

# PlantvalOptimal – Effektivare och bättre användning av plantmaterial för större skogsinnehav

PlantvalOptimal – Improved and more efficient use and distribution of plant material for large holdings of forest land

Välj planteringslokal

Klicka på kartan eller ange latitud och longitud

Rekommendationsförsättningar

Höjd över havet: 330 m

Temperatursumma: 854 dygnsgrader

Klimatscenario: +2.5°C (SRES-A1B)

Lokalklimatisk justering: Medel

Plantager

Nr	Namn	Ind	Ovl	Tillv	Ink	Lat	
	Lokalt ursprung	100	70,6	100		65	
FP-625	Dal T8	116	68,6	121,4	40	64,5	
FP-125A	Väge	114	73,9	113,2	40	65,2	
FP-619	Slättholmen T7	112	73,6	111,4	40	65,4	
FP-623	Pålberget T6	112	77,8	107,4	40	65,8	
FP-632	TreO T7 Skeppsholmen	111	65,3	118,7	82	64,3	
FP-622	Pålberget T5	111	80,4	104,9	40	66,3	
FP-401	Hortlax	111	77,6	106,5	40	66	
FP-609	Molden T4	111	78	106,1	40	66,1	
FP-1	Skaholma	110	78,4	105,7	40	66,2	

Visa alla plantager



FOTO: HOLMEN SKOG AB

# Abstract

In this project we developed a system to optimise the use and distribution of genetically improved forest reproductive material (FRM) for large forest owners with many regeneration sites and access to several different seed sources. The system is based on the models behind the current Plantval web tool, which predicts growth and survival for the most suitable FRMs and rank them according to areal production over a rotation. However, Plantval in its current form provides FRM recommendations one site at a time and is not adapted to the requirements of large forest owners and/or plant producers. The study is based on the Holmen forest company's regeneration sites in northern and central Sweden and their available seed orchard crops in 2015. Results show that optimised use and distribution of available Scots pine plant material more than doubled the increase in forest production compared to Holmen's actual regenerations, from 8.5% to almost 19% compared to unimproved stand seed. This corresponds to the improvement potential in the planning stage before sowing. Furthermore, re-distributing a given stock of seedlings to their planting sites by optimisation yielded around one percentage unit increased production and corresponds to the planning stage after sowing. For Norway spruce, results revealed both a major shortage of improved plant material and that Holmen's available seed orchard crops are currently not entirely adapted to its forest holdings. The theoretically achievable forest production with unlimited access to all Swedish seed orchards is 1-2 and 3-4 percentage units higher for Scots pine and Norway spruce respectively, compared to the optimised use and distribution of the seed orchards available to Holmen. This implies an additional potential increase in forest production by, e.g., improved seed production and seed/plant trade between plant producers and forest companies. In summary, results from this project imply that Holmen and probably several other large Swedish forest owners could substantially increase forest production by optimising the use and distribution of their available plant material and that the PlantvalOptimal system could provide increased efficiency and reduced costs in various stages of planning.

# Förord

Redan i mitten av 1990-talet utvecklades ett datorprogram, ValSkog, för att prognosticera olika gran- och tallplantmaterials tillväxt och överlevnad i norra Sverige.

2006 gjordes design- och funktionsförbättringar av verktyget och det döptes om till Plantval. En av nyheterna i Plantval var en interaktiv kartfunktion med möjligheten att välja en planteringslokal direkt i kartan, där resultatet baserades på en grov geografisk upplösning med halva latituder och höjdskillnader med steg om 50 meter. Denna uppdelning av Sverige möjliggjorde ett arbetssätt där större markägare relativt enkelt kunde tilldela större arealer, och inte bara enskilda planteringstrakter, rätt plantmaterial.

2015 lanserades nya Plantval. En stor förändring var att nya klimatanpassade förflyttningsmodeller för tall utvecklats. Dessa modeller var anpassade för 4x4 kilometers rutor, vilket gjorde att indelningen av Sverige blev mer högupplöst. En bieffekt var att större markägares arbetssätt vid urval och traktvis fördelning av plantmaterial blev mer tidskrävande.

Under de senaste åren har Skogforsk i samarbete med Holmen identifierat behov och förbättringspotential för Plantvalsplattformen när det gäller större skogsinnehav. Det landade i det här pilotprojektet med utveckling av ett automatiserat arbetssätt för hantering av en stor mängd planteringslokaler och en optimering av det tillgängliga plantmaterialet på dessa lokaler.

Författarna vill tacka Daniel Hägglund och Holmen Skog för ett gott samarbete och indata under projektets gång. Vi tackar också Gustav Friberg för det arbete som utfördes i projektets inledningsfas samt Sven Tegelman för programmering och utveckling av Plantvalsplattformen.

Uppsala oktober 2018

Aron Davidsson, Mats Berlin och Petrus Jönsson

# Innehåll

Abstract.....	2
Förord .....	3
Sammanfattning .....	5
Summary.....	7
Inledning.....	9
Bakgrund.....	9
Syfte och mål.....	9
Material och metod.....	10
Indata och studieområde.....	10
Verktyg och modeller .....	12
Plantval.....	12
PlantvalAutomat .....	14
Optimeringsmodell .....	15
PlantvalOptimal .....	15
Analys av förbättringspotential .....	16
Optimering (tall och gran).....	16
Jämförelse (tall) .....	18
Resultat .....	21
Optimering Tall.....	21
Optimering Gran.....	23
Jämförelse (tall).....	25
Diskussion .....	28
Optimering och jämförelser .....	28
Optimering - Tall.....	28
Optimering - Gran.....	28
Jämförelser (tall) .....	29
Vidareutveckling av verktyg och modeller .....	30
Slutsatser .....	31
Referenser.....	31
Bilaga 1: Omräkning av bonitetsvisande trädslag.....	32

# Sammanfattning

Att välja rätt skogsodlingsmaterial är ett av de viktigaste besluten som skogsägaren fattar i förnygringsprocessen. Konsekvenserna består över en hel omloppstid. Förädlade plantor som används på rätt planteringslokaler har både högre tillväxt och är bättre anpassade till ett framtida klimat. När den nya generationens fröplantager börjar bli alltmer tillgängliga ökar skillnaderna i produktion mellan olika plantmaterial, vilket gör det allt viktigare att kunna utnyttja potentialen i det allra bästa materialet på ett optimalt sätt. För en mindre skogsägare som planterar en eller ett fåtal trakter under en säsong fungerar Skogforsks operativa webbverktyg Plantval utmärkt, då det ger en lista av plantmaterial rangordnad efter produktion och överlevnad på en given trakt. För en aktör med ett större skogs-innehav, där ett betydande antal trakter ska förnygras varje år, är däremot Plantvals funktionalitet mindre väl lämpad. En sådan aktör behöver kunna hantera ett stort antal planteringstrakter på ett enkelt sätt och även kunna fördela det tillgängliga skogsodlingsmaterialet över planteringstrakterna på bästa möjliga sätt.

Syftet med detta projekt är att studera möjligheterna och analysera potentialen av att utveckla ett mer automatiserat arbetssätt för att förbättra och effektivisera användningen av gran- och tallplantmaterial över större innehav. I detta ingår utveckling av både ett verktyg för att hantera ett stort antal planteringstrakter och en modell för att kunna optimera användning av plantmaterial med begränsad tillgång. Tillsammans utgör dessa båda delar en plattform som vi benämnt ”PlantvalOptimal”. Vi har också utvärderat hur stor potential användningen av ”PlantvalOptimal” har för att öka den skogliga produktionen över ett större innehav genom bättre utnyttjande av tillgängliga plantmaterial.

Projektet har gjorts i samarbete med Holmen Skog med analyser baserade på information om bolagets planteringstrakter för tall och gran och tillgängliga plantmaterial för 2015. Totalt användes upp till 1600 trakter i analyserna, ungefär jämnt fördelade mellan gran och tall, samt information om frö-/plantantal för tillgängliga fröplantager. Genom att jämföra olika förutsättningar i tillgång på plantmaterial, från vad som faktiskt planterats till obegränsad tillgång, har vi gjort en bred analys av förbättringspotentialen av att optimera användningen av plantmaterial.

De viktigaste resultaten för tall:

- Vid optimal användning av det bästa plantmaterialet Holmen hade att tillgå 2015 ligger produktionsökningen på 17,5–18,9 procent jämfört med oförädlad beståndsför.
- Det optimerade resultatet är en dryg fördubbling av den produktionsökning Holmen uppnådde med sin faktiska plantering 2015, som landade på 8,5 procent jämfört med oförädlad beståndsför.
- Den teoretiskt möjliga produktionsnivån med obegränsad tillgång till alla svenska fröplantager ligger 1–2 procentenheter högre än det optimerade resultatet och antyder en ytterligare vinstpotential genom till exempel förbättrad fröproduktion och byteshandel mellan plantproducenter/bolag.
- En ren omplacering av redan uppsådda plantor genom optimerad anpassning till planteringslokalerna gav 1 procentenhet högre produktion än Holmens faktiska plantering 2015.
- De nya TreO-plantagerna dominerar den optimerade användningen och lyfter den generella produktionsnivån i Holmens innehav.

För gran kunde vi bara härleda ett känt plantageursprung till ca 21 procent av trakterna och därmed föll en stor del av de jämförande analyserna bort. De viktigaste resultaten för gran är:

- Det råder brist på förädlad plantmaterial av gran, där 44 procent eller 4,8 miljoner plantor inte kunde tillgodoseas med Holmens tillgängliga fröplantager vid optimering.
- Holmens plantageinnehav är i dagsläget inte helt anpassat för kärnområdet, där vissa plantager inte blir fullt utnyttjade vid optimering, trots plantbrist.
- Om lämpligt proveniensmaterial eller utländska fröplantager används för att täcka upp fröbristen kan en optimal användning av det bästa plantmaterialet (som Holmen hade att tillgå 2015) ge en produktionsökning på 9–10 procent jämfört med oförädlad beståndsför.
- Den teoretiskt möjliga produktionsnivån med obegränsad tillgång till alla svenska fröplantager ligger 3–4 procentenheter högre än det optimerade resultatet och antyder en ytterligare vinstpotential genom till exempel förbättrad fröproduktion och byteshandel mellan plantproducenter/bolag som är högre än motsvarande för tall.

Sammanfattningsvis visar resultaten att Holmen och förmodligen flera av Sveriges större skogsägare kan förbättra skogsproduktionen betydligt över sitt innehav genom att optimera användningen av tillgängligt skogsodlingsmaterial. Studien visar också att PlantvalOptimal skulle kunna användas som plattform för handel och byte av förädlad frömaterial mellan olika skogliga aktörer och därmed minska aktörsvisa suboptimeringar. Vidare bedömer vi att systemet PlantvalOptimal kan ersätta manuell hantering med ett mer automatiserat arbetssätt för aktörer med stora skogsinnehav och/eller plantproduktion, vilket skulle medföra högre effektivitet och minskade kostnader i planeringsarbetet. Slutligen kan systemet PlantvalOptimal vidareutvecklas för både operativa beslutsstöd och forskningsprojekt.

# Summary

The selection of plant material is one of a forest owner's most important decisions in the forest regeneration phase, with consequences over an entire rotation. When used at suitable sites, genetically improved seedlings combine higher rates of growth and better adaptive properties for a future climate. As the next generation of seed orchards gradually becomes available, the variation in genetic gain of orchards increases, and it becomes increasingly important to utilise the best genetic material in an optimal way.

For a small forest owner with only one or a few regeneration sites each year, the current web tool Plantval provided by Skogforsk is very useful, as it provides a list of plant material ranked according to their predicted production and survival at an arbitrarily selected site. The large forest owner with many regeneration sites each year needs to efficiently obtain and distribute available plant material in the best possible way, but the current Plantval functionality is not developed for this.

The aim of this project was to investigate and analyse the potential in developing a more automated way of working, and to improve and streamline the use and distribution of Norway spruce and Scots pine plant material for large forest holdings. This includes developing both a tool to manage a large number of regeneration sites and a model to optimise the use and distribution of the available plant material. Combined, the tool and the model constitute a platform we call 'PlantvalOptimal'. We have also analysed the potential for increasing forest production on a larger forest holding by using PlantvalOptimal to optimise the distribution of available plant material.

The project was run in collaboration with the Holmen forest company, using their 2015 regeneration sites of Norway spruce and Scots pine. Up to 1600 regeneration sites were used, approximately evenly distributed between Norway spruce and Scots pine, with information about available seed/plants for each available seed orchard. By performing a number of comparisons with different conditions in availability of plant material, from what was actually planted to unlimited availability, we obtained a broad representation of the improvement potential from optimising the use and distribution of plant material.

Key results for Scots pine can be summarised as follows:

- Optimising the use of the best plant material available to Holmen in 2015 increased forest production by 17.5-18.9% compared to using unimproved stand seed.
- The optimised use and distribution of plant material yielded a forest production increase more than twice the 8.5% Holmen achieved with their actual regenerations in 2015, compared to unimproved stand seed.
- The theoretically achievable forest production with unlimited access to all Swedish seed orchards was 1-2 percentage units higher compared to the optimised use and distribution of the seed orchards available to Holmen. This implies an additional potential increase in forest production by, e.g., improving seed production and seed/plant trade between plant producers and forest companies.
- Redistributing a given stock of seedlings by optimising their performance at the regeneration sites yielded an additional gain in forest production of 1 percentage unit compared to Holmen's actual regenerations in 2015.
- The new TreO (1.5 generation) seed orchards completely dominate the optimised use and distribution, and boost the general forest production of Holmen's forest land.

For Norway spruce, a known Swedish seed orchard could only be assigned to around 21% of the regeneration sites, so multiple comparative analyses were not possible. The key results for Norway spruce were as follows:

- There is a major shortage of improved plant material, where 44% or 4.8 million seedlings could not be supplied by the seed orchard crops available to Holmen when optimising.
- Holmen's available seed orchard crops are currently not entirely adapted to its forest land holdings, and some seed orchards are not fully utilised in the optimisation despite plant material shortage.
- If suitable provenances and/or foreign seed orchards are used to meet the shortage, forest production could be increased by 9-10% compared to unimproved stand seed, by optimising the use of the best plant material available to Holmen in 2015.
- The theoretically achievable forest production with unlimited access to all Swedish seed orchards is 3-4 percentage units higher compared to the optimised use and distribution of the seed orchards available to Holmen. This implies an additional potential increase in forest production by, e.g., improving seed production and seed/plant trade between plant producers and forest companies. This increase is larger than that for Scots pine.

Results from this project imply that Holmen and probably several other large Swedish forest owners could substantially increase forest production by optimising the use and distribution of their available plant material. Results also suggest that PlantvalOptimal could be used as a platform for trade and exchange of improved seed between forest companies and lead to an overall gain in forest production. We believe that the PlantvalOptimal system could replace manual labour with an automated way of working, increasing efficiency and reducing costs in various stages of planning. Finally, the PlantvalOptimal system can be further developed for use in both operational decision support and research projects.



# Inledning

## BAKGRUND

Plantval är ett verktyg som ger rekommendationer om plantmaterial för de vanligaste trädslagen på en valfri planteringstrakt i Sverige. Verktuget har utvecklats av Skogforsk under många år och fungerar idag som en publik webbtjänst. Där kan företag och privatpersoner via en interaktiv karta eller angivelse av koordinater hitta information om vilket plantmaterial som lämpar sig bäst för att använda på den angivna platsen. Verktuget är en viktig kommunikationskanal för förädlingsprogrammet på Skogforsk, som ser till att information och kunskap om skogsträdsförädling och val av plantmaterial kan nå ut till det svenska skogsbruket.

Plantvals nuvarande webbtjänst ger i dagsläget endast rekommendationer för en planteringstrakt i taget. Detta lämpar sig väl för privatskogsbruket, där maximalt ett fåtal områden planteras per år och ofta med flera års mellanrum. För skogsägare och företag med större markinnehav och många trakter som planteras årligen är däremot Plantval, som det är utformat idag, inte ett optimalt verktyg. Dessa aktörer har behov av att kunna hantera stora mängder planteringstrakter på ett enkelt sätt, vilket är både tids- och resurskrävande i Plantval. De behöver också kunna fördela tillgängliga skogsodlingsmaterial över planteringstrakterna på bästa möjliga sätt – en funktionalitet som i dagsläget inte finns i Plantval.

Skogforsk vill med detta projekt studera möjligheterna och analysera potentialen av att utveckla ett mer automatiserat arbets sätt för att förbättra och effektivisera användningen av plantmaterial över större innehav. I projektet ingår att utveckla både verktyg och modeller.

Projektet har gjorts i samarbete med Holmen Skog och inkluderar analyser baserade på information om Holmens planteringstrakter för tall och gran och tillgängliga plantmaterial för 2015.

## SYFTE OCH MÅL

Det första syftet med projektet var att utveckla ett mer automatiserat arbets sätt, så att större markägare effektivt kan välja rätt plantmaterial med begränsad tillgång för ett större antal planteringstrakter. I detta ingår:

- Utveckling av ett verktyg för att extrahera och hantera användningsrekommendationer från Plantval-systemet för ett stort antal planteringstrakter (prototypverktuget "PlantvalAutomat" 2.0).
- Utveckling av en modell för att kunna optimera användning av tillgängligt plantmaterial med begränsad tillgång.

Tillsammans utgör dessa en plattform som vi benämnt "PlantvalOptimal".

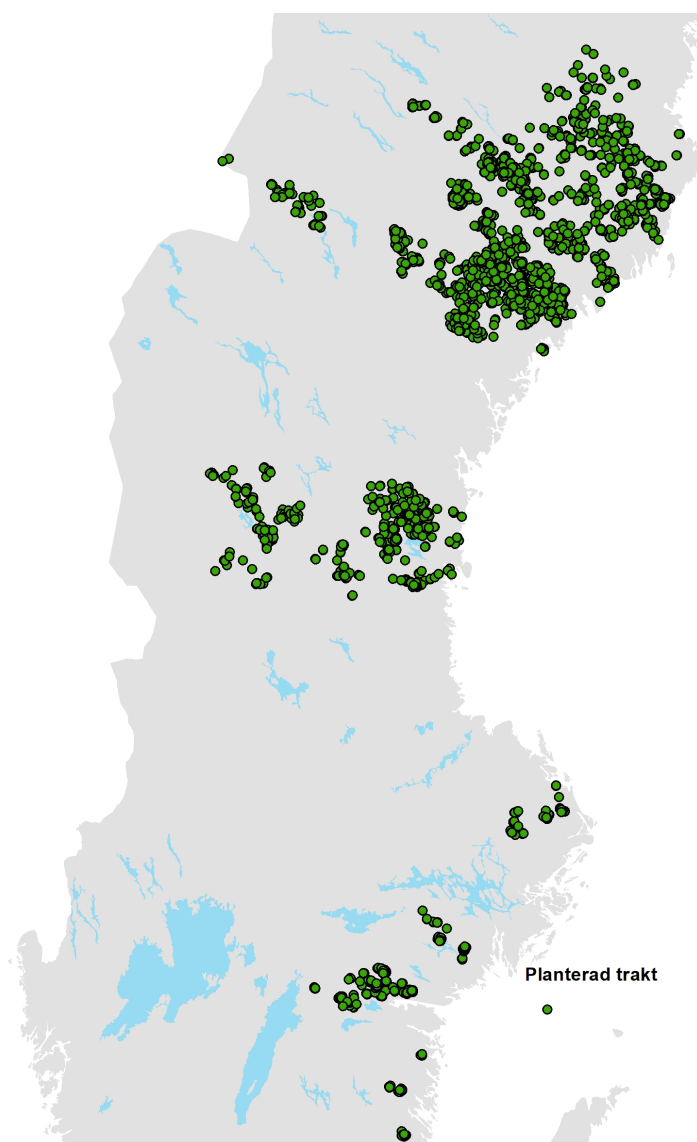
Det andra syftet var att utvärdera hur stor potential användningen av "PlantvalOptimal" har för att öka den skogliga produktionen över ett större innehav genom bättre utnyttjade av tillgängliga plantmaterial. För att få en bredare bild av förbättringspotentialen har ett antal olika analyser gjorts.

Studien görs endast för gran och tall.

# Material och metod

## INDATA OCH STUDIEOMRÅDE

Utbredningsområdet i detta projekt är Holmens markinnehav. Det sträcker sig från nordöstra Småland, väster om Västervik och upp till norra Västerbotten. Holmens innehav karaktäriseras av tre större områden, där ett finns runt Norrköping i Östergötland, det andra väster om Iggesund i Hälsingland upp mot fjällen och det tredje väster om i Umeå i Västerbotten och norra Ångermanland. I kartan (Figur 1) nedan illustreras de trakter som planterades 2015.



Figur 1. Holmens planterade trakter 2015.

Figure 1. Regeneration sites 2015 for the Holmen company.

Indata som användes i denna studie levererades av Holmen skog och bestod av information från planteringssäsongen 2015. För att kunna utföra de nödvändiga analyserna i studien krävdes viss grundläggande information om varje planterad trakt. Den nödvändiga traktinformationen var:

- Trädslag (Bonitetsvisande)
- Ståndortsindex (SI)
- Koordinater
- Altitud
- Bonitet
- Areal
- Plantantal per hektar
- Faktiskt planterat material (För jämförelsestudien)

Totalt ingick data från 1656 trakter, varav 819 var grantrakter och 837 var talltrakter enligt SI-trädslag. Ett problem var att informationen om faktiskt planterat material var bristfällig. Vi kunde till exempel endast säkert härleda cirka 61 procent av talltrakterna och 21 procent av grantrakterna till känt plantmaterial. Inte heller fanns information om särplock med. Detta har medfört att analysen fått delas upp i två olika delar som beskrivs närmare längre fram.

Förutom data om trakterna behövdes information om tillgängliga plantmaterial, vilket vi valt att kalla plantbank. Från Holmen erhöles en sådan plantbank som bestod av årlig planttillgång för olika plantmaterial (baserat på en genomsnittlig fröproduktion per år per plantage). Nedan listas plantbanker för gran (Tabell 1) och tall (Tabell 2).

Tabell 1. Plantbank med tillgänglig mängd plantor per plantmaterial för gran.

Table 1. Seedling bank with the amount of available seedlings per seed source for Norway spruce.

Plantagenamn	Rikslängdsnummer	Tillgång (pl·år <sup>-1</sup> )
Domsjöänget	FP-130	3 200 000
Gringelstad	FP-507	0
Multrä	FP-517	0
Pålberget	FP-511	80 000
Gälltofta-2	FP-503	1 400 000
Jung	FP-26	1 300 000
Bredinge	FP-501	300 000
Hosaby	FP-509	400 000
Lilla Istad	FP-502	320 000
Saleby	FP-66	1 100 000
<b>Totalt</b>		<b>8 100 000</b>

Tabell 2. Plantbank med tillgänglig mängd plantor per plantmaterial för tall.

Table 2. Seedling bank with the amount of available seedlings per seed source for Scots pine.

Plantagenamn	Rikslängdsnummer	Tillgång (pl-år <sup>-1</sup> )
Alvik T1	FP-626	3 500 000
Alvik T2	FP-627	2 700 000
Dal	FP-625	3 300 000
Domsjöänget B-fraktion	FP-411B	8 300 000
Domsjöänget A-fraktion	FP-411A	1 300 000
Domsjöänget B-fraktion	FP-412B	8 400 000
Domsjöänget A-fraktion	FP-412A	800 000
Gnarp B-fraktion	FP-620B	1 800 000
Gnarp A-fraktion	FP-620A	600 000
Gotthardsberg B-fraktion	FP-606B	7 300 000
Gotthardsberg A-fraktion	FP-606A	500 000
Lilla Istad B-fraktion	FP-604B	900 000
Lilla Istad A-fraktion	FP-604A	400 000
Moliden	FP-609	280 000
Pålberget T5	FP-622	4 800 000
Pålberget T6	FP-623	2 900 000
Slåttholmen	FP-619	4 700 000
Sollerön	FP-616	200 000
TreO Njuparna	FP-633	580 000
TreO Sönersta	FP-631	5 800 000
Våge B-fraktion	FP-125B	4 100 000
Våge A-fraktion	FP-125A	600 000
Västerhus	FP-621	1 800 000
Örberga	FP-612	1 200 000
<b>Totalt</b>		<b>66 760 000</b>

## VERKTYG OCH MODELLER

### Plantval

Plantval ger huvudsakligen användningsrekommendationer för tall, gran, vårtbjörk och contortatall. Då vi endast ska analysera gran och tall i denna studie går vi bara igenom funktionaliteten för dessa trädslag.

Plantval består av dels en modellplattform och dels en webbtjänst. Modellplattformen beräknar ett samlat produktionsindex som prognosticerar arealproduktion över en omloppstid för en given planteringstrakt. För tall är produktionsindexet en funktion av tillväxt och överlevnad som skattas genom förflyttningsfunktioner (Berlin m.fl., 2016). För gran ingår bara tillväxtpotential (Berlin m.fl., 2014). Förflyttningsfunktionerna är baserade på geografiska data och klimatdata där de senare förekommer i ett rutnät (grid) med rumslig upplösning på 4x4 km (Bärring m.fl., 2016). Förflyttningsfunktionerna är därmed klimatanpassade i den meningen att de kan prediktera prestation i ett framtida klimat (inom rimliga gränser). För att förflyttningsfunktionerna och produktionsindexen ska vara giltiga för fröplantager är även information om plantagerna (till exempel inkorsning, genetisk vinstnivå, beräknat ursprung) inkluderat i modellplattformen.

Plantvals webbtjänst finns publik på Skogforsks webbplats, där man via en interaktiv karta eller angivelse av koordinater kan hitta information om vilket plantmaterial som lämpar sig bäst att använda på den angivna planteringstrakten. Den information som erhålles är produktionsindex, överlevnad och tillväxtpotential för ett antal alternativa plantmaterial, rangordnade enligt produktionsindexet. Produktionsindexet anges i relativt jämfört med lokalt, oförädlad beståndsmaterial uttryckt i procent. Till exempel betyder indexet 120 en förväntad ökning av arealproduktion med 20 procent jämfört med lokalt beståndsmaterial.

Den nuvarande webbtjänsten kan enbart leverera information om en planteringstrakt i taget (Figur 2) och är inte anpassad för användning på större innehav. Modellplattformen är dock flexibel och kan hantera valfritt antal trakter om den anropas av ett annat verktyg.

### Välj planteringslokal

Klick på kartan eller ange latitud och longitud

Rekommendationsförutsättningar

Höjd över havet 330 m  
 Temperatursumma 854 dygnsgrader

Klimatscenario +2,5°C (SRES-A1B)  
 Lokalklimatisk justering Medel

Plantager

Nr	Namn	Ind	Övl	Tillv	Ink	Lat	
	Lokalt ursprung	100	70,6	100		65	
FP-625	Dal T8	116	68,6	121,4	40	64,5	
FP-125A	Våge	114	73,9	113,2	40	65,2	
FP-619	Slättholmen T7	112	73,6	111,4	40	65,4	
FP-623	Pålberget T6	112	77,8	107,4	40	65,8	
FP-632	TreO T7 Skeppsholmen	111	65,3	118,7	82	64,3	
FP-622	Pålberget T5	111	80,4	104,9	40	66,3	
FP-401	Hortlax	111	77,6	106,5	40	66	
FP-609	Moliden T4	111	78	106,1	40	66,1	
FP-1	Skaholma	110	78,4	105,7	40	66,2	

Visa alla plantager

Figur 2. Plantval visar rekommendationer av plantmaterial för en enskild trakt i taget.

Figure 2. Plantval provides deployment recommendations of regeneration material one site at a time.

## PlantvalAutomat

PlantvalAutomat är ett verktyg som anropar modellplattformen för Plantval och kan hantera ett innehav istället för enstaka trakter. I den första versionen av PlantvalAutomat (version 1.0) kunde användaren få rekommendationer på plantmaterial för flera trakter. För att erhålla rekommendationer matade användaren in koordinater och altitudvärden per trakt, valde trädslag (tall eller gran) och angav hur många förslag per trakt som skulle returneras. Resultatet var en rankinglista med index för plantmaterial per trakt (Figur 3)

I detta projekt var målet att lyfta funktionaliteten i PlantvalAutomat till version 2.0 genom att möjliggöra för begränsningar i urval av plantager, exempelvis företagsspecifika. Genom att mata in de plantager som Holmen har tillgång till begränsas resultatet från Plantval till dessa plantager. I den nya versionen finns nu även möjlighet att välja lokal-klimatiska förhållanden inom varje grid för tall. För varje grid går det att välja fem olika lokalklimatiska förhållanden – från mycket milt till mycket kärvt. Denna funktionalitet användes inte i denna studie, utan alla trakter ansågs ha genomsnittliga lokalklimatiska förhållanden.

ID	Lattud	Longtud	Höjd
Lokal 1	59.844	17.641	104
Lokal 2	64.359	19.252	66
Lokal 3	61.755	15.952	166

ID	Nr	Namn	Index	Tillväxt	Överlevnad	Bortest	H.å.h.	SI	Trädsl
Lokal 1	FP-628	Orignäs (experimentföplantage)	115.6700360428...			11.08121130...	28	36.3	Tall
Lokal 1	FP-89	Uggom	112.1081317150...			10.69798324...	28	35.7	Tall
Lokal 1	FP-606A	Gothardsberg T19-2	111.8			12.68070702...	28	33.7	Tall
Lokal 1	508	Almnäs	116.3972963038...						Gran
Lokal 1	504	Ålrunna	114.1142652174...						Gran
Lokal 1	444	Ön	110.7944260321...						Gran
Lokal 2	FP-621	Västehus T10	119.5184417760...	127.41378924689	74.96470516291...	7.811705155...	213	30.7	Tall
Lokal 2	FP-630	Sundsvall Elt	118.8841648495...	122.3250387774...	79.89606878188...	7.499714643...	213	30.2	Tall
Lokal 2	FP-625	Öst T8	118.27902716787	119.0509151718...	83.28818539612...	7.288979021...	213	29.8	Tall
Lokal 2	517	Måtra G3	110.8666245616...						Gran
Lokal 2	511	Påberget	110.4999521283...						Gran
Lokal 2	26	Jung	109.4613373140...						Gran
Lokal 3	FP-628	Orignäs (experimentföplantage)	121.1623495977...	130.0272685236...	78.10981719387...	9.080811590...	237	32.9	Tall
Lokal 3	FP-633	Tivö T13 Nyarna	114.7568975919...	117.1346738938...	85	8.11375910...	237	31.3	Tall
Lokal 3	FP-610A	Höde T16-2	113.3790226135...	122.5246701227...	75.83762144881...	8.487116819...	237	32.0	Tall

Figur 3. PlantvalAutomat 2.0 visar förslag på plantmaterial för tre trakter.

Figure 3. PlantvalAutomat 2.0 showing deployment recommendations of regeneration material for three sites.

## Optimeringsmodell

I vår optimering maximerade vi den årliga medeltillväxten på hela innehavet givet en viss plantbank. Optimeringen begränsades av planttillgång och att endast ett plantmaterial fick planteras per trakt.

Optimeringsproblemet tillhör typen tillordningsproblem. X antal frön ska tillordnas så att efterfrågan, D, på trakten, j, tillgodoses, samtidigt som den totala tillgången, S, av specifik frösor, i, inte överskrids. Optimeringsproblemet modellerades i AMPL och löstes med CPLEX 12.2.0.0.

$X_{ij}$  = antal frön av sort, i, som skickas till trakt, j.

$P_j$  = antal plantor per hektar enligt företagets beskrivning.

$S_i$  = Totalt tillgängligt antal av frösor, i.

$D_j$  = Efterfrågan av frön på trakt, j.

$B_j$  = bonitet ( $m^3sk/ha$ ) på trakt, j.

$I_{ij}$  = Produktionsindex av frösor i på trakt, j.

$C_{ij} = B_j \cdot I_{ij}$  Årlig volymtillväxt av frösor, i, på trakt, j, per hektar.

$Y_{ij} = 1$  om frö i används på trakt j, 0 annars.

$$Z^* = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} \frac{1}{P_j} X_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq S_i, \quad \forall i \in n \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \geq D_j, \quad \forall j \in m \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m Y_{ij} \leq 1, \quad \forall j \in m \quad (3)$$

$$X_{ij} \leq S_j Y_{ij}, \quad \forall i, j \in m, n \quad (4)$$

$$X_{ij} \geq 0, Y_{ij} \geq 0$$

## PlantvalOptimal

PlantvalOptimal är arbetsplattformen som består av Plantvals modellplattform, PlantvalAutomat och optimeringsmodellen. Ett innehav av planteringstrakter samt tillgängliga fröplantager används som indata till PlantvalAutomat, vilket i sin tur anropar Plantvals modellplattform och erhåller prestationen/index för just dessa plantager på samtliga trakter. Därefter matas dessa data tillsammans med tillgängliga frömängder per plantage in i optimeringsmodellen. Slutresultatet innehåller ett föreslaget plantmaterial per trakt som ger högsta möjliga årliga medeltillväxt över hela innehavet.

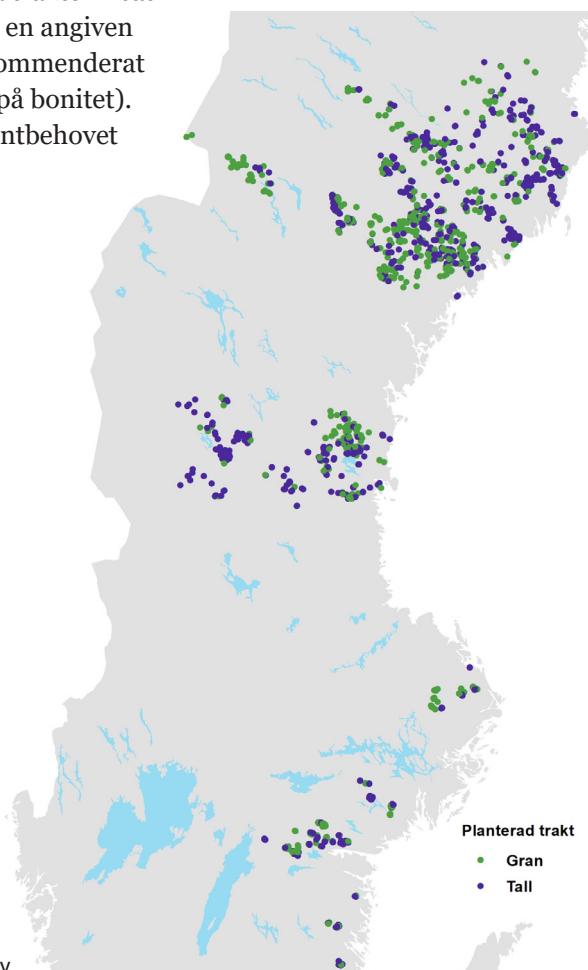
## ANALYS AV FÖRBÄTTRINGSPOTENTIAL

Ett av målen med projektet var att påvisa förbättringspotentialen genom optimerad användning av tillgängligt plantmaterial. Som tidigare nämnts saknades indata om faktiskt planterat material på många av trakterna och särplock för tallplantager var heller inte inkluderat. Dessutom innehöll den angivna plantbanken för tall fler högförädlade plantager än vad som faktiskt planterats, medan det för gran inte fanns tillräckligt många plantor för att täcka behovet. Med anledning av detta har vi bedömt att måttet på förbättringspotentialen måste bedömas utifrån ett antal olika situationer. Därför har vi delat upp analyserna som utförts med systemet PlantvalOptimal i två olika delar. Den ena är vad vi valt att kalla ”optimering” och den andra ett antal analyser som vi valt att benämna ”jämförelse”.

### Optimering (tall och gran)

I optimering har vi för tall och gran använt alla tillgängliga trakter och optimerat användningen av Holmens hela plantbank (fri). Detta ger den totala potentiella produktionsökningen, som är en kombination av den inneboende genetiska vinstnivån i plantagerna och deras optimerade rumsliga fördelning över trakterna (genetik + förflyttningseffekt + optimering). Det motsvarar att man redan i avverkningsplaneringen optimerat uppsådden efter presumtiva planteringstrakter.

I analysen använde vi de trakter i Holmens innehav som planterades 2015. Efter att ha delat upp trakterna trädslagsvis baserat på angivet SI fick vi 837 trakter med tall och 819 trakter med gran. Utbredningen för dessa trakter visas i figur 4 nedan. För varje trakt fanns också en angiven planteringsareal och bonitet samt ett rekommenderat antal plantor som ska planteras (baserat på bonitet). Från denna information beräknade vi plantbehovet per trakt.



Figur 4. Holmens trakter enligt SI-trädslag som användes i optimeringsdelen.

Figure 4. Regeneration sites with Norway spruce ("Gran") and Scots pine ("Tall") according to tree species specific site index for the Holmen company.



Från Holmen hade vi också fått plantbanker för tall och gran (Tabell 1 och 2), som innehåller information om vilka plantager som finns tillgängliga och hur mycket plantor (egentligen frö, men för studiens syfte antar vi att frö=plantor) som finns för varje plantage.

I plantbanken för tall ingår plantager som är särplockade, varvid fraktionerna A och B för samma plantage särskiljs i analysen. För gran var tillgången på plantor för lågt för att möta efterfrågan och vi saknade ungefär 3,89 miljoner plantor eller 35,5 procent av den totala mängden plantor tillgängliga för grantrakterna. För att hantera detta kompletterade vi plantbanken med en tilläggsplantage med 6 miljoner plantor. I optimeringen åsattes denna tilläggsplantage en nivå motsvarande lokalt oförädlad beståndsfrö. Eftersom det faktiskt använda materialet kan ha varit en blandning av lokalt beståndsfrö, förflyttat beståndsfrö (med provenienseffekt) och utländska fröplantager gjordes därför en känslighetsanalys med tre nivåer, där tilläggsplantagens plantor fick vinsten 0 procent (motsvarande oförädlad beståndsfrö), 5 procent (motsvarande bruksprovenienser) och 10 procent (motsvarande utländska fröplantager)

Vi jämför resultatet från optimeringen (fri) för båda trädslag med en hypotetisk situation då bästa möjliga fröplantage (Plantvals förstaval) alltid finns tillgänglig (total). Skillnaden mellan ”fri” och ”total” ger en indikation på vilken ytterligare potential som finns av att t.ex. öka frötillgång på de bästa plantagera och/eller att byta/handla frö med andra större bolag.

Tabell 3 visar en schematisk matris över de olika analyser som utförts för tall.

Table 3 Overview of the different analyses performed on Scots pine.

Typ av optimering	Antal plantager	Frötillgång
Fri	$k$	66 760 000
Total <sup>1</sup>	$N$	$\infty$
Antal trakter	837	
Areal	4540	

<sup>1</sup>Inger optimering utförd – Plantvals förstaval används.

Tabell 4 visar en schematisk matris över de olika analyser som utförts för gran.

Table 4 Overview of the different analyses performed on Norway spruce.

Typ av optimering	Antal plantager	Frötillgång
Fri <sup>1</sup>	$k$	14 100 000 <sup>2</sup>
Total <sup>3</sup>	$N$	$\infty$
Antal trakter	819	
Areal	5362	

<sup>1</sup>Tre olika genetiska nivåer har åsatts de utlokaliserade tilläggsplantagera: 0 %, 5 % och 10 %.

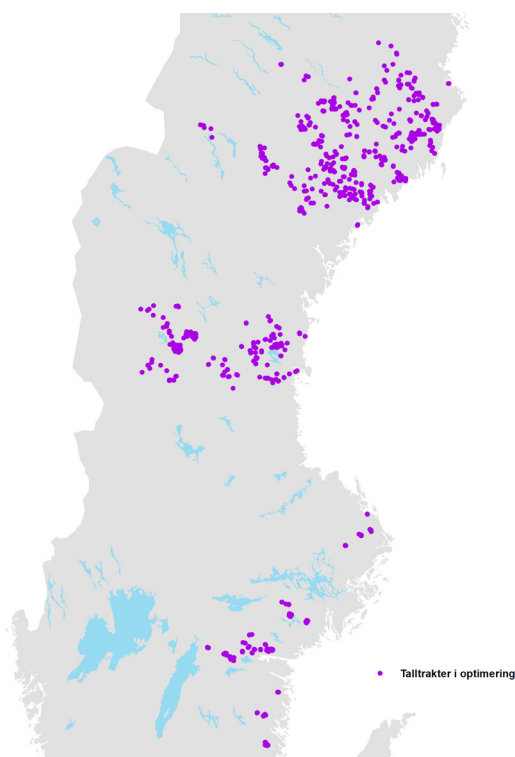
<sup>2</sup>8 100 000 i Holmens plantbank, 6 000 000 plantor från ”Tilläggsplantage”.

<sup>3</sup>Inger optimering utförd – Plantvals förstaval används.

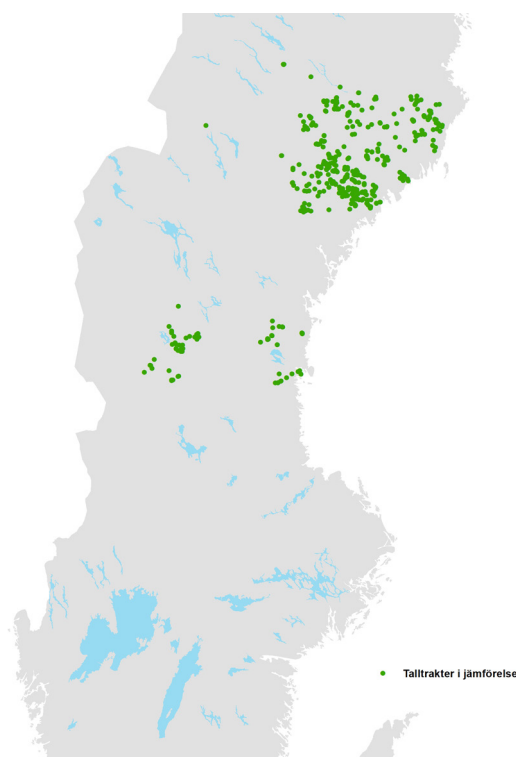
## Jämförelse (tall)

Syftet med denna analys var att skatta hur stora vinster i årlig genomsnittlig volymproduktion som kan erhållas genom att använda PlantvalOptimal för tall jämfört med ett faktiskt planteringsutfall (där ingen formell optimering utförts). För att göra detta gick vi igenom Holmens trakter för 2015 och sparade endast trakter där vi helt säkert kunde identifiera vilken fröplantage som blev planterad och att plantagen också fanns i Holmens plantbank (ett litet antal trakter som var planterade med äldre EttO-plantager föll bort av det skälet). Då upptäcktes att det angivna SI inte alltid överensstämde med faktiskt planterat trädslag och ibland kunde det vara flera olika trädslag på en och samma trakt. Vi åsatte därför trädslag baserat på det dominerade trädslaget (alltså det trädslag som hade flest plantor på trakten). I de fall då Holmens angivna SI inte överensstämde med dominerande trädslag räknades SI och bonitet om till det andra trädslaget. Mer ingående beskrivning om omräkningen återfinns i bilaga 1.

När vi hade tagit bort de trakter där planterat material inte gick att identifiera återstod 504 trakter (Figur 6) där vi hade känt fröplantage planterad av tall<sup>1</sup>. Det motsvarar 61,8 procent av antalet trakter totalt. Jämfört med optimeringsdelen av analysen finns inga trakter från Holmens sydligare regioner med (Figur 5). Den här analysen genomfördes endast för tall eftersom det bara var dryga 20 procent av grantrakterna där vi säkert kunnat identifiera vilket fröplantagematerial som planterats där.



Figur 5. Trakter av tall som användes i optimering.  
Figure 5. Regeneration sites for Scots pine used in the optimisation.



Figur 6. Trakter av tall som användes i jämförelsen.  
Figure 6. Regeneration sites for Scots pine used in the comparison.

<sup>1</sup>Två trakter med identifierad fröplantage erhöj ingen rekommendation/index från Plantval då den ansågs ligga utanför lämpligt användningsområde. Dessa åsattes indexvärde 100.

Ytterligare en problematik var att Holmen endast angivit ett generellt plantage-id eller namn för de plantager där särplock utförts. Eftersom vi inte kan avgöra vilka trakter som planterats med särplockat material (fraktion A) eller fraktion B har vi antagit att alla trakter planterats med hela fröplantagen (alltså en skörd från hela plantagen utan särplock). Vi bedömer att denna förenkling är den mest rimliga, eftersom vi förutsätter att de angivna trakterna kommer att ha varit planterade med båda fraktionerna (B-fraktionen har använts när särplocket tagit slut). Sannolikt kommer produktionsvinster att underskattas något, men eftersom förutsättningarna blir lika i alla jämförelser så bör det bara bli marginella skillnader jämfört med om vi hade haft korrekt information om särplock.

Ovan beskrivna data för de 504 talltrakterna utgör i vår studie det som faktiskt planterades av Holmen 2015 och kommer att jämföras med tre olika fall som beskrivs i detalj nedan. Referensen är vad som faktiskt planterats 2015, vilket endast är en delmängd av Holmens plantbank ( $f$  av  $k$  plantager). Det första fallet är ett försök att renodla effekten av optimering och ren omflyttning av det faktiskt planterade materialet (låst) och motsvarar en situation där ett plantmaterial har såtts upp men där förutsättningarna (planteringsbara trakter) kan ha förändrats. De andra två fallen motsvarar de analyser som gjordes i ”optimering” där det ena är att optimera användningen av de endast de plantager som faktiskt planterats, men med årlig genomsnittlig frötillgång istället för faktiskt planterad frömängd (fri). Det andra är den hypotetiska situation då bästa möjliga fröplantage (Plantvals förstaval) alltid finns tillgänglig (total).

### Faktiskt planterat

Genom att summera antalet planterade plantor för var och en av de angivna (och identifierade) fröplantagerna har vi räknat fram en ”faktisk plantbank”.

Tabell 5: Faktisk plantbank. De  $f$  plantager som faktiskt användes för plantering 2015 och för varje plantage ( $i$ ) finns en planttillgång ( $m_i$ ) angiven.

Table 5: Actual seedling bank. The  $f$  seed orchards actually used for regeneration 2015 and for each orchard ( $i$ ) the number of available seedlings ( $m_i$ ) is given.

Plantage	Planttillgång
$Pl'_1$	$m_1$
$Pl'_2$	$m_2$
$\vdots$	$\vdots$
$Pl'_f$	$m_f$

I denna plantbank har alla plantager som egentligen är särplockade antagits komma från hela plantagen utan särplock.

### ”Låst” optimering

Syftet med denna jämförelse är att i möjligaste mån fånga effekten av en ren omflyttning av det material som planterades 2015 genom att optimera den årliga genomsnittliga produktionen. Men för att optimeringsprocessen ska kunna tilldela endast en fröplantage per trakt (eftersom trakterna är av varierande storlek) behövs ett litet spelrum med antalet tillgängliga plantor per plantage. Därmed har varje planttillgång multiplicerats med en ”frihetsfaktor”,  $c$ . För att uppnå syftet med jämförelsen ska dock denna frihetsfaktor vara så liten som möjligt. En faktor på 1 procent gav en lösbar optimering och därmed har vi satt  $c = 1.01$ .

Alltså har vi i denna analys exakt samma plantager som i ”faktisk” plantbank men med 1 procent fler tillgängliga plantor per plantage.

Tabell 6: ”Låst” plantbank. De  $f$  plantager som faktiskt användes för plantering 2015. För varje plantage ( $i$ ) finns en planttillgång ( $m_i$ ) multiplicerat med en liten frihetsfaktor ( $c$ ).

Plantage	Planttillgång
$PI'_1$	$m_1 \cdot c$
$PI'_2$	$m_2 \cdot c$
$\vdots$	$\vdots$
$PI'_f$	$m_f \cdot c$

Table 6: Fixed seedling bank. The  $f$  seed orchards actually used for regeneration 2015. For each orchard ( $i$ ) the number of available seedlings ( $m_i$ ) is multiplied by a factor ( $c$ ).

### ”Fri” optimering

I denna jämförelse utgår vi från att vi har tillgång till samma plantager som i ”faktisk” plantbank, men vi ger optimeringen större frihetsgrader genom att anta att vi har tillgång till fler plantor per plantage. Av de  $f$  plantager vi använt i jämförelsestudien har vi plockat ut antalet plantor per plantage från Holmens plantbank (Tabell 2). Observera att särplocken från Holmens plantbank slagits ihop till en hel plantage för att motsvara jämförelsedata. Vi bedömde också att det totala plantantalet från Holmens plantbank skulle få ett orimligt stort genomslag i optimeringen, eftersom det var avsett för alla 816 talltrakter och vi bara kunde nyttja 504. Vi skapade därför en skalningsfaktor  $q$  enligt

$$q = \frac{N_{jmf}}{N_{tot}}$$

där  $N_{jmf}$  är det totala antalet plantor planterade på de 504 trakterna i jämförelsestudien och  $N_{tot}$  är det totala antalet plantor planterade på alla 816 talltrakter. Skalningsfaktorn kommer då att minska planttillgången proportionellt lika mycket för varje plantage för att justera för det minskade antal trakter vi har för jämförelsen.

Tabell 7: ”Fri” plantbank. De  $f$  plantager som faktiskt användes för plantering 2015. För varje plantage ( $i$ ) finns en planttillgång ( $n_i$ ) multiplicerat med skalfaktorn ( $q$ ).

Plantage	Planttillgång
$PI'_1$	$n'_1 \cdot q$
$PI'_2$	$n'_2 \cdot q$
$\vdots$	$\vdots$
$PI'_f$	$n'_f \cdot q$

Table 7: Free seedling bank. The  $f$  seed orchards actually used for regeneration 2015. For each orchard ( $i$ ) the number of available seedlings ( $n_i$ ) is multiplied by a factor ( $q$ ).

### Total tillgång

På samma sätt som i optimeringsdelen av analysen gjordes också en beräkning av produktionsvinsten vid ett hypotetiskt optimum, där Plantvals första rekommendation på alla trakter användes.

I tabell 8 ges en översikt av jämförelsedelen för tall, samt de olika analyser och jämförelser som gjorts inom varje del.

Tabell 8 visar en schematisk matris över de olika jämförelseanalyser som utförts för tall.

Table 8 Overview of the different comparative analyses performed on Scots pine.

Typ av optimering	Antal plantager	Frötillgång
Faktisk <sup>1</sup>	$f$	6 532 650
Låst	$f$	6 597 977
Fri	$f$	31 494 768
Total <sup>2</sup>	$N$	$\infty$
Antal trakter	504	
Areal	3216	

<sup>1</sup>Ingen optimering utförd – faktisk plantering

<sup>2</sup>Ingen optimering utförd – Plantvals förstaval används.

# Resultat

## OPTIMERING TALL

I tabell 9 nedan redovisas fördelningen av antal plantmaterial från optimeringen (Fri) och plantvals teoretiska förstaval (Total).

Tabell 9. Fördelning av plantmaterial för fri optimering och total tillgång.

Table 9. Distribution of plant material for free optimisation and unlimited supply.

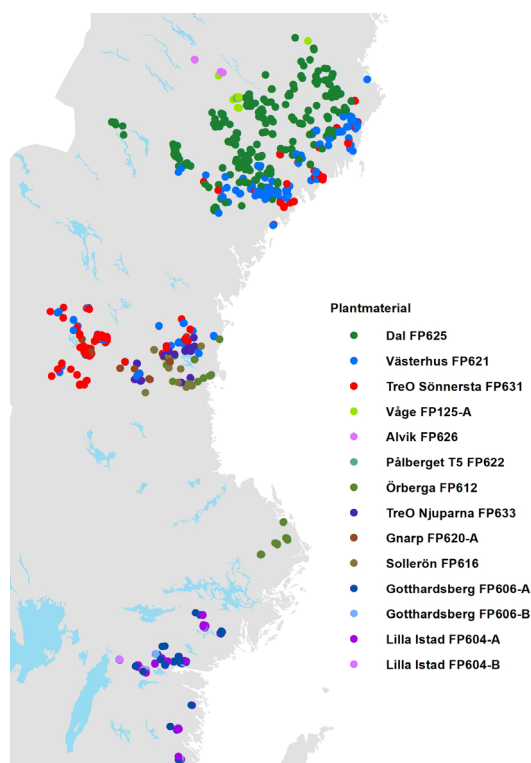
Plantage	Genetisk nivå <sup>1</sup>	Fri optimering	Total tillgång
Alvik T1 FP-626	TvåO (kärv)	25 200	14 400
Dal FP-625	TreO (Kärv)	3 281 340	2 082 120
Gnarp FP-620A	TvåO (kärv)	295 500	0
Gotthardsberg FP-606A	TvåO (särplock)	494 430	1 163 940
Gotthardsberg FP-606B	TvåO	178 290	0
Lilla Istad FP-604A	TvåO (särplock)	399 030	0
Lilla Istad FP-604B	TvåO	78 330	0
Pålberget T5 FP-622	TvåO (Kärv)	12 600	23 400
Sollerön FP-616	TvåO	198 240	0
TreO Njuparna FP-633	TreO	578 310	930 720
TreO Sönersta FP-631	TreO (Kärv)	1 551 780	0
Våge FP-125A	EttO (särplock)	96 330	24 720
Västerhus FP-621	TreO (kärv)	1 791 420	4 484 940
Örberga FP-612	TvåO (kärv)	465 330	0
Sundsvall Elit FP-630	TreO (Kärv)	0	198 420
Hade FP-610A	TvåO (särplock)	0	315 330
Ugglom FP-89	EttO	0	208 140
<b>Totalt antal plantor</b>		<b>9 446 130</b>	<b>9 446 130</b>

<sup>1</sup>Ungefärlig genetisk nivå på plantagerna. EttO motsvarar ca 10 %, TvåO ca 10–15 % och TreO ca 20–25 %.

De mest uppenbara skillnaderna mellan Total tillgång och Fri optimering är att användningen av Västerhus ökar väldigt mycket och Sönersta inte används alls i Total tillgång. Det finns även en tydlig ökning av Gotthardsberg särplock och ett antal plantager har tillkommit, till exempel Sundsvall Elit. Generellt föredras TreO-material överlag före andra äldre plantmaterial.

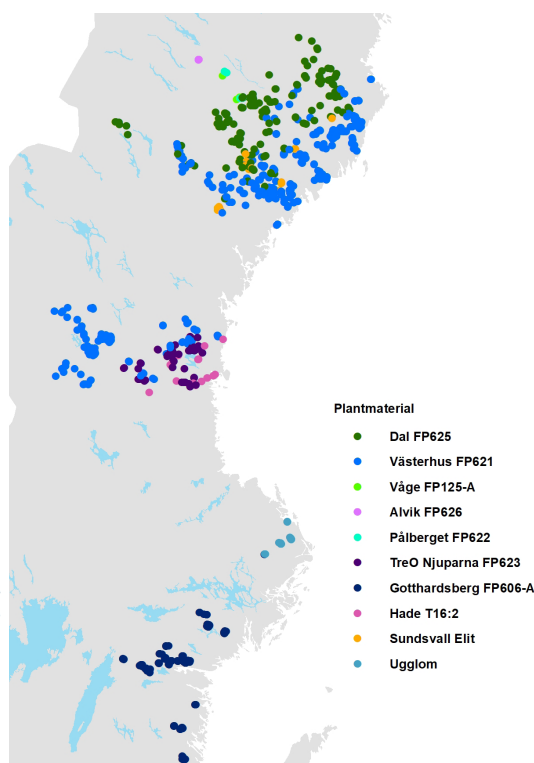
Den geografiska fördelningen av det optimerade resultatet visas nedan i figur 7 för den fria optimeringen och i figur 8 för den totala tillgången.

I den fria optimeringen användes plantmaterial från 14 plantager och för total tillgång 10 plantager.



Figur 7. Tilldelning av plantmaterial för tall vid fri optimering.

Figure 7. Distribution of Scots pine regeneration material at free optimisation.



Figur 8. Tilldelning av plantmaterial för tall vid total tillgång.

Figure 8. Distribution of Scots pine regeneration material at unlimited supply.

I tabell 10 nedan visas de ökningarna i tillväxt som uppnås för tall. Vid Fri optimering är den relativa tillväxtökningen 17,5 procent, medan den vid användning av plantvals första val för alla trakter, det vill säga Total tillgång är 18,6 procent.

Tabell 10. Ökning i tillväxt vid Fri optimering och Total tillgång jämfört med oförädlad beståndsfrö.

Table 10. Increased growth for free optimization and unlimited supply compared to unimproved stand seed.

	Fri optimering	Total tillgång
Relativ tillväxtökning	17,5 %	18,6 %
Tillväxtökning (m <sup>3</sup> sk·ha <sup>-1</sup> ·år <sup>-1</sup> )	0,823	0,876

## OPTIMERING GRAN

Fördelningen av använt material vid optimering och Plantvals första val utföll enligt tabell 11.

Tabell 11. Fördelning av tilldelat plantmaterial för gran vid fri optimering för olika nivåer på tilläggsplantagerna jämfört med Plantvals första val (Total tillgång).

Table 11. Distribution of assigned Norway spruce regeneration material at free optimisation for different genetic levels of the supplemental orchards compared to the first choice of Plantval (Total availability).

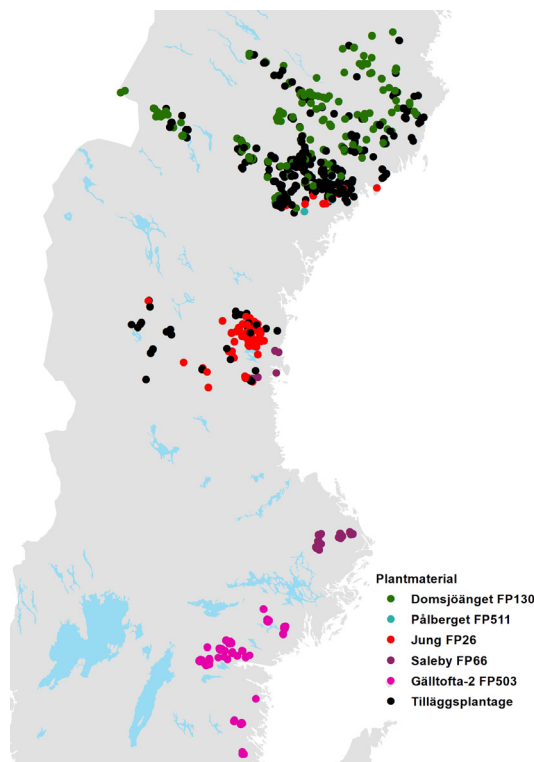
Plantage	Genetisk nivå <sup>1</sup>	Fri optimering			Total tillgång
		Tillgång	Efterfrågan	Nyttjande, %	
Domsjöänget FP-130	EttO	3 200 000	3 197 610	99,9 %	654 900
Pålberget FP-511	EttO	80 000	74 970	93,7 %	1 945 470
Gälltofta-2 FP-503	EttO	1 400 000	1 197 000	85,5 %	0
Jung FP-26	EttO	1 300 000	1 298 460	99,9 %	669 420
Saleby FP-66	EttO	1 100 000	401 760	36,5 %	0
Tilläggsplantage	0/5/10	6 000 000	4 801 020	80,0 %	0
Almnäs FP-508		-	-	-	353 040
Hissjö FP-13	EttO	-	-	-	1 385 250
Högseröd FP-31	EttO	-	-	-	41 580
Lill-Pite FP-7	EttO	-	-	-	148 500
Multrä FP-517	EttO	-	-	-	3 374 220
Prästtorp FP-513	TreO	-	-	-	1 197 000
Ålbrunna FP-504	TvåO	-	-	-	1 201 440
Totalt antal plantor			10 970 820		10 970 820

<sup>1</sup>Ungefärlig genetisk nivå på plantagerna. EttO motsvarar ca 10 %, TvåO ca 10–15 % och TreO ca 20–25 %. Tilläggsplantagerna åsätts 0 %, 5 % och 10 % vinstnivå.

Plantmaterial från Domsjöänget och Jung används nästan till hundra procent, medan Saleby bara används till drygt 36 procent. Noterbart är att våra tilläggsplantager används till 80 procent. Vid total tillgång väljs i stor utsträckning plantagematerial som inte är tillgängliga i plantbanken. I norr är det speciellt Hissjö och Multrä som ökar, medan det i söder är Ålbrunna, Almnäs och Prästtorp.

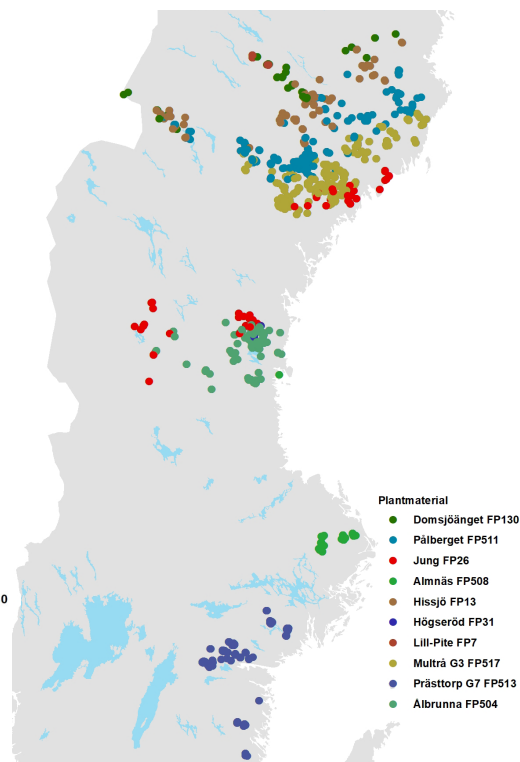
Den geografiska fördelningen av det optimerade resultatet visas i figur 9. Svarta punkter tillhör vår tilläggsplantage och visar var det finns brist på förädlad material.

Resultatet visar att bristen är störst i mellersta Sverige (Iggesund) där plantmaterial av främst Jung inte räcker till och i norra Sverige där inte Domsjöängets plantmaterial finns i tillräcklig utsträckning (Figur 9).



Figur 9. Tilldelning av plantmaterial för gran vid fri optimering.

Figure 9. Distribution of Norway spruce regeneration material at free optimisation.



Figur 10. Tilldelning av plantmaterial för gran vid total tillgång.

Figure 10. Distribution of Norway spruce regeneration material at unlimited supply.

Vid total tillgång tillkommer en hel del nya plantagematerial, där plantagera Prästtorp, Ålbrunna och Almnäs används i södra delen av innehavet. För norra delen av innehavet har den, för fri optimering, dominerande plantagen Domsjöänget i stor utsträckning bytts ut och/eller kompletterats med en uppsättning nya plantager (Figur 10).

I tabellen 12 nedan visas effekten på tillväxtvinsterna givet olika genetiska nivåer på tilläggsplantager. Den relativa tillväxtökningen vid nivå noll är 7,3 procent med optimering, vid nivå fem är den 9,1 procent och vid nivå tio, 10,8 procent. Vid total tillgång kan den genetiska nivån nå 13,3 procent.

Tabell 12. Ökning i tillväxt vid olika genetiska nivåer på tilläggsplantagera och total tillgång jämfört med oförädlad beståndsför.

Table 12. Increased growth for different levels of genetic gain of the supplemental orchards and unlimited supply compared to unimproved stand seed.

	Fri optimering			Total tillgång
Genetisk nivå på tilläggsplantage	0 %	5 %	10 %	
Relativ tillväxtökning (%)	7,3	9,1	10,8	13,3
Tillväxtökning (m <sup>3</sup> sk·ha <sup>-1</sup> ·år <sup>-1</sup> )	0,37	0,45	0,54	0,66



## JÄMFÖRELSE (TALL)

I Fri optimering används färre antal plantager än vid Faktisk plantering; 6 stycken mot 11. Användningen av material från TreO-plantagerna Dal, Sönersta och Västerhus ökar markant, medan istället äldre plantager med lägre genetisk nivå som Pålberget T5 och Domsjöänget minskar drastiskt. Särskilt noterbart är att plantage Våge, som varit det mest använda plantmaterialet i alternativ Faktisk, inte alls används i Fri optimering (Tabell 13).

Tabell 13. Fördelning av plantmaterial för faktisk, låst, fri och total tillgång (tusental plantor) i jämförelseanalyser för tall.

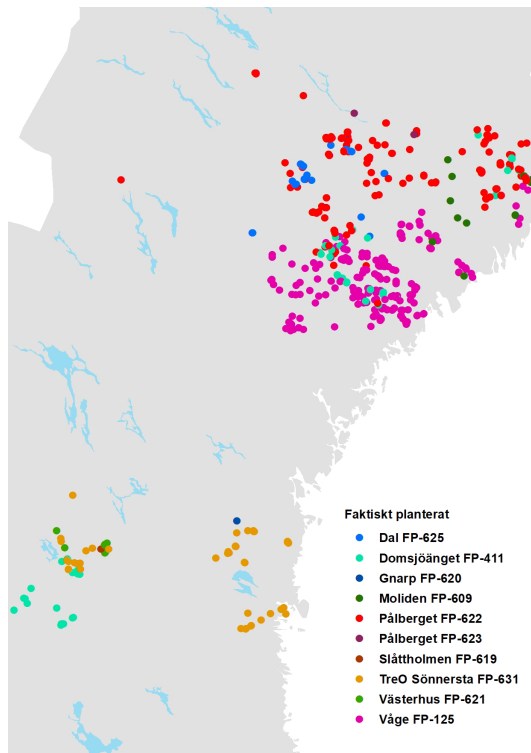
Table 13. Distribution of regeneration material at actual, fixed, free optimisation and unlimited supply (seedlings in thousands) in the Scots pine analyses.

Plantage	Gen nivå <sup>1</sup>	Faktisk	Låst (%)	Fri	Total
Alvik T1 FP-626	TvåO (kärva)	0	0	0	14
Dal FP-625	TreO (kärva)	161	162	2098	1837
Domsjöänget FP-411	EttO	270	270	0	0
Domsjöänget FP-412	EttO	304	305	0	0
Gnarp T12 FP-620	TvåO (kärva)	2	2	0	0
Moliden FP-609	EttO	125	122	0	0
Pålberget T5 FP-622	TvåO (kärva)	1470	1430	66	26
Pålberget T6 FP-623	TvåO (kärva)	35	35	11	0
Slåttholmen FP-619	TvåO	48	48	40	0
TreO Sönersta FP-631	TreO (kärva)	512	517	3172	0
TreO Njuparna FP-633	TreO	0	0	0	0
Våge FP-125	EttO	3480	3514	0	20
Västerhus FP-621	TreO (kärva)	121	122	1145	4061
Örberga FP-612	TvåO	0	0	0	0
Drögsnäs FP-628	TreO	0	0	0	175
Sundsvall Elit FP-630	TreO	0	0	0	400

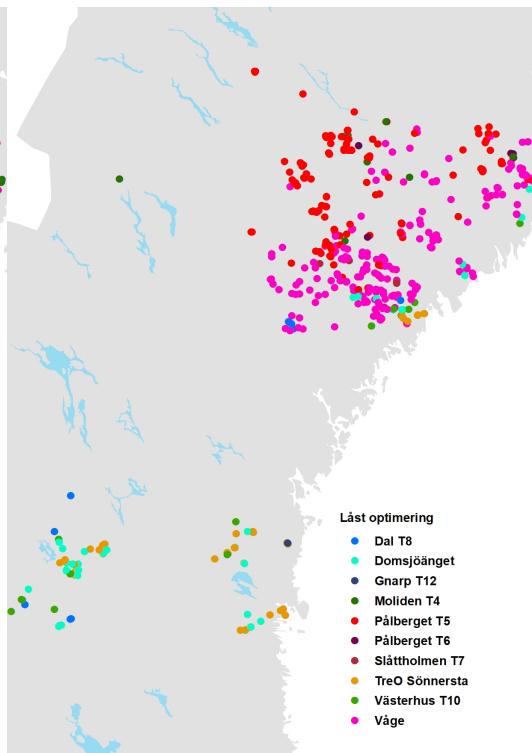
<sup>1</sup>Ungefärlig genetisk nivå på plantagerna. EttO motsvarar ca 10 %, TvåO ca 10–15 % och TreO ca 20–25 %.

För Total tillgång (Plantvals första val) används material från 7 plantager. Jämfört med Fri optimering ökar användningen av Västerhus med ungefär 3 miljoner plantor och användningen av Sönersta minskar med ungefär lika mycket (till ingen användning alls). Sundsvall Elit och Drögsnäs tillkommer som nya plantager vid Total tillgång.

Skillnader i geografiska fördelningar mellan Faktiskt planterat och Låst utgörs i den norra delen av innehavet av att Västerhus flyttas norrut längs kusten på bekostnad av Pålberget. Pålberget i sin tur flyttas inåt landet för att planteras på platser där Dal planterats. Dal i sin tur flyttas söderut i den norra delen av innehavet och även till platser i Härjedalen. En liten del av Sönersta flyttas från Iggesundsområdet till norra områdets sydöstra del och ersätts av Domsjöänget (Figur 11 & 12).

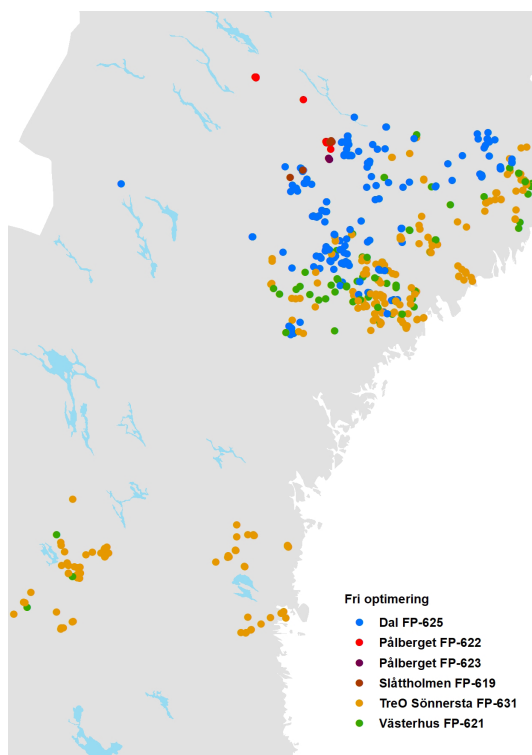


Figur 11. Faktiskt använt plantmaterial för tall.  
 Figure 11. Actually used regeneration material of Scots pine.



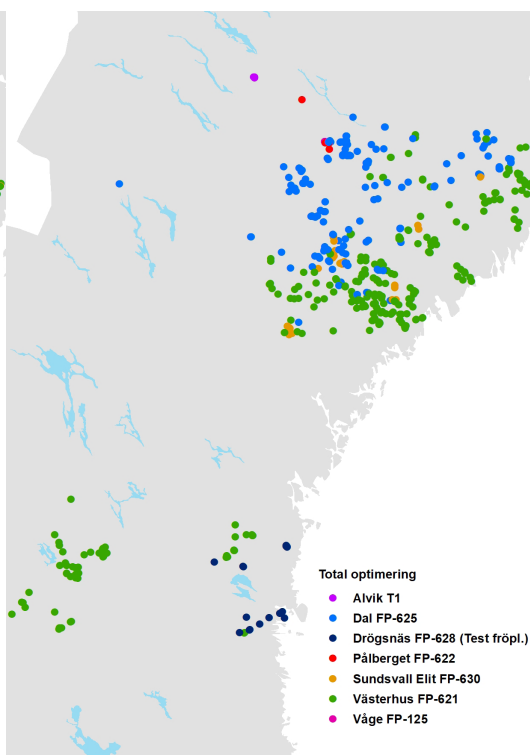
Figur 12. Fördelning av plantmaterial för tall vid låst optimering.  
 Figure 12. Distribution of Scots pine regeneration material at fixed optimization.

Vid jämförelse av resultaten mellan Fri optimering och Total tillgång på den geografiska fördelningen ser vi i den södra delen att Sönersta ersätts av Västerhus och Drögnäs vid Total tillgång. I den norra delen ersätts Sönersta också av Västerhus men också till viss del av Sundsvall Elit. De andra förändringarna är små (Figur 13 & 14).



Figur 13. Fördelning av plantmaterial för tall vid Fri optimering.

Figure 13. Distribution of Scots pine regeneration material at free optimization.



Figur 14. Fördelning av plantmaterial för tall vid Total tillgång.

Figure 14. Distribution of Scots pine regeneration material at unlimited supply.

Tillväxtvinsten som erhöles vid den Faktiska planteringen jämfört med om man förnygrat med naturbestånd var 8,5 procent. Vid den låsta optimeringen kunde denna vinstnivå öka med ytterligare en procentenhet. Med en fri optimering kan vinstnivån öka till nästan 19 procent jämfört med naturbestånd och 9,6 procent jämfört med den Faktiska planteringen. Med Total tillgång kan vinstnivåer på över 21 procent uppnås jämfört med naturbestånd och skillnaden till Fri optimering är lite drygt två procentenheter (Tabell 14).

Tabell 14. Ökning i tillväxt vid Faktisk plantering, Låst optimering, Fri optimering och Total tillgång jämfört med oförädlat beståndsförö (lokal).

Table 14. Increased growth for actual regeneration, fixed optimization, free optimization and unlimited supply compared to unimproved stand seed.

	Lokal	Faktisk	Låst	Fri	Total
Skattad snittbonitet ( $m^3sk \cdot ha^{-1} \cdot \text{år}^{-1}$ )	4.44	4.82	4.86	5.28	5.38
Bonitetsökning ( $m^3sk \cdot ha^{-1} \cdot \text{år}^{-1}$ )	-	0.38	0.43	0.84	0.94
Ökning jämfört med oförädlat material (%)	-	8.5%	9.6%	18.9%	21.1%
Ökning jämfört med Faktiskt planterat (%)	-	-	1.0%	9.6%	11.7%

# Diskussion

## OPTIMERING OCH JÄMFÖRELSE

### Optimering - Tall

Tillväxtökningen vid den fria optimeringen ligger på ungefär 17,5 procent, medan bästa teoretiska nivå med dagens material ligger en dryg procentenhet högre. Om Holmen optimerar användningen av sitt tillgängliga skogsodlingsmaterial kommer man alltså upp till en vinstnivå som ligger närmare teoretiskt optimum jämfört med situationen för gran. Det beror på ett antal faktorer:

- (1) Holmen verkar ha en bättre anpassad plantbank för sitt innehav för tall än för gran;
- (2) flera alternativa TreO-plantager med överlapp gör att vinstreduceringen blir beskedlig även om inte det teoretiskt allra bästa materialet kan nyttjas;
- (3) för det sydliga innehavet finns ännu väldigt få användbara TreO-plantager att tillgå.

Resultaten pekar dock också på att det finns en outnyttjad vinstpotential på över en procentenhet om även frö från plantager som till exempel Hade och Sundsvall Elit (samt mer frö från vissa plantager i plantbanken) skulle kunna nyttjas.

Optimeringen på talltrakterna visar att TreO-plantagerna tydligt dominerar användningen och upptar lite olika klimatiska områden/nischer i innehavet. TreO-plantagerna har så mycket bättre genetisk grundvinst än äldre plantager att de används över stora områden (även där förflyttningseffekterna börjar sänka vinstnivåerna). Så länge alternativa TreO-plantager finns kan en hög vinstnivå bibehållas, men där det inte finns tillgång till TreO-plantager börjar vinstnivåerna sjunka.

En stor skillnad mellan den fria optimeringen och vid total tillgång är ökningen av plantage Västerhus och motsvarande minskning av plantagerna Sönersta och Dal. Alla tre är TreO-plantager, men Sönersta är en yngre plantage och tappar lite vinst på grund av inkorsning, varvid den väljs bort till förmån för de äldre plantagerna. Detta är dock en övergående situation och läget kommer att förändras när pollenproduktionen i plantagen ökar. Både Dal och Västerhus har full pollenproduktion, men Dal har ett nordligare ursprung än Västerhus och lämpar sig därför bättre på kärvare trakter där överlevnaden är viktigare än på mildare trakter. Därför väljs Västerhus på mer kustnära trakter i de nordligaste områdena och på kärvare trakter längre söderut, medan Dal istället passar något bättre längre in i landet på de nordliga trakterna.

### Optimering - Gran

Vid optimeringen av gran saknades 4,8 miljoner (eller 44 procent) plantor i Holmens plantbank för att täcka behovet. Dessa plantor kommer i praktiken att vara en blandning av beståndsfrö med olika nivå på provenienseffekt och inköpt plantagefrö från utlandet, varför tilläggsplantagernas vinstnivåer var avsedda att täcka detta spann. Sannolikt ligger den faktiska vinstnivån närmare 5 procent än 10 procent. Det skulle innebära att den genetiska vinstnivån på Holmens granplanteringar ligger kring 9–10 procent. Optimeringen påvisar ett underskott av material, främst i norr av Domsjöänget och Jung, men

också ett klart överskott av Saleby. Den sistnämnda är främst avsedd för granzon 6 och passar därför inte riktigt in i de trakter som Holmen planterade 2015. Den stora bristen på förädlat plantmaterial av gran är generell för hela landet och inte bara ett problem för Holmen.

Den genetiska vinstnivå som i dagsläget är teoretiskt möjlig ligger på dryga 13 procent, vilket är en ökning från den faktiska nivån på ca 3–4 procentenheter. Denna nivå förutsätter dock att en stor mängd plantagematerial utanför Holmens plantbank skulle bli tillgängligt. Speciellt de södra delarna av innehavet skulle lyftas av de högre genetiska nivåerna på TvåO-plantagerna Ålbrunna och Almnäs samt den tidiga TreO-plantagen Prästtorp. Vinstnivån på gran vid Total tillgång är också avsevärt lägre än för tall. Detta beror främst på att få granplantager med hög genetisk vinstnivå (särskilt TreO-plantager) är produktiva i det studerade området i dagsläget.

Eftersom grantrakterna utgör ungefär 50 procent av arealen i studien finns en tydlig förbättringspotential av att få tillgång till mer förädlat material rent generellt men också att plantagematerialet är anpassat för Holmens kärnområde.

### **Jämförelser (tall)**

Jämförelsen mellan faktiskt planterat material och det som vi kallat för Låst optimering skulle kunna tänkas motsvara en situation där man i ett tidigt stadium i plantskolan har sått upp en precis så stor mängd plantor som behövs för att plantera ett bestämt antal trakter, men att användbara trakter ändrats vid tidpunkten för plantering. Sedan vill man i efterhand försöka optimera utifrån denna situation. Skillnaden i vinstnivå för det här materialet och trakterna blev ungefär en procentenhet. Det kan upplevas vara en relativt liten effekt, vilket för just denna studie skulle kunna bero på att: (1) två plantager, Pålberget och Våge stod för över  $\frac{3}{4}$  av plantmängden; (2) det fanns väldigt lite högförädlat material i plantbanken, så vinstspannet var lågt (~10 procent TreO-plantor); (3) vi inte kunde använda särplockens ökade potential där exempelvis Våge inte är uppdelad i a- och b-fraktion. Därmed har frihetsgraderna och vinstspannet som optimeringen skulle jobba med varit lågt.

Den analys som vi kallat Fri optimering kan istället anses motsvara att man i avverkningsplaneringsstadiet gått in och sått upp bästa möjliga material för de presumtiva planteringstrakterna. Vinstnivån i detta fall är avsevärd (över nio procentenheter) jämfört med det faktiskt planterade. Dock innefattade den faktiska planteringen stora volymer av den gamla EttO-plantagen Våge, något som Holmen sedermera övergett till förmån för nyare plantager med högre vinstnivå. Skillnaden i vinstnivå innehåller därför både effekterna av förbättrad rumslig placering (optimering) mellan trakterna och effekten av högre genetisk förädlingsnivå.

Den totala teoretiska vinstnivån jämfört med faktiskt planterat ligger på drygt 21 procent och är ungefär 2 procentenheter högre än för fri optimering. I likhet med optimeringsjämförelsen för tall med alla trakter består den större tillväxtvinsten av en utökad användning av TreO-plantager med aningen bättre anpassning för trakterna och mindre nuvarande inkorsningsnivå. Detta, tillsammans med ökad användning av plantager som tillhör andra bolag, antyder att det kan finnas en inte obetydlig vinstpotential i handel/byte av frö mellan olika aktörer på plantmarknaden.

## VIDAREUTVECKLING AV VERKTYG OCH MODELLER

PlantvalAutomat 2.0 och PlantvalOptimal är i dagsläget enbart pilotverktyg som stöd för forskning och utveckling och är inte anpassade för operativ användning. Vid ett större intresse bör det utredas om en fristående applikation ska tas fram alternativt att intresserade bygger in funktionaliteten i befintliga beslutstöd som hanterar planering av förnygring.

Verktyget PlantvalAutomat 2.0 är precis som webbverktyget Plantval ett användargränssnitt för att anropa Plantvals modellplattform. PlantvalAutomat 2.0 kan anses vara ett komplement till Plantval, som kan generera ett valfritt antal rekommendationer för ett helt innehav av trakter och en företagsspecifik plantbank i ett enda anrop. Det riktar sig främst mot användare som producerar och/eller planterar plantor i stor omfattning. Att kunna hantera ett helt innehav med ett sådant automatiserat system borde kunna förenkla och effektivisera arbetet avsevärt jämfört med nuvarande system. Plantval-automat 2.0 kan i dagsläget hantera olika lokalklimatiska förhållanden, men man skulle också kunna tänka sig fler anpassade lösningar som till exempel att en användare kan sätta egna tröskelvärden på överlevnaden i rekommendationerna.

Optimeringssteget är gjort separat i denna pilotstudie. Även detta steg skulle kunna automatiseras och inkluderas i ett komplett PlantvalOptimal, som direkt levererar den optimerade lösningen i ett och samma verktyg.

Optimeringen är i denna analys gjord för att maximera årlig medeltillväxt (en bonitetsökning till följd av högre produktion). Det finns dock många andra variabler som man skulle kunna optimera för. Som exempel skulle man kunna inkludera effekterna av olika omloppstider genom att optimera för nuvärde eller inkludera logistikkostnader beroende på trakternas avstånd till fabrik.

Forskningsmässigt finns också ett ökat intresse för alternativa skötselmetoder som till exempel andra planteringsförband, omloppstider och blandskogsbruk. Då Plantvals modeller kan ge överlevnad och tillväxtpotential för ett specifikt plantmaterial på en valfri trakt skulle dessa kunna kopplas till beståndssimulatorer som Heureka. Genom detta skulle man kunna analysera hur och om optimerad användning av förädlad skogsodlingsmaterial förändras med olika skötselregimer och vilka effekter det kan få på såväl produktion som andra ekosystemtjänster.

PlantvalOptimal kan också ses som en del i en större helhet eller värdekedja. Om information från avverkningar/markberedningar kan automatiseras och samlas in på lämpligt sätt skulle PlantvalOptimal kunna kopplas ihop med planeringssystem för plantbeställningar från plantskola och plantering. En annan planeringsaspekt skulle kunna vara att använda PlantvalOptimal för att sätta ett ekonomiskt värde på åtgärder för att få bättre och snabbare fröskörd i fröplantager.

## Slutsatser

Resultaten visar att Holmen och förmodligen flera av Sveriges större skogsägare kan förbättra skogsproduktionen på sina innehav betydligt genom att optimera användningen av tillgängligt skogsodlingsmaterial.

Genom att använda PlantvalOptimal kan aktörer med stora skogsinnehav och/eller plantproduktion ersätta manuell hantering med mer automatiserad hantering. Det skulle medföra högre effektivitet och minskade kostnader i planeringsarbetet.

Resultaten visar på en potential att använda PlantvalOptimal som plattform för handel och byte av förädlad främmaterial mellan olika skogliga aktörer och därmed minska aktörsvisa suboptimeringar.

Systemet PlantvalOptimal kan vidareutvecklas för både operativa beslutsstöd och forskningsprojekt.

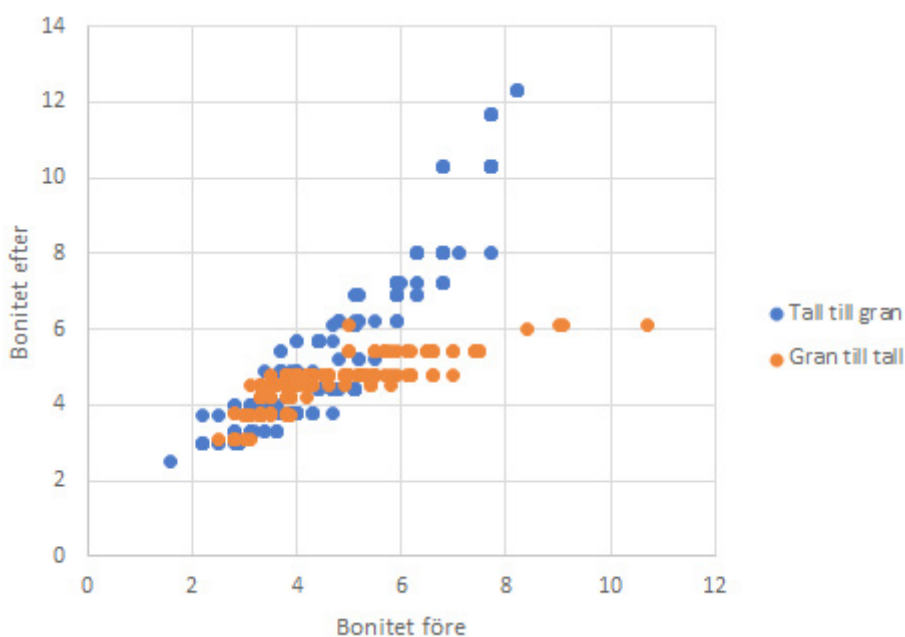
## Referenser

- Berlin, M., Ericsson, T., & Andersson Gull, B. 2014. Plantval - manual med implementeringsteknisk bakgrund. [Plantval - manual and background to technical implementation] Arbetsrapport nr 851-2014 Skogforsk:58 p.
- Berlin, M., Persson, T., Jansson, G., Haapanen, M., Ruotsalainen, S., Barring, L. & Andersson Gull, B. 2016. Scots pine transfer effect models for growth and survival in Sweden and Finland. *Silva Fennica* 50 doi:10.14214/sf.1562.
- Barring, L., Berlin, M. & Andersson Gull, B. 2016. Tailored climate indices for climate-proofing operational forestry applications in Sweden and Finland. *International Journal of Climatology* doi:10.1002/joc.4691.
- Leijon, B. 1979. Tallens och granens produktion på lika ståndort, Statens råd för skogs- och jordbruksforskning.

## Bilaga 1:

### Omräkning av bonitetsvisande trädslag

Omräkningen för SI utfördes enligt Leijons (1979) formler för konvertering från tall till gran och gran till tall. Det nya framräknade SI var sällan heltal och därför avrundades det alltid nedåt till närmaste heltal. Boniteten beräknades enligt lantmäteriets Skogsnorm 2009, där ett givet SI ges en bonitet. Alla trakter tilldelades bonitet enligt den listan, såväl de som bytt SI som de som behöll Holmens satta SI. För de trakter som bytt SI var medelvärdet på ökningen från gammal till ny bonitet  $0,685 \text{ m}^3\text{sk}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{år}^{-1}$  och variansen var  $1,41 \text{ m}^3\text{sk}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{år}^{-1}$ . Att byta från gran till tall förklarar förmodligen ökningen i bonitet.



För de trakter som inte bytt SI var ökningen i medel  $0,06 \text{ m}^3\text{sk}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{år}^{-1}$  och variansen  $1,61 \text{ m}^3\text{sk}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{år}^{-1}$ . Den lilla ökningen beror främst att SI och bonitet i registret inte var helt överensstämmande.

