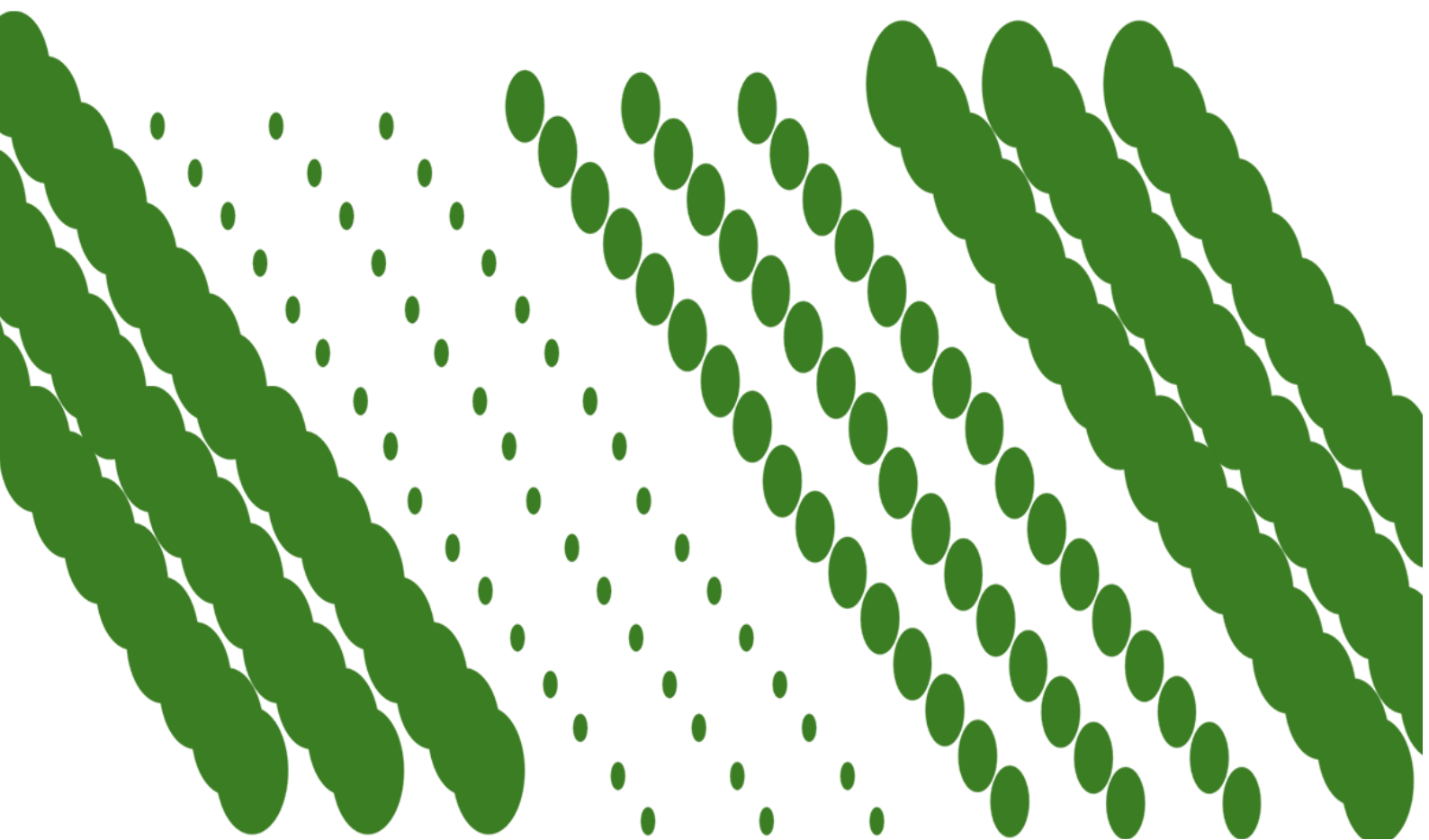


ARBETSRAPPORT 1229-2025

Frödlingar med rullande front

– en strategi för att snabbare omsätta framsteg i skogsträdsförädling till ökad virkesproduktion och lönsamhet

Ola Rosvall



Innehåll

Sammanfattning	4
Slutsatser.....	5
Summary	6
Conclusions	7
Förord från Stora Enso	8
Inledning	9
Frågeställning	10
Allmänt om genetisk vinst	10
Provenienseffekterna här är lika i alla alternativ	11
Effekter av plusträdsurval i naturpopulationen och av fröodlingen i sig	12
Realiserad förädlingsvinst	12
Naturlig föryngring i skogsbestånden	12
Realiserad förädlingsvinst, sammanfattningsvis	12
Urval till fröodlingar från många förädlingspopulationer jämnar ut vinsttrappan	13
Metoder	13
Ekonomisk analys.....	13
Strategi för fröodlingsanläggning – rolling-frontfröodlingar.....	14
Kostnader	17
Intäkter – nuvärden vid ökad tillväxt i skogen	20
Beräkningar för olika ståndortsindex.....	20
Ökad tillväxt mätt i kubikmeter	20
Vilket täckningsbidrag krävs per planta för fröodlingskostnaden?.....	20
Känslighetsanalys	21
Resultat	21
Alternativa fröodlingsprogram med rolling-frontstrategi	21
Vinstutveckling.....	21
Kostnader	22
Tillväxtmodell.....	23
Nuvärdesökning per procent genetisk vinst och hektar	24
Minsta lönsamma genetiska vinst för en traditionell fröodling, break-even.....	26
Effekt av varierade anläggningsintervall och cykeltider för fröodlingar	27
Är bästa alternativet det som ger högst NPV?.....	34
Är bästa alternativet det som ger störst merproduktion i kubikmeter?.....	38
Fröodlingskostnad och värde av förädling räknat per planta	43
Känslighetsanalys	45
1. Det genetiska framsteget uteblir	45
2. Ökad fröproduktion tidigt under fröodlingscykeln ger hög effekt på lönsamheten	46
Diskussion	47
Vad är nytt med resultaten?	47
Hur ska en ny strategi införas?.....	48
Trädslag.....	49
Bakgrundspollinering	49
Risk för utebliven blomning	49
Tillgång på nya bättre fröodlingsträd.....	49
Bättre samordning mellan förädling och fröodlingsverksamhet	50
Högre kompetens hos användaren	50
Kostnader och intäkter räknat per planta	51

Utredningens osäkerheter	51
Vad som inte beaktats	51
Bästa program?	51
Är det rätt räknat?	52
Är ingångsdata realistiska?	53
Tackord	54
Referenser	55
Bilagor	57
Bilaga 1. Markvärdesökning per procent genetisk vinst	57
Bilaga 2. Lönsamhet för fröodlingar med tillämpning på G24, G32, T20 och T28	58
Bilaga 3. Ökningen av den genetisk vinsten är 0,0 procent per år	62
Bilaga 4 Dubbel fröproduktion år 15–20 i gran	64



skogforsk

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

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts i november 2024 av Curt Almqvist och Ulfstand Wennström, båda seniorforskare inom Skogsträdsförädling. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering 3 januari 2025.

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se
©Skogforsk 2025 ISSN 1404-305X

Sammanfattning

Det svenska förädlingsprogrammet för skogsträd, som sköts av Skogforsk, genererar hela tiden genetiskt förbättrade plusträd för fröproduktion i fröodlingar, som sköts av skogsföretagen. För närvarande skulle de nya fröplantagerna kunna öka tillväxten i skogen med ca 20 procent. Långsiktigt är ökningstakten ca 0,35 procent per år mätt som förverkligad vinst. En fröodling kommer i full produktion efter ca 20 år, varför det uppkommer en tidsförlust mellan förädlingsframsteg och nya förädlade plantor. Traditionellt planteras en ny plantage vart 20:e år. Med en 40-årig livslängd erhålls en kontinuerlig fröproduktion. Men, med en sådan strategi kommer tidsförlusten mellan förädlingsframsteg och fröproduktion att variera mellan 20 och 40 år, och förlusten i vinst bli mellan 7 och 14 procent. Det uppenbara målet måste därför bli att minimera tidsförlusten mellan förädlingsfronten och fröproduktionen.

I den här rapporten presenteras en rullande-frontstrategi för att anlägga fröodlingar med tätare intervall och med mindre areal per gång, i form av överlappande delplantager, på ett sätt som ändå säkrar kontinuerlig frötillgång. Den genetiska och ekonomiska vinsten från olika rullande-frontprogram jämfördes, där intervallet mellan nyanläggning varierades mellan 5 och 20 år och fröodlingarnas livscykel mellan 20 och 40 år. Tidshorisonten för studien var 115 år. Ett analysverktyg för skogstillväxt och ekonomi användes för att beräkna det ökade värdet av att använda förädlade plantor, i termer av ökad skogsproduktion, inkomst och nettonuvärde, NPV, vid 3,1 procent real ränta. Virkespriser, förnygrings- och avverkningskostnader och kostnaderna för att anlägga fröodlingar var de som 2022 används av svenska skogsföretag.

Ökningen av virkesproduktionen och den diskonterade inkomsten var alltid större för kortare intervall mellan anläggning av fröodlingsdelarna och med kortare livscykel för varje del. Det beror på snabbare utnyttjande av den successivt ökande genetiska vinsten i förädlingsprogrammet. Den låga kostnaden för att anlägga fröodlingar i relation till den höga inkomsten av att använda förädlade plantor medför att det endast behövs 1–1,5 procent genetisk vinst för göra en investering i en fröodling lönsam.

Men, kortare fröodlingscykel ger mindre fröproduktion per hektar, vilket måste kompenseras med större total fröodlingsareal. Den därmed ökade kostnaden gör de mest intensiva programmen med de kortaste anläggningsintervallen dyrast. Trots detta är det intensivaste programmet för tall, med 20 års livscykel och 5 år mellan nyanläggningar, det mest lönsamma med högst NPV. För gran gav 30 års livscykel och etablering vart 15:e år högst NPV. Skillnaden mellan trädslagen beror på att gran börjar producera frö senare än tall och att kortare fröodlingscykler generellt ger lägre genomsnittlig fröproduktion. Konsekvensen blir att det behövs större fröodlingar av gran än av tall.

I jämförelse med den traditionella strategin för fröodlingar var alla fröodlingar med rullande front lönsamma över den 115 år långa period som undersöktes. Det mest optimala programmet ökade NPV med 7–10 procent för gran och 34–36 procent för tall. Om man bara beaktar diskonterad inkomst var ökningen för det mest intensiva programmen 25 procent och 37 procent för gran respektive tall. Dessa intensiva program ökade virkesproduktionen med 9 procent för båda trädslagen.

Slutsatser

- Övergång till en fröodlingsstrategi med rullande front kommer att öka den realiserade vinsten från förädlingsprogrammet och ge signifikant ökad virkesproduktion och lönsamhet.
- En fröodlingsstrategi med rullande front är fördelaktigare för arter med tidig och stor fröproduktion som tall, jämfört med gran.
- Inkomsten av att använda förädlad frö är 10 till 45 gånger högre än kostnaden för att anlägga och sköta en fröplantage.
- Noggrann skötsel och att införa nya tekniker för att säkra rikliga fröskördar är viktigt för att ytterligare öka vinsten av fröodlingar. Att öka fröproduktionen i gran är särskilt viktigt.
- Ytterligare fördelar med en rullande-frontstrategi är: a) en mer kontinuerlig arbetsbörda som underlättar för skogsföretagen att upprätthålla kompetens, b) en närmare och mer kontinuerlig samverkan för skogsföretagen med Skogforsk och förädlingsprogrammet och en effektivare överföring av plantmaterial till nya fröodlingar.

Summary

The Swedish tree breeding program managed by Skogforsk is providing genetically improved pine and spruce plus trees for commercial seed production in seed orchards by forest companies. At present breeding progress turned over in new seed orchards will increase gain in the forest with about 20%. The future long-term annual progress in the breeding program is about 0,35% in terms of realized gain.

A seed orchard reaches useful seed production after about 20 years, hence there will be an unproductive time lag between breeding progress and seed production. The traditional strategy for establishing seed orchards is to plant new orchards every 20 year. With an orchard life cycle of 40 years a continuous supply of seeds is achieved. However, with such strategy the time lag between the breeding front and seed production will vary between 20 to 40 years, and consequently the loss of realized gain from breeding will be between 7 to 14 %-points. The obvious objective must therefore be to minimize the time lag between the breeding front and seed production.

In this report a rolling-front strategy for orchard establishment is presented where seed orchards are established at shorter time intervals and with smaller size of overlapping sub orchards in a way that still secures a continuous supply of seeds. The genetic and economic gain from different rolling-front programs was compared, where the intervals of orchard establishment varied from 5 to 20 years and their life cycles from 20 to 40 years. The time horizon for the study was 115 years. Tree growth and economic models were used to calculate the enhanced income by using improved seeds in forest operation, both in terms of increased timber production and NPV at 3,1% real rate of return. Timber prices, regeneration and harvesting cost as well as costs for establishing seed orchards were those presently used by Swedish forest enterprises.

The increase in timber harvest and discounted income was always larger with shorter time interval between orchard establishments and with shorter orchard life cycles. This is the result of a faster application of successively increasing genetic gain from the breeding program. Because of low costs for establishing seed orchards in relation to the high income from using improved seeds it is shown that only 1-1,5% increase in realized gain is required to make an investment in a seed orchard profitable.

However, a short orchard cycle results in smaller seed crops per ha, which must be compensated for by larger seed orchard areas. This increases orchard cost, making the most intensive programs (with shortest establishment intervals) also the most expensive. Still, for pine, the most intense program with a 20-year life cycle and 5 years between orchard establishments was the most profitable in terms of NPV. For spruce, however, a 30-year life cycle and seed orchards established with 15 years interval gave the highest NPV. The difference between species is because spruce sets seeds later than pine and that shorter orchard life cycles result in smaller overall seed production compared to pine. Consequently, larger seed orchards are required.

Compared to the traditional strategy for seed orchard management, all rolling-front programs were profitable over the 115-year period studied. The most optimal programs increased NPV by 7-10% for spruce and 34-36% for pine. Considering only discounted income, the increase for the most intense program was 25% and 37% for spruce and pine respectively. This intense program increased timber production by 9% for both species.

Conclusions

- Changing to a rolling-front seed orchard strategy will enhance realized gain from the breeding progress and result in significantly increased wood production and profitability.
- A rolling-front seed orchard strategy is more beneficial for species with an early and high seed production like pine compared to spruce.
- The income of using improved seed is 10 to 45 times higher than the cost of establishing and running a seed orchard.
- Careful management, and implementation of technologies to secure ample seed production is critical to further increase the gain from seed orchards. Increase of early seed production of spruce is particularly important.
- Additional benefits with a rolling-front strategy are a) more continuous workload for management staff that facilitates maintenance of competence, b) closer and more continuous connection for operational forestry with Skogforsk and the breeding program and more efficient transfer of improved plant material for seed orchard establishment

Förord från Stora Enso

Förädling är det kraftfullaste verktyget vi har för att säkerställa långsiktigt ökad tillväxt och anpassningsförmåga i våra skogar. Skogforsk bedriver ett högklassigt förädlingsarbete för att säkerställa att urvalet av förädlingsmaterial görs korrekt med avseende på såväl geografi som önskade egenskaper. Ansvaret för att få ut värdet av förädlingen i skogen är ett gemensamt ansvar för alla aktörer, då fröodlingarna ägs och sköts av bolagen, i vissa fall i ett samägningssupplägg. Detta kräver hög grad av samverkan och samarbete mellan aktörerna samt nära samordning med Skogforsk som tar fram de faktiska föräldrträden till fröodlingarna.

År 2022–23 gjordes på beställning av Stora Enso en företagsspecifik konfidentiell utredning med två frågeställningar:

1. Vad blir den totala årliga tillväxtökningen och möjligheten till ökade avverkningar, avverkningarnas ekonomiska värde samt värdet på Stora Ensos brukade markinnehav av att använda förädlade plantor?
2. Vad är bästa ekonomi för att anlägga och ersätta fröodlingar med hänsyn tagen till successivt högre genetisk vinst i det svenska förädlingsprogrammet?

I den här omarbetade versionen av utredningen behandlas enbart frågeställning nr 2 som analyserar en strategi för att snabbare föra ut förädlingsframsteg i skogen. Det sker för att Stora Enso anser att resultaten är av allmänt intresse och för att man vill bidra till skogsbrukets gemensamma arbete med att bygga den fjärde omgången fröodlingar samt att man ser fördelar med en gemensam syn på etableringsstrategi för nya fröodlingar. Omarbetningen har bekostats av skogsbrukets organisation för fröodlingssamverkan där Stora Enso medverkar.

2024-11-01

Anna Karlberg

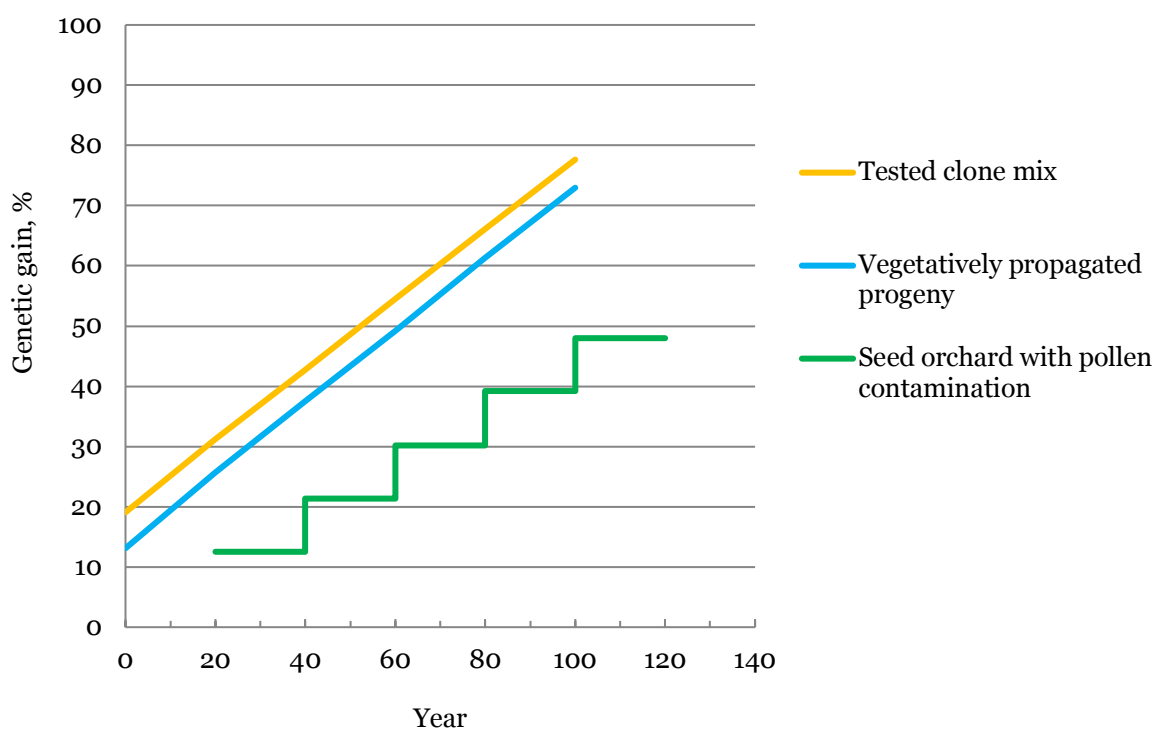
VP Forest R&D, Stora Enso



StoraEnso

Inledning

Att använda förädlade skogsplantor i Norden är mycket lönsamt (Jansson m.fl. 2017). Det framgår också av en global utvärdering av fröodlingars lönsamhet (Chang m.fl. 2019). Förädlade plantor kan ses som ett teknikgenombrott inom skogshushållningen. Skogen kan växa tiotals procent bättre med en försumbar kostnadsökning (Rosvall m.fl. 2011a).



Figur 1. När traditionella fröodlingar ersätter varandra över tid utvecklas förädlingsvinsten med stora språng och med stor eftersläpning jämfört med förädlingsframstegen. Tillväxt- och fröproduktionsfasen är båda 20 år. Vegetativ förökning å andra sidan kan ligga nära förädlingsfronten (Från Rosvall 2019).

Figure 1. Successive replacement of traditional seed orchards generates a stepwise increase in genetic gain with long time delay in relation to the breeding progress. The growth phase and the seed production phase are both 20 years. Vegetative propagation on the other hand can keep up with the breeding frontier.

Dagens fröodlingsmodell för att omsätta förädlingsframsteg i nya skogar medför en tidsförlust. Det tar upp mot 20 år från plantering av fröodlingsträd tills de ger full fröproduktion (Almqvist & Wennström 2020). Det vanliga är sedan att planera för 20 års fröproduktion fram till år 40, samt att bygga en ny odling år 20 som tar över produktionen år 40 (Figur 1). Med exempelvis 0,5 % årlig ökning av tillväxtpotentialen i förädlingsprogrammen har varje fröodling 10 och 20 % lägre genetisk vinst än förädlingsfronten vid fröodlingens år 20 respektive år 40. Tidigare studier har visat att den realiserade förädlingsvinsten kan öka med kortare odlingscykler och bibehållen ekonomi (El-Kassaby m.fl. 2007, Moriguchi m.fl. 2008). Dessa analyser beaktade dock inte de stora tidsskillnaderna mellan kostnader och intäkter.

Inför utbyggnaden av den tredje omgången fröodlingar, TreO, beräknade Rosvall och Eriksson (2002) internräntan för investeringen i en tall- eller granfröodling med 40 års livslängd till ca 7 %. Den i skogen realiserade förädlingsvinsten var 15,3 % för tall och 16,6 % för gran (inräknat att alla planterade plantor inte överlever). Den kalkylen omfattade bara den standardiserade 40-åriga cykeltiden för en enstaka fröodling (Figur 1). Det saknas således ekonomiska analyser som beaktar krav på förräntning av investeringsmedlen, och som samtidigt belyser hur länge en fröodling ska användas, och hur långt intervallet ska vara mellan anläggning av nya fröodlingar med hänsyn till de genetiska framstegen i förädlingspopulationerna.

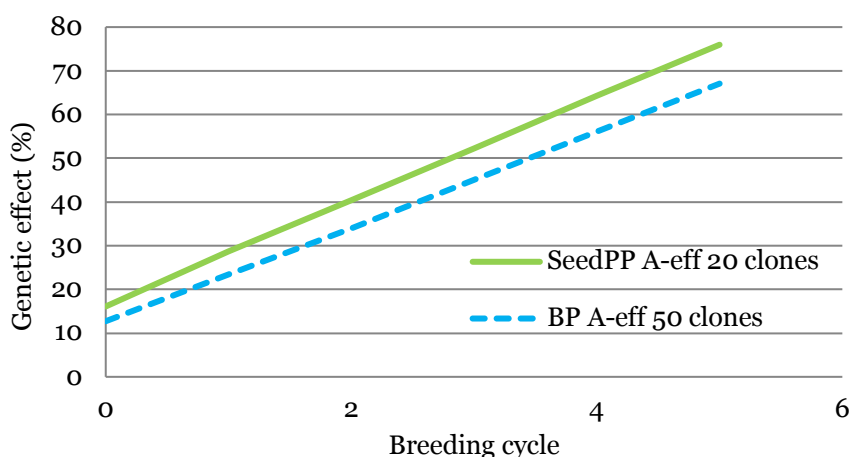
Sveriges skogsföretag är i planeringsskedet för att anlägga nya fröodlingar och det finns ett intresse av att utveckla fröodlingsmodeller för att snabbare kunna ta till vara de successiva genetiska framsteg som sker i förädlingspopulationerna i kontinuerligt förbättrat skogsodlingsmaterial.

Frågeställning

Frågeställningen här är: Vilken fröodlingsstrategi ger högst lönsamhet med avseende på intervall för nyanläggning av fröodlingar och hur länge ska de behållas (skördetid), med hänsyn tagen till successivt högre genetisk vinst i det svenska förädlingsprogrammet?

Allmänt om genetisk vinst

Förädlingsframstegen genereras i förädlingsprogrammet genom riktad selektion av individer med goda och önskvärda egenskaper i genetiska fältförsök. Utvalda träd korsas för att skapa en ny förädlingsgeneration för fälttestning och urval, korsning och testning i ett återkommande förlopp. Det svenska förädlingsprogrammet är dimensionerat så att förbättringen av en selektionsegenskap är ca tio procent per generation (Rosvall m.fl. 2001). Eftersom det samtidigt selekteras för många olika egenskaper blir framsteget för en enskild egenskap mindre, men framsteget för det samlade värdet större. Här tänker vi oss att förbättringen endast gäller tillväxt. Den egenskapen dominerar de första generationerna av förädlingen.



Figur 2. Simulering av den genetiska vinsten i en svensk förädlingspopulation med 50 granar när man tillämpar testning med klonade avkommor, samt utvecklingen av den genetiska vinsten vid en starkare selektion av 20 kloner till en fröodling. SeedPP (grön linje) är fröodlingen och BP (blå linje) är förädlingspopulationen (efter Rosvall 2019).

Figure 2. Simulation of the genetic gain in a swedish breeding population of size 50 breeding trees (Norway spruce) using cloned progenies in field tests (BP Aeff), and in a selected sub set of 20 clones for a seed orchard (SeedPP A-eff).

Den kalkylerade tiden för en förädlingscykel är 20 år (Rosvall m.fl. 2011b). Med 20 års förädlingscykel blir den genetiska vinsten 0,5 procent per år. Sätter man startåret för förädlingen till 1970, då de första mer storskaliga avkommeförsöken anlades, och beaktar de genetiska vinster som Skogforsk presenterar för de fröodlingar som man kan anlägga nu (Högberg & Ugglå 2021), har vinsten varit 0,57 procent per år för gran och 0,51 procent för tall.

Från förädlingspopulationen kan man göra ett snävare urval av de bästa träden till en fröfröodling, varför den genetiska vinsten vid urvalstillfället blir högre än förädlingspopulationens genomsnitt (Figur 2). Men under fröodlingens livstid går förädlingen vidare och utvecklar kontinuerligt mer högförädlade träd så att nya bättre fröodlingar kan anläggas.

Den genetiska vinsten i förädlingsprogrammet mäts mot den population av plusträd som fanns i ursprungspopulationen. Till det kommer vinster av det ursprungliga plusträdsurvalet i naturskogen, lämplig proveniensförflyttning, ökad vitalitet i fröodlingens frö samt förluster genom pollinering från omgivningen och genom naturlig föryngring i de operativa skogsplanteringarna. Effekterna av detta är redovisade av Rosvall och Wennström (2008).

Provenienseffekterna här är lika i alla alternativ

Vissa förädlingspopulationer har sitt ursprung utanför det tänkta användningsområdet för att utnyttja effekten av proveniensförflyttning. Det har stor betydelse för tall i norra Sverige och för gran i hela Sverige och är viktigt att beakta vid nationella avverkningsberäkningar där utgångsläget och många tillväxtfunktioner bygger på den ursprungliga lokala trädpopulationen. I beräkningarna av den nya skogen i den här

utredningen antar vi att det alltid används optimal proveniens även om oförädlade plantor planteras. Därmed behöver den posten inte beaktas här.

Effekter av plusträdsurval i naturpopulationen och av fröodlingen i sig

Den totala effekten på tillväxt av plusträdsurval i skogen är 10 %. Siffran är noggrant empiriskt belagd av till exempel Andersson m.fl. (2003), men lite svår att förstå i detalj. Själva selektionen av plusträden beräknas öka tillväxten med 6 %. Att samla träd från olika platser till en fröodling minskar inavelsgraden, vilket ökar tillväxten med 2 %. Oftast förklaras mellanskillnaden mellan dessa 8 % och den empiriskt uppmätta effekten av plusträdsurvalet med ökad fysiologisk vitalitet hos fröodlingsfröet. Till dessa 10 % kommer sedan selektionsvinster genom urval av testade träd i nya förädlingsgenerationer.

Realiserad förädlingsvinst

Hela förädlingsvinsten kan inte realiseras vid massförökning i fröodlingar. Inkorsning av omgivningspollen från oförädlad skog innebär att fadersbidraget från omgivningen kan variera från 100 % i en nyetablerad fröodling till 0 % i en fullständigt isolerad fröodling, till exempel i ett växthus. I många sammanhang används ett samband mellan ålder och bakgrundspollinering som redovisats av Rosvall och Wennström (2008) samt Almqvist och Wennström (2020). Bakgrundspollineringen sjunker från 100 % år 10 till 45 % år 20 för att därefter vara konstant. Metodiken för att uppskatta bakgrundspollineringen utvecklas. Den senaste studien visar att främmande pollen kan stå för betydligt mindre andel, särskilt för gran (Heuchel m.fl. 2022). Här räknar vi för både tall och gran med 40 % oförädlad pollen oberoende av trädens utveckling. Om slutsatserna i Heuchel m.fl. (2022) visar sig vara generella har vi av det skälet underskattat den genetiska vinsten (och skogens tillväxt) för gran i den här studien.

Naturlig föryngring i skogsbestånden

Vid plantering i skogen är överlevnaden inte 100 procent. Det sker naturlig föryngring av både barrträd och lövträd. Men den naturliga föryngringen startar lite senare och har relativt sämre tillväxtpotential ju högre förädlingsnivån är hos de förädlade planterade plantorna. Simuleringar visar att vid låggallring kommer de förädlade träden att stå för huvuddelen av beståndets tillväxt sett över hela omloppstiden (Bullock m.fl. 2010). Detta bör även gälla gentemot träden med oförädlad pollenfader.

Realiserad förädlingsvinst, sammanfattningsvis

För en fröodling i produktion beräknas den genetiska vinsten med komponenterna i Tabell 1. Två förädlingscykler som ger 10 + 10 % genetisk vinst samt plusträdsurvalets 10 % = 30 % realiseras med 21,6 %. Det är den storleksordning som nu är aktuell i den fjärde fröodlingsomgången, FyrO.

Tabell 1. Exempel på realiserad förädlingsvinst efter två generationers förädling med 0,5 % ökad genetisk vinst per år och 20 års generationstid.

Table 1. Realized genetic gain after two cycles of breeding considering 0.5% gain per year, 20-year cycle time, the effect of initial plus tree selection and various orchard effects.

Händelse	Reduktionsfaktor	Genetiska vinstkomponenter %
Två förädlingscykler		10+10
Plusträdsurval		6
Provenienseffekt		0
Minskad inavel		2
Fröfysiologi		2
Summa genetisk vinst		30
Omgivningspollen	0,8	24
Naturlig föryngring	0,9	21,6

Urval till fröodlingar från många förädlingspopulationer jämnar ut vinsttrappan

För varje enskild förädlingspopulation sker förädlingsframstegen huvudsakligen språngvis vid selektionstillfällena inför generationsskiftena. Men genom att en fröodling kan rekrytera fröodlingsträd från ett antal olika populationer, där förädlingsarbetet inte ligger i fas, kan man räkna med en mer kontinuerlig utveckling av förädlingsvinsten över tid. Dessutom kan förädlingen anpassas efter skogsbrukets önskemål.

Metoder

Ekonomisk analys

Frågeställningarna analyserades med modeller för skogstillväxt och ekonomisk utveckling. Kostnader och intäkter för en investering diskonterades för att beräkna nettonuvärdet, NPV (Net Present Value), och en prioriteringskvot, K-kvot, vilken uttrycker NPV per investerad nuvärdeskrona (Simonsen m.fl. 2007, 2010). K-kvoten vägleder hur man ska prioritera mellan investeringar för största lönsamhet när det finns ett begränsat utrymme i investeringsbudgeten. Indata för föryngrings- och avverkningskostnader samt prislistor för timmer och massaved avser år 2022.

Det är svårt att sia om framtida priser och kostnader. Därför antas i den här typen av jämförande ekonomisk analys att nuvarande priser och kostnader gäller i all framtid. Den använda kalkylräntan i alla ekonomiska beräkningar var 3,1 %. Kalkylräntan ska ses som en real ränta efter skatt. Det motsvarar en nominell ränta om 6,5 % vid 20,6 % bolagsskatt och 2 % inflation (långsiktigt antagande).

Ett kalkylprogram som optimerar omloppstiden vid aktuell kalkylränta (Rosvall m.fl. 2007) och konsekvensanalysprogrammet Heureka användes för att analysera fröodlingsprogrammen.

Beräkningarna gjordes för typbestånden med SI T20, T24, T28, G24, G28 och G32. De NPV som beräknades med Heureka omräknades från Heurekas markvärden med kalkylverktygets ekonomiskt optimala omloppstider (då uppgift om omloppstiden saknades i Heureka). Med detta underlag beräknades NPV för 1 % genetisk vinst. Den vinsten uppräknades med utvecklingen av den prognosticerade framtida genetiska vinsten vid beräkningen av skogsintäkten i analysen av fröodlingsprogrammen.

I Heureka simuleras att förädlingseffekten inte uppnås fullt ut i bestånden genom en funktion för naturlig inväxning och genom konkurrens mellan träden. Vi har inte studerat hur stor effekt av detta som genereras i Heureka. I äldre nationella avverkningsberäkningar har reduktionsfaktorn varit i storleksordningen 0,8–0,9 (Rosvall & Wennström 2008). I denna studie är förädlingsvinsterna så höga med potentiellt hög konkurrensförmåga hos träden att vi räknade med faktorn 0,9.

Kostnaderna för att anlägga och sköta fröodlingar hämtades från Skogforsks erfarenheter med några justeringar. Största förändringen var att kostnaden ökades med 20 %, bland annat med tanke på den senaste tidens prisutveckling.

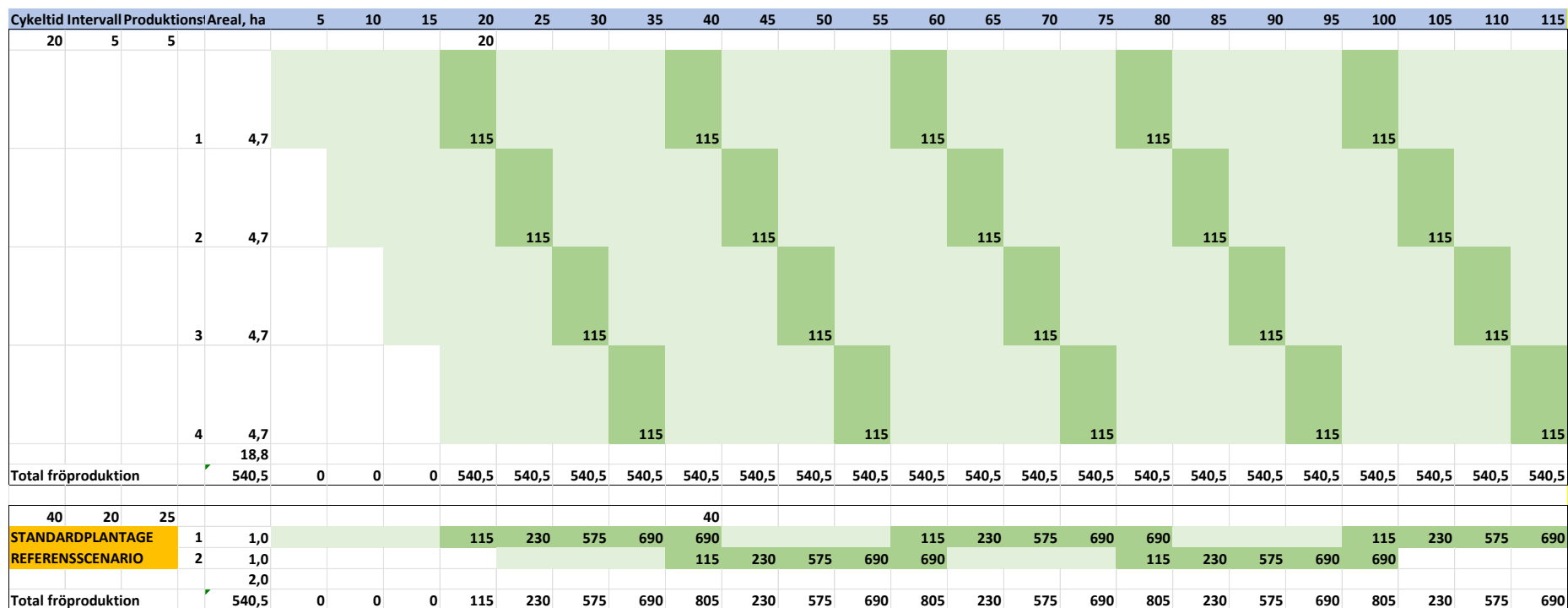
Strategi för fröodlingsanläggning – rolling-frontfröodlingar

Ju oftare fröplantager nyetableras, desto bättre utnyttjas förädlingsframstegen, men samtidigt ökar kostnaden. Tidigare har begreppet ”rullande fröodlingar” främst tänkts som ett system där man successivt ersätter enskilda fröodlingsträd, men det har också funnits tankar på att avverka och nyetablera delar av fröodlingen under situationer med frööverkott (Rosvall & Almqvist 2003).

För att ta reda på hur nära fröodlingar kan ligga förädlingsfronten för att nå högsta genetiska vinst, producera önskad mängd frö och samtidigt vara lönsamma studerades en strategi med rullande fröodlingar som sträckte sig över lång tid. Strategin går ut på att många delytor eller delfröodlingar successivt planteras så att delytorna tidsmässigt löper om lott inom en större fröodling (Figur 3). Träden på dessa delfröodlingar avverkas med tiden enligt ett rullande schema och ersätts med nya träd. Systemet med delfröodlingar utformas så att önskad fröproduktion upprätthålls över tiden. Man skulle kunna använda begreppet ”rolling front seed orchard” i paritet med ”rolling front breeding” (Borralho & Dutkowski 2022).

Cykeltiden eller cykeln är delfröodlingens totala livslängd, varefter den ersätts med nya träd. Cykeltiderna i beräkningarna var: 20, 25, 30, 35 och 40 år. Nyanläggningsintervallet anger hur ofta en ny delfröodling planteras. Nyanläggningsintervallen var 5, 10, 15 och 20 år. För gran, med 15 års växttid till fröproduktion, blev då produktionstiderna: 5, 10, 15, 20 och 25 år och för tall med 5 års växttid: 15, 20, 25, 30 och 35 år.

För att jämföra de olika fröodlingsprogrammen anpassades arealen så att fröproduktionen (planterbara plantor) blev lika stor som i en traditionell fröodling, benämnd "standardfröodling". Standardfröodlingen utgjordes av en fröodling med 40-årscykel och 20 års anläggningssintervall och 25 eller 35 års tid för fröproduktion för gran respektive tall. Den bestod av 2 ha, 1 ha för var och en av de två delfröodlingar som krävs för att upprätthålla fröproduktion över tid. Utifrån uppgifterna för fröproduktion enligt Tabell 3 (Almqvist & Wennström 2020) producerade standardfröodlingen i genomsnitt 540 500 planterbara granplantor per hektar och år under 100 år och 1 070 000 planterbara tallplantor per hektar och år under 110 år av de studerade 115 åren. Alla resultat vad gäller ekonomi och skogsproduktion för de olika fröodlingsprogrammen avser alltså effekten av så stor fröavkastning som kommer från 2 ha standardfröodling, där fröproduktionen huvudsakligen sker på 1 ha medan 1 ha är under tillväxt (Figur 3).



Figur 3. Visualisering av två olika fröodlingsprogram för gran under 115 år. Ljusgrönt är tillväxtfas. Mörkare grönt är produktionsfas för frö. Siffran anger antalet "planterbara" plantor per år och ha i 1000-tal. Delfröodlingarnas höjd symboliserar arealen för att producera samma mängd plantor som produceras på totalt 1+1 = 2 ha i standardfröodlingen under den 100 år långa perioden med reell fröproduktion (i genomsnitt 540 500 plantor per år). I kolumnerna till vänster anges Cykeltid, det vill säga fröodlingsdelens livstid, Intervall mellan nyanläggningar, Produktionstid för frö, Delfröodlingens nummer och areal och programmets totalareal. På nedre raden anges den totala årliga fröproduktionen för varje femårsperiod.

I det övre exemplet visualiseras det system som ligger närmast förädlingsfronten. Det har kortast möjliga cykeltid, 20 år, nyanläggs vart 5:e år och producerar frö under 5 år. De ständigt unga delfröodlingarna ger en låg fröproduktion (115 000 plantor) så fröodlingen måste vara totalt 18,8 ha med fyra 4,7 ha stora delfröodlingar. I det nedre exemplet visualiseras standardfröodlingen med 40-års cykel, 20 års nyanläggningsintervall och 25 års produktionstid. Observera att siffrorna avser fröproduktionen per ha i 1 000-tal enligt Skogforsk (Almqvist & Wennström 2020) (Tabell. 3).

Figure 3. Two seed orchard programs for spruce. Light green is the orchard growth phase. Darker green is the production phase for seed. The numbers indicate the production of useful seedlings/year in thousands. The height of the orchard-part is proportional to the area needed to produce the same number of seedlings as is produced on 1 + 1 = 2 ha of the standard orchard during the studied 100-year period of realized seed production (on average 540 000 seedlings per year). In the columns to the left is given: Cycle time i.e. the life cycle of the orchard-part, Interval between establishment of orchard-parts, Production time of seed, Order of the orchard-part and its area and the total area of all parts. The total annual seedling production for each five-year period is given on the bottom line.

First is shown the program closest to the breeding front with the shortest possible cycle time, 20 years, establishment every 5 years, and seed production for 5 years. The regularly young orchard-parts produce little seed (115 000 seedlings per year) so the total orchard area must be 18,8 ha with four 4,7 ha orchard-parts. Below is shown the standard orchard with 40 years cycle time, establishment every 20 years and seed production for 25 years.

Utgångsläget för den genetiska vinstnivå som användes i analysen var den som kan realiseras för fröodlingszonerna G5 och G6 samt T17 och T16 (Högberg & Ugglå 2021). Den fortsatta utvecklingen av den genetiska vinsten i förädlingen var 0,5 % per år och reducerades med hänsyn till bakgrundspollinering i fröodlingen och inväxning i beståndet till en realiserbar nivå om 0,35 % per år. Valet av 0,35 % är i enlighet med teorin om hur det svenska förädlingsprogrammet kan utvecklas (Rosvall 2011b). Nivån kan också ses som att inkludera en viss löpande effektivisering av förädlingsarbetet med nya metoder i planen för mätning av genetiska tester som rapporterats av Högberg och Ugglå (2021), där framsteget är något långsammare.

Kostnader

Fröodling

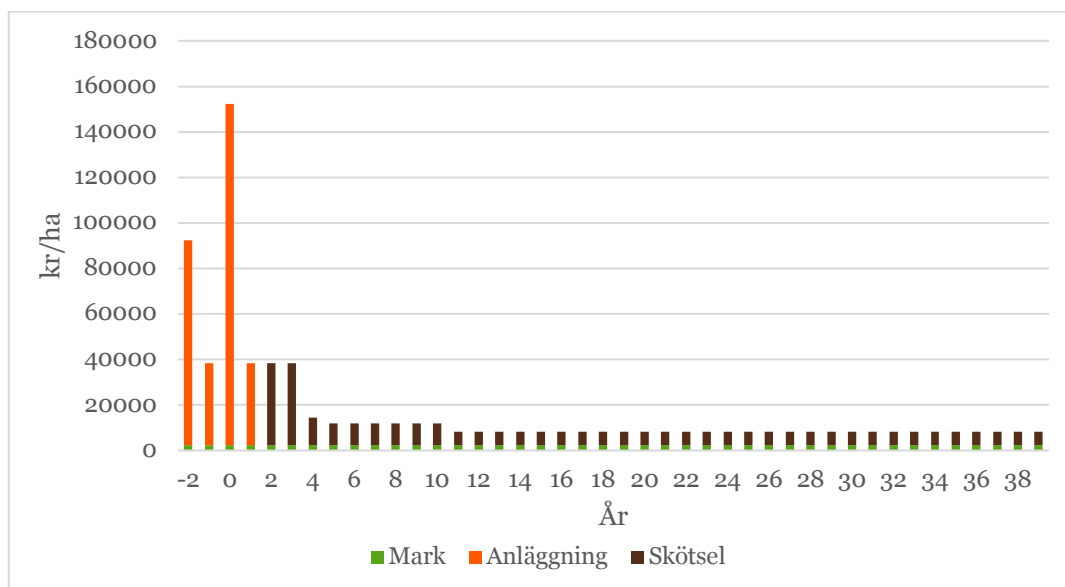
Kostnaderna för fröodlingarna omfattade alla utgifter för att anlägga och sköta så stor areal som det behövs för att producera 540 500 plantor per år för gran och 1 070 000 plantor per år för tall, vilket är produktionen i respektive standardfröodling (Tabell 2, Figur 4). I beräkningarna höjde vi kostnaden med 20 % med tanke på den senaste tidens prisutveckling.

Tabell 2. Kostnader för att anlägga och sköta 1 ha gran- eller tallfröodling enligt Skogforsk. I beräkningarna höjdes dessa kostnader med 20 %.

Table 2. Costs, SEK, to establish and manage one ha spruce or pine seed orchard according to Skogforsk. These costs were increased by 20 % in the calculations. Seed harvesting costs were not included.

Åtgärd	Tidpunkt, år	kr/ha
Markarbeten	-2	75 000
Stängsel	-1	30 000
Ympar, plantering, kartering, märkning	0	125 000
Hjälplantering, mm	1 till 3 ¹⁾	20 000
Skötsel	3 till 10	8 000
Skötsel	11-	5 000
Markhyra	alla år	2 000

¹⁾ Modifierat efter Rosvall och Eriksson (2002).



Figur 4. Utgifter för ett ha fröodling med 40 års cykeltid. Data från Tabell 2. Här är kostnaderna höjda med 20 %.

Figure 4. Annual expenses for one ha seed orchard with a 40-year cycle. Data from table 2.

Kostnaden för stängsel är beräknad så att det studerade hektaret ligger i en större fröodling om 10 hektar. Vi antog att fröodlingsmarken har en alternativ användning. Den kan som här användas för en ny fröodling eller arrenderas ut. Avvecklingen av fröodlingsträden antas ge en inkomst som täcker stubbrytningen. Därmed blir ”markhyran” per år densamma i alla program, oberoende av det studerade fröodlingsprogrammets cykeltid. Kostnaden för att plocka kottar och framställa frö

räknades som en del av plantkostnaden i beståndskalkylen, eftersom alternativet är att skaffa frö på något annat sätt.

Kostnaderna under fröodlingarnas livstid diskonterades till år 0. Fröodlingsprogram med olika cykeltid (20 till 40 år) jämfördes genom att beräkna nuvärdeskostnaden när fröodlingscykeln upprepades under 115 år.

Fröproduktion

Fröskördens storlek ökar i början av fröodlingens livstid och minskar mot slutet (Almqvist & Wennström 2020) (Tabell 3). Den varierar mellan 1–10 kg/ha. Under 40 år producerar tall 2,1 ggr så mycket frö som gran. I beräkningarna har vi använt värdena i Tabell 3 utan några utjämnings över tid.

Tabell 3. Årlig fröproduktion i fröodlingar enligt Almqvist och Wennström (2020) uttryckt som antal planterbara plantor och beskogad areal per år. 2 000 plantor planteras per ha. Använda tidsperioder är här modifierad till femårsperioder med start vart 5:e år. Tall producerar 2,1 gånger mer frö än gran per producerande år.

Table 3. Annual seed production per hectare of seed orchards for five-year consecutive periods expressed as useful seedlings (Almqvist & Wennström 2020), and potential planted area using 2000 seedlings per ha. Pine is producing 2.1 times more seedlings than spruce.

År enl. författarna	År använda här	Gran,	Tall,	Gran,	Tall, seedlings	Gran, beskogad areal	Tall, beskogad areal
		S breddgrad 62	S breddgrad 62	plantor/kg frö: 115 000	plantor/kg frö: 110 000		
		kg/ha fröodling	kg/ha fröodling	plantor/ha fröodling	plantor/ha fröodling	ha	ha
1–5	0–4	0	0				
6–9	5–9	0	1		110 000		55
10–14	10–14	0	4		440 000		220
15–20	15–29	1	8	115 000	880 000	58	440
21–24	20–24	2	10	230 000	1 100 000	115	550
25–30	25–29	5	8	575 000	880 000	288	440
31–40	30–34	6	6	690 000	660 000	345	330
	35–39	6	6	690 000	660 000	345	330
Totalt	1–39			11 500 000	33 110 000	5 750	16 555
Per år med produktion				460 000	946 000	230	473
Tall/gran per år					2,1		2,1

Kostnaden för att plocka kottar och framställa frö sattes till 6 000 kr/kg i beräkningarna. Det ger ett pris per planta om 0,043–0,052 kr för gran och 0,045–0,055 kr för tall. Den kostnaden belastade plantpriset i beståndskalkylen.

Intäkter – nuvärden vid ökad tillväxt i skogen

Intäkterna av att använda förädlade plantor med bättre tillväxt beräknades som nettonuvärde, NPV, för så många hektar som varje årsskörd i fröodlingen kunde beskoga under dess produktionstid (Tabell 3). Den genomsnittliga fröproduktionen hämtades från standardfröodlingen och tillämpades i alla fröodlingsprogram, men med varje programs årliga variation till följd av utvecklingen i Tabell 3.

Omloppstiden optimerades med hänsyn till aktuella föryngringskostnader, maskinkostnader och prislister. Nuvärdesberäkningens år 0 för skogsplanteringen sattes till skördeåret i fröodlingen, vilket är en förenkling, då det tar minst ett år att producera och plantera plantorna. Därefter diskonterades nuvärdet från skogsplanteringar från olika planteringsår till fröodlingsinvesteringens år noll.

Det är svårt att över tid upprepa ett fröodlingsprograms effekt på skogen korrekt utan omfattande programmering. I skogskalkyler beräknas markvärden som innebär att nuvärdet av ett skötselprogram upprepas i all oändlighet, vilket gör att skötselprogram med olika omloppstid kan jämföras. I en rolling-frontstrategi ökar förädlingsvinsten från fröodlingarna successivt så att även skogsskötselprogrammen i skogen ändras med tiden. Därför valde vi att studera en lång tidsperiod för att få med många fröodlingscykler. Effekten av att den sista fröodlingscykeln i vissa program måste avbrytas under pågående cykel får då mindre betydelse. Det påverkar på så vis inte slutsatserna, men gör resultatdata lite ”hackigare” än de egentligen är.

Beräkningar för olika ståndortsindex

Tillväxtökningen och avverkningsintäkterna genom att plantera förädlade plantor varierar med ståndortsindex och därmed lönsamheten för fröodlingarna. För att underlätta beslut om en fröodlingsinvestering beräknades därför hur mycket tillväxten ökade och lönsamheten förändrades för typbestånd på olika SI H100.

Ökad tillväxt mätt i kubikmeter

Genetisk vinst med fröodlingsplantor kommer till uttryck i ökad medeltillväxt som vid ekonomisk optimering av avverkningstidpunkten till största delen ger ökad avverkning genom kortare omloppstider (Rosvall m.fl. 2006). Totalproduktionen under den kortare omloppstiden i det enskilda beståndet påverkas därmed i mindre omfattning. Genom att låta den förädlade skogen med större tillväxt växa lika länge som den oförädlade skogen kunde vi enkelt synliggöra merproduktionen i den förädlade skogen. Vi antog att den möjliga ökade avverkningen skedde under en lika lång period som fröodlingsprogrammen producerade frö men en omloppstid senare.

Vilket täckningsbidrag krävs per planta för fröodlingskostnaden?

För att kunna sätta pris på plantorna behövs, förutom kännedom om kostnaden för själva plantproduktionen, också kunskap om hur stor fröodlingskostnaden och värdet av den genetiskt betingade tillväxtökningen är räknat per planta (samt naturligtvis hur marknaden ser ut).

Här beräknades fröodlingskostnaden per planta för en enstaka traditionell fröodling med 40 års livslängd. Den genetiska vinsten sattes till 15, 20 och 25 % för att täcka de intervall

som är aktuella för nuvarande och kommande fröplantager. Först diskonterades alla kostnader och intäkter till år 0, varefter de prolangerades till fröproduktionens startår, och sist beräknades annuiteter för åren med fröproduktion. För gran startade fröproduktionen år 15 och pågick i 25 år. För tall startade den år 5 och pågick i 35 år. För enkelhetens skull antogs i detta exempel att fröproduktionen var lika fördelad mellan år under den totala fröproduktionsperioden.

Känslighetsanalys

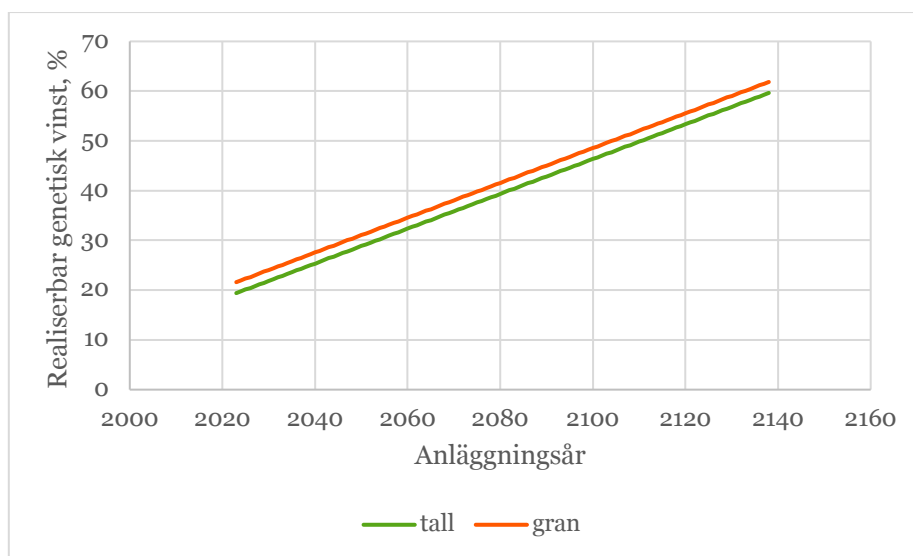
Fröproduktion och genetisk vinst är av övergripande betydelse för intäktens storlek, och fröproduktionen för fröodlingskostnaden. Resultatens känslighet studerades genom att variera ingångsdata för dessa komponenter.

Resultat

Alternativa fröodlingsprogram med rolling-frontstrategi

Vinstutveckling

Den realiserbara vinstutvecklingen i de simulerade fröodlingsprogrammen har som utgångspunkt vad som var möjligt att uppnå år 2023 för de mellansvenska fröodlingszonerna G5 och G6 samt T15 och T16. Med hänsyn till bakgrundspollinering är dessa genetiska vinster 24,0 % för gran och 21,5 % för tall (Figur 5). För att i kalkylverket hantera effekten av inväxning av oförädlade träd i skogen minskades vinstnivåerna med en faktor 0,9 till 21,6 % för gran och 19,4 % för tall. En fröodling som planteras 2023 ger de första skördarna med dessa vinstnivåer 2038 (efter 15 år) för gran och 2028 (efter 5 år) för tall. Den årliga ökningen av den realiserbara genetiska vinsten var därefter 0,35 % per år med hänsyn till både bakgrundspollinering av oförädlad pollen i fröodlingen och inväxning av oförädlade träd i skogen (Figur 5).

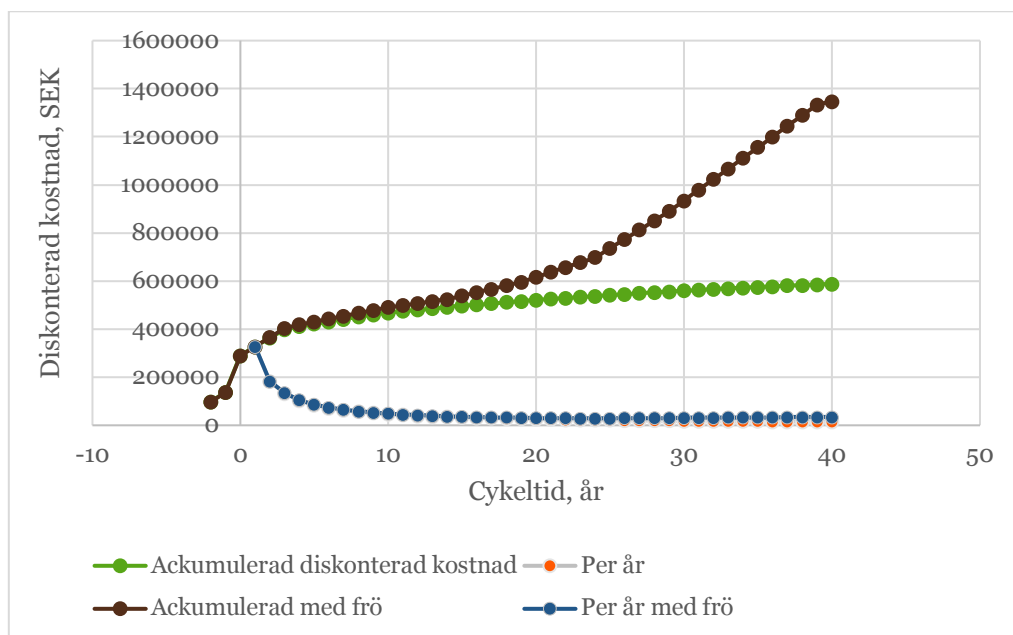


Figur 5. Realiserbar förädlingsvinst vid anläggningstillfället av en fröodling. Teoretisk vinstökning om 0,5 % per år reducerades till 0,35 % genom att ta hänsyn till 40 % bakgrundspollinering och 10 % inväxning av oförädlade träd. Den genetiska nivån år 2023 var 21,6 % och 19,4 % för gran respektive tall.

Figure 5. Realized genetic gain at the time of seed orchard establishment. Theoretical annual increase in gain of 0.5% was reduced to 0.35% by allowing for 40% external pollination and 10% unimproved trees in the stand. Initial level of genetic gain in 2023 was 21.6% and 19.4% for spruce and pine respectively.

Kostnader

Den diskonterade kostnaden för att anlägga en fröodling stiger de första åren under anläggningstiden och ökar därefter sakta med tiden, då fler år med fröodlingsskötsel och markhyra adderas (Figur 6). Kostnaden för att skörda och behandla ett kg frö är konstant (6 000 kr/kg frö) men skördekostnaden ökar under fröodlingens produktionstid eftersom fröskördens storlek ökar. Den diskonterade kostnaden för en fröodlingscykel ökar därför med längden på cykeln (Tabell 4). Utslaget över tid får dock långa fröodlingscykler en lägre diskonterad kostnad per år, både med och utan fröskörd (Figur 6).



Figur 6. Ackumulerad diskonterad förädlingskostnad med och utan fröskörd från år -2 till år 40, samt motsvarande genomsnittliga diskonterad kostnad per år. OBS! Per år utan fröskörd (röda punkter) döljs delvis bakom Per år med fröskörd (gula punkter).

Figure 6. Accumulated discounted seed orchard costs including harvesting costs (grey) and excluding this cost (blue) and the corresponding average annual discounted cost per year. The average annual costs without harvesting (red) are hidden behind the annual costs with harvesting (yellow).

Tabell 4. Diskonterad kostnad för fröplantager med olika cykellängd med och utan fröskörd.

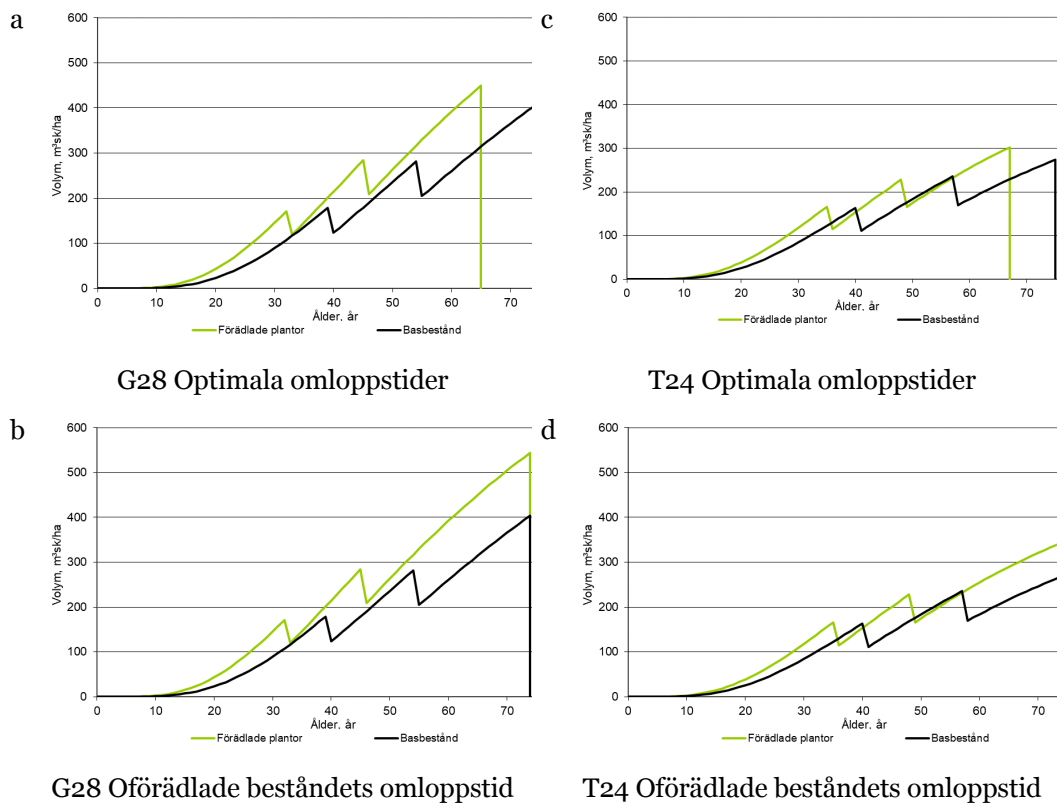
Table 4. Discounted costs for seed orchards with different cycle length, with and without harvesting costs.

Cykeltid, år	Diskonterad förädlingskostnad per hektar		
	Utan fröskörd	Med fröskörd	Ökning
	SEK	SEK	relativa tal
20	521 240	545 626	1,05
25	542 071	604 606	1,12
30	559 952	688 753	1,23
35	575 303	769 890	1,34
40	588 480	839 541	1,43

I analysen av fröodlingsprogrammen lät vi kostnaden för kottplockning och fröbehandling räknas till förnygringskostnaden via plantpriset och inte till förädlingskostnaden. Eftersom vi använt samma år för fröskörd och plantering så flyttas endast kostnaden från fröodlingen till beståndsanläggningen. Kostnaden och diskonteringstiden är oförändrad. Intäkten i skogen minskar av att plantpriset inkluderar en högre frökostnad i samma grad som förädlingskostnaden minskar av att skördekostnaden inte tas med och NPV blir oförändrat.

Tillväxtmodell

Beståndsutvecklingen exemplifieras för gran på SI G28 (Figur 7a och b) och för tall på SI T24 (Figur 7c och d). Skötselprogrammet i Figur 7a och c, med avverkning vid ekonomiskt optimal omloppstid låg till grund för alla ekonomiska beräkningar. Skötselprogrammet i Figur 7b och d där båda bestånden slutavverkas vid det oförädlade beståndets ekonomiskt optimala omloppstid användes bara för att beräkna tillväxtökningen i m³sk.



Figur 7a, b, c och d. Skötselprogram och stående virkesförråd för SI G28 och T24 vid ekonomiskt optimal omloppstid samt vid det oförädlade beståndets ekonomiskt optimala omloppstid. Förädlade planter växer 21,6 % och 19,4 % bättre, vilket var nivån för nya gran- och tallfröodlingar år 2023 i fröodlingszonerna G5-G6 och T15-T16.

Figure 7a, b, c and d. Forest managing programs and standing volume for spruce and pine stands on site-index G28 and T24 respectively. Economic optimal rotation time for improved and unimproved stands (a and c above) compared to economic optimal rotation time of the unimproved used also for the improved stand (b and d below). Genetic gain for improved trees (green) is 21.6% and 19.4% for spruce and pine respectively corresponding to the genetic level in 2023 for orchard zones G5-G6 and T15-T16.

Den genetiska vinsten i nu aktuella fröodlingar skulle ge 139 m³sk/ha extra om granbestånden slutavverkades efter 74 år och 74 m³sk/ha extra om tallbestånden slutavverkades efter 75 år (Figur 7a, b, c och d samt Tabell 5).

Nuvärdesökning per procent genetisk vinst och hektar

En genetisk vinst om 25 % minskar den ekonomiskt optimala omloppstiden med 8–12 år för typbestånden, (Tabell 6). Det ökar tillväxten motsvarande en höjning av SI H100 med 3 m. Plus 50 % genetisk vinst är med för att indikera nivåerna vid de högsta tillväxtökningarna. De resultaten uppnås först under de sista åren av 115-årsperioden.

Tabell 5. Förändring av övre höjd och ekonomiskt optimal omloppstid på olika ståndortsindex vid olika realiserad genetisk vinst.

Table 5. Change in dominant height and economic optimal rotation time at different site indexes for unimproved stands and stand with +25 and +50 % genetic gain.

Oförädlad skog		Förädlad skog Genetisk vinst					
		+25 %			+50 %		
SI H100	Omlopps- tid	SI H100	Omlopps- tid	SIH100	Omlopps- tid	SIH100	Omlopps- tid
G24	89	27,2	77	29,6	68		
G28	74	30,9	64	33,2	56		
G32	60	34,7	52	36,8	50 ¹		
T20	90	22,4	78	24,4	70		
T24	75	26,5	66	28,7	59		
T28	62	30,8	54	33,2	50 ¹		

¹⁾ Minsta omloppstiden i analysverktyget är 50 år

Nuvärdesökningen vid plantering av förädlade plantor med 1 % genetisk vinst som beräknades med samma indata, både med Heureka och analysverktyget, gav samstämmiga resultat (Tabell 6). Den marginella effekten på nuvärdet av 1 % vinstökning utvecklas proportionellt med ökningen av den genetiska vinsten (Bilaga 1).

Tabell 6. Nettonu värden för 1 % förädlingsvinst på ett ha skogsmark på olika ståndorter beräknade med Heureka och med analysverktyget, samt de nu värden som användes i kalkylerna.

Table 6. Net present value NPV at 1% genetic gain on 1 ha land at different site indexes (SI H100), calculated with Heureka and with the production-economic model used here and the NPVs used in the calculations.

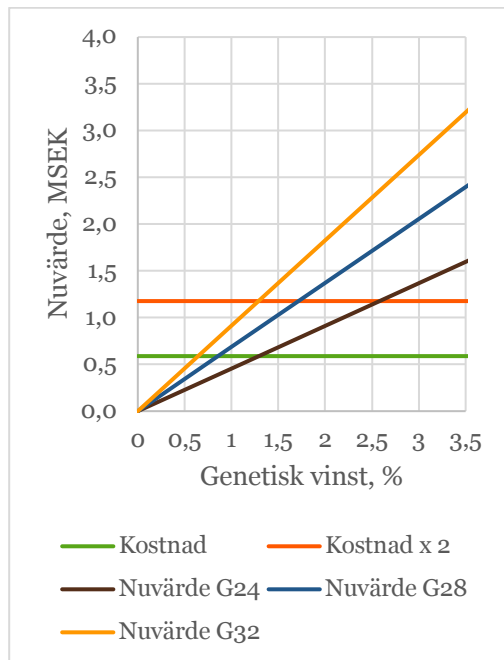
	Nettonu värden, NPV per % genetisk vinst, beräknade med olika metoder		
	SEK per ha		
SI H100	Heureka	Kalkylverktyget	Använda nu värden
G24	179	201	200
G28	297	290	300
G32	381	428	400
T20	147	109	130
T24	268	208	240
T28	350	338	350

Minsta lönsamma genetiska vinst för en traditionell fröodling, break-even

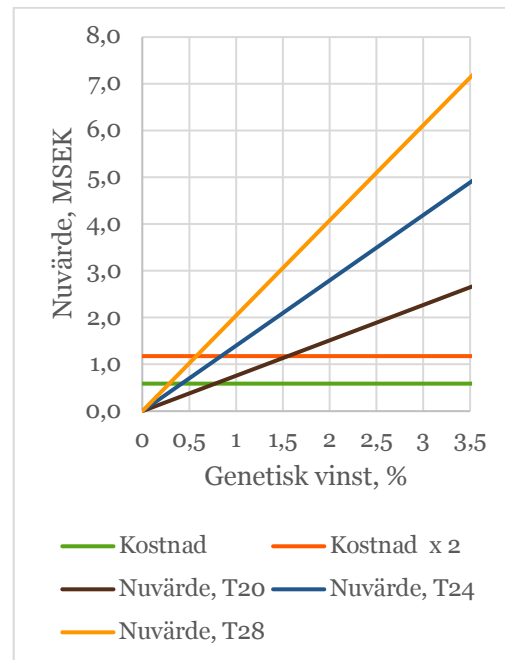
Den minsta lönsamma genetiska vinsten för att anlägga en traditionell fröodling med 40 års cykeltid och 25 års produktionstid varierade med trädslag och med hur mycket virkesproduktionen ökade i absoluta tal, samt med skogens omloppstid (diskonteringstiden).

Med nu värden för fröodlingskostnader och nu värden för intäkter vid 3,1 % kalkylränta krävdes ca 1,3 % genetisk vinst för break-even (då kostnader och intäkter är lika, det vill säga brytpunkten mellan olönsamt och lönsamt) på SI G24, ca 0,9 % på G28 och ca 0,6 % på G32 (Figur 8). Skulle kostnaden för fröodlingen fördubblas, dubblades också vinstkravet. En fröodling för skog på SI G24 behövde då 2,5 % genetisk vinst för att nå break-even. För tall med sin stora fröproduktion låg break-even för alla tre ståndortsindex under ca 0,8 % genetisk vinst. Fördubblades fröodlingskostnaden nåddes break-even vid ca 1,6 % för den lägsta skogsinkomsten på SI T20.

a, gran



b, tall



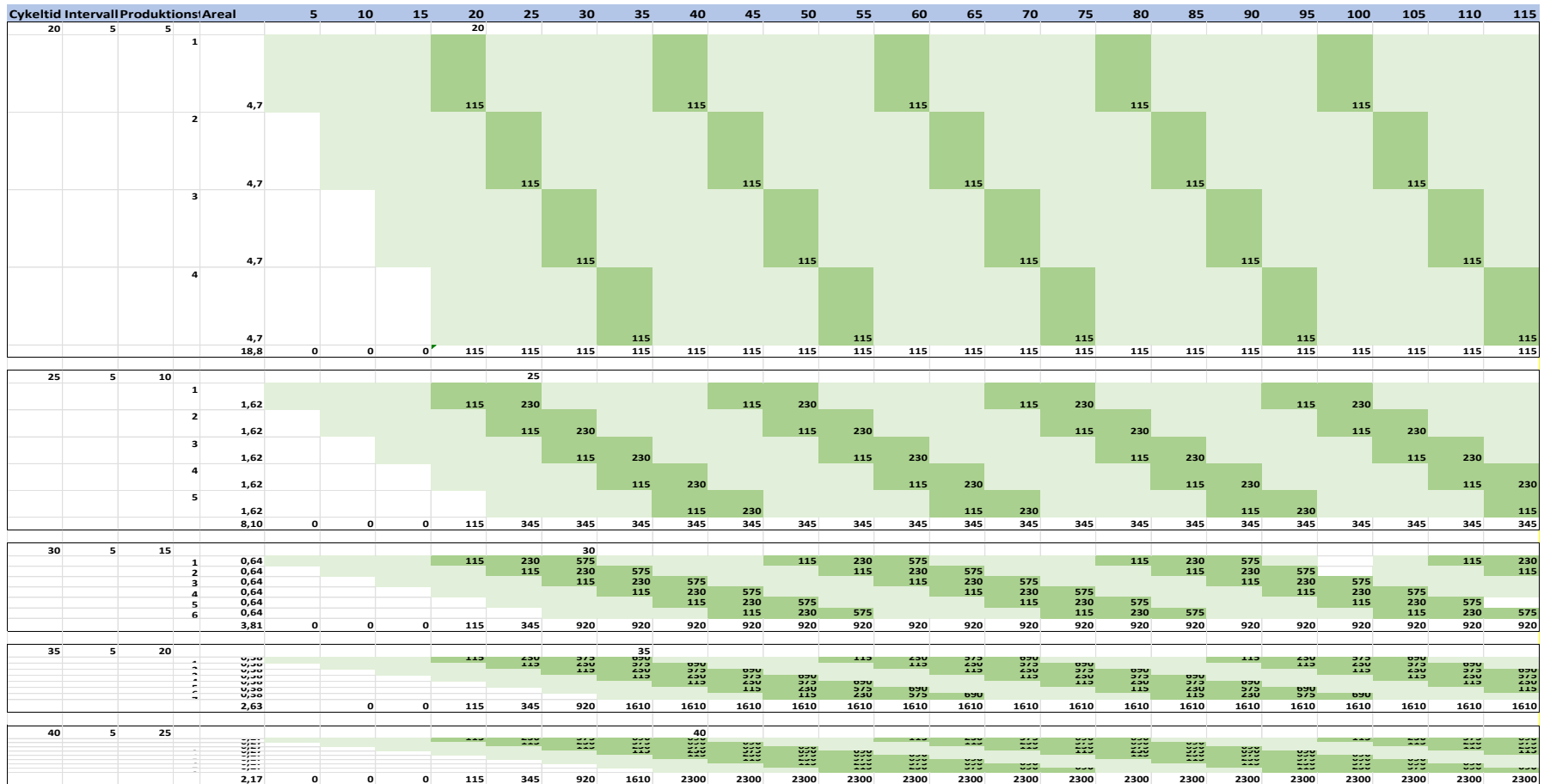
Figur 8. Minsta genetiska vinst för lönsamhet vid anläggning av ett hektar traditionell gran- och tallfröodling med 40 års cykeltid för olika SI H100 för tänkt skogsodling vid uppskattad och fördubblad fröodlingskostnad. Analys med 3,1 % real kalkylränta.

Figure 8. Minimum genetic gain for profitability when establishing one ha of traditional spruce (left) and pine (right) seed orchard with 40-year cycle time, depending on site index for the intended planting land. Horizontal lines are orchard establishing cost (blue) and doubled establishing cost (orange). Real rate of return in the analysis was 3.1%.

Effekt av varierade anläggningsintervall och cykeltider för fröodlingar

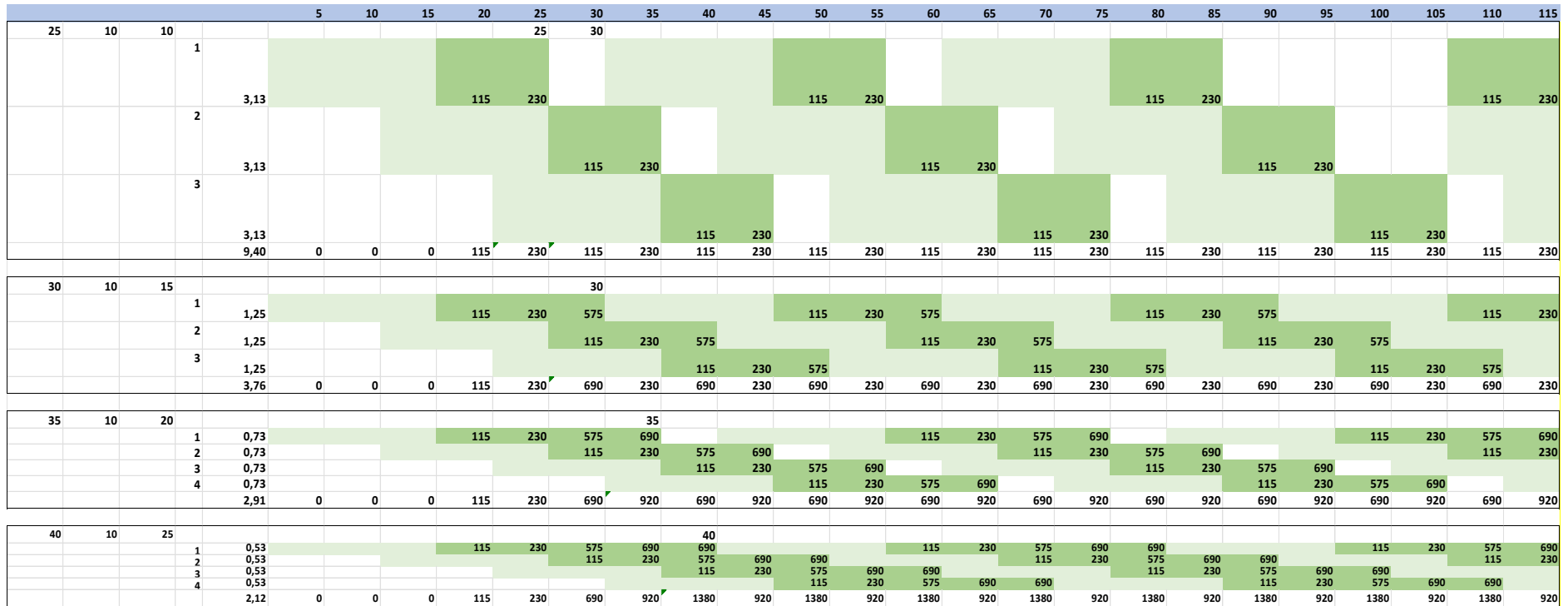
Den tidsmässiga och areella utvecklingen för de olika fröodlingsprogrammen med gran redovisas i Figur 9a, b och c. Ibland uppkommer luckor i tidsschemat för att få cykeltiderna mellan delfröodlingar i fas. Tallprogrammen ser lika ut som för gran men produktionstiden av frö för tall börjar redan efter 5 år och blir då 10 år längre, vilket ger större överlappning mellan delfröodlingar. För tall redovisas två exempel på program i Figur 10, medan de ekonomiska resultaten för alla program redovisas för gran och tall i Tabell 7 respektive 8.

Eftersom fröproduktionen per hektar är låg i början av en fröodlings livstid måste det kompenseras med större areal vid korta cykeltider, då produktionstiden blir kort. Vid långa cykeltider å andra sidan ökar fröproduktion med tiden, och därmed blir arealbehovet mindre (Figur 9a, b och c, Figur 10, Tabell 7 och 8). Det förstärks ytterligare för fröodlingsprogram med korta anläggningsintervall och långa cykeltider då de programmen i genomsnitt har mer äldre träd i produktion och därmed större fröproduktion per hektar. Det här sambandet är tydligast för gran med sin, i jämförelse med tall, sena och låga fröproduktion. Rolling-front-fröodlingarna behöver generellt sett större totalareal än standardfröodlingarna men varje delfröodling är för gran ibland, och för tall alltid mindre än standardfröodlingens 1 ha (Tabell 7 och 8).



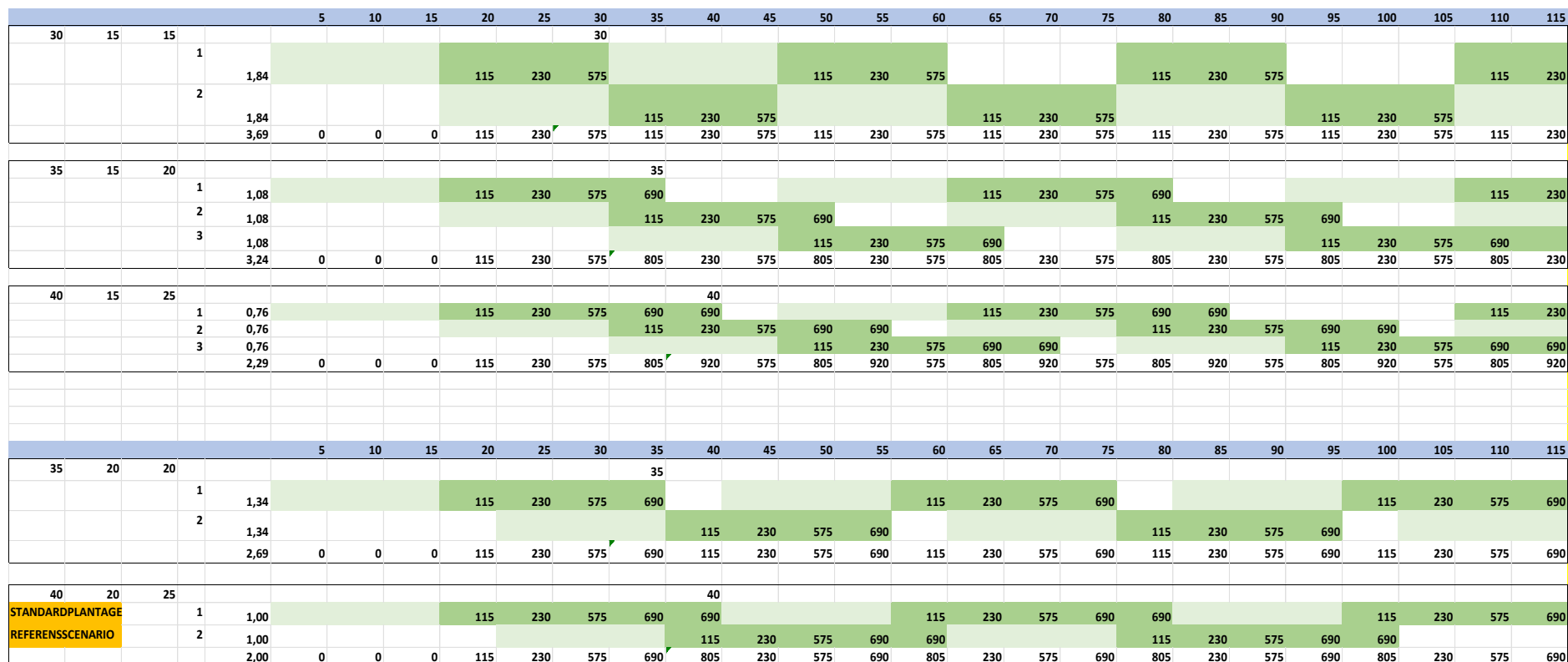
Figur 9a. Fröodlingsprogram för gran med 20, 25, 30, 35 och 40 år cykeltid (livstid) för delfröodlingarna. Nyplantering vart 5:e år i alla program av 4 till 8 delfröodlingar beroende på cykeltid. Se Figur 3 för en detaljerad figurbeskrivning. Ljusgrön är tillväxtfas. Mörkare grön är produktionsfas med antalet användbara plantor per ha och år. Delfröodlingarnas höjd symboliserar den verkliga arealen för att fröodlingsprogrammet ska producera lika mycket plantor, 540 500 plantor/år, under den analyserade 100 år långa perioden när frö produceras. Det är vad produktionen är i standardfröodlingen med 40 års cykeltid och plantering vart 20:e år, vilket är sista scenario i figur 9c. Arealer anges för varje delfröodling och för hela fröodlingen. Siffrorna återges även i Tabell 7.

Figure 9a. Seed orchard programs for spruce with 20-, 25-, 30-, 35-, and 40-years cycle (life span) for orchard parts, establishment of new parts every 5 year in all programs with 4 to 8 orchard parts depending on cycle time. Se Figure 3 for a detailed figure description. Light green is orchard growth phase. Darker green is orchard seed production phase with useful seedlings per ha and year. The hight of orchard parts symbolizes the area needed to make the program produce as many seedlings (540 500 seedlings/year) during the 100 year of seed production as the standard program shown in figure 9c. Figures are also given in Table 8.



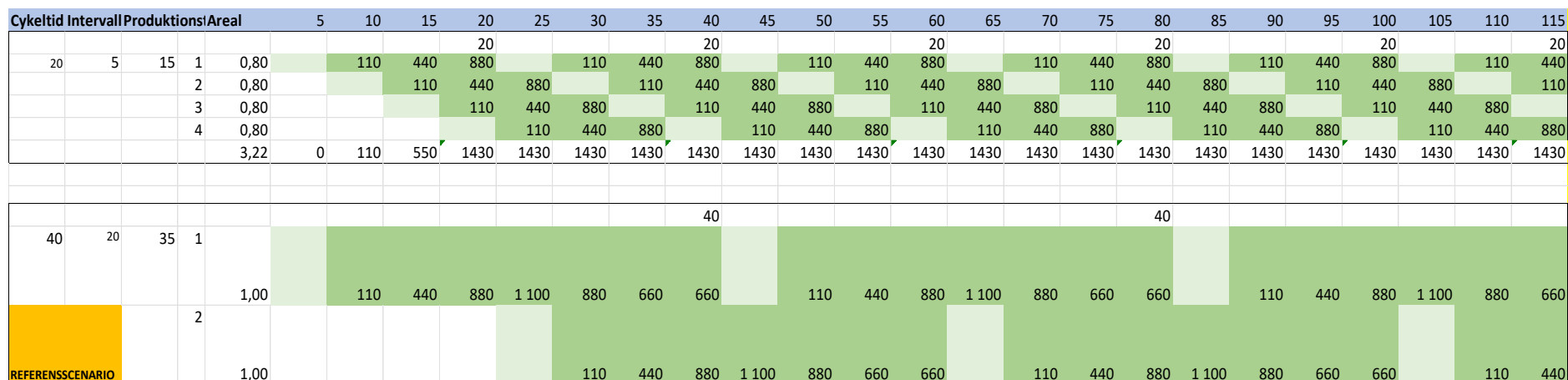
Figur 9b. Fröodlingsprogram för gran med 25, 30, 35, och 40 års cykeltid (livstid) för delfröodlingarna. Nyplantering vart 10:e år i alla program av 3 till 4 delfröodlingar beroende på cykeltid. Se Figur 3 för en detaljerad figurbeskrivning. Ljusgrön är tillväxtfas. Mörkare grön är produktionsfas. Siffrorna avser produktionspotentialen per ha och år för användbara plantor. Delfröodlingarnas höjd symboliserar den verkliga arealen för att fröodlingsstrategin ska producera lika mycket plantor, 540 500, plantor per år under den analyserade 100 år långa perioden när frö produceras. Det är produktionen i standardfröodlingen med 40 års cykeltid och plantering vart 20:e år, vilket är sista scenario i figur 9c. Arealer anges för varje delfröodling och för hela fröodlingen. Siffrorna återges även i Tabell 7.

Figure 9b. Seed orchard programs for spruce with 25-, 30-, 35- and 40-years cycle (life span) for orchard parts, establishment of new parts every 10 year in all programs with 3 to 4 orchard parts depending on cycle time. Se Figure 3 for a detailed figure description. Light green is orchard growth phase. Darker green is orchard seed production phase with useful seedlings per ha and year. The height of orchard parts symbolizes the area needed to make the program produce as many seedlings (540 500 seedlings/year) during the 100 years of seed production as the standard program shown in figure 9c. Figures are also given in Table 8.



Figur 9c. Fröodlingsprogram för gran med i övre delen 30, 35 och 40 års cykeltid (livstid) för delfröodlingarna. Nyplantering vart 15:e år i alla program av 2–3 delfröodlingar beroende på cykeltid. I nedre delen med 35 och 40 års cykeltid (livstid) och nyplantering var 20:e år i båda programmen av 2 delfröodlingar. Se Figur 3 för en detaljerad figurbeskrivning. Ljusgrön är tillväxtfas. Mörkare grön är produktionsfas med produktionspotentialen per ha och år för användbara plantor. Delfröodlingarnas höjd symboliserar den verkliga arealen för att fröodlingsstrategin ska producera lika mycket plantor, 540 500 plantor per år, under den analyserade 100 år långa perioden när frö produceras. 540 500 plantor per år är produktionen i standardfröodlingen med 40 års cykeltid och plantering vart 20:e år, vilket är sista scenario i denna figur. Arealer anges för varje delfröodling och för hela fröodlingen. Siffrorna återges även i Tabell 7.

Figure 9c. Seed orchard programs for spruce. Upper programs with 30-, 35- and 40-years cycle (life span) for orchard-parts, establishment of new parts every 15 year in all programs with 2 to 3 orchard-parts depending on cycle time. Lower programs with 35- and 40-years cycle (lifespan) and establishment of a new part every 20 year in both programs. See Figure 3 for a detailed figure description. Light green is orchard growth phase. Darker green is orchard seed production phase expressed as useful seedlings per ha and year. The height of orchard-parts symbolizes the area needed to make the program produce as many seedlings (540 500 seedlings/year) during the 100 years of seed production as the standard program shown in figure 9c. Figures are also given in Table 8.



Figur 10. Två fröodlingsprogram för tall. Överst, det mest intensiva programmet med 20 års cykeltid (livstid) för delfröodlingarna och nyplantering vart 5:e år av 4 delfröodlingar. Under, standardprogrammet med 40 års cykeltid (livstid) för delfröodlingarna, nyplantering vart 20:e år och 2 delfröodlingar. Se Figur 3 för en detaljerad figurbeskrivning. Ljusgrön färg är tillväxtfas. Mörkare grön är produktionsfas med produktionspotentialen per ha och år för användbara plantor. Delfröodlingarnas höjd symboliserar den verkliga arealen för att fröodlingsstrategin ska producera lika mycket plantor, 1 070 000 plantor per år, under den analyserade 110 år långa perioden när frö produceras. Arealer anges för varje delfröodling och för hela fröodlingen. OBS! annan skala än för gran. Siffrorna återges även i Tabell 8.

Figure 10. Two seed orchard programs for pine. Topmost is the most intensive program with 20 years cycle (lifespan) for orchard parts, establishment of new parts every 5 year with 4 orchard parts. Below is the standard program with 40 years cycle (lifespan) for orchard parts and establishment of new parts every 20 year. Se Figure 3 for a detailed figure description. Light green is orchard growth phase. Darker green is orchard seed production phase with useful seedlings per ha and year. The height of orchard parts symbolizes the area needed to make the program produce as many seedlings (540 500 seedlings/year) during the 100 years of seed production as the standard program shown in figure 9c. Numbers are also given in Table 8.

Tabell 7. Beskrivning av samtliga fröodlingsprogram för gran samt deras ekonomiska resultat för olika Sl. Jämförelse görs vid den areal då respektive program har samma fröproduktion som standardprogrammet 40 20, det vill säga 540 500 planterbara plantor per ha och år under tiden med fröproduktion (100 år för gran). Väntetid för vissa program innebär att planteringen av varje delfröodling måste skjutas upp 5 år för att följa programmets "regler" och göra olika program jämförbara.

Table 7. Description of all orchard programs for spruce and the economic results. Comparison is for the orchard area of each program that produces the same number of seeds as the standard program 40 20 i.e. 540 500 useful seedlings per ha end year for the 100 years of seed production. "Väntetid" for some programs implies that planting of an orchard-part must be delayed by 5 years to follow the "rules" of the program and make different programmes comparable. "Högst NPV" and "Lägst NPV" is highest and lowest NPV respectively. "Högst K-kvot" is highest ratio NPV/discounted costs. Standard is the traditional seed orchard with 40 years rotation and reestablishment every 20 years.

Cykel och intervall	20 5	25 5	30 5	35 5	40 5	25 10	30 10	35 10	40 10	30 15	35 15	40 15	35 20	40 20
	Lägst NPV ¹⁾				Högst K-kvot	Väntetid		Väntetid		Högst NPV	Väntetid		Väntetid	Standard
Antal delfröodlingar	4	5	6	7	8	3	3	4	4	2	3	3	2	2
Intervall, år	5	5	5	5	5	10	10	10	10	15	15	15	20	20
Produktionstid, år	5	10	15	20	20	10	15	20	25	15	20	25	15	20
Delfröodlingsareal, ha	4,7	1,6	0,6	0,4	0,3	3,1	1,3	0,7	0,5	1,8	1,1	0,8	1,3	1,0
Total areal, ha	18,8	8,1	3,8	2,6	2,2	9,4	3,8	2,9	2,1	3,7	3,2	2,3	2,7	2,0
G24														
Disk. Intäkt, MSEK	33,2	30,6	27,9	26,1	24,6	31,3	29,0	26,7	25,4	29,9	27,3	25,8	27,6	26,6
<i>D. int. relativa tal</i>	1,25	1,15	1,05	0,98	0,93	1,18	1,09	1,00	0,95	1,12	1,03	0,97	1,04	1,00
Disk. kostnad, MSEK	16,8	6,0	2,4	1,5	1,1	6,3	2,6	1,9	1,2	2,7	1,6	1,2	1,6	1,3
NPV, MSEK	16,4	24,6	25,5	24,6	23,5	25,0	26,4	24,8	24,2	27,2	25,7	24,6	25,9	25,3
<i>NPV, relativa tal</i>	0,65	0,97	1,01	0,97	0,93	0,99	1,04	0,98	0,96	1,07	1,01	0,97	1,02	1,00
K-kvot	1,0	4,1	10,5	16,6	21,5	4,0	10,2	12,9	20,9	9,9	15,6	20,6	15,7	20,2
G28														
Disk. Intäkt, MSEK	49,9	46,0	41,9	39,1	36,9	47,0	43,5	40,1	38,1	44,9	41,0	38,7	41,3	39,9
<i>D. int. relativa tal</i>	1,25	1,15	1,05	0,98	0,93	1,18	1,09	1,00	0,95	1,12	1,03	0,97	1,04	1,00
Disk. kostnad, MSEK	16,8	6,0	2,4	1,5	1,1	6,3	2,6	1,9	1,2	2,7	1,6	1,2	1,6	1,3
NPV, MSEK	33,1	40,0	39,5	37,6	35,8	40,7	40,9	38,1	36,9	42,1	39,3	37,5	39,7	38,6
<i>NPV, relativa tal</i>	0,86	1,03	1,02	0,97	0,93	1,05	1,06	0,99	0,96	1,09	1,02	0,97	1,03	1,00
K-kvot	2,0	6,6	16,2	25,4	32,7	6,5	15,7	19,9	31,9	15,4	23,9	31,4	24,1	30,8
G32														
Disk. Intäkt, MSEK	66,5	61,3	55,9	52,1	49,2	62,7	58,0	53,4	50,8	59,8	54,6	51,6	55,1	53,2
<i>D. int. relativa tal</i>	1,25	1,15	1,05	0,98	0,93	1,18	1,09	1,00	0,95	1,12	1,03	0,97	1,04	1,00
Disk. kostnad, MSEK	16,8	6,0	2,4	1,5	1,1	6,3	2,6	1,9	1,2	2,7	1,6	1,2	1,6	1,3
NPV, MSEK	49,7	55,3	53,4	50,6	48,1	56,4	55,4	51,5	49,6	57,1	53,0	50,4	53,5	51,9
<i>NPV, relativa tal</i>	0,96	1,06	1,03	0,98	0,93	1,09	1,07	0,99	0,95	1,10	1,02	0,97	1,03	1,00
K-kvot	3,0	9,2	21,9	34,2	43,9	9,0	21,3	26,9	42,8	20,9	32,1	42,3	32,5	41,4

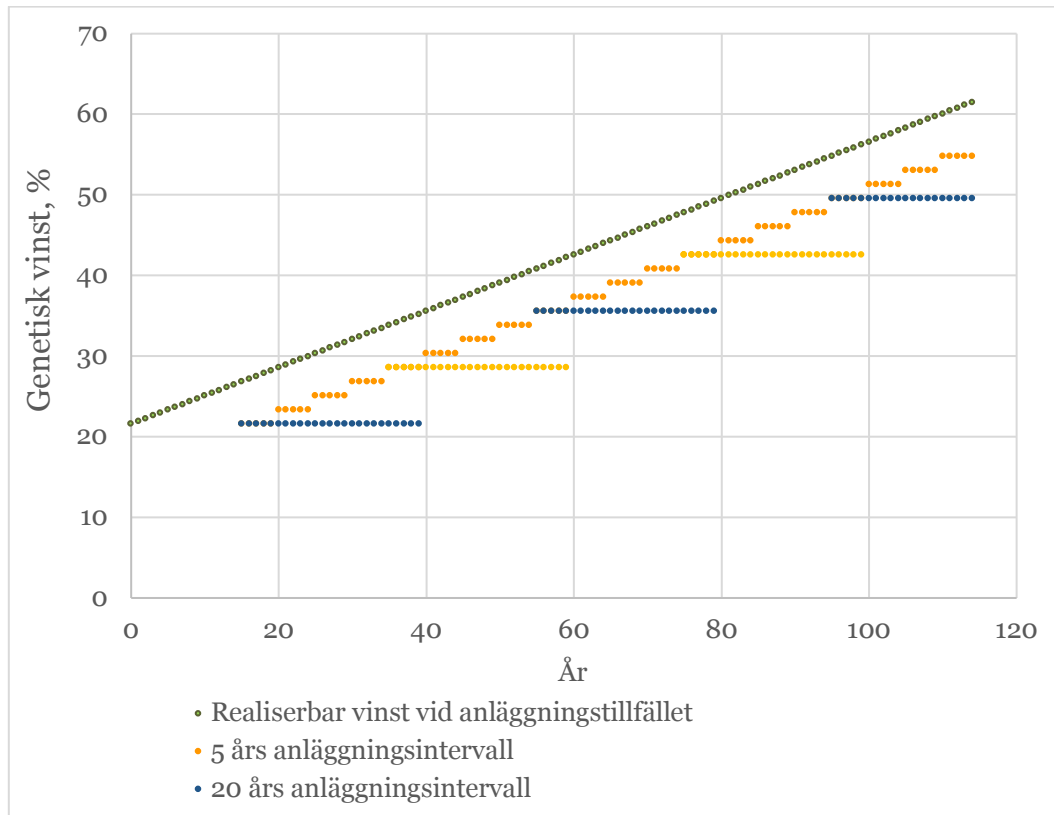
¹⁾ Gäller ej G32

Tabell 8. Beskrivning av alla fröodlingsprogram för tall samt deras ekonomiska resultat. Jämförelse görs vid den areal då respektive program har samma fröproduktion som standardprogrammet 40 20, det vill säga 1 070 000 planterbara plantor per ha och år under tiden med fröproduktion (110 år för tall).

Table 8. Description of all orchard programs for spruce and the economic results. Comparison is for the orchard area of each program that produces the same number of seeds as the standard program 40 20 i.e. 1 070 000 useful seedlings per ha end year for the 110 years of seed production. "Högst NPV" and "Lägst NPV" is highest and lowest NPV respectively. "Högst K-kvot" is highest ratio NPV/discounted costs. Standard is the traditional seed orchard with 40 years rotation and reestablishment every 20 years.

Cykel och intervall	20 5	25 5	30 5	35 5	40 5	25 10	30 10	35 10	40 10	30 15	35 15	40 15	35 20	40 20
														Standard
	Högst NPV				Högst K-kvot									Lägst NPV
Antal delfröodlingar	4	5	6	7	8	3	3	4	4	2	3	3	2	2
Intervall	5	5	5	5	5	10	10	10	10	15	15	15	20	20
Produktionstid	5	10	15	20	20	10	15	20	25	15	20	25	15	20
Delfröodlingsareal, ha	0,8	0,5	0,4	0,3	0,3	0,9	0,7	0,6	0,5	1,0	0,9	0,8	1,1	1,0
Total areal, ha	3,2	2,3	2,1	2,1	2,1	2,7	2,1	2,4	2,1	2,0	2,6	2,3	2,3	2,0
T20														
Disk. intäkt, MSEK	49,8	42,8	40,8	39,4	37,9	43,9	42,0	40,3	39,0	43,1	38,9	39,0	42,3	36,3
<i>D. int. relativa tal</i>	1,37	1,18	1,13	1,09	1,05	1,21	1,16	1,11	1,07	1,19	1,07	1,08	1,17	1,00
Disk. kostnad, MSEK	2,9	1,7	1,37	1,2	1,1	1,8	1,4	1,26	1,14	1,5	1,3	1,2	1,4	1,3
NPV, MSEK	46,9	41,1	39,5	38,2	36,8	42,0	40,6	39,1	37,8	41,6	37,6	37,8	41,0	35,0
<i>NPV, relativa tal</i>	1,34	1,17	1,13	1,09	1,05	1,20	1,16	1,12	1,08	1,19	1,07	1,08	1,17	1,00
K-kvot	16,3	23,5	28,8	31,8	34,1	23,0	28,1	30,9	33,2	27,5	28,3	31,9	29,6	27,9
T24														
Disk. intäkt, MSEK	92,0	79,0	75,4	72,7	70,0	81,0	77,6	74,5	71,9	79,5	71,8	72,0	78,2	67,0
<i>D. int. relativa tal</i>	1,37	1,18	1,13	1,09	1,05	1,21	1,16	1,11	1,07	1,19	1,07	1,08	1,17	1,00
Disk. kostnad, MSEK	2,9	1,7	1,4	1,2	1,1	1,8	1,4	1,3	1,1	1,5	1,3	1,2	1,4	1,3
NPV, MSEK	89,1	77,3	74,0	71,5	68,9	79,1	76,1	73,2	70,8	78,0	70,5	70,8	76,8	65,7
<i>NPV, relativa tal</i>	1,36	1,18	1,13	1,09	1,05	1,20	1,16	1,11	1,08	1,19	1,07	1,08	1,17	1,00
K-kvot	31,0	44,3	54,1	59,5	63,7	43,3	52,7	58,0	62,1	51,5	53,1	59,8	55,6	52,4
T28														
Disk. intäkt, MSEK	134,1	115,2	109,9	106,0	102,1	118,1	113,1	108,6	104,9	116,0	104,7	105,0	114,0	97,7
<i>D. int. relativa tal</i>	1,37	1,18	1,13	1,09	1,05	1,21	1,16	1,11	1,07	1,19	1,07	1,08	1,17	1,00
Disk. kostnad, MSEK	2,9	1,7	1,4	1,2	1,1	1,8	1,4	1,3	1,1	1,5	1,3	1,2	1,4	1,3
NPV, MSEK	131,2	113,5	108,5	104,8	101,0	116,3	111,7	107,4	103,7	114,4	103,4	103,8	112,6	96,4
<i>NPV, relativa tal</i>	1,36	1,18	1,13	1,09	1,05	1,21	1,16	1,11	1,08	1,19	1,07	1,08	1,17	1,00
K-kvot	45,7	65,1	79,3	87,2	93,4	63,6	77,3	85,0	91,0	75,6	77,9	87,7	81,5	76,8

Den genetiska vinsten vid anläggningstillfället består under fröodlingens hela livstid medan den genetiska vinsten i förädlingsprogrammet successivt ökar (Figur 11). Genom att anlägga delfröodlingar med täta intervall blir den genetiska vinsten i hela fröodlingen större (Figur 11 samt Tabell 7 och 8).



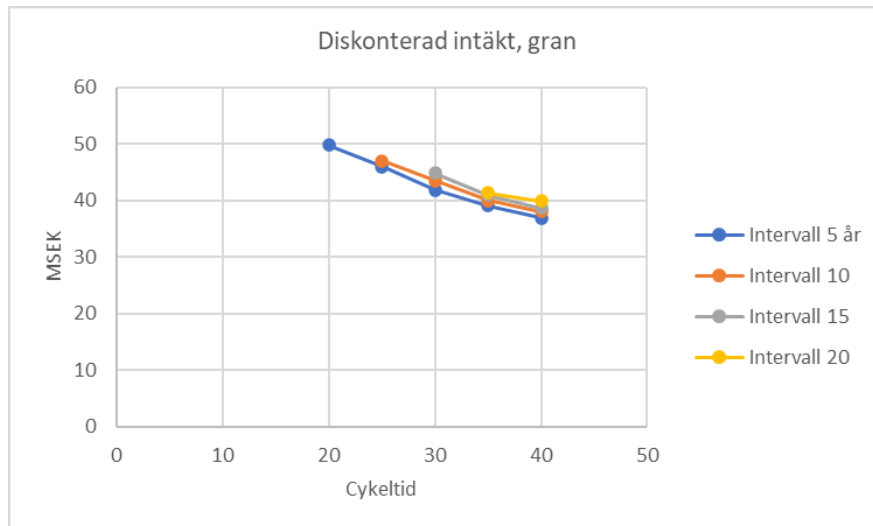
Figur 11. Realiserad vinstutveckling för granprogrammet 20 5 (20 års cykel och 5 års anläggningsintervall) jämfört med standardprogrammet 40 20 (40 års cykel och 20 års anläggningsintervall), samt realiserbar vinst vid anläggningstillfällena. Den realiserbara vinsten 2023 inför den nu aktuella fröodlingsanläggningen, Fyra-O, är 21,6 % för gran, vilket är värdet år noll. Väntetiden till fröproduktion för gran är 15 år.

Figure 11. Realized gain for the spruce program with 20 years cycle and 5 years planting interval compared to the standard program with 40 years cycle and 20 years planting interval. The green dotted line is the realized gain at planting. Realized gain at first planting in 2023 (year 0) is 21,6%. Growth phase until first seed harvest for spruce is 15 years.

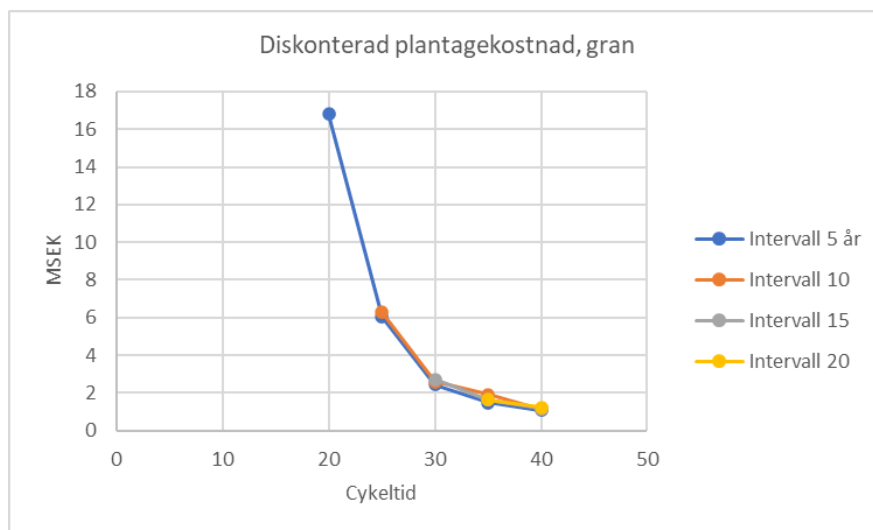
Är bästa alternativet det som ger högst NPV?

Den rent ekonomiskt lönsammaste strategin är den som maximerar NPV, (Tabell 7 och Figur 12 för SI G28 samt Tabell 8 och Figur 13 för SI T24). Motsvarande figurer för SI G24 och G32 samt SI T20 och T28 redovisas i Bilaga 2.

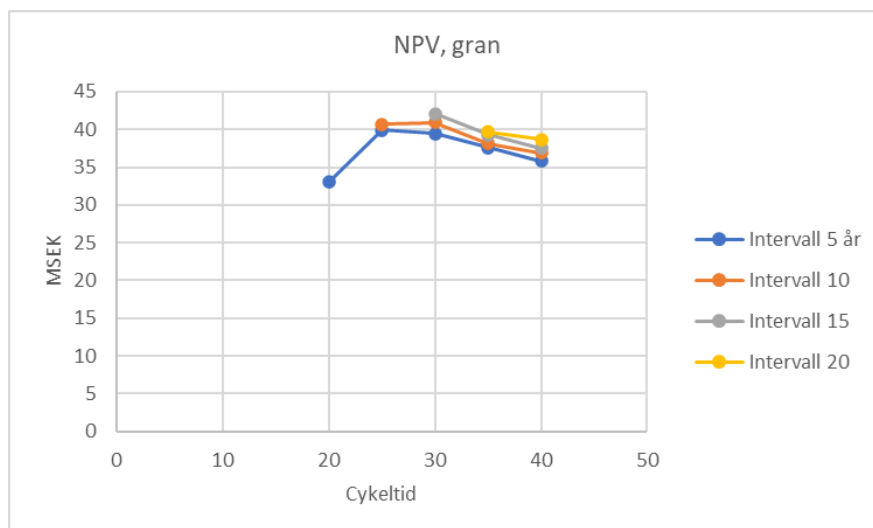
A
G28



B
G28

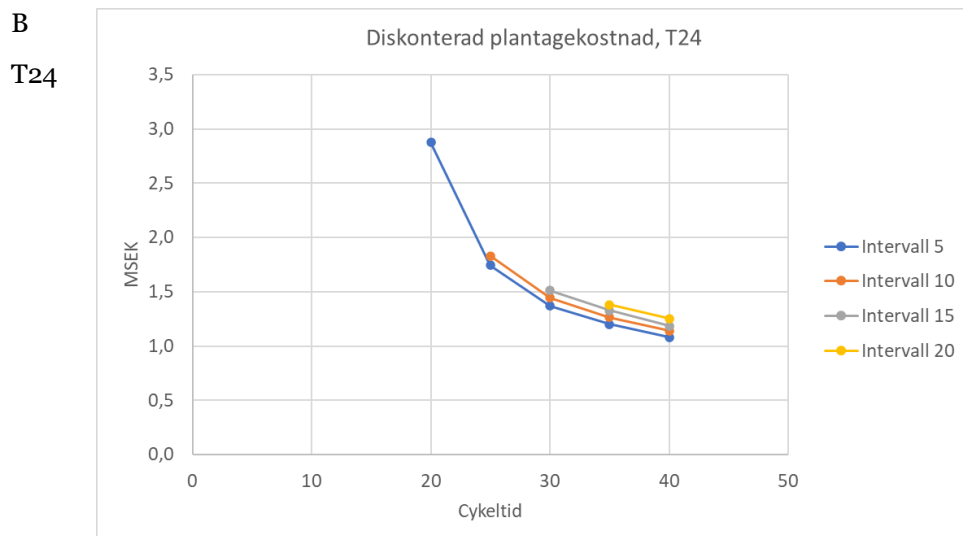
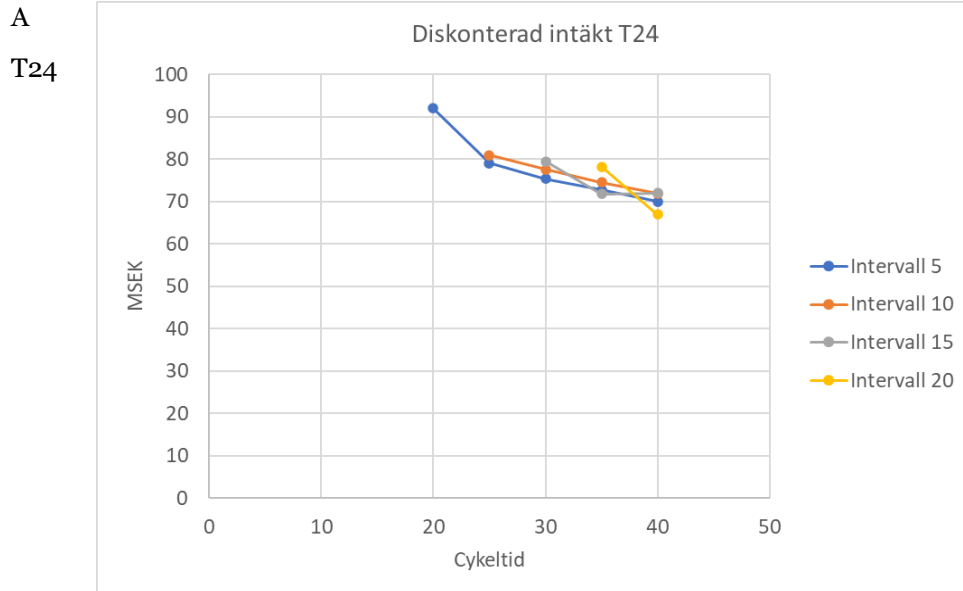


C
G28

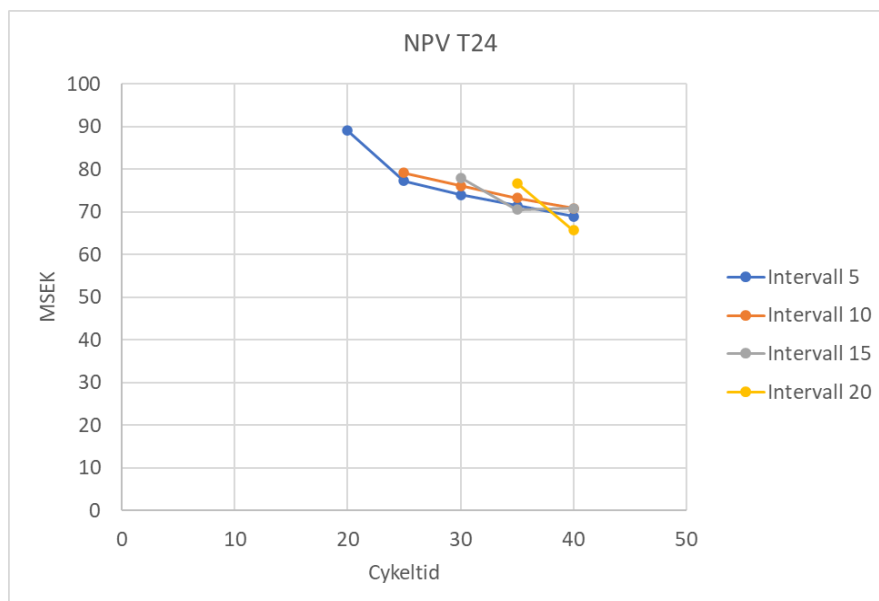


Figur 12. Diskonterad intäkt (A), diskonterad frödlingskostnad (B) och NPV (C) för frödlingsprogrammen med gran vid användning på SI G28. Cykeltiderna är 20, 30 och 40 år och nyanläggningsintervallen 5, 10, 15 och 20 år. Genomsnittlig fröproduktion och därmed den beskogade arealen är lika i alla scenarier (540 500 plantor per ha och år).

Figure 12. Discounted income (A), discounted costs (B), and NPV (C) for spruce seed orchard programmes if used on site index G28. Cycle times are 20, 30 and 40 years and establishment intervals 5, 10, 15 and 20 years. Average seed production is the same (540 500 seedlings per ha and year) for all scenarios as well as the planted area.



C
T24



Figur 13. Diskonterad intäkt (A), diskonterad fröodlingskostnad (B) och NPV (C) för fröodlingsprogrammen med tall på T24. Cykeltiderna är 20, 25, 30, 35 och 40 år och nyanläggningsintervallen 5, 10, 15 och 20 år. Fröproduktionen och därmed den besogade arealen är lika i alla scenarier (1 070 000 plantor per år).

Figure 13. Discounted income (A), discounted costs (B), and NPV (C) for pine seed orchard programmes if used on site index T24. Cycle times are 20, 25, 30, 35 and 40 years and establishment intervals 5, 10, 15 and 20 years. Average seed production is the same (1 070 000 seedlings per ha and year) for all scenarios as well as the planted area.

För både gran och tall visar resultaten att det absolut sett är lönsamt (NPV), om inte mest optimalt, att omsätta fröodlingsdelar så ofta som möjligt, trots låg fröproduktion per ha och höga kostnader vid korta cykler. Långa cykler ger jämförelsevis låg genetisk vinst och de äldre delarna av dessa fröodlingar bidrar negativt med sin förhållandevis låga genetiska vinst och stora fröproduktion.

Lönsamheten är hög även för lägre ståndortsindex, SI G24 och T20, även om NPV blir lägre (Tabell 7 och 8 samt Bilaga 2). Det beror på lägre absolut tillväxtökning vid en viss procentuell genetisk vinst, men också genom att längre omloppstider på låga SI leder till längre diskonteringsperioder (avverkningarna kommer längre fram i tiden). För högre SI, G32 och T28, gäller de motsatta förhållandena.

För gran ger den kortaste cykeltiden 20 år med nyanläggning vart femte år högst diskonterad intäkt men samtidigt högst diskonterad kostnad och lägst NPV (Tabell 7, Figur 12a). Intäkten är 25 % högre än i standardprogrammet, men eftersom produktionstiden bara är 5 år och produktionen 1 kg frö/ha behövdes 18,8 ha fröodling, jämfört med standardfröodlingens 2 ha, för samma fröproduktion. Det ger den högsta kostnaden. Kostnaden sjunker starkt när cykeltiden ökar till 25 och 30 år varefter kostnadsminskningen avtar (Figur 12b).

NPV blir därmed högst för programmet 30 15 där cykeltiden är 30 år och delfröodlingarna startas vart 15:e år, vilket innebär 15 års produktionstid (Figur 12c). Arealen är då nere på 3,7 ha och NPV är 7–9 % högre än i standardfröodlingen. För gran är det inte så stora skillnader i NPV mellan programmen, med undantag för standardprogrammet med längst cykeltid och för programmet med den snabbaste cykeln 20 5 som båda har låga NPV.

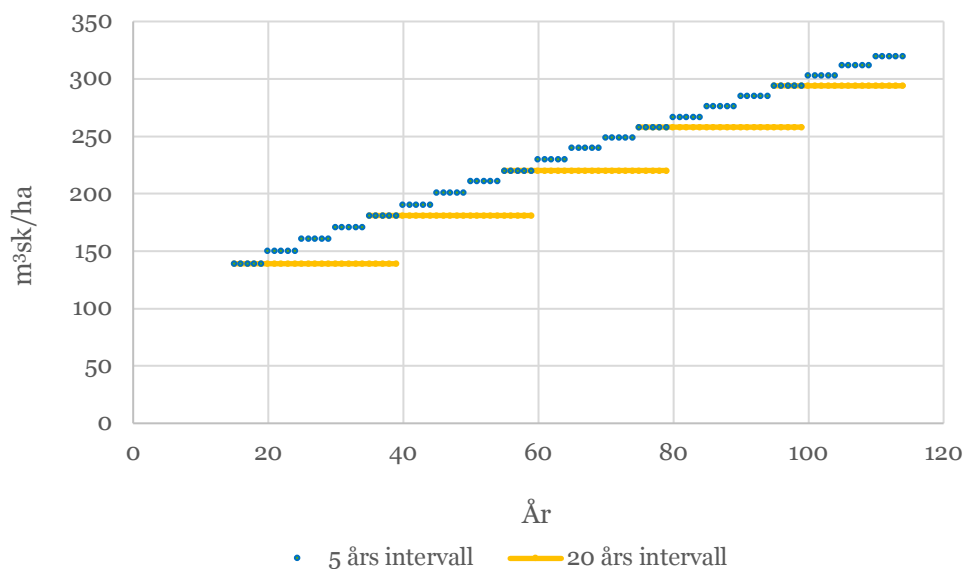
För tall (Tabell 8, Figur 12a-d) som startar sin fröproduktion betydligt tidigare och producerar totalt sett 2,1 ggr så mycket frö som gran (Tabell 3) behövdes i stället ungefär samma eller något större areal för fröodlingar med kort cykel som för standardfröodlingen. Kostnaden var i samma storleksordning för alla fröodlingar även om det mest intensiva programmet (20 5) var ca dubbelt så dyrt som standardfröodlingen. För tall testades emellertid inte de teoretiskt möjliga kortaste cyklerna. Trots lägre NPV per ha planterad skog för tall medför den större fröproduktionen, och därmed större beskogade arealen per ha fröfröodling, att den totala lönsamheten blir betydligt högre för tallfröodlingar än för granfröodlingar. För tall är det dessutom entydigt att NPV ökar med kortare cykeltid och med kortare anläggningsintervall (Figur 12a). Tallprogrammet 20 5 med 20 års cykeltid och 5 års anläggningsintervall som producerar frö under 15 år gav högst NPV, 34–36 % högre än standardprogrammet, trots högst kostnad.

För att få till ett fungerande rullande schema uppkom väntetider i några program när marken låg outnyttjad. Effekten studerades för granprogram 25 10 och 35 10 med 10 års anläggningsintervall och 25 respektive 35 års cykeltid (Figur 9b), program 35 15 och 40 15 med 15 års anläggningsintervall och 35 respektive 40 års cykeltid (Figur 9c) samt program 35 20 med 20 års anläggningsintervall och 35 års cykeltid (Figur 9c). För vart av dessa program finns ett annat program med samma anläggningsintervall men med 5 år längre cykeltid som därmed utnyttjar marken bättre för fröproduktion (Figur 9b och c). Väntetiderna leder till större arealbehov och högre kostnad men intäkterna är ändå högre än för motsvarande program, där de äldre träden hålls kvar 5 år extra och i flera fall är även NPV högre trots större kostnad. De äldre träden med lägst genetisk vinst kan bidra negativt till NPV trots att fröodlingskostnaden blir lägre än i program utan väntetider.

K-kvoten är kvoten mellan NPV och nuvärdet för investeringskostnaden och uttrycker hur många nettonuvärdeskronor som erhålls per investerad nuvärdeskrona. För både gran och tall ökar K-kvoten i stort med ökad cykeltid då kostnaden minskar (Tabell 7 och 11) men de högsta värdena nås med program med kort cykeltid. Vid brist på investeringsmedel får man således mest för pengarna för programmet med längst cykeltid, 40 år, och kortast anläggningsintervall, 5 år. Skillnaderna mot längre anläggningsintervall är inte stora men det är ändå intressant att även K-kvoten pekar på kortare anläggningsintervall.

Är bästa alternativet det som ger störst merproduktion i kubikmeter?

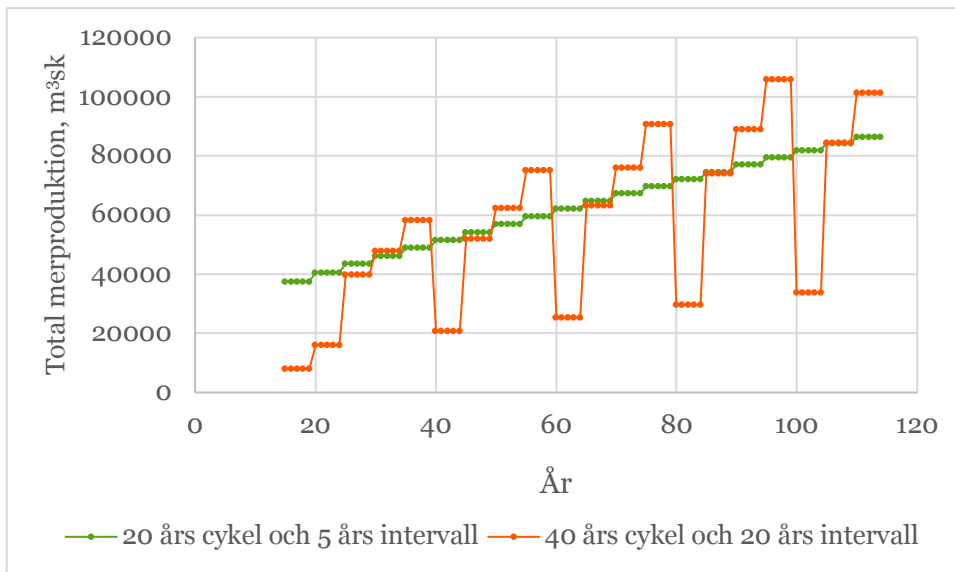
Den framtida merproduktionen för gran i typbeståndet SI G28 ökar från 139 till 330 m³sk/ha vid omloppstiden 74 år under de 100 år granprogrammen producerar frö (Figur 14). Programmet 20 5 med kortare cykel och anläggningsintervall ger en snabbare ökningstakt än standardprogrammet 40 20 (Figur 14).



Figur 14. Årlig ökad skogsproduktion per ha under 100 fröproducerande år av förädlade granplantor på mark med SI G28 (m^3sk/ha för hela den 74-åriga omloppstiden). Program 20 5 med 20-årscykel och 5 års anläggningsintervall jämförs med standardprogrammet 40 20 med 40-årscykel och 20 års anläggningsintervall vid samma genomsnittliga fröproduktion, 540 500 plantor och motsvarande planteringsareal per år.

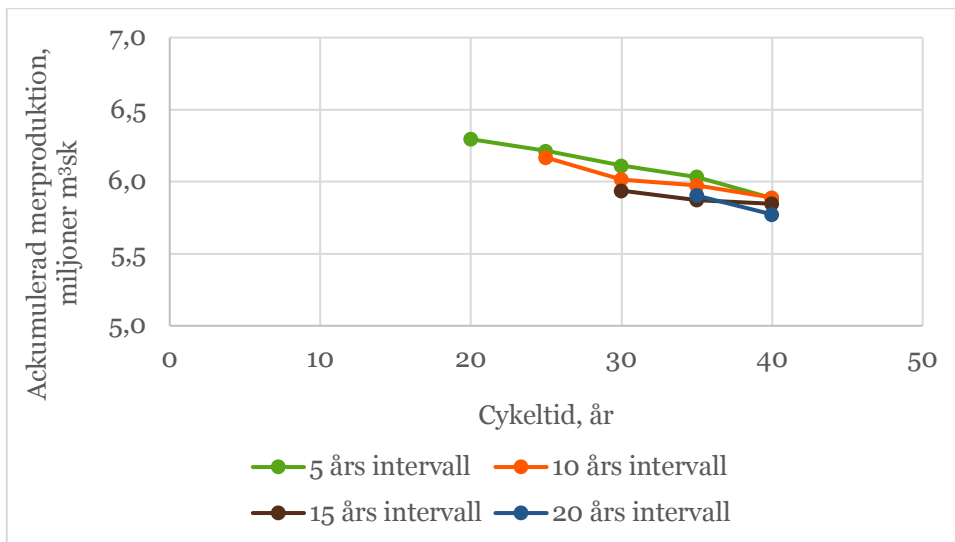
Figure 14. Annual per hectare increased forest production during 100 years by orchard seedlings on land with site index G28 (m^3sk per ha for a 74-year rotation period). The spruce program with 20 years cycle and 5 years planting interval (blue) is compared with to the standard program with 40 years cycle and 20 years planting interval (yellow) at the same annual seed production of 540 500 seedlings and corresponding planting area per year.

Den totala tillväxtökningen beror, förutom på den genetiska vinsten, också på fröskördens storlek och därmed på hur många hektar som kan beskogas med en årsskörd. För granprogrammen med den genomsnittliga produktionen av 540 500 plantor per år och plantering av 2 000 plantor per ha kan 270 ha förnygras per år. Ett program med få delfröodlingar i olika produktionsfas medför över tiden varierande fröskördar och därmed variation i beskogad areal och merproduktion om skördarna omedelbart planteras (Figur 15). I teorin skulle ett program med många delfröodlingar ge en över tiden jämnare fröproduktion. I verkligheten tillkommer naturlig variation i fröproduktion men också möjlighet att hushålla med fröet och utjämna användningen. Ur ren tillväxthöjande synpunkt bör fröet användas så snabbt som möjligt.



Figur 15. Årlig totalt ökad skogsproduktion under 100 fröproducerande år för två fröodlingsprogram med gran på SI G28 (m³sk vid 74 års omloppstid). Program 20 5 med 20-årscykel, 5 års anläggningsintervall och 5 års fröproduktion jämförs med standardprogrammet 40 20 med 40-årscykel, 20 års anläggningsintervall och 25 års produktionstid vid samma genomsnittliga fröproduktion, 540 500 plantor och motsvarande planteringsareal per år.

Figure 15. Annual total increased forest production during 100 years of orchard seed production on land with site index G28 (m³sk for a 74-year rotation period). The spruce program with 20 years cycle and 5 years planting interval (blue) is compared with to the standard program with 40 years cycle and 20 years planting interval (orange) at the same annual seed production of 540 500 seedlings and corresponding planting area per year.



Figur 16. Ackumulerad merproduktion för alla fröodlingsprogram med gran under 100 fröproducerande år (m³sk) på G28 vid samma nivå på fröproduktionen, 540 500 plantor per år.

Figure 16. Accumulated increased forest production for all spruce seed orchard programs for 100 years of orchard seed production (m³sk) on site index G28 at the same level of seed production, 540 500 seedlings per year.

Vid samma fröproduktion i de olika fröodlingsprogrammen följer den framtida ackumulerade merproduktionen i stort sett programmets effekt på den genetiska vinsten. Den totala framtida tillväxtökningen för de 100 fröproducerande åren ökade från 5,8 miljoner m³sk med plantor från standardfröodlingen 40 20 till 6,3 miljoner m³sk med plantor från det mest intensiva programmet 20 5. (Figur 16). För gran gav den kortaste cykeltiden och tätaste planteringsintervallet därmed 9 % högre tillväxt än standardprogrammet (Figur 16, Tabell 9).

Tabell 9. Total framtida merproduktion på SI G28 under 100 års skördetid (relativa tal) för plantor från fröodlingsprogram med gran vid olika cykellängd och anläggningsintervall.

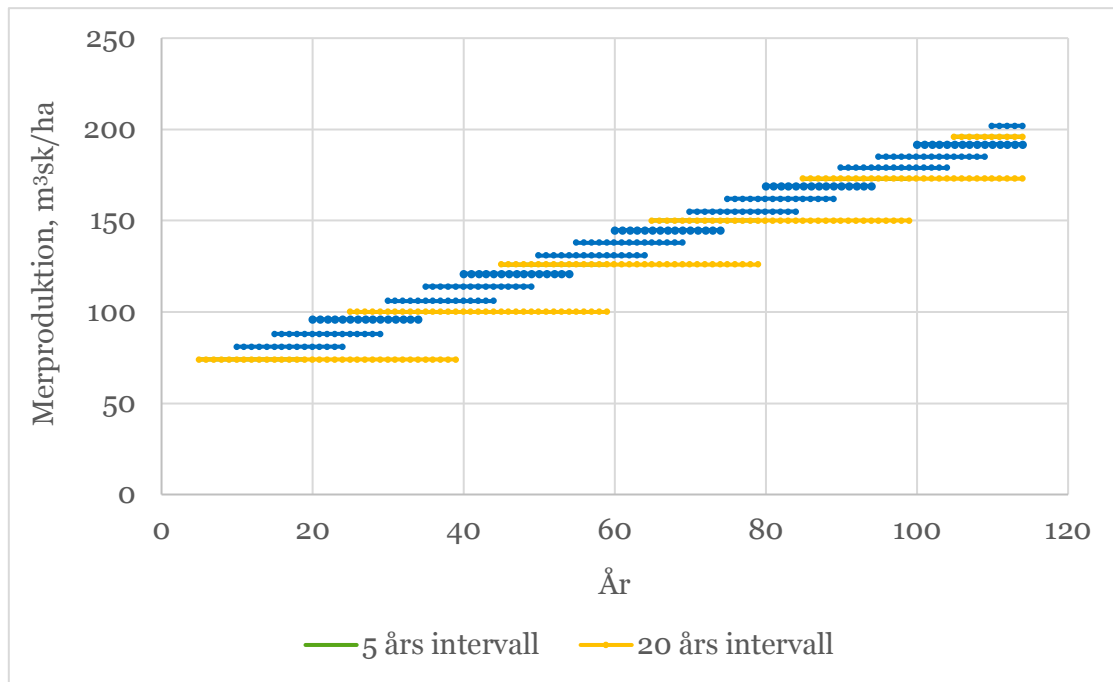
Table 9. Total future increased forest production on site index G28 for 100 years of seed harvest (relative figures) for spruce seed orchard programs with different cycle length and planting interval.

	Cykeltid, år				
	20	25	30	35	40
Anläggningsintervall					
5 år	1,09	1,08	1,06	1,05	1,02
10 år		1,07	1,04	1,03	1,02
15 år			1,03	1,02	1,01
20 år				1,02	1,00¹⁾

¹⁾ Standardprogram och vårt referensscenario 40 20 med en absolut tillväxtökning på 5,8 miljoner m³sk under 100 års skördetid.

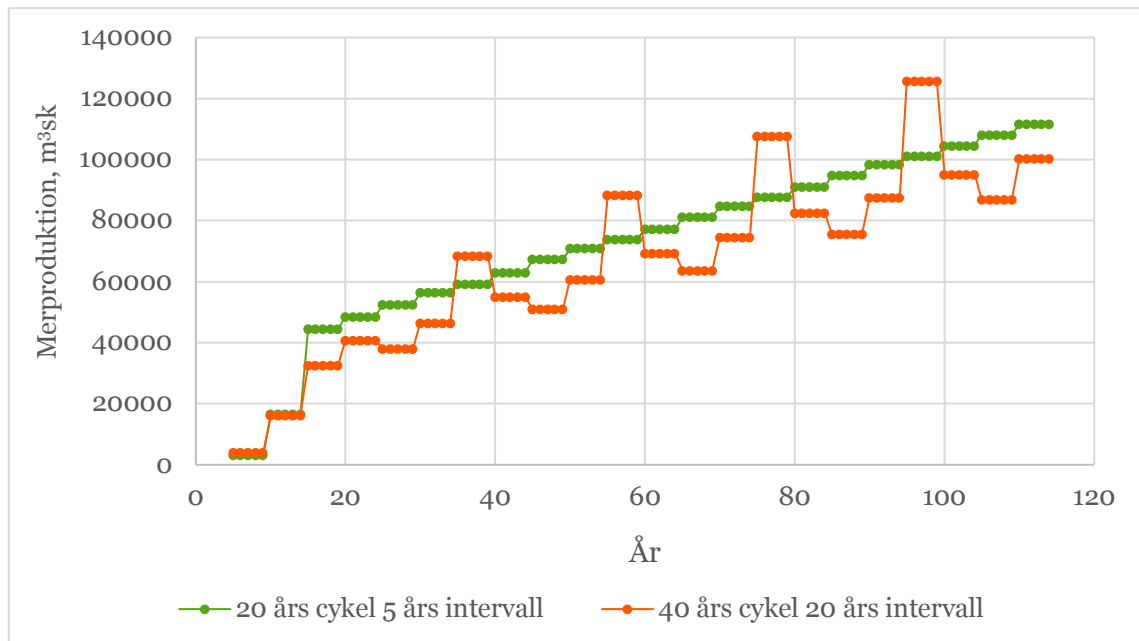
Typbeståndet för tall på SI T24 har lägre tillväxt än typbeståndet SI G28 i gran. Tillsammans med något lägre genetisk vinst hos tall blir därför merproduktionen per ha lägre, från 74 till 202 m³sk under de 110 år tallprogrammen producerar frö (Figur 17). För tall där fröproduktionen startar efter 5 år blir produktionstiden 15 år i det mest intensiva programmet med 20-årscykel och 35 år i standardprogrammet med 40-årscykel (Figur 17).

Sett över 110 år ger standardprogrammet för tall 7,4 miljoner m³sk i framtida merproduktion och det intensiva programmet 8,0 miljoner m³sk (Figur 17, summeringen inte visad), en ökning med 9 %, vilket är samma som för gran enligt Tabell 9. Även för tall innebär tätare anläggningsintervall i teorin en jämnare fröproduktion (Figur 18).



Figur 17. Årlig ökad skogsproduktion per ha under 110 fröproducerande år för två fröodlingsprogram med tall på SI T24 (m^3sk/ha under 75 års omloppstid). Program 20 5 med 20-årscykel, 5 års anläggningsintervall och 15 års produktionstid jämförs med standardprogrammet 40 20 med 40-årscykel, 20 års anläggningsintervall och 35 års produktionstid vid samma genomsnittliga fröproduktion, 1 070 000 plantor och motsvarande planteringsareal per år.

Figure 17. Annual total increased forest production during 110 years of orchard seed production on land with site index T28 (m^3sk for a 75-year rotation period). The pine program with 20 years cycle and 5 years planting interval (blue) is compared with to the standard program with 40 years cycle and 20 years planting interval (yellow) at the same annual seed production of 1 070 000 seedlings and corresponding planting area per year.



Figur 18. Årlig total ökad skogsproduktion under 110 fröproducerande år för två fröodlingsprogram med tall på SI T24 (m³sk/år under 75 års omloppstid). Program 20 5 med 20-årscykel, 5 års anläggningsintervall och 15 års fröproduktion jämförs med standardprogrammet 40 20 med 40-årscykel, 20 års anläggningsintervall och 35 års produktionstid vid samma genomsnittliga fröproduktion, 1 070 000 plantor och motsvarande planteringsareal per år.

Figure 18. Annual total increased forest production during 110 years of orchard seed production on land with site index G28 (m³sk for a 74-year rotation period). The spruce program with 20 years cycle and 5 years planting interval (blue) is compared with to the standard program with 40 years cycle and 20 years planting interval (orange) at the same annual seed production of 1 070 000 seedlings and corresponding planting area per year.

Fröodlingskostnad och värde av förädling räknat per planta

Kostnaden per kg frö för att samla in och processa kottar, samt kostnaden per ha fröodling för anläggning och skötsel i 40 år är densamma i samtliga olika program. Fröinsamlingskostnaden 5 000–6 000 kr per kg blir 0,04–0,05 kr/planta för gran och 0,05–0,06 kr/planta för tall, som ger lite färre plantor per kg frö. Fröodlingskostnaden för gran är 0,12 SEK per planta och 0,05 SEK för tall (Tabell 10). Skillnaden mellan gran och tall beror på skillnaden i fröproduktion per ha. Sammanlagt är kostnaden ca 0,16 kr för en granplanta och 0,10 kr för en tallplanta. Det är den minsta kostnaden som måste läggas på plantpriset för att få frö- och fröodlingskostnaderna täckta (eller motsvarande kostnad för att skaffa frö på annat sätt).

Tabell 10. Kostnads- och intäktskomponenter per planta för olika förädlingsnivåer för en enstaka standardfröodling som används i 40 år. Frökostnaden här är 5 000 kr per kg frö och omfattar kostnader för att skörda och behandla kottar och frön i fröodlingar. Kostnaden för anläggning och drift av fröodlingen (fröodlingskostnad) och intäkten från skogen är diskonterade värden, omräknade till årliga annuiteter för den tid fröodlingen producerar frö, år 15–39 för gran och år 5–39 för tall.

Table 10. Components of cost and revenue per seedling at 15, 25 and 35% genetic gain of a standard seed orchard used for 40 years. Seed cost include expenses for harvesting and seed treatments. Orchard cost and revenue per seedling are discounted NPVs recalculated to annual instalments.

SI H100	Genetisk vinst	Frö- kostnad per planta	Fröodlings- kostnad per planta	Intäkt per planta
	%	SEK	SEK	SEK
G24	15	0,04	0,12	1,38
	25	0,04	0,12	2,30
	35	0,04	0,12	3,22
G28	15	0,04	0,12	2,07
	25	0,04	0,12	3,45
	35	0,04	0,12	4,83
G32	15	0,04	0,12	2,76
	25	0,04	0,12	4,60
	35	0,04	0,12	6,44
T20	15	0,05	0,05	0,92
	25	0,05	0,05	1,54
	35	0,05	0,05	2,16
T24	15	0,05	0,05	1,71
	25	0,05	0,05	2,84
	35	0,05	0,05	3,98
T28	15	0,05	0,05	2,49
	25	0,05	0,05	4,15
	35	0,05	0,05	5,81

Den potentiella intäkten per planta beror på förädlingsvinstens storlek och på utväxlingen i skogen som i sin tur beror på ståndortsindex (Tabell 10). Trädslagsskillnaderna är måttliga. För plantor från en ny FyrO-fröodling är mervärdet (potentiell intäkt från skogen) ca 2–4 SEK per granplanta och 1–4 SEK för tall. Marknadspriset för fröodlingsfrö är i storleksordningen 3–4 ggr framställningskostnaden.

Känslighetsanalys

1. Det genetiska framsteget uteblir

Ponera att det inte sker några framsteg i förädlingen och att man får plantera träd med samma genetiska vinst i all framtid, 21,6 % för gran och 19,4 % för tall. I känslighetsanalysen sänktes utvecklingstakten från 0,35 % till 0,0 % genetisk vinst per år. Resultaten för alla alternativ av fröodlingsprogram åskådliggörs i Bilaga 3. Sänkningen av den genetiska vinstökningen till 0 % påverkade inte kostnaden men sänkte den diskonterade intäkten och NPV, men samtidigt var alla program fortsatt lönsamma (Tabell 11). För det intensiva programmet 20 5 sänktes den diskonterade intäkten från skogen mindre än sänkningen av NPV, eftersom intäkten inte är påverkad av fröodlingskostnaden.

Tabell 11. NPV och diskonterad intäkt för gran och tall för det mest intensiva programmet 20 5 och standardprogrammet 40 20 när den genetiska vinstökningen reducerades från 0,35 % till 0,0 % per år.

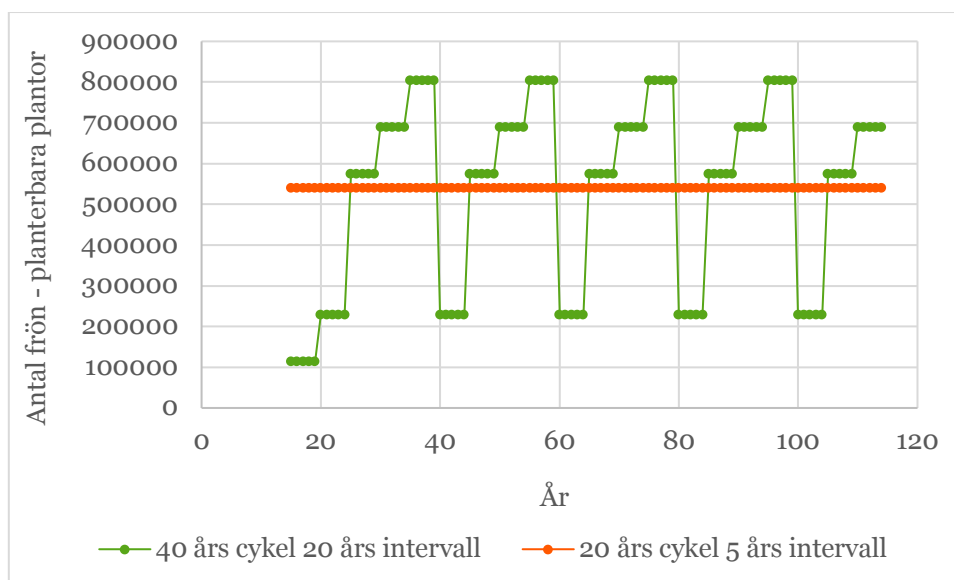
Table 11. NPV and discounted revenue (MSEK and Relative figures) for spruce and pine of the most intense seed orchard program, 20 years cycle and 5 years planting interval, compared to the standard program, 40 years cycle and 20 years planting interval, when the annual genetic improvement is reduced from 0.35% to 0.0%.

Genetisk vinst per år	40 20	20 5	Förändring	40 20	20 5	Förändring
	NPV			Diskonterad intäkt		
	MSEK	MSEK	Relativa tal	MSEK	MSEK	Relativa tal
Gran						
0,35 %	38,6	33,1	0,86	39,9	49,9	1,25
0,0 %	29,6	18,6	0,63	30,8	35,4	1,15
<i>Relativa tal</i>	0,76	0,56		0,77	0,71	
Tall						
0,35 %	65,7	89,1	1,36	67,0	92,0	1,37
0,0 %	50,1	55,2	1,10	51,3	58,1	1,13
<i>Relativa tal</i>	0,76	0,62		0,77	0,63	

Förväntan var att skillnaderna mellan program med olika planteringsintervall skulle försvinna med 0 % ökad genetisk vinst eftersom det inte fanns någon ökande förädlingsvinst att utnyttja. I Tabell 11 framkommer ändå ett bibehållet högre NPV för tall och högre intäkt för både tall och gran i storleksordning 10–15 % med det intensiva programmet 20 5 jämfört med standardprogrammet 40 20. Förklaringen till att effekten

inte helt uteblev kan illustreras för gran (Figur 19). Granprogram med korta cykeltider behöver stor areal för att få samma fröproduktion per ha som standardprogrammet. Därför nås full fröproduktion snabbare (Figur 19). Det kan dock ses som en artefakt genom att vi startar utan fröproduktion år noll och har en uppstartsfas som varierar mellan programmen.

Slutsatsen av denna känslighetsanalys blir att det är viktigt att eftersträva tidsvinster och undvika tidsförluster. Det är också uppenbart att det är lönsamt med fröodlingar i framtiden även till nuvarande nivå på förädlingsvinst.



Figur 19. Utvecklingen av den årliga fröproduktionen hos gran för fröodlingsprogrammet 20 5 och standardprogrammet 40 20.

Figure 19. Annual seed production for spruce seed orchard program 20 years cycle and 5 years planting interval (orange) compared to the standard program, 40 years cycle and 20 years planting interval (blue).

2. Ökad fröproduktion tidigt under fröodlingscykeln ger hög effekt på lönsamheten

Vi behöver inte testa känsligheten för fröproduktionens storlek i sig. Jämförelsen mellan gran och tall tydliggör hur mycket lönsamheten ökar med ökad fröproduktion. Den tidiga fröproduktionen är emellertid mer kritisk för hur korta fröodlingscykler hävdar sig mot långa. Vi fördubblade därför granens fröproduktion från 1 till 2 kg frö per ha och år under år 15–20. Det innebär 230 000 plantor per år i stället för 115 000 plantor under den 5-årsperioden. Ökningen prövades i alla program med bibehållen genomsnittlig nivå på den totala fröproduktionen 540 500 per ha och år och redovisas i Bilaga 4. I Tabell 12 redovisas resultatet för program 20 5 med 20 års cykel, 5 års planteringsintervall och 5 års produktionstid i jämförelse med standardprogrammet 40 20 med 40 års cykel 20 års planteringsintervall och 20 års produktionstid.

Tabell 12. Ekonomisk jämförelse om produktion av granfrö ökar från 1 till 2 kg/ha och år under år 15–20 i standardprogrammet 40 20 och programmet med kortast cykel, 20 5. Fröproduktionen motsvarar 540 500 plantor per år och plantering sker på SI G28.

Table 12. Economic comparison if production of spruce seed is increased from 1 to 2 kg per ha and year during year 15 and 20 in the standard orchard program, 40 years cycle and 20 years planting interval and the 20 years cycle and 5 years planting interval. Seed production correspond to 540 500 seedlings and planting is on site index G28.

	40 20	20 5	Skilnad, relativa tal
	1 kg frö/ha/år, år 15–20		
Areal	2,00	18,80	9,40
Diskonterad intäkt, MSEK	39,9	49,9	1,25
Diskonterad kostnad, MSEK	1,3	16,8	13,38
NPV, MSEK	38,6	33,1	0,86
	2 kg frö/ha/år, år 15–20		
Areal	1,90	9,40	4,95
Diskonterad intäkt, MSEK	40,8	49,5	1,22
Diskonterad kostnad, MSEK	1,2	8,4	7,05
NPV, MSEK	39,6	41,1	1,04

Ökningen av den tidiga fröproduktionen fick en påtaglig inverkan på kostnaden genom att arealbehovet minskade. Störst var minskningen för programmet 20 5 där arealbehovet halverades och därmed också fröodlingskostnaden (Tabell 12). Med ursprunglig fröproduktion var NPV 14 % lägre (relativtal 0,86 i Tabell 12) för detta program än för standardprogrammet, men med ökad fröproduktion blev NPV 4 % högre (relativtal 1,04 i Tabell 12).

Slutsatsen av denna känslighetsanalys blir att tidig fröproduktion är avgörande för lönsamheten och att insatser bör sättas in för att påskynda och öka fröproduktionen.

Diskussion

Vad är nytt med resultaten?

Nyheten här är att fröodlingar som anläggs enligt ett rullande schema med täta intervall och korta cykeltider (rolling-frontstrategi) är lönsammare än en traditionell fröodlingsstrategi med långa anläggningsintervall, oftast på olika platser. För tall med hög och tidig fröproduktion är lönsamheten högst för rolling-frontstrategin med kortast

cykeltid och tätast planteringsintervall. För gran, med lägre fröproduktion särskilt i början av produktionstiden, ger programmet med kortast cykeltid och tätast planteringsintervall visserligen störst intäkt men har så stort arealbehov att det därmed blir så dyrt att det ger lägst NPV. Men även de längsta cykeltiderna och planteringsintervallen för gran har låg lönsamhet, varför medellång cykeltid och planteringsintervall är mest lönsamt.

Det är däremot ingen nyhet att förädlings- och fröfrödlingsverksamhet är en ovanligt lönsam verksamhet (Chang m.fl. 2019, Rosvall 2011a). Det bekräftas här av analysen av fröfrödlingsprogrammen. Förädlingen har nu kommit så långt att lönsamheten för fröodlingar har blivit betydligt större än tidigare.

Det är heller ingen nyhet att fröproduktionens storlek och tidig fröproduktion är de viktigaste faktorerna, tillsammans med den genetiska vinsten, för att bestämma skogsintäkterna från en fröfröodling. I denna studie blev detta mycket uppenbart vid jämförelsen mellan gran och tall. Granens långa tillväxtfas fram till fröproduktion och låga produktionsnivå gör att den optimala cykeltiden blir längre. Slutsatsen av jämförelsen mellan tall och gran med den signifikant högre lönsamheten för tallfröodlingar och känslighetsanalysen med ökad tidig fröproduktion i gran blir att det är värt att satsa resurser på att utveckla och införa metoder för att få tidigare och högre fröskördar i både gran och tall, till exempel tillväxtbefrämjande skötselåtgärder, blomningsstimulering med gibberellin, gödsling och rotbeskärning samt bekämpning av skadeinsekter och skadesvampar.

Hur ska en ny strategi införas?

För nya rolling-frontprogram tar det mellan 15–25 år innan fröproduktionen når den långsiktiga nivån. Befintliga fröodlingar behövs för att producera frö till dess att nya fröodlingar kommer i tillräckligt hög produktion. Den genetiska vinsten för break-even, då fröodlingskostnaden täcks av intäkten, är bara några procent. Det gör att befintliga fröodlingar snabbt kan avskrivas eftersom de har en förädlingsnivå på 10–15 % och därmed snabbt täcker sin investeringskostnad. De kan därmed hanteras ganska godtyckligt.

Befintliga fröodlingar med dokumenterad bra fröproduktion är lämpliga att använda för nya fröodlingsdelar om man successivt kan avveckla de gamla träden utan att det uppstår fröbrist. Unga fröodlingar som ännu inte kommit i produktion är också användbara för att föryngra med nya fröodlingar. En stor del av en sådan fröodling kommer ändå att leva kvar länge och leverera frö som täcker investeringskostnaden, även för de borthugna delar som aldrig kommer i produktion, och de nya bättre delarna kommer att leverera ett stort täckningsbidrag även till de avverkade delarna. Införandet av nya fröodlingar i äldre fröodlingar blir alltså en fråga om frötillgång, inte om kostnader.

Ett helt annat sätt att föra in de senaste framstegen från förädlingsfronten är att ympa de nya högförädlade plusträden i toppen på befintliga fröodlingsträd. Det stimulerar också blomningen och ger möjlighet att skörda frö på de ursprungliga fröodlingsträden medan toppymparna växer till. Metoden tillämpas i stor skala i Sydstaterna och ympningen kan ske så högt som 15 m. Ofta genomförs kontrollerade korsningar på dessa elitträd. I Sverige finns kunskap om ympning i toppen på stora träd men den tillämpas mest i förädlingsarbetet för att öka blomningen (Almqvist 2013). Våra arter har inte samma rikliga och regelbundna blomning som sydstatstallen *Pinus taeda*, varför det förmodligen behövs någon form av vegetativ multiplicering av de mindre mängder frö som metoden ger.

Vid anläggning av en fröfröodling planteras vanligen ympar av plusträden. Kvistar från plusträden ympas på plantor, så kallade grundstammar, i plantskolan. Det går också att

plantera grundstammar i fröodlingen där de får växa till någon meters höjd innan plustringsträden ympas in. Under den tiden kan bättre fröodlingsträd från förädlingsprogrammet väntas in. Sker ympningen under några år förbättras också hushållningen med ympkvistar. Grundstammar av tall har skorpbark, vilket innebär att ympning ovan snöhöjd minskar behovet av skydd mot skador av sork. Ympningen sker dock utomhus där miljön inte kan kontrolleras, vilket ökar risken för att misslyckas så att ympningen måste göras om med ökade kostnader som följd.

Trädslag

Tall är som vi sett för närvarande mer lämpad för en rolling-frontstrategi än gran. Contortatall skulle vara ännu bättre genom att kottsättningen är god även på unga fröplantor. Det går också att föröka contortatall med sticklingar för produktion av träd till nya fröodlingar, men det bör utredas hur sticklingar påverkar fröproduktionen. Rimligtvis bör björkfröodlingar i växthus redan följa rolling-frontstrategin.

Bakgrundspollinering

En fröodling med delar som etablerats vid olika tidpunkt kommer ofta att innehålla äldre träd med pollenproduktion. Det bör leda till mindre bakgrundspollinering från oförädlade omgivande träd på de yngsta fröodlingsdelarna. För gran krävs en produktionstid på 10–15 år och därmed en cykeltid om minst 25–30 år för att fröodlingsdelarna ska överlappa. För tall med tidig blomning uppnås överlappningen även vid korta cykler. En rolling-frontfröodling med olika åldersklasser inom en och samma areal kommer dock aldrig att nå så hög pollenproduktion per hektar som en traditionell fröodling med bara gamla träd.

Risk för utebliven blomning

Det finns risker som en fröodlingsägare inte har kontroll över. Viktigast är utebliven blomning och oregelbundna genetiska framsteg. De höga intäkterna ger däremot stora marginaler för fördyring eller minskade intäkter från skogen.

Även om den kortaste cykeltiden för gran, 20 år, med nyanläggning vart 5:e år och fröproduktion under 5 år, förväntas ge högst intäkt är programmet både dyrt och riskfyllt. Granens oregelbundna kottsättning gör 5 års planerad fröproduktion alltför osäker. Det krävs verktyg för blomningsstimulering och vegetativ multiplicering av små frömängder för att realisera den typen av fröproduktion med nuvarande kunskaper. Men scenariot visar i vilken riktning utvecklingen måste sträva. Även 10 års produktionstid (25 års cykeltid) innebär tämligen hög risk för en granfröodling. Med 15 års produktionstid (30 års cykeltid) är sannolikheten större att fröproduktionsmålet kan uppnås och risken blir mindre. Med bättre skördestatistik från granfröodlingarna borde det gå att bättre bedöma risken och att få ett säkrare beslutsunderlag. Mer effektiv skötsel av fröodlingarna kan i framtiden också minska risken vid kortare cykeltider.

Tall skulle i princip kunna drivas med ännu kortare cykeltid än som prövades här, men sådana program skulle vara riskfyllda.

Tillgång på nya bättre fröodlingsträd

För att få full effekt av en rolling-frontstrategi ska förädlingen kunna leverera plustringsträd med ökande genetisk vinst med kortare intervall än en förädlingscykel som är ca 20 år. Det krävs i genomsnitt en vinstökning med 2,5 % vid 5 års anläggningsintervall (uttryckt utan några reduktioner för bakgrundspollinering och inväxning). I praktiken kan vinstökningen bli lite mer ”hackig”, men på lång sikt bör denna takt kunna hållas. När man utvecklar ett fröodlingsprogram måste man tänka igenom vad olika förseningar jämfört med det för programmet optimala kan innebära, samt hur ett program med olika

cykeltid och planteringsintervall kan fungera i relation till förädlingens arbete. Det är dock inget kostnadsproblem att anlägga en ny fröodlingsdel med oförändrad genetisk vinst om man vill behålla ett strikt schema, men vinsten med att ligga nära förädlingsfronten minskar.

Det bör heller inte vara något problem att få fram nya bättre plusträd i takt med en rolling-frontfröodling. Med en generell modell kunde McKeand och Bridgewater (1986) visa att högsta NPV för att anlägga en fröodling med träd från nästa förädlingsgeneration inträffade efter halva tiden för selektionsarbetet (7 år) i stället för efter hela tiden som i genomsnitt tog 12 år. Den större osäkerheten vid urvalet kompenseras av tidsvinsten för de förädlade fröodlingsplantorna.

Urvalet av nya plusträd till fröodlingar i Sverige underlättas av att förädlingspopulationernas användningsområden överlappar så att fröodlingsträd kan rekryteras från olika populationer som inte är i fas med varandra vad gäller urvalstidpunkt. Det underlättas också av TreePlan-systemet som möjliggör att nya beräkningar snabbt kan genomföras så fort nya data tillkommer. Mätningar och beräkningar kan på så sätt anpassas efter fröodlingsprogrammets behov. Man kan också använda urval framåt av otestade träd i den nya förädlingsgenerationen och kompensera osäkerheten för varje enskilt utvalt träd med många träd. Urval kan i framtiden sannolikt också ske med nya tekniker, till exempel genomiska metoder för tidigt urval.

Generellt bör man veta att man kan nå höga vinster på många sätt med osäkert testade träd eller otestade träd med höga väntevärden, men med större variation runt medelvärdet än med testade träd. Väl ute i den heterogena skogsmarken och skogen ofta skött med låggallringar kommer de bättre träden att dominera produktionen under huvuddelen av omloppstiden. Det är alltså olika situationer, att optimera säkerheten vid urval för ett förädlingsprogram och för urval till en fröodling. Det borde studeras närmare.

Urval av nya generationers plusträd sker vid ung ålder, då träden är små och det är tidsödande att producera ympkvistar för att massföröka dem utan att plusträden skadas. Det är delfröodlingarnas storlek som avgör om det går åt fler eller färre fröodlingsträd, det vill säga fler kopior av varje plusträd vid anläggningstillfällena i jämförelse med standardprogrammet. I gran behövs flest fröodlingsträd i det intensivaste rolling-frontprogrammet med korta cykeltider, men det är också det som ger störst intäkt. I tall har alla rolling-frontprogram lägre behov av fröodlingsträd per planteringstillfälle. Både på kort och lång sikt utnyttjas generellt fler olika plusträd med en rolling-frontstrategi, vilket också kan utnyttjas för att upprätthålla önskad genetisk diversitet i de planterade bestånden.

Bättre samordning mellan förädling och fröodlingsverksamhet

En mer kontinuerlig fröodlingsanläggning kan samplaneras med förädlingens tidschema så att fröodlingsanläggningen blir mer styrande för verksamheten. Det kan gälla prioriteringen av turordningen för arbetet med förädlingspopulationerna och tidpunkten för mätning av fältförsök. Det måste vara ett gemensamt mål för både förädlingsverksamheten och skogsbruket att omsätta förädlingsframsteget i nya skogar på ett optimalt sätt.

Högre kompetens hos användaren

En snabbare omsättning av fröodlingsträden i en fröfröodling kräver att verksamheten är kontinuerlig. Det ställer högre krav på kompetens hos skogsföretagen men medför också möjlighet att upprätthålla hög kompetens. Det ger i sin tur ökad förståelse för

förädlingsverksamheten och hur företaget kan utnyttja förädlingsmöjligheterna maximalt vad gäller klimatanpassning och inriktning mot förädlingsmål.

Kostnader och intäkter räknat per planta

Det kostar 4–5 öre per planta att skörda frö i en fröodling medan själva fröodlingskostnaden är 12 öre för gran och 5 öre för tall. Beroende på alternativkostnaden för fröanskaffning kan den samlade frökostnaden för fröodlingsfröet bli både högre och lägre, det vill säga ge underlag för att öka eller sänka plantpriset. Mervärdet till följd av den genetiska vinsten varierade mellan 1 och 4 SEK vid 3,1 % kalkylränta. Hur mycket av den potentiella vinsten som ett företag kan lägga på plantpriset bestäms främst av marknaden. Den kalkylerade intäkten är omgärdad med osäkerhet, varför en informerad kund kan vilja räkna med en riskpremie genom att använda en högre kalkylränta. Då krymper mervärdet. Marknadspriset bestäms också av det allmänna utbudet på förädlade plantor. När de stora skogsbolagen i sydstaterna, som producerade högförädlade plantor för eget behov, sålde sina skogar uppstod en fri marknad för förädlade plantor. Det resulterade i en prisdifferentiering så att priset är ca 5 ggr högre för det bästa fröodlingsmaterialen och ännu högre för kloner (McKeand 2019).

Utredningens osäkerheter

Vad som inte beaktats

I verkligheten ska avvägningen mellan förädlingsmålen ökad tillväxt, överlevnadsförmåga, motståndskraft mot skadegörare, virkeskvalitet, etc. göras från fall till fall med ledning av skogsbrukets prioriteringar. Det innebär att framsteget för de enskilda egenskaperna var för sig blir mindre, men det samlade värdet blir större. Det finns exempel på att det, i detta tidiga skede av skogsträdsförädlingens utveckling, kan röra sig om några procent tillväxtminskning när man beaktar andra egenskaper tillsammans med tillväxt. På lång sikt kan man inte utesluta att andra förädlingsmål än tillväxt blir mer värdefulla.

Det finns andra typer av fördelar med att använda förädlad material som inte beaktats. Högre arealproduktion av vedråvara genom förädlingen ökar effektiviteten i hela skogsbruket. En viss mängd virke kan produceras på en mindre yta med allt vad det för med sig i form av minskad resursförbrukning, från lägre kostnader för skogsvård till lönsammare drivning och transport. Det ger också utrymme för mer naturvård.

Den ekonomiska kalkylen för ökad tillväxt i fröodlingsanalysen bygger här på att värdeökningen realiserar sig först i framtiden och värdena har diskonterats till nutid. Ökad överlevnad och minskade skador är emellertid förbättringar som kommer till uttryck i föryngringsfasen, vilket ger helt andra kalkylförutsättningar.

Vid en avverkningsberäkning för ett stort skogsinnehav och någorlunda jämn åldersklassfördelning medför införandet av förädlade plantor att avverkningarna omedelbart kan öka. Det beror på att markvärdena ökar på all mark och att den nu växande skogen med sin tillväxt inte kan förränta sitt eget värde och det högre markvärdet lika länge (Rosvall m.fl. 2006). Här ingår inte denna effekt på skogshushållningen i lönsamhetskalkylen.

Bästa program?

Det finns många förenklingar i den här typen av ekonomiska kalkyler. De kan tillåtas då de inte nämnvärt påverkar jämförelsen mellan olika alternativ, vilket är huvudsyftet. Den långa tidshorisonten och antagandet om oförändrade kostnader och priser är uppenbara

förenklingar. Nuvärdeskalkyler och internräntekalkyler omfattar också olika antaganden om alternativ användning av investeringsmedlen som vi inte fördjupat oss i. De här framräknade absoluta lönsamheterna måste bedömas mot den bakgrunden, medan jämförelsen mellan alternativ är mindre påverkad av osäkerheterna.

Nu är dock lönsamheten för fröodlingsplantor, hur man än räknar och under antagandet att det finns en framtida efterfrågan på skogsprodukter, så hög att lönsamheten av att producera och plantera förädlade plantor blir odiskutabel. Det är ganska svårt att få samma höga ekonomiska avkastning från någon annan investering. Men framtiden är alltid osäker. Det kan också vara ont om investeringsmedel. Då kan K-kvoten vägleda till den investering som ger mest NPV per investerad nuvärdeskrona. Även det kriteriet ger förädlade plantor generellt hög prioritet i jämförelse med andra skogsskötselåtgärder (Simonsen m.fl. 2010).

I analysen av svaga ståndorter blev nuvärdena negativa när de beräknades både med Heureka och kalkylverktyget (siffror ej visade), och ändå bedriver man i Sverige skogsbruk där. Kanske man i själva verket värderar avkastningen i m³sk högre än vad prislistan uttrycker eller så låter man förhållandevis små förluster i långsamväxande skog kompenseras av hög avkastning i snabbväxande skog. På marginalen kan de extra kubikmetrarna som uppkommer vid de mest intensiva rolling-frontprogrammen vara värda den extra kostnaden, inte minst när lönsamheten ändå är hög om inte högst för dessa program. Många menar att det kan komma att bli allt svårare med virkesförsörjningen i framtiden när allas intresse för skogen ska beaktas. Det är kanske inte maximalt NPV som slutgiltigt ska avgöra hur skogsföretag ska satsa på fröodlingar.

Är det rätt räknat?

Lönsamheten för fröodlingar i den här analysen är påfallande hög i jämförelse med många andra studier (Chang m.fl. 2019). Det beror på att andra inte enbart har beaktat investeringen i själva fröodlingen och att de genetiska vinsterna oftast varit lägre än här, där vi analyserar förhållandevis höga tillväxtökningar och över lång tid. Motsvarande höga genetiska vinster har rapporterats från Australien och Nya Zeeland samt Sydstaterna med genomgående påtagligt hög lönsamhet (Wu m.fl. 2007, McKeand m.fl. 2021). De flesta studierna inkluderar även kostnaden för förädlingsarbetet (hela eller delar av förädlingsarbetet). Inget sådant är med i denna analys och dessutom har inte kottplockning och fröframställning inkluderats i fröodlingskostnaden. Den kostnaden belastar i stället plantorna i intäktsanalysen. Den kostnaden är mer än dubbelt så hög som skötselkostnaden under fröodlingens produktionsfas. Men att flytta kostnaden från fröodlingens kalkyl till skogens kalkyl påverkar inte den samlade lönsamheten.

Inför anläggningen av TreO-fröodlingarna beräknade Rosvall och Eriksson (2002) med en förenklad kalkyl internräntan för investeringen i en tall- eller granfröodling med 40 års livslängd till ca 7 %, vid en realiserad förädlingsvinst om 15–16 %. När vi inkluderar kostnaden för kottplockning och fröframställning i våra ingångsdata här blir internräntan 16 % för motsvarande fröodling med 40 års cykeltid för intäkter genererade i bestånd på SI T24 och 11 % på G28. För tillämpning av förädlade plantor i hela Sverige beräknade Rosvall (2011a) den årliga annuiteten till 80 MSEK vid 10 % real kalkylränta. Den beräkningen omfattade både förädlings- och fröodlingsverksamhet. Ett NPV på 80 MSEK vid 10 % kalkylränta visar att internräntan vid en ekonomisk analys av en fröodling kan vara mycket hög. Det gäller även när internräntan för en skogsplantering i våra typbestånd var betydligt lägre och varierade mellan ca 2–6 %. Betänk att en årsskörd från ett ha fröodling beskogar upp till ca 500 ha skogsmark.

Är ingångsdata realistiska?

Lönsamheten för fröodlingsprogrammen är avhängig intäktens storlek och kostnaden. Intäktens storlek beror på fröproduktionens storlek och nuvärdesökningen per hektar planterad skog. Nuvärdesökningen beror på den genetiska vinsten, kostnader för beståndsanläggning och avverkning samt virkespriser.

Analysen av fröodlingsprogrammen avsåg intäkter och fröodlingskostnader för den areal som kan beskogas med varje årsskörd. Den tilläts variera mellan år enligt Tabell 3. För att i operationell verksamhet beskoga den årliga förnygringsavverkade arealen på ett stort skogsinnehav måste frötillgången från fröodlingarna kunna täcka det årliga behovet. I verkligheten kan det periodvis uppstå fröbrist. Om då den alternativa frökällan har lägre förädlingsvinst minskar intäkten i proportion därtill. Det gäller alltså att planera så att fröförsörjningen täcker behovet.

Vår förståelse av hur tillväxt fungerar under våra nordliga förhållanden innebär att skogen på en ståndort inte kan växa hur fort som helst. Ytterst handlar det om att resurserna till slut begränsar produktionen per ha. Vi vet inte var gränsen går. I parcellförsök med tall och gran finns det exempel på mycket stora tillväxteffekter högt upp i åldrarna och contortatall växer i genomsnitt 35 % bättre än tall på samma mark (Liziniwicz m.fl. 2016). På samma mark är SI H100 för contortatall 4 m högre än för tall. I de nationella skogliga konsekvensanalyserna (SKA 08 till exempel) sattes en övre gräns för tillväxtökningen hos förädlade plantor till 50 % (Rosvall & Wennström 2008).

Här analyserades de prognosticerade genetiska vinster som nu är tillgängliga för fjärde omgången fröodlingar samt successivt ökande genetiska vinster för framtida fröodlingar. Vid slutet av 115-årsperioden uppnåddes nivåer som vad vi för närvarande förmodar är nära "tak" för tillväxtökning. Det var olämpligt att sätta en gräns för tillväxten, då det skulle försvåra jämförelsen mellan programmen. Och det finns stöd för ännu högre tillväxtökningar. I sydstaterna producerar tredje generationens förädlad loblolly pine över 60 % mer virke (McKeand 2019). Takten i förädlingen där har varit 0,56 % per år i 50 år och har fördubblats under de senaste 10 åren.

Generellt kan sägas att förädlingsnivåerna är rimliga i början av tidsperioden men osäkrare längre fram i tiden. Men huvuddelen av nuvärdena för 115-årsperioden kommer från kostnader och intäkter som ligger nära i tiden. För granprogrammet med högst NPV, 30 15, utgör den diskonterade intäkten och kostnaden för halva produktionsperioden 72 % respektive 92 % av den för hela 100-årsperioden. För tallprogrammet med högst NPV, 20 5, är motsvarande siffror 76 % och 84 %. Det innebär att de höga genetiska effekter som använts i slutet av perioden för att få programmen jämförbara hade liten inverkan på nuvärdenas nivå. Däremot påverkades tillväxteffekten räknat i m³sk av dessa höga genetiska vinster.

Kostnader och priser är från 2022 och avser ett skogsföretag med egen plantskola. Från massavedspriserna är transportkostnaden frändragen. Rotnettona som beräknades med analysverktyget var oftast negativa för gallring men positiva i slutavverkning. På till exempel T24 i oförädlad skog var det totala rotnettot för all typ av avverkning, 252 kr/m³fub, vilket är i enlighet med statistiken.

Kostnaden för fröodlingsverksamheten kommer från Skogforsk, men föreföll låg. Vi ökade den med 20 % i samtliga beräkningar. Men en test med fördubbling av kostnaden hade ändå endast marginell betydelse.

Nuvärdesökningarna per procent förädlingsvinst beräknades både med Heureka och analysverktyget. De gav likartade resultat. Även i skog med negativa nuvärden medför tillväxtökningen med förädlade plantor en markant ökning av nuvärdena. Vid 24 % tillväxtökning i Heureka ändrades nuvärdet på T24 från -523 kr i oförädlad skog till +5

978 kr vilket är en ökning per procent med 268 kr. Motsvarande siffror för analysverktyget var från -1 607 till +3 201, en ökning per % med 208 kr (Tabell 6).

Slutsatsen blir att vi räknat rätt och att de förenklingar som gjorts inte påverkar jämförelsen mellan olika scenarier. Införandet av förädlade plantor är att se som ett teknikgenombrott. Man får en mycket stor effekt av en marginell kostnadsökning.

Tackord

Jag har ägnat nästan ett helt yrkesliv åt skogsträdsförädling och särskilt intresserat mig för hur förädlingen påverkar skogshushållning och lönsamhet på alla nivåer från bestånd till samhälle. Björn Sundberg och jag har stött ihop under våra karriärer. Jag buntade ihop Björn med alla andra teoretiker som tyckte att vår tillämpade förädling var uråldrig jämfört med de nya molekylära metoderna. Jag vet inte var Björn lärde sig kvantitativ genetik och förstod dess kvaliteter. Hur som helst, i den här utredningen var Björn praktikern med fötterna på jorden och jag den entusiastiska forskaren uppe i det blå. Tack Björn för förtroendet och för alla värdefulla synpunkter under arbetets gång och på manuskriptet.

Under min genetiska karriär har professorerna Gösta Eriksson och Dag Lindgren på hemmaplan varit mina ovärderliga läromästare. Dag Lindgren blev med tiden en outtröttlig förespråkare för fröodlingar, vilka jag ofta liknade vid dinosaurier, dömda att försvinna. Det tog för lång tid från förädlingsframsteg till planta i skogen. Dag kritiserade mig i sin tur för att hålla fast vid att med långa mellanrum driva kampanjer för nya omgångar av fröodlingar: TvåO, TreO, och så vidare. Dag har alltid predikat att verksamheten ska bedrivas kontinuerligt. Jag försvarade mig med att skogsbruket inte var moget för att hela tiden tänka på förädling och fröodlingar. Men nu visade sig skogsbruket moget för något nytt genom Björn Sundberg!

Jag hoppas att mitt bidrag med att analysera en strategi med rolling-frontfröodlingar sätter fart på kreativa krafter i hela skogsbruket och skogsträdsförädlingen. Jag tror att tillämpningen i skogen ska vara mer styrande för hur förädlarna arbetar.

Jag har alltid lutat mig mot riktiga ekonomer i sådana här sammanhang. Professorerna Karl Gustaf Löfgren (nyligen framliden) och Peichen Gong. Peichen har ännu en gång hjälpt mig att räkna rätt. Och utan Rune Simonsen som jag samarbetat med i många år hade jag inte haft verktyget "Snurran" till hjälp.

Slutligen har Curt Almquist och Ulfstand Wennström noggrant granskat manuskriptet.

Tack alla,

Ola Rosvall

Referenser

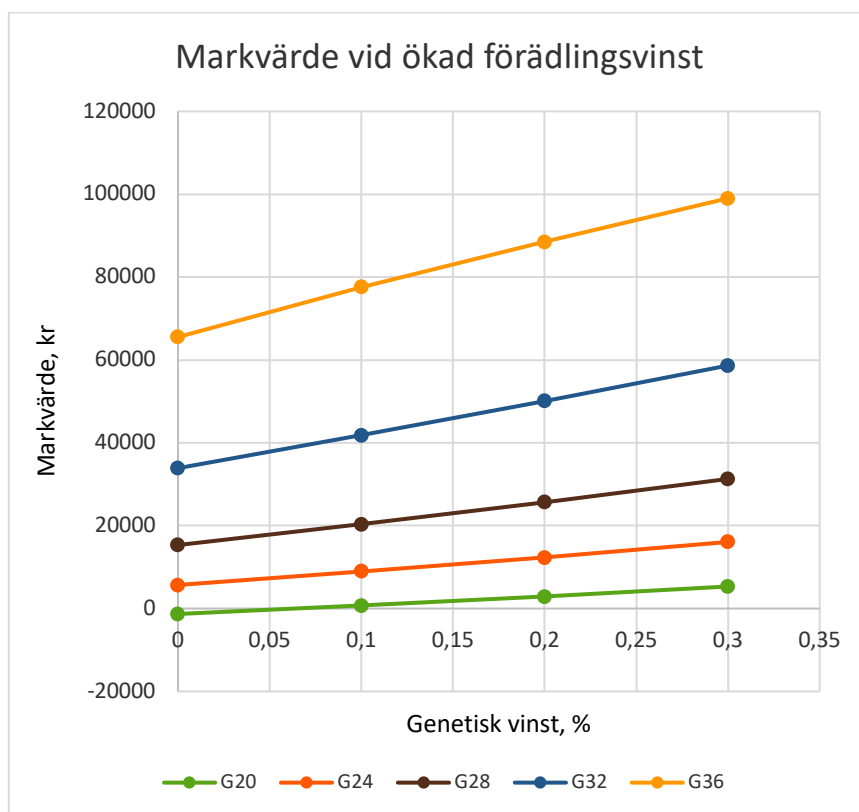
- Almqvist C. 2013. Interstock effects on top-graft vitality and strobili production after topgrafting in *Pinus sylvestris*. Canadian Journal of Forest Research 43(6): 584–588.
- Almqvist C, Wennström U. 2020. Förädlad skogsodlingsmaterial 2020–2064. Arbetsrapport 1066–2020. Skogforsk, 51 s.
- Andersson Gull B, Elfving B, Ericsson T. 2003. Performance of Improved *Pinus sylvestris* in Northern Sweden. Canadian Journal of Forest Research 18(3):199–206.
- Borralho N G M, Dutkowski G W. 2022. Comparison of rolling front and discrete generation breeding strategies for trees. Canadian Journal of Forest Research 28 (7): 987–993.
- Bullock, B., Nyström, K. & Rosvall, O. 2010. Mixed stand establishment with genetically improved and unimproved plant material for Norway spruce. Simulations of future yields and impacts on forest management. Working paper, March 2010. 7s.
- Chang W Y, Wang S, Gaston C, Cool J, An H, and Thomas B R. 2019. Economic Evaluations of Tree Improvement for Planted Forests: A Systematic Review. BioProducts Business 4(1), 2019, pp. 1–14. ISSN 2378-1394. <https://doi.org/10.22382/bpb-2019-001>.
- El-Kassaby Y A, Prescher F, Lindgren D. 2007. Advanced generation seed orchards' turnover as affected by breeding advance, time to sexual maturity and costs, with special reference to *Pinus sylvestris* in Sweden. Scandinavian Journal of Forest Research 22:2, 88–98.
- Heuchel, A., Hall, D., Zhao, W., Gao, J., Wennström, U., & Wang, X.-R. 2022. Genetic diversity and background pollen contamination in Norway spruce and Scots pine seed orchard crops. Forestry Research, 2(1). <https://doi.org/10.48130/fr-2022-0008>.
- Högberg, K-A, Ugglå C. 2021. Framtida fröfröodlingar av tall och gran. Arbetsrapport 1082-2021. Skogforsk, 35 s.
- Jansson G, Hansen J K, Haapanen M, Kvaalen H, Steffenrem A. 2017. The genetic and economic gains from forest tree breeding programmes in Scandinavia and Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 31, 273–286.
- Liziniewicz M, Nilsson U, Agestam E, Ekö P M, Elfving B. 2016. A site index model for lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. var. *latifolia*) in northern Sweden, Scandinavian Journal of Forest Research, 31:6, 583–591, DOI: [10.1080/02827581.2016.1167238](https://doi.org/10.1080/02827581.2016.1167238)
- McKeand, S. E., Gerwig, D. M., Cumbie, W. P., & Jett, J. B. (2008). Seed orchard management strategies for deployment of intensively selected loblolly pine families in the southern US. Seed orchards, Proceedings from a conference at Umeå, Sweden, 177–182.
- McKeand S E. 2019. The evolution of seedling market for genetically improved Loblolly Pine in the southern United States. Journal of Forestry, 2019, 293–301.
- McKeand S E. Bridgewater F E. 1986. When to establish advanced generation seed orchards. Silvae Genetica 35, 5–6.
- McKeand S E, Payn K G, Heine, A J, Abt R C. 2021. Economic significance of continued improvement of Loblolly Pine genetics and its efficient deployment to landowners in the southern United States. 2021. Journal of Forestry, 2021, 62–72.
- Moriguchi Y, Prescher F, Lindgren D. 2008. Optimum lifetime for Swedish *Picea abies* seed orchards. New Forests 35:147–157.

- Rosvall O. 2019. Using Norway spruce clones in Swedish forestry: Swedish forest conditions, tree breeding program and experiences with clones in field trials, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 34:5, 342–351, DOI: 10.1080/02827581.2018.1562566
- Rosvall O. 2011a. The economic value of tree improvement. *In* Review of the Swedish Tree Breeding Programme. *Edited by* O. Rosvall. Skogforsk, Uppsala, Sweden. pp. 513–14.
- Rosvall O. 2011b. Review of the Swedish Tree Breeding Programme. *Edited by* O. Rosvall. Skogforsk, Uppsala, Sweden.
- Rosvall O, Eriksson B. 2002. Nya fröplantager i Sverige – underlag för strategiska beslut. Arbetsrapport nr 499, 2002 Skogforsk, 27 s.
- Rosvall, O. & Almqvist, C. 2003. Möjligheter att ”rulla” in nya plusträd i tallfröplantager. Arbetsrapport från Skogforsk nr 553, 2003. 9 s.
- Rosvall O, Wennström U. 2008. Förädlings effekter för simulering med Hugin i SKA 08. Arbetsrapport nr 655, 2008. Skogforsk, 37 s.
- Rosvall, O & Lundström, A. 2010. Förädlings effekter i Sveriges skogar – Kompletterande scenarier till SKA-VB 08. Redogörelse Skogforsk nr 1, 30 s.
- Rosvall, O., Peichen, G. & Simonsen, R. 2006. Framtida tillväxtökning kan tas ut redan i dagens skog. Resultat Skogforsk nr 4 2006, 4 s.
- Rosvall, O., Simonsen, R., Rytter, L., Jacobsson, S. & Elfving, B. 2007. Tillväxthöjande skogsskötselåtgärder i privatskogsbruket - underlag för lönsamhetsberäkningar. (Arbetsrapport 640, 2007, Skogforsk), 59 s.
- Rosvall, O., Andersson, B., Högberg, K.-A., Jansson, G., Almqvist, C., Westin, J. 2010. Skogsskötselserien nr 19, Skogsträdsförädling. Skogsstyrelsen. 103 s.
- Rosvall, O., Jansson, G., Andersson, B., Ericsson, T., Karlsson, B., Sonesson, J. & Stener, L-G. 2001. Genetiska vinster i nuvarande och framtida fröplantager och klonblandningar. Genetic gain from present and future seed orchards and clone mixes. SkogForsk, Redogörelse nr 1, 2001. 41 pp.
- Simonsen, R., Rosvall, O. & Gong P. 2007. Lönsamhet för produktionshöjande skogsskötselåtgärder hos Holmen Skog – en fallstudie. Redogörelse Skogforsk nr 5 2007, 34 s.
- Simonsen R, Rosvall O, Gong P, Wibe S. 2010. Profitability of measures to increase forest growth. *Forest Policy and Economics* 12,473-482.
- Wu H X, Eldridge K G, Matheson A C, Powell M B, McRae B T, Butcher T B, Johnson I G. 2007. Achievements in forest tree improvement in Australia and New Zealand. Successful introduction and breeding of radiata pine in Australia. *Australian Forestry* 70, 215–225.

Bilagor

Bilaga 1. Markvärdesökning per procent genetisk vinst

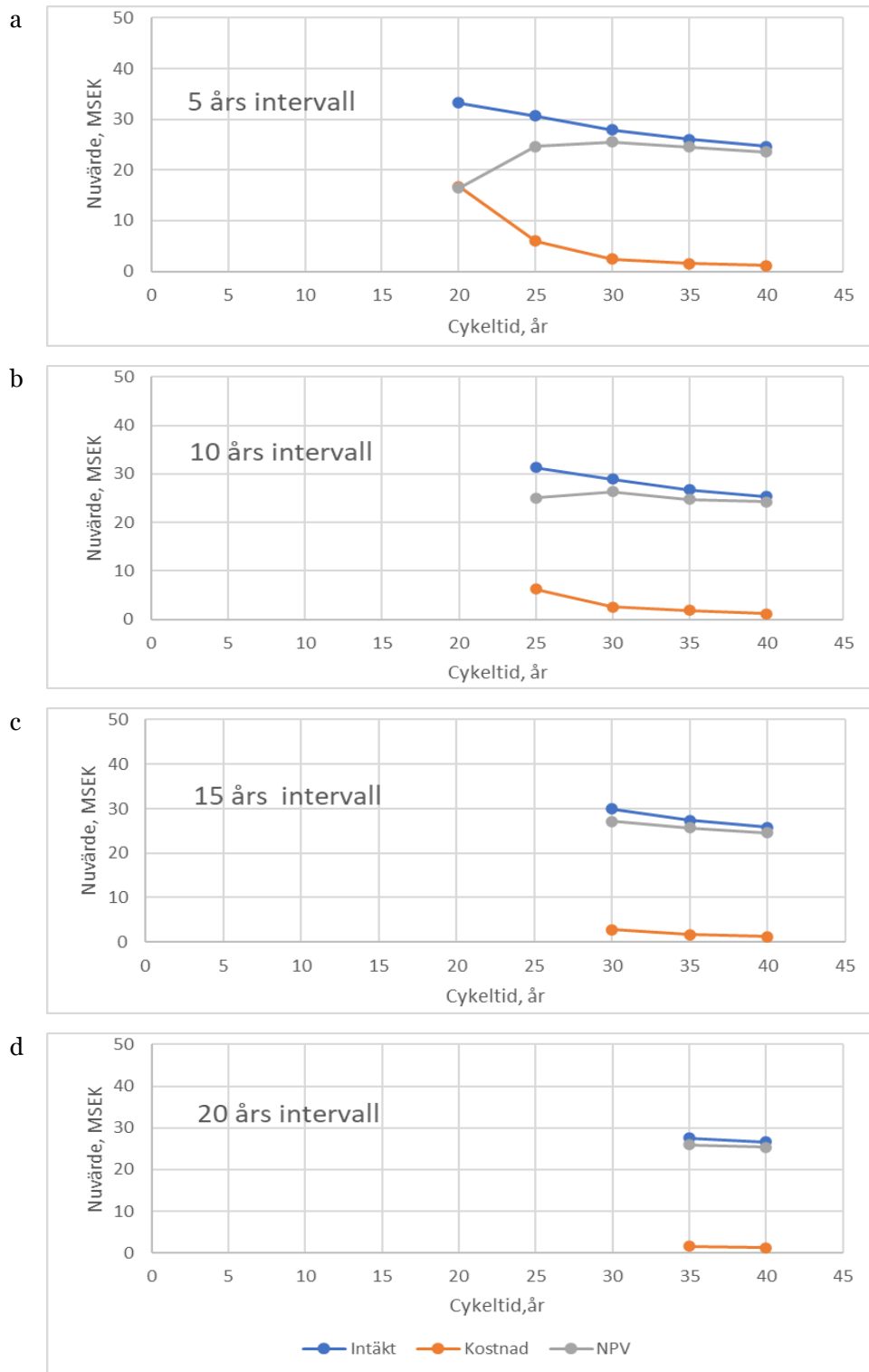
Markvärdet för ett ha skog planterat med förädlade plantor ökar i det närmaste linjärt med ökad genetisk vinst (Figur B1 1). Ökningstakten är större ju högre SI H100. Data till Figur B1 1 är från 2009 och kalkylräntan är 2 %. Rätlinjigheten har bekräftats även för nuvärdet och med ett mer aktuellt dataset vid 3,5 % kalkylränta.



Figur B1 1. Markvärde vid olika förädlingsvinst och SI för gran. Kalkylränta 2 %. Data från Skogsskötselserien, Skogsstyrelsen (Rosvall m.fl. 2010). OBS kostnader och intäkter är från 2009 och den reala kalkylräntan är 2 %.

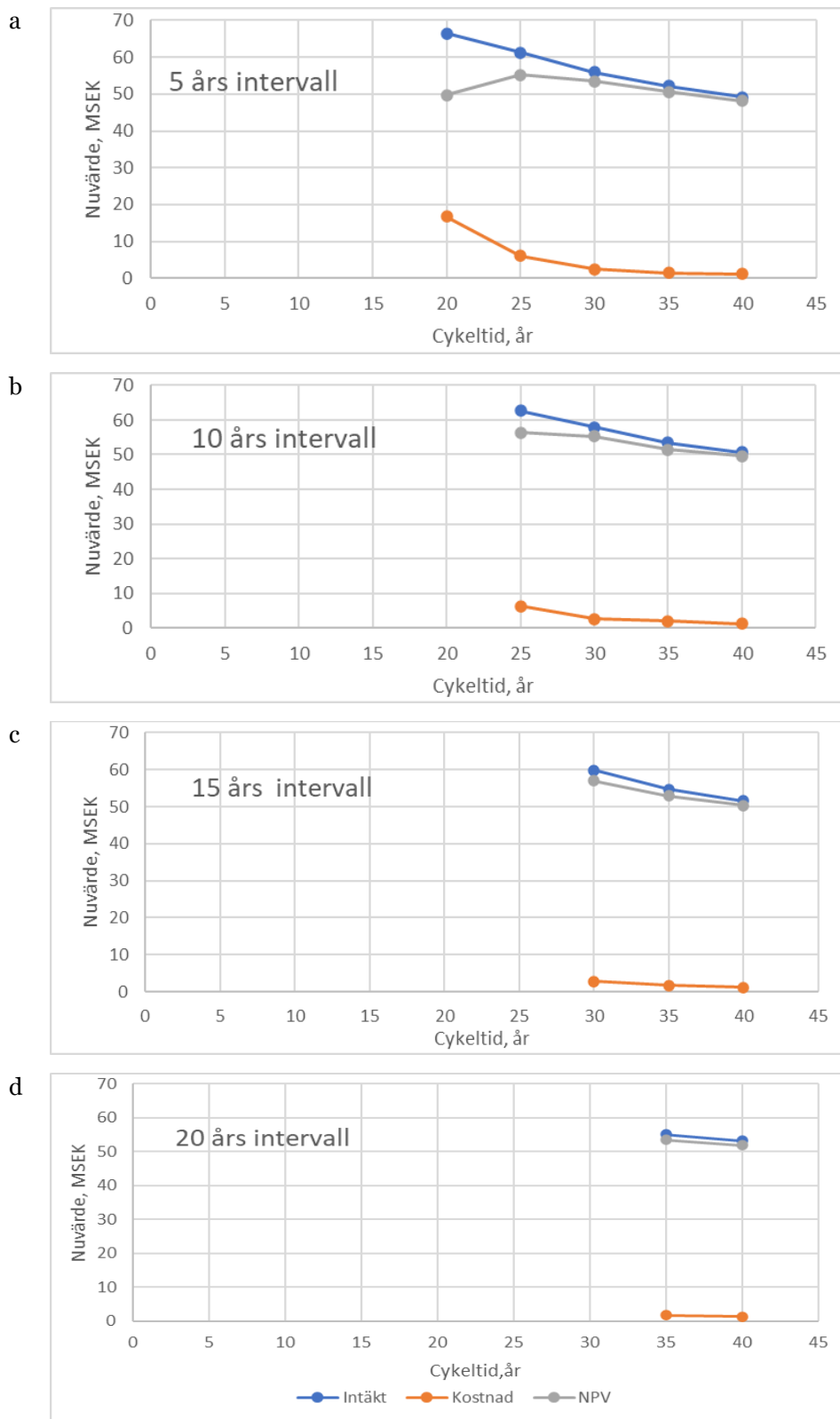
Figure B1 1. Land expectation value for one hectare on various site indexes planted with spruce seed orchard seedlings races almost linearly with increased genetic gain. Data from Skogsskötselserien (Rosvall et al 2010). Costs and revenues from 2009 and the real rate of return is 2%.

Bilaga 2. Lönsamhet för fröodlingar med tillämpning på G24, G32, T20 och T28



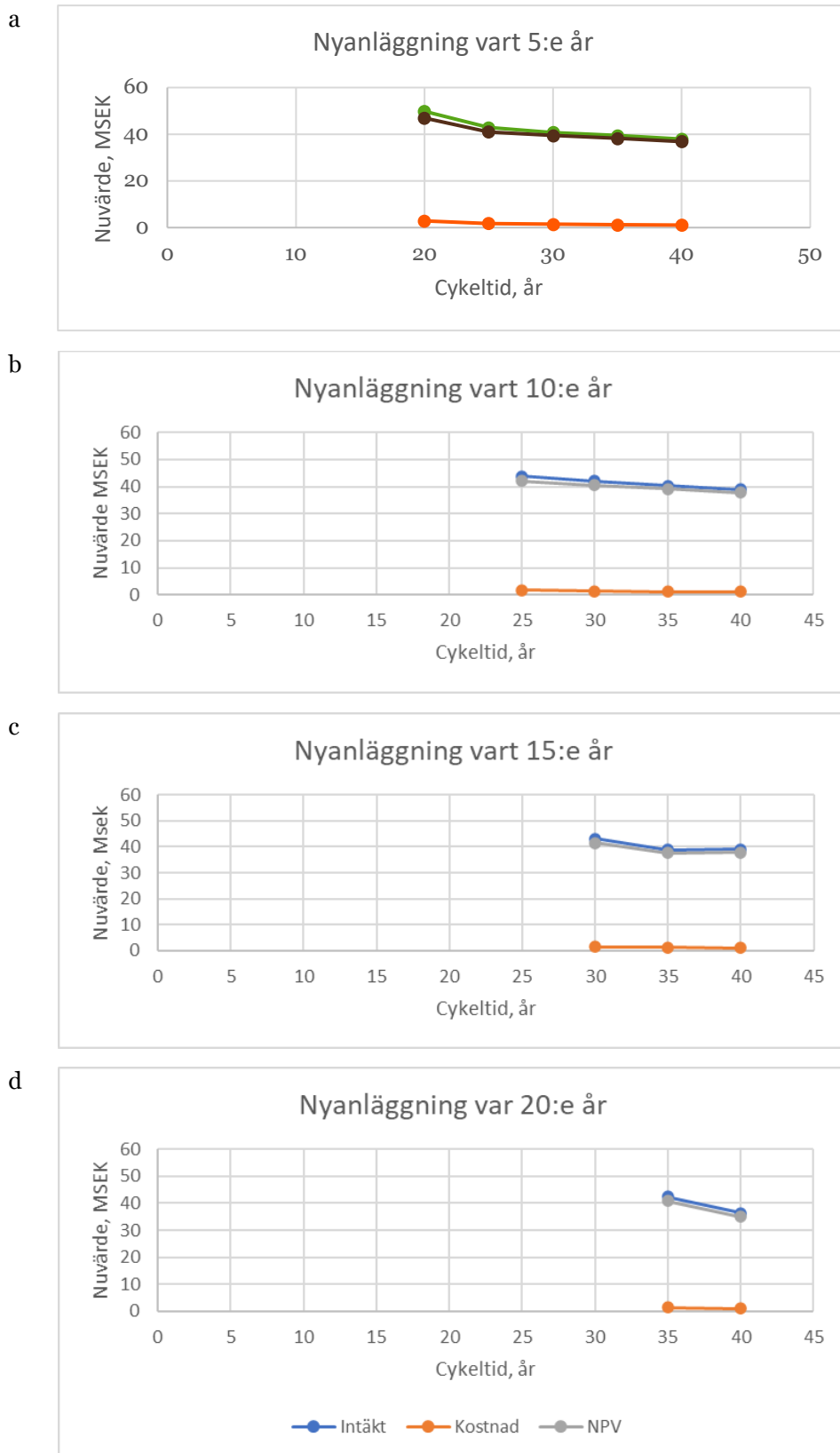
Figur B2 1. Diskonterade kostnader, intäkter och NPV för fröodlingar med gran som försörjer skog på SI H100 G24.

Discounted income (blue), cost (red) and NPV (grey) for spruce orchards with cycles from 20 to 40 years (x-axes) and planting intervals from 5 to 20 years (a,b,c and d) when used on site index G24.



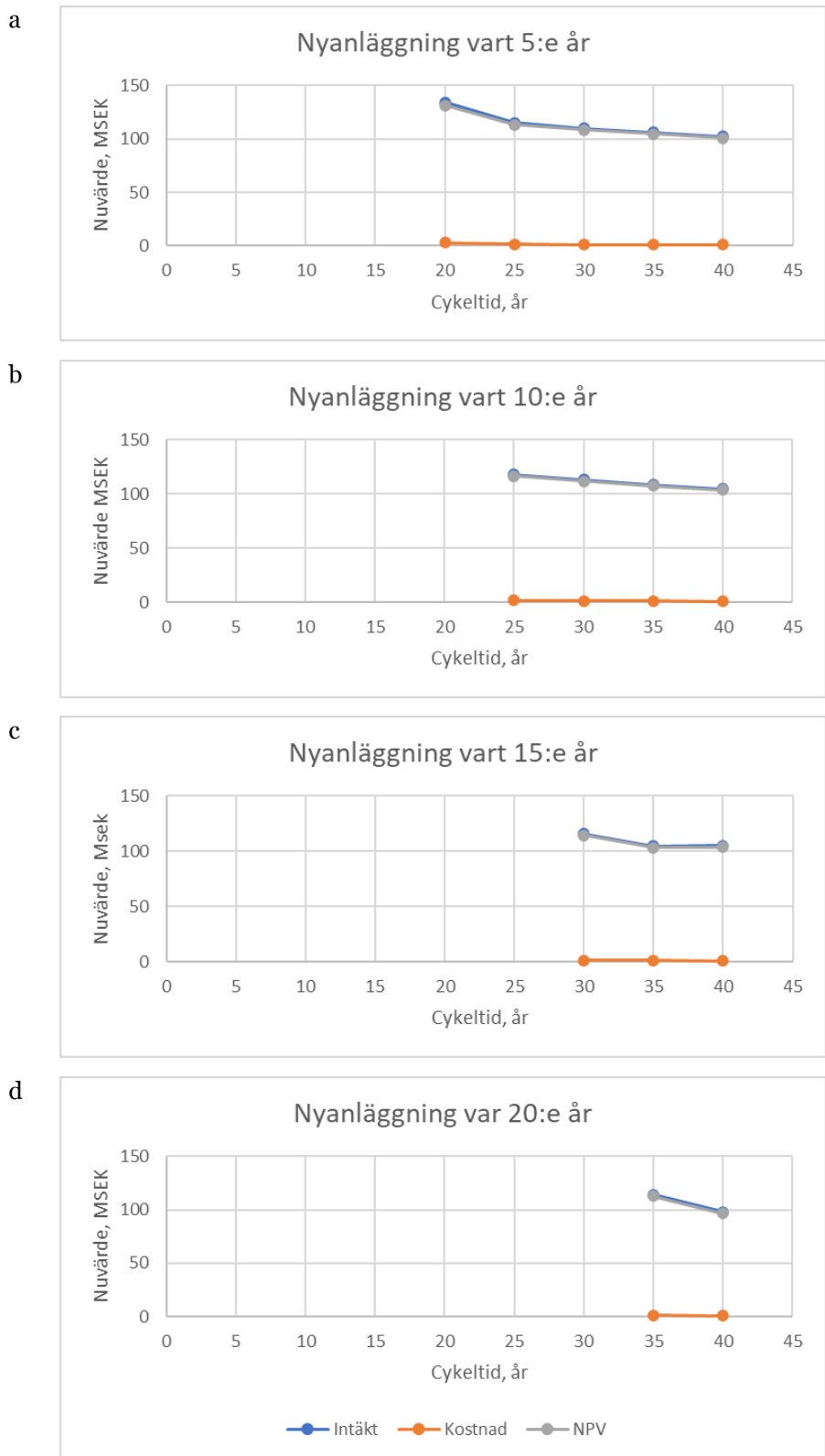
Figur B2 2. Diskonterade kostnader, intäkter och NPV för fröodlingar med gran som försörjer skog på SI H100 G32.

Figure B2 2. Discounted income (blue), cost (red) and NPV (grey) for spruce orchards with cycles from 20 to 40 years (x-axis) and planting intervals from 5 to 20 years (a, b, c and d) when used on site index G32.



Figur B2 3. Diskonterade kostnader, intäkter och NPV för fröodlingar med tall som försörjer skog på SI H100 T20.

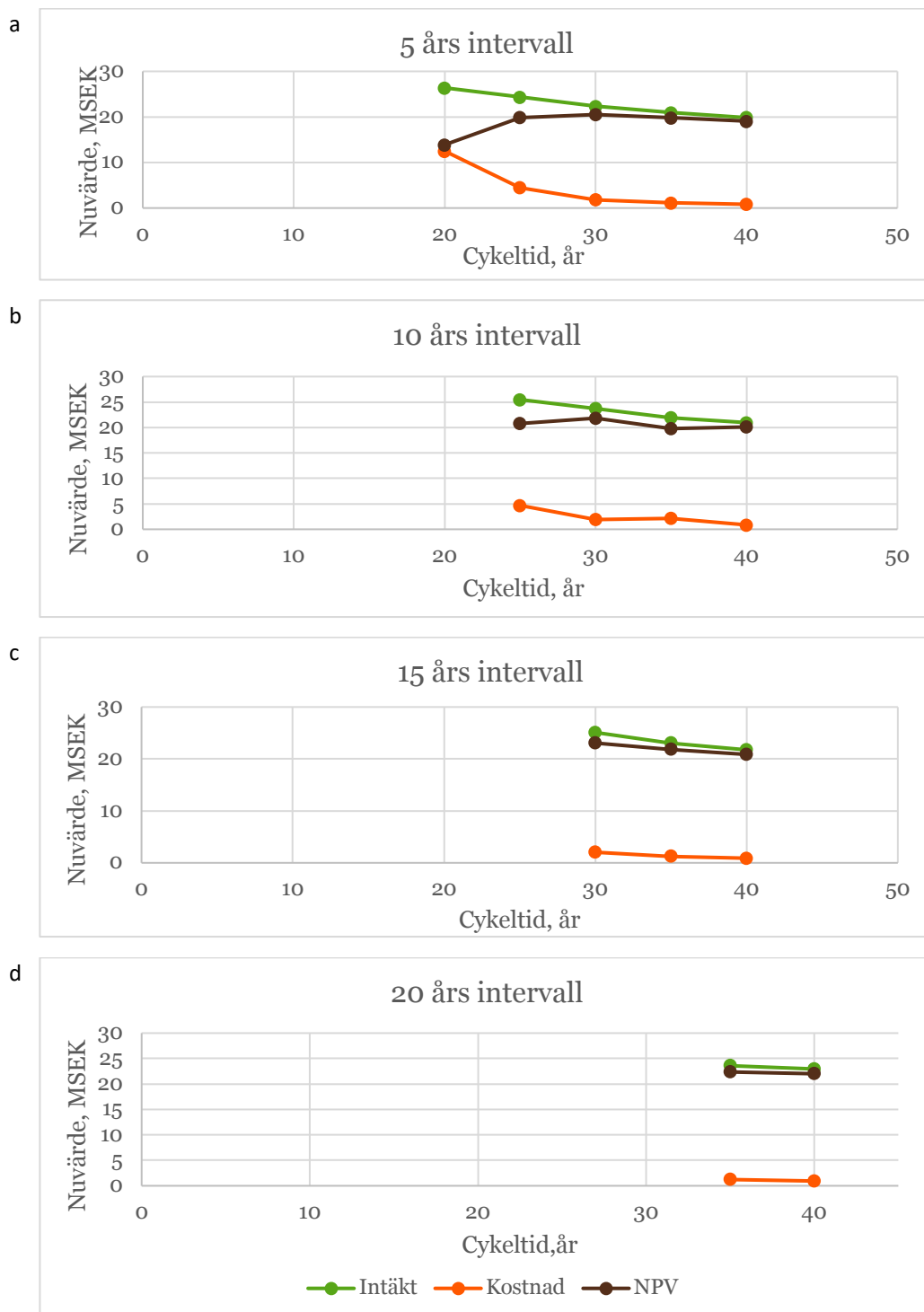
Figure B2 3. Discounted income (blue), cost (red) and NPV (grey) for pine orchards with cycles from 20 to 40 years (x-axes) and planting intervals from 5 to 20 years (a,b,c and d) when used on site index T20.



Figur B2 4. Diskonterade kostnader, intäkter och NPV för fröodlingar med tall som försörjer skog på SI H100 T28

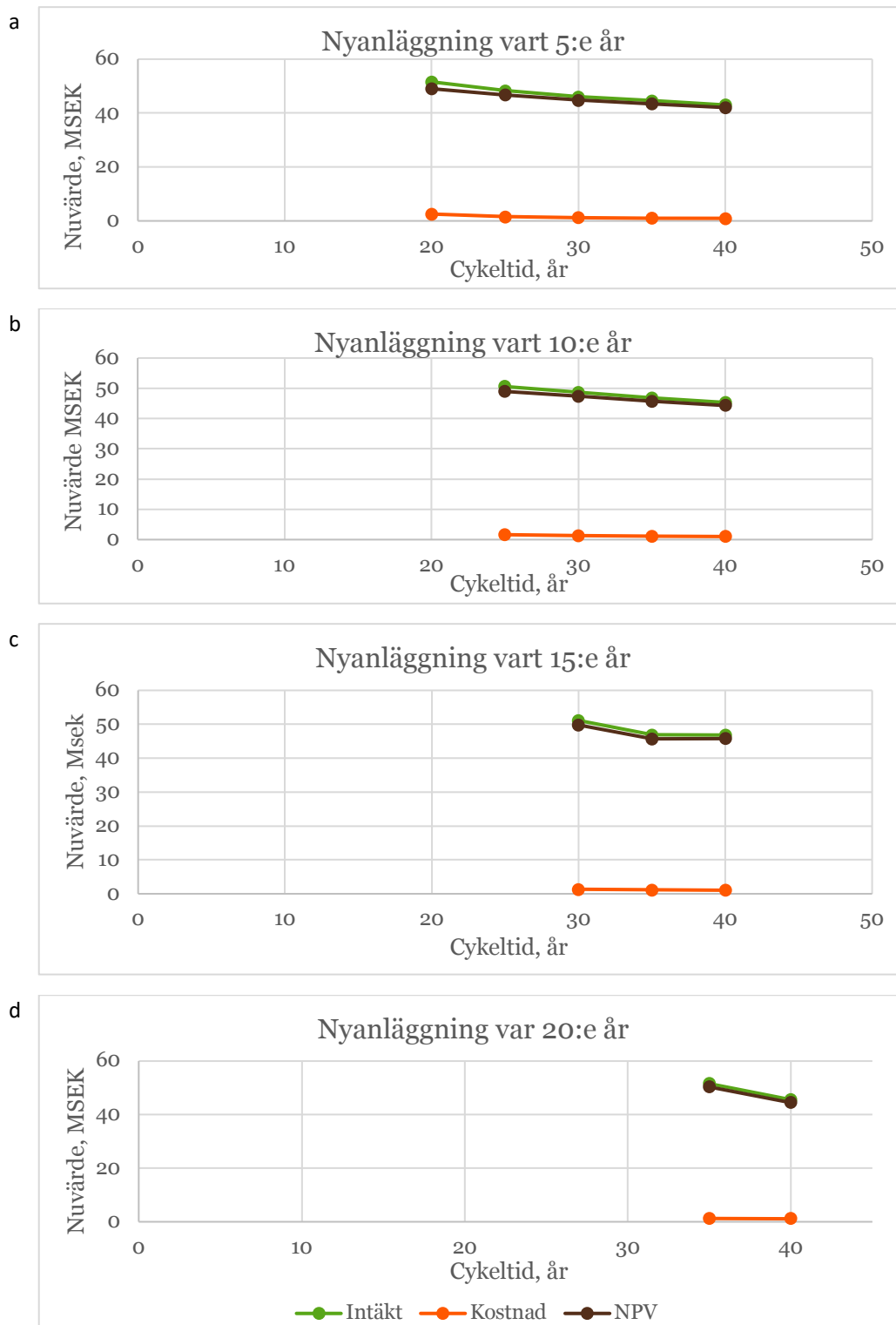
Figure B2 4. Discounted income (blue), cost (red) and NPV (grey) for pine orchards with cycles from 20 to 40 years (x-axes) and planting intervals from 5 to 20 years (a,b,c and d) when used on site index T28.

Bilaga 3. Ökningen av den genetiska vinsten är 0,0 procent per år



Figur B3 1. Den genetiska vinsten i gran ökar med 0 % och är 21,6 % i alla 115 år.

Figure B3 1. Discounted income (blue), cost (red) and NPV (grey) for spruce orchards with cycles from 20 to 40 years (x-axes) and planting intervals from 5 to 20 years (a,b,c and d) used on site index G28 when the increase in genetic gain is 0.0%. The genetic gain was kept on initial 21.6 % for 115 years.



Figur B3 2. Den genetiska vinsten i tall ökar med 0% och är 19,4 % i alla 115 år.

Figure B2 2. Discounted income (blue), cost (red) and NPV (grey) for pine orchards with cycles from 20 to 40 years (x-axes) and planting intervals from 5 to 20 years (a,b,c and d) used on site index T24 when the increase in genetic gain is 0.0%. The genetic gain was kept on initial 19,4 % for 115 years.

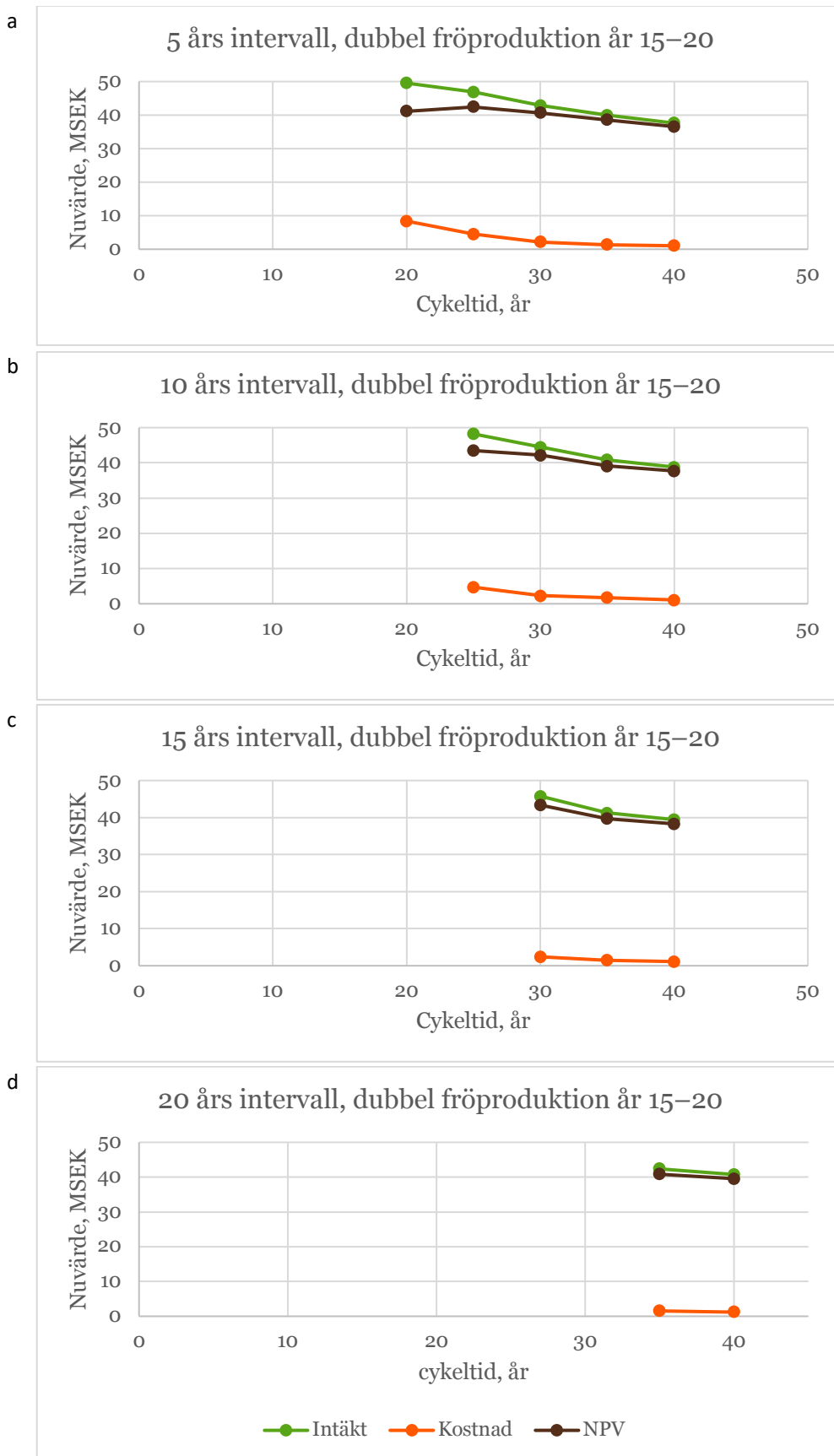
Bilaga 4 Dubbel fröproduktion år 15–20 i gran

Tabell B4 1. Ekonomiskt resultat av fördubblad fröproduktion i granfrödlingar under år 15–20 från 1 kg till 2 kg per ha och år. Den totala arealen för standardplantagen 40 20 minskar från 2,0 till 1,9 ha (gul markering)

Table B4 1. Economic results of doubling the seed production in spruce orchards for years 15–20 from 1 to 2 kg per ha and year. The total area for the standard seed orchard 40 20 decreases from 2,0 to 1,9 ha (yellow).

Cykel och intervall	20 5	25 5	30 5	35 5	40 5	25 10	30 10	35 10	40 10	30 15	35 15	40 15	35 20	40 20
Antal delfrödlingar	4	5	6	7	8	3	3	4	4	2	3	3	2	2
Intervall, år	5	5	5	5	5	10	10	10	10	15	15	15	20	20
Produktionstid, år	5	10	15	20	20	10	15	20	25	15	20	25	15	20
Delfrödlingsareal, ha	2,35	1,21	0,56	0,35	0,26	2,35	1,11	0,68	0,50	1,621	1,00	0,72	1,25	0,95
Total areal, ha	9,40	6,03	3,36	2,46	2,05	7,05	3,32	2,71	2,01	3,24	3,00	2,17	2,51	1,90
G24														
Diskonterad intäkt, MSEK	33,0	31,3	28,5	26,7	25,1	32,1	29,6	27,3	25,9	30,5	27,5	26,3	28,2	27,2
<i>D. intr. Relativa tal</i>	1,22	1,15	1,05	0,98	0,92	1,18	1,09	1,00	0,95	1,12	1,01	0,97	1,04	1,00
Diskonterad kostnad, MSEK	8,4	4,5	2,1	1,4	1,0	4,7	2,3	1,8	1,1	2,4	1,5	1,1	1,5	1,2
NPV, MSEK	24,6	26,8	26,4	25,3	24,0	27,4	27,4	25,5	24,8	28,1	26,0	25,2	26,7	26,0
<i>NPV, relativa tal</i>	0,95	1,03	1,02	0,97	0,93	1,06	1,05	0,98	0,95	1,08	1,00	0,97	1,03	1,00
K-kvot	2,9	6,0	12,3	18,2	23,2	5,8	11,9	14,3	22,6	11,7	17,0	22,3	17,4	21,8
G28														
Diskonterad intäkt, MSEK	49,53	46,88	42,81	39,98	37,60	48,22	44,47	40,91	38,80	45,77	41,27	39,43	42,37	40,75
<i>D. intr. Relativa tal</i>	1,22	1,15	1,05	0,98	0,92	1,18	1,09	1,00	0,95	1,12	1,01	0,97	1,04	1,00
Diskonterad kostnad, MSEK	8,4	4,5	2,15	1,4	1,0	4,7	2,3	1,8	1,1	2,4	1,5	1,1	1,5	1,2
NPV, MSEK	41,1	42,4	40,7	38,6	36,6	43,5	42,2	39,1	37,7	43,4	39,7	38,3	40,8	39,6
<i>NPV, relativa tal</i>	1,04	1,07	1,03	0,98	0,92	1,10	1,07	0,99	0,95	1,10	1,00	0,97	1,03	1,00
K-kvot	4,9	9,5	18,9	27,8	35,3	9,2	18,4	22,0	34,4	18,0	26,1	33,9	26,6	33,2

G32														
Diskonterad intäkt, MSEK	66,04	62,51	57,08	53,31	50,14	64,29	59,29	54,55	51,74	61,02	55,03	52,57	56,49	54,34
<i>D. intr. Relativa tal</i>	<i>1,22</i>	<i>1,15</i>	<i>1,05</i>	<i>0,98</i>	<i>0,92</i>	<i>1,18</i>	<i>1,09</i>	<i>1,00</i>	<i>0,95</i>	<i>1,12</i>	<i>1,01</i>	<i>0,97</i>	<i>1,04</i>	<i>1,00</i>
Diskonterad kostnad, MSEK	8,4	4,5	2,15	1,4	1,0	4,7	2,3	1,8	1,1	2,4	1,5	1,1	1,5	1,2
NPV, MSEK	57,6	58,0	54,9	51,9	49,1	59,6	57,0	52,8	50,6	58,6	53,5	51,4	55,0	53,1
<i>NPV, relativa tal</i>	<i>1,08</i>	<i>1,09</i>	<i>1,03</i>	<i>0,98</i>	<i>0,92</i>	<i>1,12</i>	<i>1,07</i>	<i>0,99</i>	<i>0,95</i>	<i>1,10</i>	<i>1,01</i>	<i>0,97</i>	<i>1,03</i>	<i>1,00</i>
K-kvot	6,9	13,0	25,6	37,4	47,4	12,6	24,9	29,7	46,2	24,4	35,1	45,6	35,7	44,6



Figur B4 1. Fördubblad fröproduktion i granfrödlingar under år 15–20 från 1 kg till 2 kg per ha och år.

Figure B4 1. Economic results of increasing the seed production in spruce for years 15–20 from 1 to 2 kg per ha and year. Discounted income (blue), cost (red) and NPV (grey) for spruce orchards with cycles from 20 to 40 years (x-axes) and planting intervals from 5 to 20 years (a,b,c and d) used on site index G28.