

Ekonomiskt värde på högförädlade plantor vid olika förökningsmetoder

Andreas Helmersson, Nils Fahlvik, Haleh Hayatgheibi, Karl-Anders Högberg och Mats Berlin.



Kontrollerad korsning i TreO plantagen G8-9S i Gåtebo på Öland, bilden tagen i juni månad 2021 då skyddspåse är påsatt. Foto: Mats Eriksson.

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	4
Summary	5
Bakgrund	6
Syfte	7
Material och Metod	7
Fältförsök och data	7
Genetisk analys.....	8
Definition av de olika förökningssystemen	8
De olika förökningssystemen.....	8
De genetiska vinsterna	9
Beräkning av markvärde och ekonomisk bärkraft i varje förökningssystem	10
Beräkning av markvärde med Heureka	10
Beräkning av nuvärde - betalningsförmåga.....	11
Resultat	12
Beräkning av de additiva och icke-additiva genetiska effekterna	12
Beräkning av markvärde och ekonomisk bärkraft i varje förökningssystem	13
Diskussion	14
Litteraturlista	16
Appendix	17
Appendix A.....	17



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 23 september 2021 av Thomas Kraft (Programchef Förädling) och Mari Suontama (Bitr. programchef Förädling). Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering den 7 oktober 2021.

Redaktör: Hanna Andtbacka, hanna.andtbacka@skogforsk.se
©Skogforsk 2021 ISSN 1404-305X

Förord

Arbetsrapporten baseras på resultat från projektet ”Ekonomiskt värde på högförädlade plantor av gran i södra Sverige för olika förökningsmetoder”, som har finansierats av Södras skogsägarnas stiftelse för forskning utveckling och utbildning. Projektet initierades av Mats Berlin och pågick under perioden 2018-05-21 till 2020-11-24.

Ekebo 2021-10-01

Andreas Helmersson, Nils Fahlvik, Haleh Hayatgheibi, Karl-Anders Högberg och Mats Berlin.

Sammanfattning

I Sverige står friavblommade fröplantager för den absoluta merparten av alla producerade granplantor. Anläggning av tredje omgångens plantager TreO håller precis på att avslutas, vilka framför allt innehåller testade plusträd men även avkomor till dessa. Utvärdering av nästa generations förädlingsmaterial sker löpande och i skrivande stund har hittills fem av 14 försöksserier i Götaland utvärderats. Under de närmaste åren kommer därför en stor mängd av detta material att bli tillgängligt för skogsbruket och kan inkluderas i produktionen av högförädlade plantor. Frågan är vilken metod som är den bästa för att föröka materialet. Fröplantager är det rådande alternativet, nästa steg är att skapa en växthusplantage där man undviker inkorsning från vildpollen, ytterligare en förfining är om man gör kontrollerade korsningar på utvalda individer med efterföljande stickning eller somatiska embryoplantor. Är dessa förökningsmetoder konkurrenskraftiga i förhållande till att starta en ny omgång fröplantager (FyraO)? Det är denna fråga vi vill skapa bättre beslutsunderlag för med studien.

I studien har vi beräknat och jämfört det ekonomiska värdet av högförädlade granplantor, producerade med olika förökningsmetoder. Studien är därför uppdelad i ett antal delmoment: (i) analys av hur de additiva och icke-additiva genetiska effekterna delas upp i operativa klontester; (ii) fastställning av genetisk vinst och tidshorisont i de olika förökningsystemen samt (iii) beräkning av markvärde och ekonomisk bärkraft i varje förökningsystem. Vi har analyserat varje delmål i projektet och (i) konstaterat att icke-additiva effekter inte är försumbara och (ii-iii) visat att de högsta nuvärdena erhållits för två av förökningsystemen, där kontrollerade korsningar ger det högsta nuvärdet tätt följt av en växthusplantage. Resultaten ger en direkt vägledning till vilket förökningsalternativ skogsföretag bör använda i verksamheten. Innan implementering bör dock hänsyn tas till interna kostnader för valt förökningsystem. Utöver vägledning inom förökningsystem, påverkar resultaten direkt hur försöksanalys sker avseende de genetiska komponenterna i klonförsök med gran. Före denna studie antogs att icke-additiva effekter var små och negligerbara. Den nya kunskapen visar att man bör ta hänsyn till icke-additiva effekter vid analyser av granklonförsök. Kunskapen om vilket föröknings sätt som bör prioriteras för skogsodlingsmaterial har genom denna studie konkretiserats och pekar på att kontrollerade korsningar är den mest fördelaktiga förökningsmetoden.

Summary

In Sweden, seed orchards account for most of the produced Norway spruce plants. The establishment of the third-round seed orchards TreO is currently being completed, these mainly contain tested plus trees but also, in a few cases, their offspring. The evaluation of the next generation of breeding material is advancing, and at the time of writing, five out of 14 trial series have been evaluated in Götaland. In the next few years, a large amount of this material will therefore be available for forestry reproduction purposes. The question is: Which propagation method is the best to propagate the material? Seed orchards are the predominant option, the next step is to create an indoor greenhouse orchard where wild undesired pollen is avoided, another refinement is if you make controlled crossings on selected individuals and multiply the individual seed by cutting- or somatic embryo plant propagation. Are these propagation methods competitive in relation to starting a new round of seed plantations (FyraO)? What should be considered as viable alternatives?

We have calculated and compared the economic value of high-breed spruce plants, produced with different propagation systems. The study is divided into several sub-steps: (i) analysis of how the additive and non-additive genetic effects are divided into operative clone tests; (ii) allocation of genetic gain and time horizon in the various propagation systems and (iii) calculation of land value and economic viability in each propagation system. We have analyzed each sub-objective of the project and (i) found that non-additive effects are not negligible and (ii-iii) have shown that the highest present values have been obtained for two of the propagation systems. Controlled crossings of selected genotypes give the highest present value followed by using an indoor greenhouse orchard. The results provide a direct guide to which plant propagation alternative forest companies should use. Before operational implementation, internal costs for the chosen propagation system should be considered. In addition to guidance in propagation systems, the results directly affect how experimental analysis takes place regarding the genetic components in clonal field trials of Norway spruce. Prior to our study, it was assumed that non-additive effects were small and negligible, but we show that non-additive effects should be considered. The knowledge of which propagation method that should be prioritized for forest cultivation has been concretized through our study and points out that controlled crossing of superior genotypes is the most advantageous propagation method.

Bakgrund

Den genetiska variationen är motorn i förädlingsframstegen och kan delas upp i olika beståndsdelar (additiva-, dominans- och epistasieffekter) som i varierande grad kan utnyttjas i olika förökningssystem. Det vanligaste sättet för svenskt skogsbruk att tillgodogöra sig den genetiska vinsten i gran är genom fröplantager, där de additiva effekterna som kvarstår vid sexuell reproduktion (eller fri avblomning) utnyttjas. Vid användning av kontrollerade korsningar mellan specifika föräldrar kan man öka vinsterna. Detta görs dels genom att undvika inkorsning av oförädlad pollen och dels genom att utnyttja dominanseffekter som uppkommer genom ett samspel mellan specifika föräldrar. I ett klonskogsbruk, där man vegetativt massförökar testade och utvalda kloner, kan man utnyttja alla delar av den genetiska variationen. Att skatta de additiva och icke-additiva effekternas storlek är därför en viktig faktor för att kunna bedöma den ekonomiska bärkraften i olika typer av förökningssystem. Under de senaste två decennierna har intresset för att utnyttja de icke-additiva effekterna ökat i många delar av världen för ekonomiskt viktiga trädslag som till exempel radiatatal i Nya Zeeland, svart- och vitgran i Kanada och eukalyptus i Portugal (Araújo m.fl. 2012, Baltunis m.fl. 2009, Mullin m.fl. 1992, Weng m.fl. 2008). I dessa trädslag har man hunnit längre fram i förädlingsgenerationerna än för gran i Sverige och det finns för det mesta förökningssystem (t.ex. familjeskogsbruk och klonskogsbruk) som kan utnyttja dessa icke-additiva effekter. De här studierna visar på en stor potential med dessa förökningssystem, där en fördubbling av den genetiska vinsten kan vara möjlig om de icke-additiva effekterna är betydande. Med detta som bakgrund avslutades nyligen en svensk studie på gran där de olika genetiska effekterna delades upp och storleken av de tillhörande genetiska vinstnivåerna togs fram. Resultaten visade på stora potentiella genetiska vinstnivåer från de icke-additiva effekterna, fullt jämförbara med andra trädslag där intensiva förökningsmetoder redan är operativa och anses ekonomiskt fördelaktiga (Araújo m.fl. 2012, Baltunis m.fl. 2009, Mullin m.fl. 1992). En annan viktig fördel med alternativa förökningssystem består av en avsevärd förkortning av tiden från det att det förädlade materialet är utvärderat till dess att det är redo för operativ förökning. Denna tidsvinst kan vara betydande jämfört med traditionella system, vanligen anläggning av fröplantager, och är central att ta med i jämförelsen av olika förökningssystemens prestation. I slutändan är det dock den ekonomiska bärkraften som avgör vilket eller vilka förökningssystem som en plantproducent beslutar sig för att satsa på. Det betyder att man måste bedöma det ekonomiska värdet av plantor producerade i olika förökningssystem och väga detta mot de kostnader som varje system medför. Genom att beräkna det ekonomiska värdet av plantorna beroende på genetisk vinstnivå och använda nuvärdesanalys kan effekterna av både tidshorisont och genetik kombineras (Karlsson & Rosvall 2010, McKeand m.fl. 2006). I Sverige är det friavblommade fröplantager som står för den absoluta merparten av alla producerade granplantor och anläggningen av den tredje omgångens fröplantager är i slutskedet. Nästa generations förädlingsmaterial har precis börjat utvärderas och under de närmaste åren kommer en stor mängd av detta material att bli tillgängligt för skogsbruket och kan inkluderas i produktion av högförädlade plantor. Frågan är hur detta nya material på bästa sätt kan användas och om alternativa förökningsmetoder kan vara konkurrenskraftiga i förhållande till att starta en ny omgång fröplantager (FyraO). Det är denna fråga vi vill skapa bättre beslutsunderlag för.

Syfte

Syftet med studien var att beräkna och jämföra det ekonomiska värdet av högförädlade granplantor som är producerade med olika förökningssystem. Studien var uppdelad i ett antal delmoment: (i) analys av hur de additiva och icke-additiva genetiska effekterna delas upp i Skogforsks operativa klontester; (ii) fastställning av genetisk vinst och tidshorisont i de olika förökningssystemen; (iii) beräkning av markvärde och ekonomisk bärkraft i varje förökningssystem.

Material och Metod

Beräkning av de additiva och icke-additiva genetiska effekterna

Fältförsök och data

I denna studie användes samtliga Skogforsks operativa F1-klontester av gran som uppnått en utvecklingsfas där fenotypdata för tillväxt samlats in och avelsvärden kunnat skattas under 2020. Med F1 avses den förädlingsgeneration som består av avkommor av genetiskt testade och utvalda föräldraträd och samtliga dessa försök består av klonförökade avkommor av helsyskonfamiljer (Danell 1993). I den operativa förädlingen görs först ett preliminärurval på höjdtillväxt när träden nått en medelhöjd av cirka 2–3 meter, vilket motsvarar 6–8 år i fält i södra Sverige. Därefter görs ytterligare en mätning av diameter när träden uppnått en medeldiameter på minst cirka 8 cm (10–16 år i fält), varvid ett sluturval på tillväxt baserat på båda dessa mätningar görs. I den här studien har vi använt alla försök som åtminstone uppnått tidpunkt för preliminärurval (varav ett antal uppnått även sluturval).

I analysen ingick totalt 12 försöksserier med 48 klonförsök (tabell 1). Totalt analyserades 513 unika helsyskonfamiljer med 536 unika föräldrar och där tillhörande 19 487 unika kloner.

Tabell 1. Skogforsks operativa försöksserier som har legat till grund för analysen i projektet. I kolumnen preliminärurval anges årtalen då försöksserien mätts. För några serier har även mätning vid sluturval genomförts (kursiv grå text markerar årtal för planerad mätning). Gpop anger vilken förädlingspopulation som avses och bokstaven testomgången. Likvärdigt för Zon som motsvarar fröplantagezon G7 eller G8-9S samt omgång av testserie.

Gpop eller Zon/omgång	Anläggningsår	Antal försök	Urvalstyp, årtal	
			Preliminär	Slut
Gpop12_A	2002	4	2009	2017/18
Gpop10_B	2009	4	2016	2024
Gpop12_C	2005/11/12	3	2012/19	2019/27/28
Gpop11_D	2013	2	2019	2027
Zon G7/1+G8-9S/0	1998	4	2001	2007
Zon G7/0	2000	4	2007	2015
Zon G7/1	2007/08	5	2012/13	2018/19
Zon G7/2	2010	3	2015	2021
Zon G7/3	2011/12/13	7	2017/18	2023/24
Zon G7/4	2014/15	4	2019/20	2025/26
Zon G8-9S/1	2007	4	2012	2018
Zon G8-9S/2	2013/14	4	2018/19	2024/25

Genetisk analys

Olika modeller för genetisk analys av additiva och icke-additiva (klon- och familj) effekter samt deras för- och nackdelar finns beskrivet i detalj i Berlin m.fl. (2019). För den här studien var det viktigaste att få så robusta skattningar av uppdelningen av de genetiska effekterna som möjligt, varför vi valde att skatta dessa effekter genom en multi-sitemodell med försöksgemensamma skattningar av additiva, familje- och klonvarianser och korrelationer, men med försöksindividuella estimat av feltermen. Detta motsvarar modell 11 i Berlin m.fl. (2019) och är analyserad separat för antingen höjd eller diameter i försöken.

Definition av de olika förökningsystemen

De olika förökningsystemen

Utgångspunkten i den här studien är en situation där F1-generationens granklontester är utvärderade enligt Skogforsks operativa praxis och att både F1-generationen och föräldrarna finns tillgängliga för olika förökningsystem. Enligt praxis finns då också preliminärutvalda F1-kloner ympade i kruka tillgängliga med en ålder av cirka 6 år. Detta läge har redan uppnåtts för de först etablerade klontesterna och många fler är på väg under de kommande åren.

De förökningsmetoder vi har valt att studera är sådana som antingen är operationella eller mycket nära praktisk tillämpning plus en metod som har lite längre till praktisk

tillämpning, men som ansetts mycket intressant av svenskt skogsbruk. Tiderna vi anger är tiden från det att förökningssystemet inleds till dess att det första plantmaterialet är redo för utplantering.

- 1) Basalternativet är anläggning av traditionella fröplantager med F1-generationens förädlade material (FyraO). Vi antar att urval framåt görs inom F1-generationen och att plantageympar produceras på brukligt sätt. Från anläggning till produktion av plantor antar vi att det går cirka 20 år. Den genetiska vinsten kommer endast från de additiva effekterna och vi antar att inkorsningen ligger på 50 procent vid slutgiltig pollenproduktion.
- 2) Ett annat alternativ är att anlägga en växthusplantage med krukade ympar av de bästa klonerna från F1-generationen. I det här fallet antar vi att vi kommer att använda de redan existerande krukade ymparna från preliminärurvalet som kommer att vara cirka 6 år gamla. Eftersom det också finns större möjligheter att stimulera träd i krukor till blomning än det gör i en traditionell plantage antar vi att det går c:a 10 år från anläggning till produktion av plantor. Vi antar att korsningsfröet förmeras via moderplantshäckar till sticklingar. Den genetiska vinsten kommer från de additiva effekterna men utan reduktion för inkorsning.
- 3) Ett tredje alternativ är att göra kontrollerade korsningar på föräldraträden till F1-generationen. Dessa föräldrar befinner sig i både jordbundna arkiv och i krukarkiv och är därmed tillgängliga för korsningar från år 0 eftersom de antas vara fullt blomningskompetenta. Däremot kommer det att bli en tidsförskjutning om specifika korsningar ska göras på grund av granens naturliga variation i blomning. Vi antar vidare att korsningsfröet förmeras via moderplantshäckar och sticklingar. Vi antar att det går cirka 3 år till dess att plantor finns tillgängligt. Om korsningar görs mellan utvalda föräldrakombinationer kan hela den additiva vinsten och dessutom en eventuell dominanseffekt användas.
- 4) Det fjärde alternativet är ett klonskogsbruk baserat på förökning från SE-kulturer. De bästa klonerna från F1-generationen kan då förmeras genom till exempel sticklingar från moderplantor eller SE-plantor när de utvärderats i fält. Det här alternativet förutsätter dock att SE-kulturer skapats vid tillfället föräldrarna korsats och att klontesterna bedrivits med SE-plantor men så har inte skett. Det innebär att detta alternativ är hypotetiskt, men vi väljer att inkludera det då SE-teknik och klonskogsbruk har ansetts vara ett intressant alternativ av stora aktörer inom svenskt skogsbruk. Vi väljer därför två olika fallstudier: (a) vi förutsätter att SE-kulturer skulle funnits tillgängliga, vilket innebär att plantor kan förmeras direkt via moderplantshäckar med tidsfördröjning cirka 5 år; (b) vi antar att SE-kulturer skapas av existerande föräldraträd och utvärderas dem i fält enligt gängse praxis, vilket innebär en tidsfördröjning på cirka 20 år. I båda fallen kan hela den genetiska vinsten (additiv + icke-additiv) utnyttjas.

De genetiska vinsterna

I den här studien har vi valt att använda de schabloniserade vinstnivåerna som tagits fram av Rosvall m.fl. (2001) eftersom vi vill kunna ge en generell bild mellan de förökningssystem vi vill jämföra och det är i dagsläget svårt att bestämma jämförbara vinstnivåer på de enskilda försöksserier vi nyttjar. Alla dessa vinstnivåer bedöms motsvara en ökad volymproduktion över en omloppstid. De nuvarande testade och utvalda föräldraträden bedöms ha en additiv genetisk vinstnivå på 25 procent ($G_{P_{ADD}}$) som är tillgänglig för alla undersökta förökningssystem. Vid användning av material från F1-generationen bedöms den genetiska vinsten öka med 10 procent, men i vår studie delas denna upp i en additiv del ($G_{F1_{ADD}}$) och en icke-additiv del ($G_{F1_{I-ADD}}$). Den icke-

additiva delen består i sin tur av en del knuten till familj (dominans) eller till klon (epistasi), men i de testade förökningssystemen används antingen hela den icke-additiva effekten eller inte alls.

Förökningssystemen summeras översiktligt i tabell 2 nedan.

Beteckning	Förökningssystem	Tidsspann	Genetisk vinst
1	Traditionell fröplantage (F1)	20 år	$(G_{P_{ADD}} + G_{F1_{ADD}}) \cdot 3/4$
2	Växthusplantage (F1)	10 år	$G_{P_{ADD}} + G_{F1_{ADD}}$
3	Kontrollerade korsningar (P)	3 år	$G_{P_{ADD}}$
4a	SE - hypotetisk (F1)	5 år	$G_{P_{ADD}} + G_{F1_{ADD}} + G_{F1I-ADD}$
4b	SE - omstart (F1)	20 år	$G_{P_{ADD}} + G_{F1_{ADD}} + G_{F1I-ADD}$

Beräkning av markvärde och ekonomisk bärkraft i varje förökningssystem

Beräkning av markvärde med Heureka

Förökningssystemen kommer att ge olika genetiska vinstnivåer och därför kommer plantorna som produceras få olika ekonomiskt värde beroende på vilken genetisk nivå som uppnås. Med en genetisk vinstnivå fastställd för de olika förökningssystemen kommer vi att beräkna den teoretiska ökningen av markvärde genom att anta att förädlingseffekten motsvaras av en ökad bonitet, vilket kan översättas till ett ekonomiskt mervärde för markägaren av att utnyttja dessa plantor. På så vis kommer vi att få ett ekonomiskt värde för plantor för vart och ett av de olika förökningssystemen. Eftersom detta genetiska material ännu inte finns tillgängligt finns heller inget marknadspris att tillgå och vi antar att ökade genetiska produktionsvinster kommer att medföra en prisdifferentiering. Det är inget orimligt antagande då sådan prisdifferentiering på allvar slagit igenom på andra håll i världen med större utbud och variation i genetisk vinstnivå till exempel loblollytall i USA (McKeand 2017) och även börjat så smått här i Sverige.

För att skatta tillväxten och det ekonomiska utfallet för de olika förökningssystemen gjordes simuleringar av utvecklingen av ett tänkt medelbestånd i södra Sverige med hjälp av Heureka-systemet och applikationen PlanWise (Wikström m.fl. 2011). Ett referensbestånd motsvarande oförädlad nivå definierades enligt:

- SI: G30
- Latitud: 56,9 °N
- Höjd över havet: 110 m
- Effektiv areal: 1 ha
- Föryngring: Markberedning och plantering med 2500 plantor/ha
- Rövning: Med mål att få grandominans

I en första analys lades de olika genetiska vinstnivåerna på vid planteringstidpunkten och påverkade därmed höjdtillväxtfunktionerna i den så kallad ungskogsfasen i Heureka. Dock noterades att de resulterande utfallen i form av beräknad medeltillväxt inte motsvarade de nivåer vi förväntat oss baserat på nuvarande kunskapsläge (t.ex.

Haapanen 2020, Liziniewicz & Berlin 2019, Liziniewicz m.fl. 2018). Det är ett problem som har uppmärksammats tidigare och en utveckling av Heurekas modeller pågår, men finns dock inte tillgänglig för vår studie. I stället antogs ett förfarande där vi genom att använda ett spann av olika boniteter (SI) försökte uppnå en ökning i medeltillväxten vid tidpunkten för dess kulmination, som motsvarade den genetiska vinstnivån. Denna metodik har använts i andra studier (t.ex. Serrano-Leon m.fl. 2020) och bedöms ge en mer realistisk bild av den realiserade genetiska vinsten.

Tre olika skötselsystem/simuleringar utfördes enligt: (i) fixa tidpunkter för röjning (år 10) och gallring (år 30, 40 och 50) samt slutavverkning efter 70 år; (ii) fixa tidpunkter för röjning och gallring som ovan, men Heureka genererar slutavverkningstidpunkt individuellt för de olika förädlingsgraderna baserat på ekonomisk avkastning; (iii) fixa tidpunkt för röjning som ovan, men Heureka genererar gallringar och slutavverkning individuellt för de olika förädlingsgraderna. För simuleringarna (ii) och (iii) valdes det genererade skötselalternativ som resulterade i högst markvärde. Lagen om lägsta slutavverkningssålder (SVL) användes som restriktion vid simuleringarna. Dock skiljde sig resultaten från dessa olika system åt endast marginellt och vi redovisar därför bara vad vi bedömer vara det mest realistiska systemet, (iii). Dessa simuleringar utfördes också med kalkylräntan 2 procent och 3 procent, men då rangordningen för de olika förökningsystemen/förädlingsgraderna inte skiljde sig åt redovisar vi endast resultaten med kalkylränta 3 procent (resultaten för 2 procent finns i appendix A1).

För varje system beräknades ett markvärde enligt

$$MV = \left(\sum_{t=0}^u R_t \cdot (1+r)^{-t} - c \right) \cdot \frac{(1-r)^u}{(1+r)^u - 1}$$

Där R är netto från röjning, gallring eller slutavverkning; c är anläggningskostnad; t är tid (år); u är omloppstidens längd (år) och r är kalkylränta. Tidpunkten för plantering sattes till år 0 och kostnaden vid plantering (inkl. markberedning) till 10848 kr (Skogsstyrelsen 2021). Övriga kostnader och intäkter är satta enligt Heurekas standardinställningar (se t.ex. Karlsson & Fahlvik 2020).

Beräkning av nuvärde - betalningsförmåga

När de simulerade bestånden som planterats med plantor från varje förökningsystem fått sitt beräknade markvärde behöver vi kunna jämföra avkastningen av de olika förökningsystemen med olika tidsfördröjning till produktionsfas. Det gör vi genom att diskontera markvärdet till ett nuvärde (NV) vid tidpunkten för uppstarten av varje förökningsystem.

$$NV = \frac{MV}{(1+r)^{T_f}}$$

Vi har använt samma kalkylränta (r) som i markvärdesberäkningen och varje förökningsystem har sin egen diskonteringsperiod (T_f). Observera att det endast är intäktssidan som vi kommer att bedöma i denna studie eftersom kostnadssidan är mer komplicerad och oftast företagsspecifik.

Resultat

Beräkning av de additiva och icke-additiva genetiska effekterna

I de operativa F1-klontesterna var de icke-additiva effekterna i snitt lika stora som de additiva (modell 11) men familjeeffekterna var för det mesta mycket små och ej signifikanta. Dock fanns en betydande variation i fördelningen mellan additiva och icke-additiva effekter i de olika försöksserierna. Som högst var den additiva effekten 90 procent och den icke-additiva 72 procent av den totala genetiska variansen men den absoluta merparten av spannet var mellan 25–75 procent för vardera effekten (Tabell 3).

Tabell 3. Genetisk analys av additiva och icke-additiva (klon- och familj) effekter i de 12 försöksserierna. Höjd och diameter är separat analyserade och resultaten anges i procent av den totala genetiska variansen inom varje försöksserie. Signifikansnivåerna anges med asterisk där * 95 procent samt ** 99 procent.

Försöksserie	Mätålder i fält	Modell 11		
		%Additiv	%Klon	%Familj
Gpop12_A	8	24	49*	27
Gpop10_B	16	55*	31*	13*
Gpop12_C	8	72**	28*	0
Gpop11_D	6	27*	68**	5
Zon G7/0	4	61	34	5
Zon G7/1+G8-9S/0	8	80**	19	1
Zon G8-9S/1	6	47**	53**	0
Zon G8-9S/2	6	45**	50**	6
Zon G7/1	6	17	72*	10
Zon G7/2	6	10	68*	23
Zon G7/3	6	90**	8**	4*
Zon G7/4	6	68**	28**	4
Genomsnitt Höjd		50	42	8
Gpop12_A	16	50	35*	15
Zon G7/0	10	70*	28	2
Zon G8-9S/1	12	43	51**	6
Zon G7/1	12	26**	74**	0
Genomsnitt Diameter		47	47	6

Dessa resultat påverkar den ekonomiska analysen genom att:

- Familjeeffekter bedöms vara små och osäkert skattade varvid vi inte räknar med någon vinst av specifika korsningskombinationer (dominanseffekter).

- I snitt är de additiva och icke-additiva effekterna lika stora men den stora variationen gör att vi testar tre olika scenarion där förhållandet mellan additiv/icke-additiv är: (i) 75/25 procent; (ii) 50/50 procent; (iii) 25/75 procent.

Givet detta har det för varje förökningssystem beräknats en genetisk vinstnivå motsvarande de tre olika förhållandena mellan additiva och icke-additiva effekter, vilket resulterat i 8 olika unika simuleringar i Heureka (tabell 4)

Tabell 4: De olika förökningssystemens genetiska vinstnivåer vid olika förhållanden mellan additiv och icke-additiv effekt, samt motsvarande simulering i Heureka.

Förökningssystem	Förhållande		Genetisk vinstnivå	Simulering id
	Additiv /	Icke-Additiv		
1	75% /	25%	0.24375	F
2	75% /	25%	0.325	B
3	75% /	25%	0.25	E
4a	75% /	25%	0.35	A
4b	75% /	25%	0.35	A
1	50% /	50%	0.225	G
2	50% /	50%	0.3	C
3	50% /	50%	0.25	E
4a	50% /	50%	0.35	A
4b	50% /	50%	0.35	A
1	25% /	75%	0.20625	H
2	25% /	75%	0.275	D
3	25% /	75%	0.25	E
4a	25% /	75%	0.35	A
4b	25% /	75%	0.35	A

Beräkning av markvärde och ekonomisk bärkraft i varje förökningssystem

Förökningssystem 4a (SE-hypotetisk) är det högst rankade i nuvärde men av de idag tillgängliga förökningssystemen är det 3 (kontrollerade korsningar) följt av 2 (växthusplantage) som har det högsta nuvärdet. 4b (SE-omstart) ligger en bit efter i nuvärde och den traditionella fröplantagen (1) har lägst nuvärde (Tabell 5).

Tabell 5: Markvärde och Nuvärde (per hektar och per planta) redovisat för de olika förökningssystemen vid kalkylränta 3 procent. Observera att nuvärdet endast avser intäkter.

Bet	Förökningssystem	Tf	Sim id	Markvärde (kr/ha)	Nuvärde (kr/ha)	Nuvärde (kr/pl)	Rank
1	Traditionell fröplantage (F1)	20	F/G/H	28659/27989/26696	15868/15497/14781	6,3/6,2/5,9	5
2	Växthusplantage (F1)	10	B/C/D	32955/31424/30657	24522/23383/22812	9,8/9,4/9,1	3
3	Kontrollerade korsningar (P)	3	E	28817	26371	10,5	2
4a	SE - hypotetisk	5	A	34182	29486	11,8	1
4b	SE - omstart	20	A	34182	18926	7,6	4

För förökningssystem 1 och 2 ger en högre additiv effekt ett högre nuvärde men inte tillräckligt mycket för att ändra rangordningen mellan förökningssystemen. Samma rangordning gäller också för kalkylränta 2 procent (appendix A1).

Diskussion

Den här studien visar att de högsta nuvärdena erhålls för två förökningssystem som Södra redan praktiserar eller är på väg att börja praktisera. Kontrollerade korsningar ger det högsta nuvärdet av alla förökningssystem, trots att det inte i den här studien innefattar material från den nya F1-generationen. Detta förökningssystem vinner på att dessa utvalda föräldrar redan är blomningskompetenta och tiden till operativ produktion av plantor är så kort. En växthusplantage har det näst högsta nuvärdet, vilket är en kombination av att det är förökningssystemet med näst kortast tid till produktionsfas och att den additiva genetiska vinsten från F1-generationen inte kontamineras av externt pollen. Ju högre den additiva effekten är desto närmare i nuvärde kommer växthusplantagen i förhållande till de kontrollerade korsningarna, vilket visar på vikten av att söka få ett mer stabilt och robust värde på detta förhållande.

Förökningssystemen avseende SE visar att det högsta nuvärdet hade uppnåtts om man hade anlagt SE-klontester i stället för (eller som komplement till) de operativa klonesterna, men att i stället börja om nu skulle ge det lägsta nuvärdet av alla testade förökningssystem förutom etablering av traditionella fröplantager. Även om vi inte kommer att kunna nyttja den totala genetiska effekten kan SE-tekniken däremot vara ett bra komplement till kontrollerade korsningar och/eller en växthusplantage för att förmera tillgången till plantor.

En traditionell F1-fröplantage hamnar sist av alla testade förökningssystem. Det är en kombination av den långa tid det tar till produktionsfas och reduktionen av genetisk vinst genom inkorsning av externt pollen. Det här ska dock inte tolkas som att anläggningen av nya F1-fröplantager nu inte ska genomföras. Traditionella fröplantager kommer med all sannolikhet även i framtiden att stå för den huvudsakliga delen av fröförsörjningen. De andra förökningssystemen har åtminstone i dagsläget tydliga begränsningar i produktionskapacitet och frågan om genetisk diversitet kommer att fortsätta vara på dagordningen gentemot såväl Skogsstyrelsen som certifieringsorganisationer. Kostnaderna per producerad planta, vilka vi ej tagit hänsyn till i beräkningarna, torde också vara betydligt lägre för en traditionell fröplantage jämfört med de andra förökningssystemen.

Den här studien visar att förökningssystem baserade på kontrollerade korsningar och växthusplantage har ett betydligt högre nuvärdesintäkt än anläggningen av en ny traditionell fröplantage. Dock visar detta bara intäktssidan av förökningssystemet och för att dessa system ska vara ekonomiskt bärkraftiga krävs att denna ökade intäkt kan (mer än) kompensera för de ökade kostnader som systemen medför. Vi har i den här studien endast tittat på intäktssidan då kostnadssidan är mer komplicerad och företagsspecifik och sannolikt också konfidentiell.

I de operativa F1-klontesterna har det visat sig att de icke-additiva effekterna i snitt är lika stora som de additiva och att familjeeffekterna är svåra att skatta då de för det mesta är mycket små och ej signifikanta. Detta stämmer väl överens med andra studier på gran (Berlin m.fl. 2019, Chen m.fl. 2020). Men dessa tidigare studier har i huvudsak gjorts på

klontester från tidigare klonskogsbruksprojekt och då försöksdesignen har skiljt sig åt från Skogforsks operativa F1-försök har det funnits en osäkerhet i om dessa resultat skulle vara generaliserbara. Dock visar den här studien med eftertryck att de icke-additiva effekterna inte är försumbara som tidigare förutsatts (Rosvall m.fl. 2001) utan behöver beaktas i framtida genetiska analyser och vinstberäkningar i det svenska granförädlingsprogrammet. Likväl visade denna studie också på en betydande osäkerhet i förhållandet mellan additiva och icke-additiva effekter då detta varierade mellan olika försöksserier. Det finns ett antal hypoteser till denna variation som vi avser analysera vidare i ett separat projekt. För den här studien räckte det dock med att göra en känslighetsanalys inom det spann av förhållanden additiva/icke-additiva effekter som vi fann. Trots stora skillnader i detta spann påverkade det inte rangordningen mellan de olika förökningssystemen, men däremot nivån på nuvärdet.

Litteraturlista

- Araújo, J. A., Borralho, N. M. & Dehon, G. 2012. The importance and type of non-additive genetic effects for growth in *Eucalyptus globulus*. *Tree genetics & genomes* 8, 327-337.
- Baltunis, B. S., Wu, H. X., Dungey, H. S. & Brawner, J. T. 2009. Comparisons of genetic parameters and clonal value predictions from clonal trials and seedling base population trials of radiata pine. *Tree genetics & genomes* 5, 269-278.
- Berlin, M., Jansson, G., Högberg, K.-A. & Helmersson, A. 2019. Analysis of non-additive genetic effects in Norway spruce. *Tree Genetics & Genomes* 15, 42.
- Chen, Z.-Q., Hong, H. N. T., Helmersson, A., Liziniewicz, M., Hallingbäck, H. R., Fries, A., Berlin, M. & Wu, H. 2020. Advantage of clonal deployment in Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst). *Ann. For. Sci.* 77, 14.
- Danell, Ö. 1993. Breeding programmes in Sweden. Corrected reprint from: Lee, S. J. (ed.). Progeny testing and breeding strategies, Proceedings of the Nordic group of tree breeding, October 1993, 184+pp. Edinburgh: Forestry Commission., 1-25.
- Haapanen, M. 2020. Performance of genetically improved Norway spruce in one-third rotation-aged progeny trials in southern Finland. *Scand. J of For. Res.* 35, 221-226.
- Karlsson, B. & Fahlvik, N. 2020. Resultat från demonstrationsförsök 1322 med gran i Sjundevik och simulering av fortsatt utveckling. Skogforsk Arbetsrapport 1053-2020, 23.
- Karlsson, B. & Rosvall, O. 2010. Ökad tillgång och användning av förädlade plantor. Uppdrag om förbättrat växtodlingsmaterial, Jo2008/1883 (in Swedish).
- Liziniewicz, M. & Berlin, M. 2019. Differences in growth and areal production between Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) regeneration material representing different levels of genetic improvement. *Forest Ecology and Management* 435, 158-169.
- Liziniewicz, M., Berlin, M. & Karlsson, B. 2018. Early assessments are reliable indicators for future volume production in Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) genetic field trials. *Forest Ecology and Management* 411, 75-81.
- McKeand, S. E. 2017. Making sense of the genetics market *Forest Landowner* 76.
- McKeand, S. E., Abt, R. C., Allen, L., Li, B. & Catts, G. P. 2006. What are the best loblolly pine genotypes worth to landowners? *J. Forestry* 104, 352-358.
- Mullin, T., Morgenstern, E., Park, Y. & Fowler, D. 1992. Genetic parameters from a clonally replicated test of black spruce (*Picea mariana*). *Canadian Journal of Forest Research* 22, 24-36.
- Rosvall, O., Jansson, G., Andersson, B., Ericsson, T., Karlsson, B., Sonesson, J. & Stener, L.-G. 2001. Genetic gain from present and future seed orchards and clone mixes. *Skogforsk, Redogörelse nr. 1, 2001.* 41 pp., 41.
- Serrano-Leon, H., Ahtikoski, A., Sonesson, J., Fady, B., Lindner, M., Meredieu, C., Raffin, A., Perret, S., Perot, T. & Orazio, C. 2020. From genetic gain to economic gain; Simulated growth and financial performance of genetically improved *Pinus sylvestris* and *Pinus pinaster* planted stands in France, Finland and Sweden. *Forestry*, (submitted manuscript).
- Weng, Y., Park, Y., Krasowski, M., Tosh, K. & Adams, G. 2008. Partitioning of genetic variance and selection efficiency for alternative vegetative deployment strategies for white spruce in Eastern Canada. *Tree genetics & genomes* 4, 809.
- Wikström, P., Edenius, L., Elfving, B., Eriksson, L. O., Lämås, T., Sonesson, J., Öhman, K., Wallerman, J., Waller, C. & Klintebäck, F. 2011. The Heureka forestry decision support system: an overview. *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences* 3, 87-94.

Appendix

Appendix A

Tabell A1: Markvärde och Nuvärde (per hektar och per planta) redovisat för de olika förökningssystemen vid kalkylränta 2 procent. Observera att nuvärdet endast avser intäkter.

Bet	Förökningssystem	Tf	Sim ID	Markvärde (kr/ha)	Nuvärde (kr/ha)	Nuvärde (kr/pl)	Rank
1	Traditionell fröplantage (F1)	20	F/G/H	71871/70675/68306	48367/47563/45968	19.3/19.0/18.4	5
2	Växthusplantage (F1)	10	B/C/D	79370/77343/75325	65111/63448/61793	26.0/25.4/24.7	3
3	Kontrollerade korsningar (P)	3	E	72272	68104	27.2	2
4a	SE - hypotetisk	5	A	82201	74452	29.8	1
4b	SE - omstart	20	A	82201	55319	22.1	4