696
F län	11 (2 %)	61 (8 %)	650 (90 %)	90 %	723

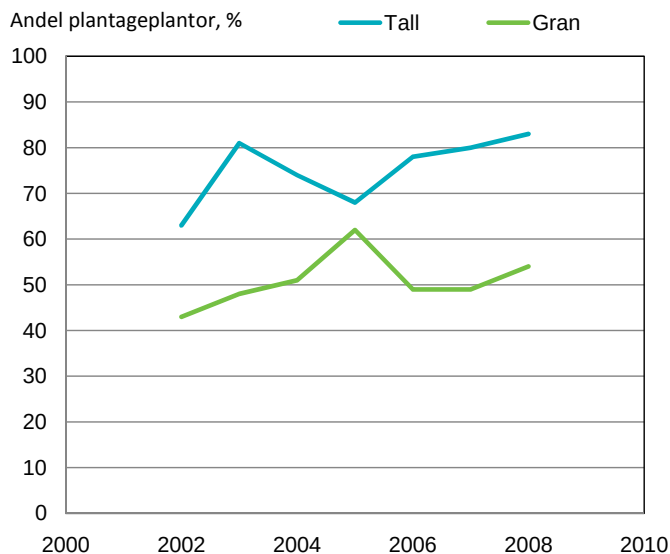
Tabell 5. Genetiska vinster i % för scenarierna *2.0 Förädling Fröplantage med verklig plantbrist*, *2.1 Förädling Fröplantage med 95 % planttäckning*, *2.1.1 Förädling SE-planter på 5 % av arealen* och *2.2. Förädling Vegetativ på all areal*. De genetiska vinsterna för gran består av en förädlingseffekt och en provenienseffekt.

Period- mitt	2.0 Förädling Fröplantage med plantbrist 2.1 Förädling Fröplantage 95 % ¹⁾					2.1.1 Förädling SE på 5 % ²⁾		2.2 Förädling Vegetativ ²⁾		
	Tall ³⁾		Gran		Contortatall	Gran		Tall	Gran	
	Y	F	Y	F	Y	Y	F	Y och F	Y	F
2015	18 ±0	11 +3	14	17	10	33	36,5	26	30	33,5
2025	20 ±0	16 +1	21	20	21	36	39,5	30	33	36,5
2035	23 ±0	22 +1	25	27	28	39	42,5	34	36	39,5
2045	27	27	29	31	34	42	45,5	38	39	42,5
2055	31	31	34	36	40	45	48,5	42	42	45,5
2065	35	35	38	40	45	48	50	46	45	48,5
2075	39	39	42	44	50	50	50	50	48	50
2085	42	42	47	49	53	50	50	50	50	50
2095	44	44	48	50	53	50	50	50	50	50
2105	44	44	48	50	53	50	50	50	50	50

¹⁾ Efter Rosvall och Wennström (2008) tabell 7a, 7b och 8. ²⁾ Enligt bilaga 1. ³⁾ Effekt av särplockning i tallplantorna är inte tillämpat i något scenario.



Figur 1. Genetiska vinster för granplanter av olika typ i F län i jämförelse med plantageplanter av tall. Granvinsterna består av en förädlingseffekt och en provenienseffekt (Efter Rosvall och Wennström 2008 och bilaga 1).



Figur 2. Andel plantagefrö (svenskt och utländskt) i plantproduktionen i Sverige åren 2002-2008 för gran och tall. Källa Skogsstyrelsen.

Planttillgång

År 2008 planterades 383 miljoner skogplanter i Sverige varav 127 miljoner tall, 236 gran, 18 övriga barrträd och 3 miljoner lövträd. För tallplantorna kom 83 % av fröet från fröplantager (alla svenska), och för gran 54 % fördelat på 47 % från svenska och 7 % från utländska plantager (figur 2). Den lägre andelen förädlade granplanter beror på att det råder brist på plantagefrö och att 30 % av granplantorna är barrotsplanter som kräver så mycket frö vid plantproduktionen att det i praktiken omöjliggör användning av plantagefrö.

Åtgärdsbeskrivning

1.1 Produktion 0. Utgångsscenario med föryngring enligt scenariot SKA-VB 08 *Produktion* men utan några tillväxthöjande åtgärder. Föryngringsintensiteten var densamma som i produktionsscenarioet men all plantering sker med oförädlade planter, ingen contortatall planteras och gödsling tillämpas inte.

1.2 Föryngring Intensiv. När Huginssystemet ska generera en ny skog efter avverkning väljs en provyta ur en ungsogsdatabas med verkligt inmätta provytor. Provytans trädslagssammansättning, täthet, jämnhet etc. definierar dess "ungskogskvalitet" (Elfving, 1982). Vid föryngringen i Hugin avgör specifikationen av föryngringsåtgärderna med vilken sannolikhet provytor med olika kvalitet ska samplas. Bra markberedning och plantering med många planter ökar sannolikheten för hög ungskogskvalitet. För att belysa produktionspotentialen med bra föryngringar styrde vi i *Föryngring Intensiv* samplingen till provytor med högsta ungskogskvalitet för aktuellt föryngringsprogram.

2.0 Förädling Fröplantage med verklig plantbrist (SKA-VB 08 Produktion). Nuvarande och framtida tillgång på plantagefrö och konsekvenserna för tillgången på förädlade planter och deras genetiska nivå beräknades länsvis som underlag för simuleringarna i SKA-VB 08 (Rosvall och Wennström, 2008). Därifrån är fröplantagevinsterna hämtade till tabell 5. Tillämpningen av beräknad brist på plantagefrö av gran i SKA-VB 08 framgår av tabell 6.

I det ursprungliga SKA-VB 08 scenariot *Produktion* utnyttjades överskottet på tallfrö genom att simulera "särplockning", dvs. att endast fylla fröbehovet med frö från de bästa träden. Särplockningen gav i genomsnitt

Tabell 6. Andel av planteringsarealen (%) som planterats med förädlad respektive proveniensförflyttad gran och tall med hänsyn till frötillgång i SKA-VB 08, scenariot *Produktion*. Här är benämningen på scenariot *2.0 Förädling Fröplantage med verklig plantbrist*. Inga proveniens-effekter simulerades för tall. Andelarna är beräknade för vart och ett av de fyra balansområden (Bo)¹⁾ som används i SKA, där uppgifterna för Y- och F län hämtats från Bo1 respektive Bo4.

		Gran			Tall
		2010–2019	2020–2029	2030–2109	2010–2109
		Enskilda ägare			
Plantagematerial	Bo 1 Y-län	61	78	95	95
	Bo 2	95	95	95	95
	Bo 3	58	70	95	95
	Bo 4 F län	73	95	95	95
Proveniensförflyttat	Bo 1 Y-län	34	17	0	0
	Bo 2	0	0	0	0
	Bo 3	37	25	0	0
	Bo 4 F län	22	0	0	0
		Övriga ägare			
Plantagematerial	Bo 1 Y-län	78	95	95	95
	Bo 2	95	95	95	95
	Bo 3	70	87	95	95
	Bo 4 F län	83	95	95	95
Proveniensförflyttat	Bo 1 Y-län	17	0	0	0
	Bo 2	0	0	0	0
	Bo 3	25	8	0	0
	Bo 4 F län	12	0	0	0

¹⁾ Balansområde 1–4 är vad som tidigare benämndes "Virkesförsörjningsområden" och motsvarar ungefär N Norrland, S Norrland, Svealand och Götaland.

för Sverige ca 1% högre tillväxteffekt de första 30 åren. Av de två studerade länen fanns det bara överskott i F län (tabell 5). I scenario 2. 0 simulerades inte särplockning.

2.1 Förädling fröplantage med 95 % planttäckning.

Andelen av planteringsarealen med förädlade plantor sattes till 95 % i alla tidsperioder och arealen "proveniensförflyttat" till 0 % (tabell 5). Inte heller i detta scenario tillämpades särplockning för tall. Förädlingseffekterna hämtades från Rosvall & Wennström (2008) och redovisas i tabell 5. Tillväxtökningen för gran är samma som i scenario 2.0.

2.1.1 SE-planter på 5 % av arealen.

Arealomfattningen följde den som planerades för bulksticklingar i SKA-VB 08 och som redovisas av Rosvall & Wennström (2008) i deras bilaga 4.1, men nya genetiska vinster har beräknats för SE-planter (bilaga 1). SE-planter produceras genom somatisk embryogenes med start i fröembryon. Årligen planteras enligt scenariot i Sverige totalt 50 000 högförädlade SE planter av gran på 20 000 ha med bättre

bonitet än G22. Om metoden skulle tillämpas på mark med bonitet G28 blir den ekonomiskt optimala omloppstiden i den förädlade skogen ca 60 år. Det innebär att det efter 60 år finns 1,2 miljoner ha, vilket motsvarar 5 % av den produktiva skogsmarken utanför reservaten. Nedbrutet på Y- och F-län med hänsyn till lämpliga granmarker innebär det 1 097 respektive 1 388 ha per år (Rosvall & Wennström, 2008, bilaga 4).

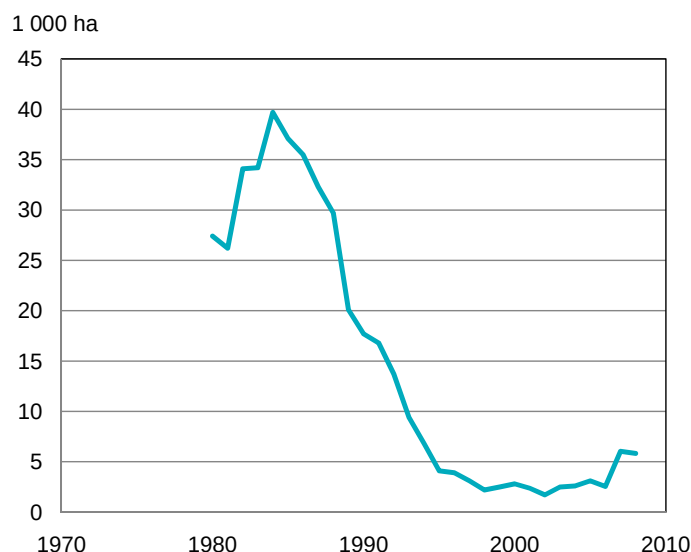
Den genetiska vinsten för SE-planter redovisas i tabell 5 och bilaga 1. Den beräknades med utgångspunkt i den genetiska vinst som råder i förädlingspopulationen när en fröplantage kan byggas. SE-planter i stor skala blir tillgängliga 5 år senare. Det krävs tid för att göra kontrollerade korsningar och för uppförkning av plantorna. Den genetiska vinsten är högre än för motsvarande fröplantage. Det beror på att urvalsintensiteten är högre, att det inte finns bakgrundspollinering med negativ effekt och att förädlingsvinsten kommer 15 år tidigare än i fröplantagerna. Diversiteten är hög genom att elitfröpartier med stor genetisk variation bulkförokas.

2.2 Förädling Vegetativ. Detta scenario skulle belysa den potentiella möjligheten med förädlade plantor av tall och gran på hela planteringsarealen (95 %) om väntetiden från det att en fröplantage planteras till dess den är i full fröproduktion helt kan elimineras. Det skulle kunna ske genom vegetativ förökning när SE-plantor kan användas för att massföröka elitfröer. För tall och gran är väntetiden till plantor från fröplantager 15 respektive 20 år. Vid *Förädling Vegetativ* tidigare lades vinsten med 10 år för tall och 15 år för gran för att tillåta 5 år för massförökning till plantor. Vinsterna beräknades så att den genetiska variationen skulle vara samma som för fröplantageplantor. Vinsten är 3 % lägre än i scenario 2.1.1 där SE-plantor planteras på 5 % av arealen (tabell 5).

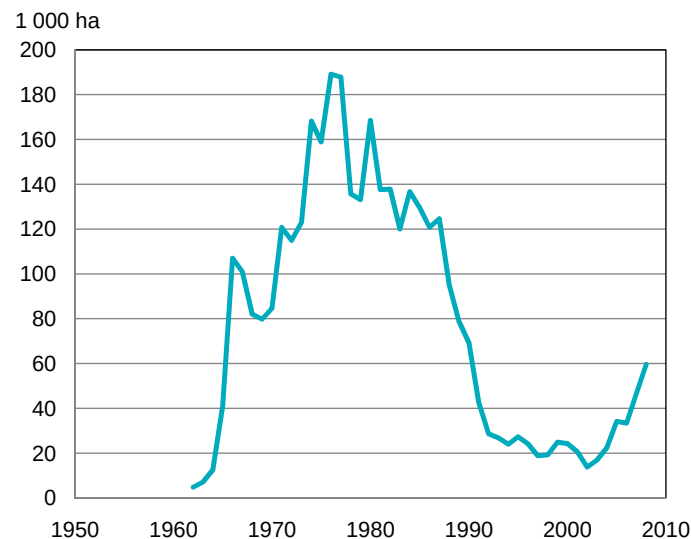
3.0 Contortatall SKA-VB 08 (20 000 ha). Utvecklingen hittills av den årliga arealen som skogsodlats med contortatall framgår av figur 3. I SKA-VB 08 Produktion planerades att plantera 20 000 ha contortatall per år under 20 år till dess den totala arealen ökade från dagens ca 500 000 ha till ca 900 000 ha. Både i SKA-VB 08 och när vi simulerade contortatall i scenario 3.0 planterades 20 000 ha varje år under hela 100-årsperioden. I Y län planterades 4 800 ha per år (tabell 3). I F län planterades ingen contortatall.

3.1 Contortatall Tillåten (14 000 ha). Enligt nuvarande bestämmelser är det tillåtet att plantera contortatall på 14 000 ha per år. Vid 60 års omloppstid leder det till 0,84 miljoner ha contortatall eller 4 % av Sveriges produktiva skogsmark utanför reservaten. I Y län planterades 2 000 ha per år (tabell 3).

3.2 Contortatall Intensiv (28 000 ha). Den årliga arealen contortaplantering dubblerades till 28 000 ha per år, vilket vid 60 års omloppstid skulle ge 1,68 miljoner ha eller 8 % av Sveriges produktiva skogsmark. I Y län planterades 4 000 ha per år (tabell 3).



Figur 3. Areal som skogsodlats med contortatall 1980 - 2008 i hela landet.



Figur 4. Skogsgödslad areal under perioden 1962-2008 i hela landet.

4.0 Gödsling SKA-08 (200 000 ha). Omfattningen av konventionell skogsgödsling har varierat mycket enligt figur 4. När den var som störst gödslades nästan 200 000 ha. Det förutsätter att en stor del av skogsgödslingen sker genom upprepad gödsling i samma bestånd. Det här intensiva scenariot skulle försöka bedöma potentialen för konventionell gödsling och hade samma omfattning som i SKA-VB 08 Produktion. I F och Y län gödslades 4 500 respektive 23 000 ha per år (tabell 3).

4.1 Gödsling Rimlig 60 000 ha. Gödsling före slutavverkning ger högst lönsamhet men alla bestånd är inte lämpliga att gödsla. En del är inte gödslingsbara och andra är inte gödslingsvärda. För privatskogsbruket räknade Rosvall m.fl. (2004c) att ca 40 % av slutavverkningsbestånden i Sverige var lämpliga. Vid en årlig slutavverkningsareal om 220 000 ha skulle det då vara värt att gödsla ca 90 000 ha per år. En rimlig bedömning är att 60 000 ha per år skulle kunna vara en uthållig nivå. I F och Y län gödslades 1 600 respektive 7 500 ha per år (tabell 3).

4.2 Gödsling Intensiv (220 000 ha). Tidigare intensivgödslingsprogram som tillämpades med utgångspunkt i SKA 03 omfattade 220 000 ha och hade en ännu större tyngdpunkt på Y län enligt tabell 3 (Rosvall m.fl., 2004a). För att simulera scenariet gödslades 6 500 respektive 30 000 ha per år i F och Y län (tabell 3). *Gödsling Intensiv* kan ses som en variant av 4.0 med 200 000 ha per år.

Uppräkning till landsnivå

Y och F län är tämligen representativa för norra respektive södra Sverige. Om man med norra Sverige menar balansområde 1 och 2 (balansområden enligt SKA-VB 08), och räknar balansområde 3 och 4 till södra Sverige, utgör Y län 10,5 % av norra Sverige och står för 13,5 % av tillväxten. Motsvarande siffror för F län är 10,0 % av arealen i södra Sverige samt 9,3 % av tillväxten.

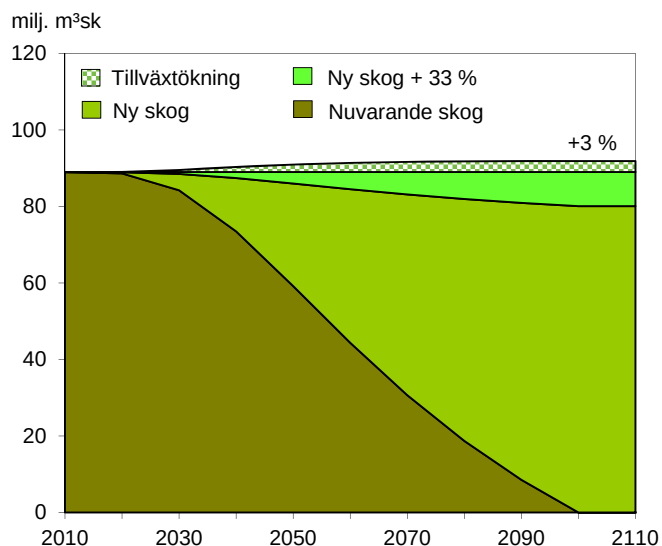
För att beräkna skötselåtgärdernas effekt om de tillämpas i hela Sverige applicerades åtgärdernas procentuella effekter på ett konstruerat utgångsscenario för hela Sverige. Utgångsscenariot för Sverige beräknades genom att skala av SKA-VB 08 scenariot *Produktion* från alla produktionshöjande åtgärder på samma sätt som i F och Y län. Reduktionstalen för F och Y län användes för södra respektive norra Sverige. Scenariot kallas *Produktion Sverige 0*. På samma sätt som för Y och F län omfattar den tillväxtnivå i *Produktion 0* som är utgångspunkten för effektjämförelserna all tillväxt på produktiv skogsmark, dvs. både på virkesproduktionsmark, hänsynsmark och i reservat.

För åtgärderna föryngring och förädling som tillämpas på huvuddelen av skogsmarksarealen användes medeltalet av de procentuella åtgärdseffekterna för varje 10-årsperiod från F och Y län. För SE-plantor, contortatall och gödsling som alla har årliga arealbegränsningar och som tillämpas olika i de två länen beräknades först effekten per ha uttryckt i kubikmeter. Effekterna räknades sedan upp till landsnivå med de årliga åtgärdsarealerna, varefter även den procentuella effekten för Sverige kunde beräknas. Contortatall tillämpades bara i Y län, varför enbart värden från Y län kunde användas medan värden från både F och Y län användes för SE-plantor och gödsling.

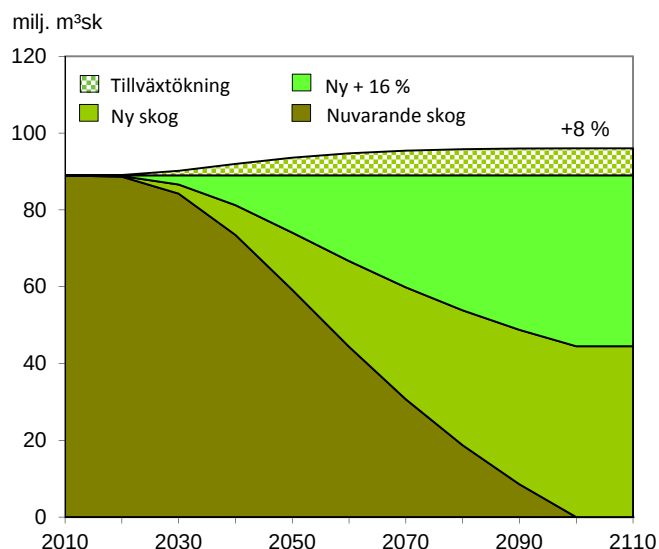
Resultat

Principer för tillväxtökningen i hela skogen

De principiella bilderna i figur 5 illustrerar hur tillväxthöjande åtgärder med olika areell omfattning och intensitet påverkar den samlade svenska skogens tillväxt på virkesproduktionsmarken. Om vi antar att skogen består av bestånd med 90 års omloppstid i alla åldersklasser behöver ca 226 000 ha avverkas och förnygras varje år i 90 år innan hela nuvarande skog är utbytt mot ny skog. Vi räknar då med att virkesproduktionsmarken är 20,4 miljoner ha enligt produktionsscenariot i SKA-VB 08 (tabell 4). Om 10 % av förnygringsarealen (22 600 ha) varje år planteras med skog som växer 33 % bättre tar det alltså 90 år innan 10 % av hela skogsmarken (2 miljoner ha) är beskogad. Den skogen växer 33 % bättre men tillväxtökningen i skogen som helhet blir bara 3 %. Om däremot 50 % av förnygringsarealen (113 000 ha) planteras med skog som växer 16 % bättre blir tillväxtökningen i hela skogen 8 %. Den svenska skogen som helhet är ett trögt system.



a. När 10 % av Ny skog växer 33 % bättre blir den totala tillväxtökningen 3 %.



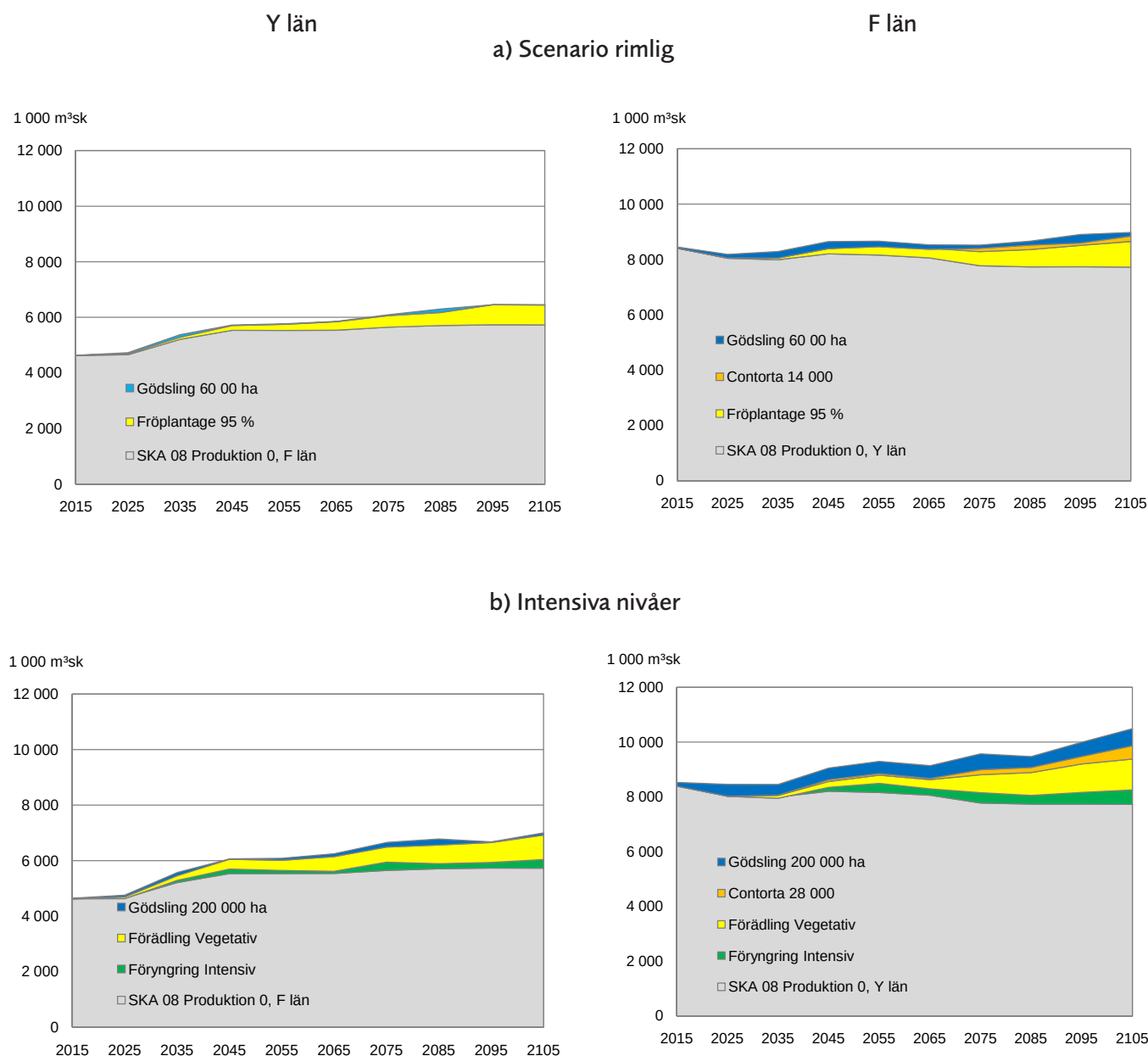
b. När 50 % av Ny skog växer 16 % bättre blir den totala tillväxtökningen 8 %.

Figur 5. Princip för hur hela landets tillväxt (90 miljoner m³sk/ha och år) påverkas av att all Nuvarande skog (20,4 miljoner ha) förnygras med Ny skog (230 000 ha per år under 90 år), varav en viss andel växer bättre. I a där 10 % av ny skog växer 33 % bättre ökar den totala tillväxten med 3 %. I b där 50 % av ny skog växer 16 % bättre ökar den totala tillväxten med 8 %.

Tillväxtökning i F och Y län

Vårt scenario *Rimlig* är genomfört så att den marginella tillväxteffekten för varje åtgärd kan urskiljas i det sammanlagda scenariot enligt figur 6a. För att få en översiktlig

bild av vad de intensiva åtgärdsnivåerna resulterar i redovisas även de tillsammans i figur 6b. De olika åtgärdernas effekter vid Intensiv och Rimlig nivå kan jämföras var och en, men de Intensiva nivåerna kan egentligen inte adderas som i figuren.



Figur 6. Beräknad årlig tillväxtökning för F och Y län för olika intensitetsnivåer av *Föryngring*, *Förädling*, *Contortatall* och *Gödsling*. a: Scenario *Rimlig* redovisar både den sammanlagda och marginella effekten av åtgärderna. b: Intensiva nivåer redovisar respektive åtgärds marginella effekt i jämförelse med *Rimlig* nivå men dessa effektnivåer kan egentligen inte summeras som i figuren.

I figur 7 redovisas utvecklingen av tillväxtökning i procent över tiden för olika åtgärder. De procentuella effekterna av alla åtgärder och åtgärdsnivåer relaterar till jämförelsescenariot *Produktion 0* och är därmed helt jämförbara. Plantering med förädlade plantor av olika typ eller contortatall införs successivt år efter år och effekterna tilltar med tiden när skogen utvecklas och allt större arealer blivit beskogade. Gödsling tillämpas i befintlig skog och reaktionstiden är kort, varför en tämligen stabil tillväxtökning etableras relativt snabbt.

I tabell 7 redovisas den genomsnittliga tillväxtökningen för period 1-6 (2010-2069) respektive period 7-10 (2070-2109) både i procent och i kubikmeter. Fröplantageplantorna har lägre genetisk nivå men tillämpas i stor omfattning i jämförelse med SE-plantor (som tillämpas på 5 % av föryngringsarealen) eller contortatall. Den samlade tillväxteffekten av fröplantager är därför störst med 10,2 och 9,2 % i F och Y län under period 7-10. För SE-plantor och contortatall är den marginella tillväxtökningen i storleksordningen 1-2 % för period 7-10 (tabell 7). Eftersom dessa plantslag i våra beräkningar ersätter fröplantageplantor blir den marginella tillväxtökningen på den areal där de tillämpas mindre än om de ersatt oförädlade plantor (tabell 5, figur 1).

Här har vi räknat med att 95 % av alla plantor kommer från fröplantagefrö. I verkligheten råder det brist på granfrö under den närmaste tiden (tabell 6). Det minskar tillväxtökningen på lång sikt med ca 0,5-1,5 % -enheter (tabell 7). Om väntetiden för att fröplantager ska växa och producera frö försvinner som i scenariot *Förädling Vegetativ* skulle tillväxtökningen öka med 2,0-2,5 procentenheter till 12,4 och 11,8 % i F och Y län (tabell 7).

När den totala arealen för plantering med contortatall och skogsgödsling fördelades mellan län togs hänsyn till länens olika förutsättningar (tabell 3). Plantering med contortatall är bara tillåten i Y län och där är förutsättningarna för skogsgödsling bättre än i F län. Därför blir tillväxtökningarna bara typiska för dessa två län. I Y län gav 2 000 ha plantering med contortatall, vilket motsvarar 14 000 ha i Sverige, en extra tillväxtökning om 1,8 % i period 7-10, och den dubbla arealen gav 3,5 %. Gödsling motsvarande 60 000 och 200 000 ha i Sverige

gav 0,6 och 1,2 % i F län och 2,1 och 4,7 % i Y län under period 1-6 och lite högre i period 7-10 (tabell 7).

Analysen visade att gödslingseffekterna per hektar var mindre vid de mer intensiva scenarierna. Med ökad areal väljs allt sämre bestånd för gödsling. Gödslingseffekterna varierade i genomsnitt under 100-årsperioden mellan 17 och 23 m³sk per åtgärdad hektar och år med en stigande trend över tiden. När de intensiva gödslingsprogrammen ska genomföras måste samma bestånd gödslas flera gånger efter 1:a gallring, vilket ökar virkesförrådet och därmed den långsiktiga tillväxten på det sätt som simuleras med Huginsystemet. Det var stor variation i gödslingseffekt mellan perioder. Ett skäl är att tillväxt och avverkning samspelar och att Huginsystemets modell kan innebära att gödslade bestånd avverkas innan gödslingseffekten uppnåts. Ett annat skäl är att avverkning generellt ökar i omfattning när gödsling tillämpas på stora arealer.

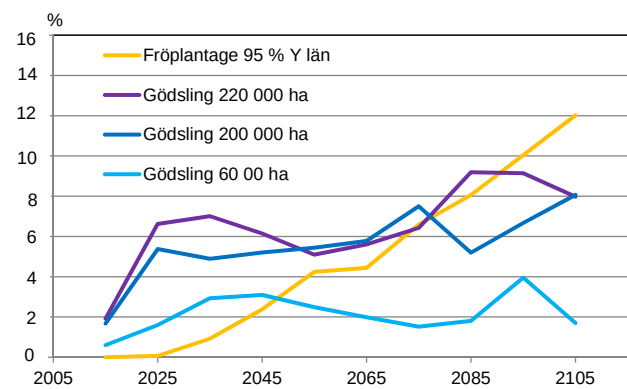
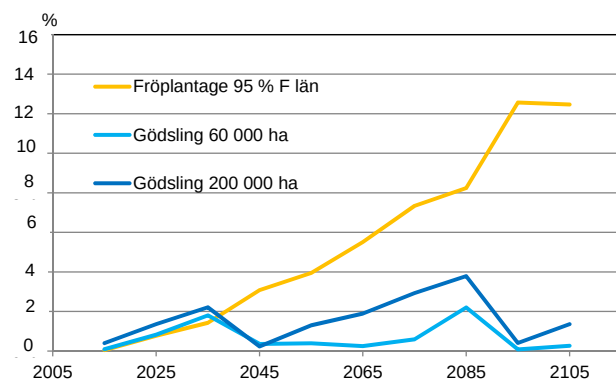
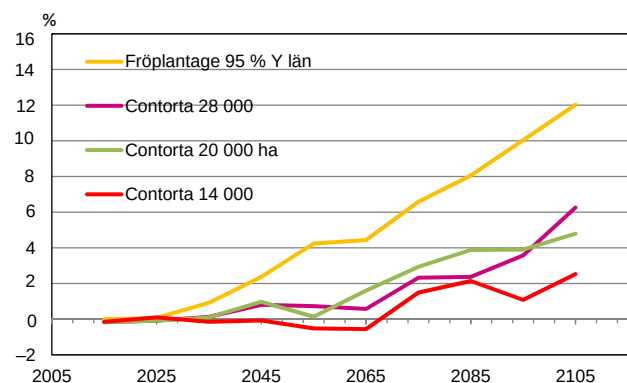
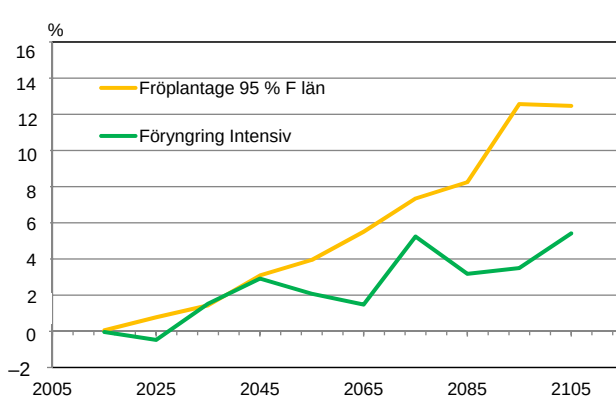
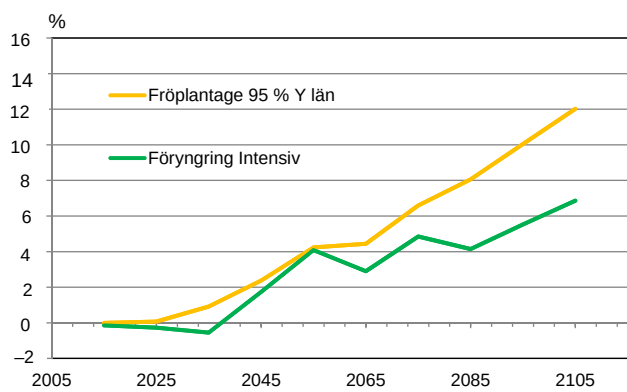
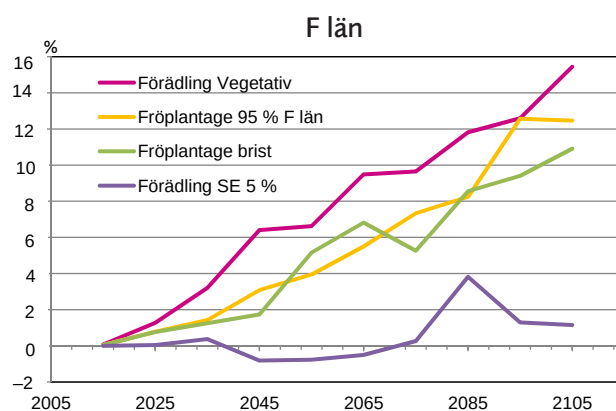
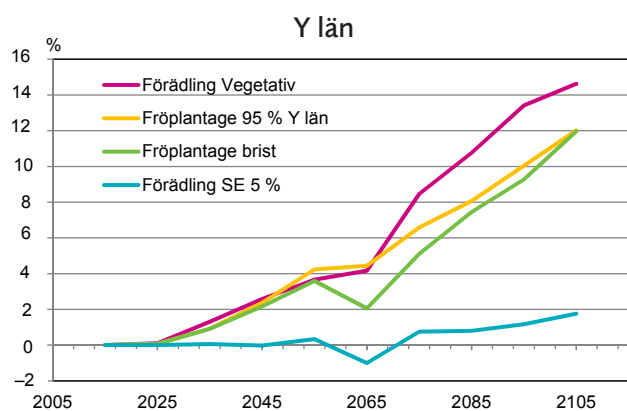
Föryngring Intensiv ökar tillväxten med 1,3 % under period 1-6 och 4,3-5,3 % under period 7-10 (tabell 7). På lång sikt är det ca 4 gånger mer än effekten av det rimliga gödslingsprogrammet men knappt hälften av förädlingseffekten.

Avverkningsökning i F och Y län

Den ökade tillväxten påverkar avverkningen (tabell 8) men skillnader i skogstillstånd mellan länen ger olika skogshushållningseffekter. I Y län finns en sjunkande tillväxttrend i jämförelsescenariot *Produktion 0* medan tillväxttrenden är stigande i F län (figur 6). Avverkningsökningen inträffar något senare än tillväxtökningen, vilket framgår om man jämför tabell 7 och 8 för period 1-6. Dels vill Huginsystemets avverkningsmodell undvika att tillväxten sjunker, dels utlöser ökad tillväxt först så småningom ökad avverkning. Under period 7-10, när tillväxtökningen byggts upp, leder den i F län till en relativt högre avverkning medan det motsatta inträffar i Y län. På så vis hjälper tillväxtökningen och en något lägre avverkningsökning till att återhämta den sjunkande tillväxttrenden i Y län. I F län med en stigande tillväxttrend i utgångsscenariot kan mer än tillväxtökningen avverkas när tillväxten ytterligare ökar.

Tabell 7. Ökad årlig tillväxt (1 000 m³sk) genom åtgärderna: *Intensifierad föryngring, Förädlade plantor, Contortatall* och *Gödsling*. Tillväxterna är beräknade som differenser mellan olika huvudscenarier markerade med fet stil. Procenttalen är beräknade i relation till referensscenariot Produktion 0 (vår referens).

	Period			
	1–6 (2010–2069)		7–10 (2070–2109)	
	1 000 m³sk	%	1 000 m³sk	%
<i>F-län</i>				
F SKA-VB 08 Produktion	5 893	13,7	7 736	35,6
F 1.1 Produktion 0 (Vår referens)	5 182	–	5 704	–
F 1.2 Föryngring Intensiv	69	1,3	247	4,3
F 2.0 Förädling Fröplantage Fröbrist	144	2,8	487	8,5
F 2.1 Förädling Fröplantage	134	2,6	580	10,2
F 2.0.1 Förädling Särplock				
F 2.1.1 Förädling SE på 5 %	–16	–0,3	93	1,6
F 2.2 Förädling Vegetativ	246	4,7	706	12,4
F 4.1 Gödsling 60 000 ha	32	0,6	45	0,8
F 4.2 Gödsling 200 000 ha	64	1,2	121	2,1
<i>Y-län</i>				
Y SKA-VB 08 Produktion	10 209	25,3	12 929	67,0
Produktion 0 (Vår referens)	8 145	–	7 741	–
Y 1.2 Föryngring Intensiv	105	1,3	414	5,3
Y 2.0 Förädling Fröplantage Fröbrist	119	1,5	654	8,4
Y 2.1 Förädling Fröplantage	163	2,0	710	9,2
Y 2.0.1 Förädling Särplock				
Y 2.1.1 Förädling SE på 5 %	–8	–0,1	87	1,1
Y 2.2 Förädling Vegetativ	160	2,0	914	11,8
Y 3.1 Contortatall 14 000 ha	–18	–0,2	140	1,8
Y 3.2 Contortatall 28 000 ha	24	0,3	271	3,5
Y 4.1 Gödsling 60 000 ha	172	2,1	140	2,2
Y 4.2 Gödsling 200 000 ha	383	4,7	531	6,9



Figur 7. Tillväxtökning i procent för var och en av de tillväxthöjande åtgärderna i jämförelse med scenariot Produktion 0 i Y och F län.

Tillväxtökning i Sverige

Här redovisas endast tillväxteffekterna från F och Y-län uppräknade till landsnivå. För att göra en landsomfattande avverkningsanalys skulle vi ha behövt analysera fler län. Det tar tid innan metoderna påtagligt ökar tillväxten i landets skogar (figur 8 och tabell 9). Gödsling i äldre skog är den enda metod som ger ökad tillväxt på riktigt kort tid och som därmed kan få omedelbar effekt på avverkningen i Huginsimuleringen. Vid stor gödslings-

areal gödglas emellertid även gallringsskog, varför det tar längre tid från insatt åtgärd till avverkning även för gödsling. Efter inte alltför lång tid når dock de jämför-elsevis stora tillväxteffekterna av förädlade plantor samma tillväxtökning som gödslingen (figur 8).

På lång sikt (period 7-10, 2070-2109) innebär plantering av förädlade plantor från fröplantager att tillväxten ökar med 9,7 % vilket ger 11,4 miljoner m³sk extra (tabell 9). Bristen på förädlad granfrö från fröplantager under de närmaste årtiondena minskar tillväxten med ca

Tabell 8. Ökad årlig avverkning (1 000 m³sk) genom åtgärderna: *Intensifierad föryngring, Förädlade plantor, Contortatall och Gödsling*. Tillväxterna är beräknade som differenser mellan olika huvudscenarier markerade med fet stil. Procenttalen är beräknade i relation till referensscenariot *Produktion 0* (vår referens).

	Period			
	1-6 (2010-2069)		7-10 (2070-2109)	
	1 000 m ³ sk	%	1 000 m ³ sk	%
<i>F-län</i>				
F SKA-VB 08 Produktion	4 525	9,2	6 461	40,2
F 1.1 Produktion 0 (Vår referens)	4 143	–	4 610	–
F 1.2 Föryngring Intensiv	62	1,5	225	4,9
F 2.0 Förädling Fröplantage Fröbrist	74	1,8	569	12,3
F 2.1 Förädling Fröplantage	98	2,4	520	11,3
F 2.0.1 Förädling Särplock				
F 2.1.1 Förädling SE på 5 %	–3	–0,1	165	3,6
F 2.2 Förädling Vegetativ	209	5,0	697	15,1
F 4.1 Gödsling 60 000 ha	49	1,2	112	2,4
F 4.2 Gödsling 200 000 ha	21	0,5	170	3,7
<i>Y-län</i>				
Y SKA-VB 08 Produktion	7 608	14,6	10 050	50,6
Produktion 0 (Vår referens)	6 641	–	6 671	–
Y 1.2 Föryngring Intensiv	54	0,8	277	4,2
Y 2.0 Förädling Fröplantage Fröbrist	92	1,4	440	6,6
Y 2.1 Förädling Fröplantage	101	1,5	508	7,6
Y 2.0.1 Förädling Särplock				
Y 2.1.1 Förädling SE på 5 %	5	0,1	36	0,5
Y 2.2 Förädling Vegetativ	104	1,6	666	10,0
Y 3.1 Contortatall 14 000 ha	–12	–0,2	82	1,2
Y 3.2 Contortatall 28 000 ha	8	0,1	150	2,2
Y 4.1 Gödsling 60 000 ha	135	2,0	150	2,3
Y 4.2 Gödsling 200 000 ha	290	4,4	423	6,3

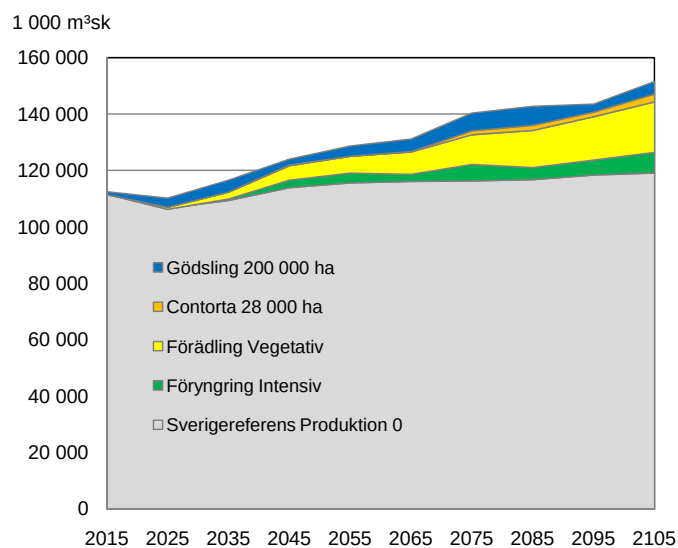
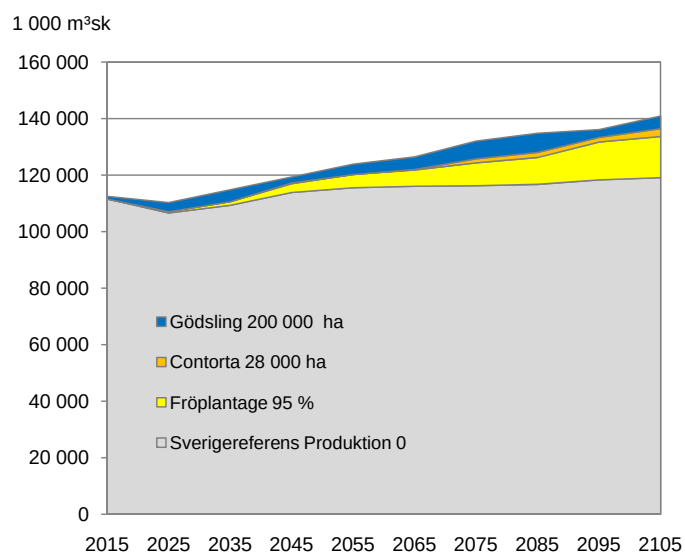
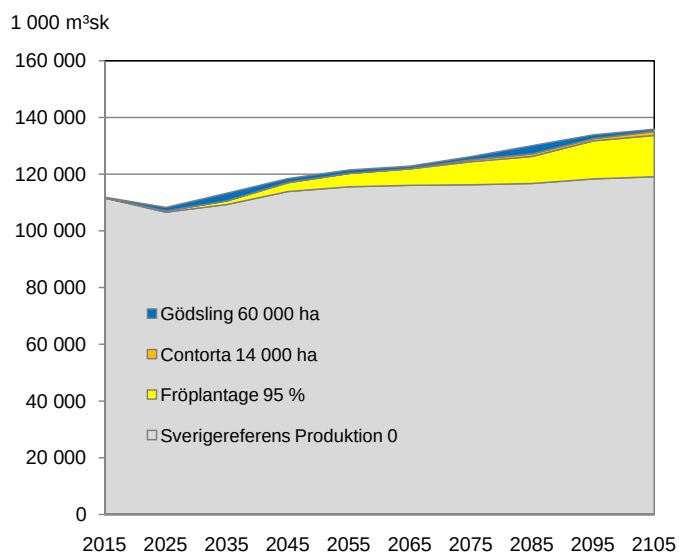
1,4 miljoner m³sk. Det skulle kunna kompenseras med SE-plantor på 5 % av arealen som ger 1,5 miljoner m³sk extra. I realiteten skulle tillväxteffekten bli något större eftersom den redovisade jämförelsen är gjord vid god tillgång på plantagefrö där SE-plantor ersätter fröplantageplantor och inte oförädlade beståndsfröplantor. Med en fungerande vegetativ förökningsmetod som gör att förädlingsframsteget kan realiseras snabbare än med fröplantager beräknas tillväxtökningen till 12,1 % eller 14,3 miljoner m³sk extra. Plantering av contortatall enligt nuvarande bestämmelser på 14 000 ha skulle ge drygt

0,9 miljoner m³sk extra och 2,0 miljoner m³sk extra om arealen fördubblas. Gödslingen skulle långsiktigt ge 1,5 till 5,1 miljoner m³sk beroende på gödslingsarealen i intervallet 60 000 till 200 000 ha per år.

På lång sikt ger intensiv förökningsring 5,7 miljoner m³sk extra, viket är ungefär lika mycket som det intensiva gödslingsprogrammet. Resultatet är kanske inte helt realiserbart då förökningsintensiteten i utgångsscenarioet Produktion 0 redan är hög i jämförelse med scenariot Referens i SKA-VB 08 (tabell 2).

Tabell 9. Ökad årlig tillväxt (1 000 m³sk) för Sverige genom åtgärderna *Intensifierad förökningsring*, *Förädlade plantor*, *Contortatall* och *Gödsling*. Tillväxterna är beräknade som differenser mellan olika huvudscenarier markerade med fet stil. Sverigevärdena är uppskalade från F och Y län. Procenttalen är beräknade i relation till referensscenariot *Produktion Sverige 0* (vår referens).

	Period			
	1–6 (2010–2069)		7–10 (2070–2119)	
	1 000 m ³ sk	%	1 000 m ³ sk	%
SKA-VB 08 Produktion	132 547	19,1	173 021	45,7
Produktion Sverige 0 (Vår referens)	112 195	–	117 633	–
Y 1.2 Förökningsring Intensiv	1 461	1,3	5 696	4,8
Y 2.0 Förädling Fröplantage Fröbrist	2 348	2,0	10 012	8,5
Y 2.1 Förädling Fröplantage	2 561	2,2	11 393	9,7
Y 2.1.1 Förädling SE på 5 %	–188	–0,2	1 463	1,3
Y 2.2 Förädling Vegetativ	3 704	3,2	14 252	12,1
Y 3.1 Contortatall 14 000 ha	24	0,0	947	0,8
Y 3.2 Contortatall 28 000 ha	47	0,0	1 994	1,6
Y 4.1 Gödsling 60 000 ha	1 277	1,1	1 544	1,3
Y 4.2 Gödsling 200 000 ha	3 118	2,8	5 086	4,3



Figur 8. Beräknad årlig tillväxtökning för hela landet för olika intensitetsnivåer av *Föryngring*, *Förädling*, *Contortatall* och *Gödsling*.

Tillväxteffekt av historiska planteringar

I tidigare konsekvensanalyser med SKA 03 som utgångspunkt gjordes ett försök att beräkna den långsiktiga tillväxteffekten av de föryngringar med förädlade plantor och mer högproducerande provenienser som genomförts före beräkningsperioden och som inte fångas av Riksskogstaxeringens ytor i fält och Huginssystemets prognos-ekvationer. Tillväxtökningen uppskattades att vara 3-4 % de närmaste 50 åren för att sedan minska till 1 % i takt med att dessa skogar avverkas (Rosvall m.fl. 2004a). Under perioden mellan SKA 03 och SKA-VB 08 har det tillkommit nya bestånd med förädlade plantor, men samtidigt bör de äldsta planteringarna ha börjat sätta spår i Riksskogstaxeringens provytor. Förmodligen är denna dolda tillväxteffekt oförändrad.

Naturvårdseffekter

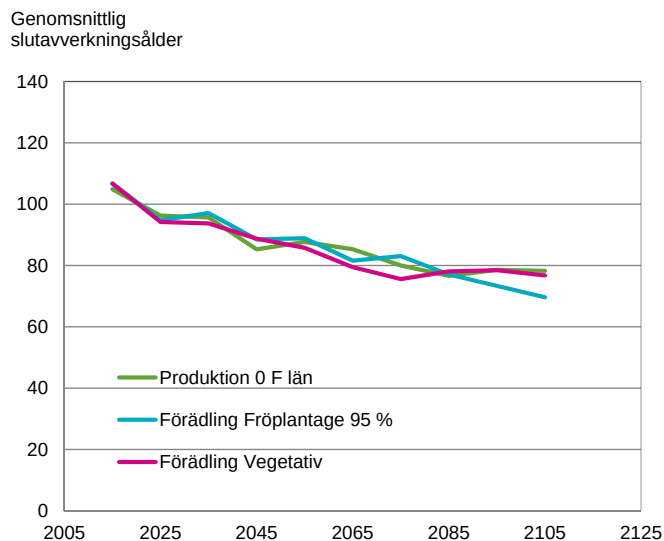
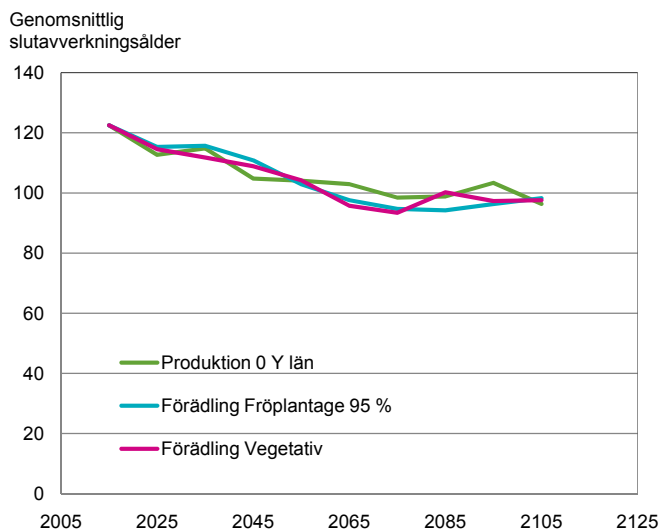
Skogsskötseln i SKA-VB 08 sker med naturhänsyn enligt den svenska modellen och i enlighet med målen för natur- och miljövård. Om 100 år är skogstillståndet mycket annorlunda mot i dag enligt SKA-VB 08 i jämförelse med de små effekter som uppstår av de simulerade förändringarna av skogsskötseln i scenarierna. Det sker t.ex. stora förskjutningar i trädslagsfördelningen mellan tall och gran som inte beror på de här analyserade skötselmetoderna (Skogsstyrelsen, 2008). Virkesförrådet ökar generellt (främst genom naturvårdshänsynen) men

förändras inte av den ökade tillväxten och avverkningen i de olika produktionsintensiva scenarierna.

Lövträdsandelen är viktig för naturvärdena och kan tänkas förändras av skötselmetoderna. Andelen lövträd av virkesförrådet i jämförelsescenariot *Produktion 0* i Y-län ökar från 20,6 till 21,9 % under 100-årsperioden medan den minskar i F-län från 15,3 till 13,1 %. Varken plantering av förädlade plantor, contortatall eller gödsling förändrar lövträdsandelen. I båda länen är det endast det intensiva föryngringsprogrammet som leder till en något lägre lövträdsandel, 18,6 % i Y-län och 9,1 % i F-län om 100 år.

Vi har inte analyserat arealen gammal skog eller mängden gamla och grova träd eller död ved. Då samtliga intensiva scenarier har simulerats med samma naturvårdsavsättningar och naturvårdshänsyn som i SKA-VB 08 finns det dock ingen anledning till att dessa kriterier skulle skilja sig mellan de här analyserade scenarierna (Skogsstyrelsen, 2009).

Växtförädling och användning av contortatall syftar till kortare växttider men det framkommer inga tydliga förändringar i de här Huginssimuleringarna jämfört med de långsiktiga förändringarna i utgångsscenariot (figur 9). Produktionsskogens ålder vid föryngringsavverkning i F-län minskar under 100-årsperioden från 105 år till knappt 80 år i samtliga scenarier. I Y-län minskar åldern vid föryngringsavverkning från ca 120 till knappt 100 år.



Figur 9. Genomsnittliga slutavverkningsåldrar för olika förädlingsscenarier i jämförelse med utgångsscenariot *Produktion 0*.

Diskussion

Tillväxteffekter

Förädlingseffekterna uppräknade till landsnivå är mycket lika landssiffrorna från SKA-VB 08 (Skogsstyrelsen 2008) och dem från tidigare analyser med SKA 03 som utgångspunkt (Rosvall m.fl., 2004a och b). Effekterna av contortatall och gödsling är inte särredovisade i SKA-VB 08. I tidigare analyser var tillväxtökningen av contortatall betydligt högre i Y-län och därmed även siffrorna för landet som helhet efter uppräkningsplaneringen. Plantering av 14 000 och 28 000 ha per år gav tidigare 2,3 respektive 3,5 % högre tillväxt vilket motsvarade 2,0 respektive 3,5 miljoner m³sk. Tillväxtökningen av gödsling var 1,1 och 4,0 % för intensitetsnivåerna 60 000 och 220 000 ha per år eller ca 1,0 och 3,5 miljoner m³sk per år (Rosvall m.fl., 2004a).

För att kontrollera effekterna har vi gjort några överslagsberäkningar. Om SE-plantor med 40 % tillväxtökning ersätter fröplantageplantor med 20 % tillväxtökning på bonitet G28 ökar tillväxten med 1,4 m³sk/ha och år. Med plantering av 20 000 ha per år i 60 år beskogas 1,2 miljoner ha. Det skulle på lång sikt öka tillväxten i Sverige med ca 1,7 miljoner m³sk/år, vilket är något mer än simuleringarnas 1,5 miljoner m³sk (tabell 9).

Contortatall med 20 % förädlingseffekt växer 55 % bättre än oförädlad tall. Med hänsyn till att tallplantorna har samma förädlingsgrad skulle contortatallena öka tillväxten med 1,6 m³sk/ha och år på norrländska tallmarker. Uppskalat till 14 000 ha och 60 års omloppstid skulle det ge en långsiktig tillväxtökning av totalt ca 1,4 miljoner m³sk/år. Det indikerar att simuleringarnas knappt 1 miljon m³sk är ett lågt utfall för contortatall. Ett skäl till lägre effekt i Huginssimuleringarna är att gran- och contortaskogarna inte är trädslagsrena. Men det kan inte vara hela förklaringen.

Vi kontrollerade därför contortaresultatet genom att även studera AC-län med Huginssystemet. Länet delades på kust och inland. Med antagande om 60 års omloppstid gav contortatallena i genomsnitt 1,5 m³sk extra per ha och år. Som förväntat var effekten något större i kustlandet än i inlandet till följd av bonitetsskillnaderna. Det var 36 % mer än på motsvarande sätt beräknad effekt om 1,1 m³sk extra per ha och år i Y-län. En orsak kan vara den i Y-län långsiktigt sjunkande tillväxten om inga tillväxthöjande åtgärder införs. Den trenden skapar en komplicerad avvägning mellan tillväxt och avverkning för att möta

Huginssystemets önskemål om jämn eller ökad avverkning, vilket påverkar den marginaleffekt av contortatall som synliggörs. Med hänsyn till resultaten från både Y och AC-län är en rimlig uppskattning för landet som helhet att contortatall på lång sikt kan öka tillväxten med 0,95-1,30 miljoner m³sk eller med 0,8-1,1 % vid plantering av 14 000 ha per år. Om planteringsarealen dubblas till 28 000 ha per år dubblas också tillväxtökningen.

En genomsnittlig gödslingseffekt i stordrift kan uppskattas till 15 m³sk under den 10-åriga reaktionsperioden. Med gödsling av 60 000 ha per år skulle effekten bli 0,9 miljoner m³sk i landet och med 200 000 ha 3,0 miljoner m³sk. Det stämmer bra med simuleringarna för de första sex 10-årsperioderna. Sedan ger simuleringarna högre effekter (tabell 9). En förklaring kan vara att bättre förnygrade och förädlade skogar vuxit in i lämplig ålder för gödsling i slutet av 100-årsperioden, vilket leder till gynnsamma samspelseffekter.

Våra begränsade simuleringar med två län som representanter för Sverige gör att resultaten är osäkra i sina detaljer. De är emellertid tillräckligt tillförlitliga för att visa att förädlade plantor kan öka tillväxten i hela landet med ca 10 miljoner m³sk eftersom de kan planteras på huvuddelen av förnygringsarealen. Det är uppemot 10 gånger större tillväxtökning än för både contortatall, som har betydligt större tillväxt men som bara är tillåten på en begränsad areal, och en bedömd rimlig nivå på skogsgödsling.

Tillväxtökningen genom förädlade plantor skulle kunna öka ytterligare om nuvarande brist på granplantagefrö kunde avhjälpas och om hela nuvarande tillåtna areal för plantor framställda genom vegetativ förökning av de bästa granmaterialen utnyttjades. De åtgärderna skulle var och en öka tillväxten mer än den bedömda rimliga skogsgödslingen. Allra störst effekt skulle det bli om systemet med fröproduktion i fröplantager kunde ersättas med vegetativ förökning av små fröpartier framställda genom korsning av förädlingsprogrammets successivt allt bättre träd. Då kunde man minska väntetiden avsevärt från det att en fröplantage anläggs till dess skogsplantor kan planteras. Dessutom kan den negativa effekten av inkommande oförädlad pollen i plantagerna elimineras. Det skulle öka tillväxten med ytterligare ca 4 miljoner m³sk, motsvarande det mest intensiva gödslingsprogrammet. Det skulle dessutom kunna ske genom att föröka

högförädlade fröpartier med stor genetisk diversitet så att den genetiska variationen i skogsbestånden inte minskar.

Bevarad diversitet med vegetativ förökning

Vegetativ förökning som den utformats i denna studie är en metod som inte bara kan tillämpas inom ramen för intensivskogsbruk utan som kan ges en mycket bredare tillämpning. Visserligen tillämpas kloning vid vegetativ förökning men det handlar här om att uppföröka fröpartier med stor diversitet, inte enstaka kloner som vid klonskogsbruk. Vid typiskt klonskogsbruk planteras ett starkt begränsat antal väl utprovade grankloner. Några 10-tal kloner massförökas med miljontals kopior under flera år innan nya kloner introduceras. Även om den mätbara synliga genetiska variationen kan upprätthållas, begränsas den genetiska diversiteten mätt på gennivå (allelriktighet). Om man istället använder vegetativ förökning för att "bulkföröka" utvalda fröpartier, kan den genetiska diversiteten bevaras på en hög nivå (minst samma som i planter från fröplantager) medan urvalsvinsten blir något lägre än för klonskogsbruk. För att få samma plantmängd som i exemplet ovan kan man med bulkförökning utgå från 1 000-tals nya utgångsplanter varje år som kopieras 10 000 gånger. Eftersom bulkförökning bevarar diversiteten får den inte klonskogsbrukets konsekvenser och skulle således inte behöva begränsas av nuvarande regler.

Intensivskogsbruk

Både i SKA-VB 08 och i MINT-utredningen studeras intensivskogsbruk på en begränsad areal, bl.a. genom upprepade gödsling med start i 2-3 m hög granungskog, s.k. behovsanpassad gödsling, BAG (Skogsstyrelsen, 2009; Larsson m.fl., 2009). I SKA-VB 08 införs BAG under 50 år på 5 % av skogsmarken. Det ökar tillväxten redan efter 30 år till en nivå som sedan varierar mellan 4,9 och 5,8 % ökad tillväxt. Det är samma effekt som redovisats av Rosvall (2007). Långsiktigt är det ungefär hälften av vad som kan åstadkommas med förädlade planter på huvuddelen av arealen.

I MINT-utredningen tillämpas intensivskogsbruk genom BAG, vegetativt förökad högförädlad gran samt contortatall på 15 % av skogsmarken. Dessa 3,5 miljoner ha

är särskilt utvalda för att ha låga naturvärden. Ganska oberoende av metod eller metodmix ökar tillväxten då med 10 miljoner m³sk per år. Det är alltså lika mycket som med förädlade planter enligt vår utredning. Då har det tagits hänsyn till att ungefär halva tillväxtökningen i MINT-utredningen uppkommer genom att bestånden anläggs snabbt och att de får 2 000 stammar per ha av det planterade trädslaget mätt några år före gallring (en trädslags-, täthets- och tidsvinst). MINT-utredningens 3,5 miljoner intensivt skötta hektar skogsmark är dessutom en form av nettoareal där små områden med impediment och naturvårdshänsyn avräknats. I SKA-VB 08 och vår analys simuleras föryngringsinsatserna mer verklighetsnära, på all typ av mark avsedd för virkesproduktion och simuleringarna inkluderar hänsynsåtgärder i produktionsskogen. Det finns fler skillnader som gör att utredningarna inte är riktigt jämförbara. Både i SKA-VB 08 och MINT-utredningen sker beräkningarna under inflytande av ett successivt allt varmare klimat. Men resultaten visar att det behövs mycket omfattande skötselinsatser för att nå samma tillväxtökning med intensiva metoder på en begränsad areal som med förädlade planter på en större.

Vi vill också uppmärksamma den stora tillväxteffekten av bra föryngringar som framkommer i både MINT-utredningen och de här beräkningarna. Från en redan intensiv nivå i Produktionsscenariot finns det utrymme att ytterligare öka tillväxten med mer än 5 miljoner m³sk. Ökad kvalitet i föryngringsarbetet är inte bara en bas för intensiva metoder utan generellt den viktigaste åtgärden för att långsiktigt öka tillväxten i landets skogar.

Ekonomi

Det är stor skillnad i ekonomi mellan att använda förädlade planter och andra tillväxthöjande metoder. Förädlade planter kostar mindre än 100 kr extra per ha, contortatall kostar inget extra medan en gödsling kostar ca 3 000 kr per hektar. Hög lönsamhet för förädlade planter och contortatall leder till att markvärdet ökar (Rosvall m. fl., 2006). Den nuvarande skogen ska då med sin tillväxt förränta sitt eget kapital plus det högre markvärdet. Med ett höjt markvärde kan nuvarande tillväxt inte förränta det större kapitalet lika länge som tidigare. Den nuvarande skogen blir därmed avverkningsmogen något tidigare. Det blir således lönsamt att snabbare

ersätta gammal skog med ny vars tillväxt är högre. Dessa tillväxthöjande metoder ökar alltså inte bara de långsiktiga avverkningsmöjligheterna utan även de kortsiktiga. Den effekten uteblir om investeringarna i ökad tillväxt är så höga att markvärdet inte höjs påtagligt, som t.ex. för BAG. De här ekonomiska effekterna framkommer inte i analyserna med Huginsystemet där avverkningarna styrs på annat sätt.

Natur- och miljöeffekter

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

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

Kortare omloppstid leder långsiktigt till en större årlig avverkningsareal. Visserligen blir träden i den mogna skogen lika stora men de är yngre och varje utvecklingsstadium går fortare, även hyggesfasen. Ökad tillväxt och ökade virkesuttag innebär i princip ökad markförurning. Modellstudier av ökad tillväxt under lång tid i hela landskap visar på ökad kolinlagring, minskad mängd grov död ved men ingen tydlig effekt på avrinningsvattnets kväveinnehåll (Weslien m.fl., 2009).

Även om förädlade träd eller bestånds direkta effekt på andra organismer i ekosystemet inte studerats i någon större omfattning så bedöms det inte föreligga några märkbara effekter på biologisk mångfald med dagens skogsodlingsmaterial (Rytter, m.fl. 2009). Inte heller vid ett tänkt klonskogsbruk med klonblandningar är det trädens genetik utan omfattningen i landskapet och

sammanhanget med intensivt skogsbruk som kan vara negativt för den biologiska mångfalden (Sonesson m.fl., 2001).

Om den ökade tillväxten skulle bero på att förädlade träd kan bygga upp en större barrmassa per hektar, som i exemplet med den snabbväxande contortatallen jämfört med vanlig tall, skulle förädlade skogar vara mörkare och därmed påverka utrymmet för tillväxt hos andra autotrofa organismer (Andersson m.fl., 1999). Men ökad tillväxt kan uppkomma på olika sätt. Träden kan som contortatall eller gran absorbera en större andel av inkommande solenergi men de kan också omvandla solenergi effektivare, fördela mer av assimilatet på stamtillväxt eller förlora mindre tillväxt genom minskad avgång och skador. Själva tillväxten kan pågå under längre tid under vegetationsperioden eller ske snabbare under en kortare tid. Skogs-trädförädlarna arbetar med hypotesen att under många generationer av förädling så bidrar alla dessa faktorer till ökad tillväxt och att inflytandet från faktorerna varierar från träd till träd. Det är i linje med det faktum att nästan alla gener på ett eller annat sätt påverkar tillväxtförmågan, inte bara några få tillväxtgener.

Det finns särskilda miljökonsekvensbeskrivningar för contortaanvändning, klonskogsbruk (som är en extrem form av användning av förädlad material) och för skogsgödsling (Andersson m.fl., 1999; Sonesson m. fl., 2001; Högbom m.fl., 2002) och miljökonsekvenserna har nyligen analyserats i MINT-utredningen (Larsson m.fl., 2009). Utredningarna pekar på att det inte uppkommer några allvarliga effekter av metoderna i den omfattning de tillämpas i de här scenarierna. Dessutom finns det anvisningar för att minimera de negativa effekterna.

Realiserbarhet

I vad mån kan produktionshöjningarna komma till stånd? Förädlingen kräver väldigt små insatser för att få genomslag. De flesta plantor som säljs kommer från fröplantager och de kostar bara något öre extra om merkostnaden tas ut. Vegetativ förökning sker i dag med sticklingar men förväntningen är att vegetativ förökning blir riktigt storskaligt först när SE-plantor bli tillgängliga på marknaden. De kommer att öka plantpriset och den framtida omfattningen är svårbedömd. Contortaplantor kostar inte något extra men trädslaget är kontroversiellt och dess användning begränsas av skogsvårdslagen och

certifieringsstandarder. Ökad plantering med contortatall förutsätter dels en politisk omvärdering, dels aktiva beslut av markägarna. Gödsling är en mer omfattande åtgärd än att byta plantor men lockar med hög lönsamhet. Gödslingsaktiviteten inom privatskogsbruket är trots den höga räntabiliteten en mycket osäker faktor. Gödslingen begränsas också av miljöbetingade allmänna råd från Skogsstyrelsen och av certifieringsorganen. På lång sikt är det därför rimligt att räkna med att växtförädlingen verkligen kan komma att öka avverkningsmöjligheterna eller, om man så vill, skapa utrymme för ökade naturvårdsinsatser medan det är mer osäkert i vilken utsträckning contortatall och gödsling kommer att bidra till detta.

Referenser

- Andersson, B., Engelmark, O., Rosvall, O. & Sjöberg, K. 1999. Miljökonsekvens-beskriv-ning (MKB) av skogsbruk med contortatall i Sverige. SkogForsk, Redogörelse Nr 1, 1999.
- Elfving, B. 1982. HUGIN's unskogstaxering 1976–1979. Projekt HUGIN Rapport nr 5, Sveriges Lantbruksuniversitet, Skogsvetenskapliga fakulteten), 128 s. Umeå.
- Högbom, L. & Jacobson, S. 2002. Kväve 2002 – en konsekvensbeskrivning av skogsgöds-ling i Sverige. Skogforsk, Redogörelse nr 6, 2002. 42 s.
- Larsson, S., Lundmark, T. & Ståhl, G. 2009. Möjligheter till intensivodling av skog. Slutrapport regeringsuppdrag JO 2008/1885. SLU 136 s.
- Lundström, A., Rosvall, O. & Elfving, B. 2006. Regionala effekter på skogsproduktionen om granskog omförs till björkskog. I: Bo Karlsson och Lars Lönnstedt. Strategiska skogsbruksval – analys av två alternativ till trakthyggesbruk med gran. Skogforsk, Arbetsrapport nr 609, 2006, 139 s.
- Rosvall, O. 2007. Produktionspotentialen är betydligt högre än dagens tillväxt. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademins Tidskrift nr 4, 2007. s 13-30.
- Rosvall, O. & Wennström, U. 2008. Förädlingseffekter för simulering med Hugin i SKA 08. Skogforsk, Arbetsrapport nr 665, 2008, 38 s.
- Rosvall, O., Jacobson, S., Karlsson, B. & Lundström, A. 2004a. Ökad produktion - trots ökad naturvård? I Utvecklingskonferens 2004. Skogforsk, Redogörelse nr 1, 2004, 23-38.
- Rosvall, O., Jacobson, S., Karlsson, B. & Lundström, A. 2004b. Ökad avverknings-potential med intensivare skogsskötsel. Skogforsk, Resultat nr 10, 2004. 4 s.
- Rosvall, O., Bergström, R., Jacobson, S., Pettersson, F., Rosén, K., Thor, M. & Weslien, J. 2004c. Ökad produktion i familjeskogsbru- ket – analys av tillväxthöjande och skadeförebyggande åtgärder. Skogforsk, Arbetsrapport 574, 2004, 97 s.
- Rosvall, O., Peichen, G. & Simonsen, R. 2006. Den gamla skogen står i vägen för den nya. I Utvecklingskonferens 2006. Skogforsk, Redogörelse nr 2, 2006, s. 94-104.
- Rytter, L., Hannerz, M., Högbom, Ring, E. & Weslien J.-O. 2009. Ökad produktion i Svenska kyrkans skogar med hänsyn till miljö och sociala värden. Skogforsk, Arbetsrapport nr 684, 2009, 94 s.
- Skogsstyrelsen. 2000. Skogliga konsekvensanalyser 1999 – Skogens möjligheter på 2000-talet. Skogsstyrelsen, Rapport 2 2000, 331s.
- Skogsstyrelsen. 2004. Skogliga konsekvensanalyser 2003 – SKA 03. Skogsstyrelsen, Rapport 2 2004, 52 s.
- Skogsstyrelsen. 2008. Skogliga konsekvensanalyser 2008 – SKA-VB 08. Rapporter 2008:25. 145 s.
- Sonesson, J., Bradshaw, R., Lindgren, D. & Ståhl P. 2001. Ecological evaluation of clonal forestry with cutting-propagated Norway spruce. Skogforsk Report No 1. 2001. 58 p.
- Weslien, J., Finér, L., Jönsson, J. Å., Koivusalo, H., Laurén, A., Ranius, T. & Sigurdsson, B.D. 2009. Effects of increased forest productivity and warmer climates on carbon sequestration, run-off water quality and accumulation of dead wood in a boreal landscape: A modeling study. Scandinavian Journal of Forest Research 24: 333–347.

Bilaga 1

Beräkning av genetiska vinster

Fröplantagevinster

När effekten av fröplantageplantor simulerades i SKA-VB 08 beaktades de be-fintlga plantagerna och deras frö-produktion fram till 2040 enligt Rosvall & Wennström (2008). Under den perioden skedde ett byte från äldre till yngre plantager på ett optimalt sätt. Hänsyn togs till frötillgången samt plantagernas beräknade genetiska vinst med hänsyn till ålder och grad av inkorsning av bakgrundspollen.

När framtida nya plantager simulerades beräknades de komma i drift 20 år efter förädlingsframstegen samt ha 40 % inkorsning av bakgrundspollen. Nya förädlingsframsteg i förädlingspopulationen skedde vart 20:e år med start år 2000 på genetiska nivån +24 %. En utjämn-ning mellan år gjordes för att man i praktiken har ett mer anpassat system för fröförsörjning från olika källor och för att framstegen kommer vid olika tid i olika län etc. På så sätt kanske vi uppnådde de successivt högre förädlingsvinster lite för tidigt, men i Hugins resultat för de när-maste 100 åren spelar det liten roll vilken förädlingsvinst som används under senare delen av 100-årsperioden.

I scenariot Referens i SKA-VB 08 användes tabell 7a för tall och 7b för gran från Rosvall & Wennström (2008). I den version av tabell 7a som finns i den tryckta rapporten är de framtida tallvinsterna (2040-2109) inte utjämnade över tiden. I SKA-VB 08 användes originaltabellen med utjämnning.

I scenariot Produktion i SKA-VB 08 tillämpade vi särplockning enligt tabell 9. Eftersom det är överskott på tallfrö behöver inte allt frö skördas. Den genetiska vinsten i tabell 7a bygger därför på att bara de bästa plantagerna plockas, medan vinstsiffrorna i tabell 9 innebär särplockning på trädnivå för att täcka fröbehovet. För gran var det fröbrist och allt granfrö användes enligt en hushållningsplan där vissa plantager flyttades till angränsande zoner och därmed län.

I vårt scenario Produktion 0 tillämpade vi tabell 7a för tall (den utjämnade varianten) och för gran användes tabell 7b (men utan fröbrist).

Nya Beräkningar för vegetativ förökning

En nackdel med fröplantager är att det tar ca 20 år från det att förädlarna gör ett förädlingsframsteg i föräd-lingspopulationerna till dess det finns förädlade plantor i full praktisk skala. Nya vegetativa förökningsmetoder kan eliminera denna tidsförlust. När man tidigare lägger vinsterna på detta sätt blir det viktigt att vara noggrann med vinstutvecklingen över tiden. Därför gjordes nya beräkningar av den genetiska vinsten.

Provenienseffekten minskar förädlings-utrymmet

Förädlings-effekterna beräknades i jämförelse med den genetiska nivå som finns i de ursprungspopulationer som plu-sträden är hämtade från. I Hugin ska jämförelse göras med genetisk nivå för träd med lokal proveniens efter-som de är representerade i Hugins ungs-kogs-databas eller i de tillväxtfunktioner som används. Provenienseffekten innefattar både att urval av plu-sträd kan ha skett i en bättre proveniens än den lokala och att förädlade plantor förflyttas enligt nuvarande rekommendationer.

Inför de här simuleringarna har beräkningarna av kombinationen proveniens- och förädlingsvinst följt en modifierad modell jämfört med den som redovisades av Rosvall & Wennström (2008). Provenienseffekten be-traktas här som ett framsteg som sker i ett steg i och med att man väljer en bättre proveniens för fortsatt förädling samt att den effekten minskar utrymmet för framtida förädlingsframsteg genom urval i motsvarande grad. I t.ex. norra Sverige innebär nordförflyttning av gran att tillväxtperioden utnyttjas bättre. Vi räknade med att det ger en realiserad vinst av +5 % för de förädlade plan-torna. Effekten tänks bevarad under lång tid. Den nya modellen innebär att det därmed inte finns motsvarande framtida förädlingsutrymme för att optimera tillväxtpe-rioden utan "bara" för ökad tillväxthastighet. I t.ex. södra Sverige innebär införandet av sydost- och ostprovenienser förändrad tillväxtperiod och frostkänslighet, vilket ger en realiserad vinst av +7,0 % för plu-sträd valda i dessa populationer. På motsvarande sätt minskar utrymmet att förbättra dessa egenskaper i fortsatt förädling. Modellen innebär att låta provenienseffekten bestå men att minska utrymmet för förädlingsframsteget med avklingande verkan. I beräkningarna sker avklingningen med 2,5 procentenheter per generation.

Urvalseffekter vid vegetativ förökning

För att analysera konsekvenserna av att producera plantor med den genetiska vinst som råder vid förädlingsfronten gjordes först ett urval i förädlingspopulationerna som motsvarar urvalet till en fröplantage med effektivt antal motsvarande Ns 15 (Statusnummer Ns är ett teoretiskt mått på en populations/fröplantags genetiska diversitet uttryckt som det antal obesläktade icke inavlade träd som har samma diversitet som träden i den aktuella populationen/fröplantagen). Syftet är att bibehålla samma genetiska diversitet som för fröplantager. Det innebär att redovisade vinster för fröplantager korrigeras för utebliven inkorsning och för den s.k. fröplantageeffekten (2 procentenheter) samt att vinsterna tidigareläggs med den tid det tar från förädlingsframsteg till dess en fröplantage är i full produktion.

För tall och gran är väntetiden till plantor från fröplantager 15 respektive 20 år. För scenariot Förädling Vegetativ tidigarelades vinsten med 10 år för tall och 15 år för gran för att tillåta 5 år för massförökning till plantor.

För framtida utveckling av förädlingsprogrammet har vi hittills räknat med en 20-årig förädlingscykel. Även om den cykeltiden skulle vara möjligt kan man kanske inte upprätthålla samma vinstökning per år i senare cykler. För att ta hänsyn till detta förlängdes förädlingscykeln från 20 till 25 år i de här beräkningarna.

Beräkningen av förädlingsvinster utgår vanligtvis från förädling av en egenskap. I verkligheten förädlas för flera egenskaper och då blir framsteget i varje enskild egenskap lägre (även om värdet av det totala framsteget ökar). Här vill vi på samma sätt som i Rosvall & Wennström (2008) renodla förädlingsframsteget för en egenskap, tillväxt. För fröplantagerna reducerades vinsten för att enbart avse tillväxt genom att inte tillämpa urval ur fler populationer, vilket innebär 2-3 procentenheter reducerad vinst.

Förädling Vegetativ för plantor till all mark

Den genetiska vinsten för simulering av bulksticklingar i SKA-VB 08 enligt Rosvall & Wennström (2008) hade följande komponenter:

- 2 % utebliven effekt av fröplantage
- +3 % urval i flera populationer
- +1,5 % i södra Sverige pga. större urvalsbas
- ×0,9 reduktion för att vi väljer för fler mål
- +5 år för blomning och korsning
- +5 år ytterligare för sticklingsproduktion

Genomsnittligt basår för generation F1 är 2015 i södra Sverige och 2020 i norra Sverige.

Scenariot Förädling Vegetativ avser en tänkt vegetativ förökningsmetod, t.ex. billiga SE-plantor för plantor till all areal och både tall och gran. Då krävs hög diversitet.

Följande justeringar av tidigare beräkningar gjordes:

- Förädlingscykeln ändrades från 20 till 25 år.
- Urval i flera populationer + 3 % togs bort (ett sätt att reducera urvalsintensiteten).
- Inget behov av 5 år för sticklingsproduktion.

Därefter återstod:

- 2 % utebliven effekt av fröplantage.
- +1,5 % i södra Sverige pg av större urvalsbas.
- ×0,9 reduktion för att vi väljer för fler mål.
- +5 år till SE-plantor i backen

Förädling SE-plantor på 5 % av arealen

För att Simulera ett mer "intensivt" alternativ med beskogning av 5 % av arealen simulerades ett hårdare urval genom att faktorn +3 % för urval i fler populationer adderades till vinsterna för scenariot Förädling Vegetativ.

TIDIGARE REDOGÖRELSE FRÅN SKOGFORSK

2010

- Nr 1 Bergkvist, I.: Drivare i svenskt skogsbruk
- Nr 2 Pettersson, F. Bergström, R. Jernelid, H. Lavsund, S. Wilhelmsson, L.: Älgbetning och tallens volymproduktion.
- Nr 3 Almqvist, C. Wennström, U. Karlsson, B.: Förädlad skogsodlingsmaterial 2010-2050.

2008

- Nr 1 Furness-Lindén, A.: Affärsutveckling i relationen stor kund / liten leverantör – vad kan skogsbruket lära?
- Nr 2 Simonsen, R. Rosvall, O. Gong, P.: Lönsamhet för produktionshöjande skogsskötselåtgärder.
- Nr 3 Ring, E. Löfgren, S. Sandin, L. Högbom, L. Goedkoop, W.: Skogsbruk och vatten – en kunskapsöversikt.
- Nr 4 Pettersson, F.: Effekt av gallringsform i tallförsöket Kolfallet
- Nr 5 Möller, J.J. Arlinger, J. Hannrup, B. Jönsson, P.: Virkesvärdestest 2006
- Nr 6 Thorsén, Å. Frisk, M. Furness-Lindén, A. Iwarsson, M. Thorsén, Å.: Snabbare tillämpning av FoU-resultat i skogsbruket

2007

- Nr 1 Bergkvist, I.: Stråkröjning i praktisk drift 2005-2006.
- Nr 2 Brunberg, T.: Underlag för produktionsnorm för extra stora engreppsskördare i slutavverkning.

2006

- Nr 1 Kroon, J. Rosvall, O.: Förflyttningseffekter hos vit- och svartgran i norra Sverige.
- Nr 2 Skogforsk: Utvecklingskonferens 2006, dokumentation.
- Nr 3 Granlund, P.: CTI på virkesfordon.
- Nr 4 Karlsson, B.: Trakthyggesbruk med gran och självföryngrad björk, en jämförande studie.
- Nr 5 Karlsson, B.: Trakthyggesbruk och kontinuitetsskogsbruk med gran, en jämförande studie.

2004

- Nr 1 Utvecklingskonferens 2004.
- Nr 2 Werner, M. Heurlin Karlsson, L.: Skånska strövområden – vistelse, preferenser och värderingar.
- Nr 3 Brunberg, T.: Underlag till produktionsnormer för skotare.
- Nr 4 Rytter, L.: Produktpotential hos asp, björk och al.
- Nr 5 Kroon, J. Rosvall, O.: Optimal produktion vid nordförflyttning av gran i norra Sverige.

2003

- Nr 1 Hallonborg, U.: Maskinsågkedjor i praktisk drift.
- Nr 2 Aulén, G. Gustafsson, L.: Skogliga naturvärdesregioner för södra Sverige.
- Nr 3 Pettersson, F.: Effekter på beståndsutvecklingen och ekonomin av olika förstagallringsåtgärder i tallskog – Redovisning av försöksresultat och synpunkter på dagens röjnings- och gallringsverksamhet.
- Nr 4 Glöde, D. Bergkvist, I.: 30 år med maskinell röjning – summering av utförd FoU och ananlys av framtida potential.
- Nr 5 Hallonborg, U.: Semiautonoma kortvikessystem – En systemanalys.
- Nr 6 Thorsén, Å.: Mellanchefer i skogsbruket – arbetet i "gränslandet" gentemot chefen.

Skogforsk arbetar för ett lönsamt, uthålligt bruk
av skogen. Vår verksamhet består av tillämpad FoU,
uppdrag och kunskapskommunikation.



SKOGFORSK