



Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 852–2014

Genetiska korrelationer mellan tillväxt- och kvalitetsegenskaper

Genetic correlations between growth and quality traits

Gunnar Jansson och Mats Berlin



SKOGFORSK

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 852–2014

I serien Arbetsrapport finns bakgrundsmaterial, metodbeskrivningar, resultat, analyser och slutsatser från både pågående och avslutad forskning.

Titel:

Genetiska korrelationer mellan tillväxt- och kvalitetsegenskaper.
Genetic correlations between growth and quality traits.

Bildtext:

Avkommeförsök med tall i Nässja.
(Foto: Gunnar Jansson).

Ämnesord:

Genetiska korrelationer, klimatvariabler, urval, gran, tall.

Genetic correlations, climatic variables, selection, Norway spruce, Scots pine.

Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2014

ISSN 1404-305X



SKOGFORSK

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala

Tel: 018-18 85 00 Fax: 018-18 86 00

skogforsk@skogforsk.se

skogforsk.se



Gunnar Jansson, Docent. Anställd vid Skogforsk sedan 1979. Arbetar med skogsträdsförädling.



Mats Berlin, Technologie doktor. Arbetar på Skogforsk sedan 2010. Ansvarig för granförädling i Mellansverige.

Abstract

In tree breeding, a selection index is used to combine data from several traits into an aggregate value for each individual. To calculate breeding values, we need information about genetic parameters measured in progeny trials. The objective of this study was to compile genetic correlations for Norway spruce and Scots pine, and to investigate whether the size of the correlation can be described by climatic or geographic variables that would justify different correlations for different parts of Sweden.

We have not found any climatic or geographic variables that show a clear relationship with the genetic correlations, and that would justify different correlation matrices for different parts of Sweden, for either Norway spruce or Scots pine. Therefore, based on the data we have today, there is no cause for different within-trial correlation matrices for different parts of Sweden.

The compilation of genetic correlations shows that selection for height or diameter in Scots pine results in somewhat less straightness, an increased number of branches, and greater branch diameter. Branch angle will be more or less unchanged and the number of ramicorns will decrease. Selection for height and diameter in Norway spruce results in lower density, here measured as pilodyn penetration.

Innehåll

Summary	2
Sammanfattning	3
Bakgrund	4
Material och metoder	5
Försöksdata	5
Tall	6
Gran	7
Metoder	8
Resultat	9
Tall	9
Gran	16
Diskussion	19
Vilka egenskaper ska ingå i korrelationsmatrisen?	19
Jämförelse gran – tall	20
Urval för tillväxt	21
Slutsatser	21
Erkännande	22
Referenser	22
Bilaga 1	23

Summary

In tree breeding, a selection index is used to combine data from several traits into an aggregate value for each individual. These may be traits measured on the same individual and/or traits measured on related individuals. One aim in Swedish forest tree breeding is to weight different traits together into an economic index for ranking and selecting individuals for breeding or mass propagation in, for example, seed orchards.

To calculate breeding values we need information about the traits measured in our progeny trials. The objective of this study was to compile genetic correlations for Norway spruce and Scots pine, and to investigate whether the size of the correlation can be described by climatic or geographic variables that would justify different correlations for different parts of Sweden.

Much of the heritability and genetic correlations within and among trials are routinely estimated in Swedish forest tree breeding. All genetic parameters have been estimated in a joint analysis with 'Mixed Model Equations' to allow a robust comparison. A compilation of the genetic correlations gives a more general picture of the genetic parameters than individual estimates. The relationship between trends in genetic correlations and climatic and geographic variables was studied with regression analysis.

We have not found any climatic or geographic variables that show a clear relationship with the genetic correlations, and that would justify different correlation matrices for different parts of Sweden, for either Norway spruce or Scots pine. Therefore, based on the data we have today, there is no cause for different within-trial correlation matrices for different parts of Sweden.

Norway spruce and Scots pine show differences in genetic correlations, and the two species should have different correlation matrices. The heritability for height and diameter, and the genetic correlation between height and diameter, is higher for Norway spruce than for Scots pine. The compilation of genetic correlations shows that selection for height or diameter in Scots pine results in somewhat less straightness, an increased number of branches and greater branch diameter. Branch angle will be more or less unchanged and the number of ramification will decrease. Selection for height and diameter in Norway spruce results in lower density, here measured as pilodyn penetration.

To obtain a robust correlation matrix, a large amount of data is needed to estimate each correlation with high accuracy. Single correlations and combinations of correlations between traits describing the same biological function should be avoided. Which traits to include in the correlation matrix depends on breeding objectives and the selection criteria in field trials that affect these breeding objectives.

Sammanfattning

Selektionsindex används inom förädlingen för att kombinera data från flera informationskällor till ett sammanvägt värde per individ. Dessa kan vara flera egenskaper mätta på samma individ och/eller information om egenskaper mätta på besläktade individer. I den svenska skogsträdsförädlingen är målet att använda ett ekonomiskt index för att väga samman olika egenskaper för att rangordna och välja individer för fortsatt förädling eller till massförökning i t.ex. fröplantager. Som en viktig komponent i beräkningen av avelsvärden liksom i sammanvägningen till ett index behöver vi kunskap om de genetiska korrelationerna mellan de egenskaper vi mäter i våra avkommeprövningar. Syftet med detta arbete är att sammanställa de genetiska korrelationerna för gran och tall, samt se om det finns någon klimatisk eller geografisk trend i korrelationerna som gör att man ska använda olika korrelationer i olika delar av landet.

Ett stort antal heritabiliteter och genetiska korrelationer inom och mellan försök skattas rutinmässigt i den svenska skogsträdsförädlingen. Dessa har nu skattats på ett gemensamt sätt med ”Mixed Model Equations” vilket gör att det blir en robust jämförelse. En sammanställning av dessa ger en mer generell bild av de genetiska parametrarna än enskilda skattningar. Med hjälp av regressionsanalys har sambandet mellan korrelationer och klimat samt geografiska variabler studerats.

För varken tall eller gran har vi kunnat finna någon klimat- eller geografisk variabel som entydigt visar ett samband med korrelationen och därmed skulle utgöra grund för en uppdelning i olika grupper av korrelationer. Det går därför inte att med de data vi har idag motivera en delning av korrelationsmatrisen för olika delar av landet. Gran och tall visar vissa skillnader och bör därför ha skilda korrelationsmatriser. Heritabiliteten för höjd och diameter är betydligt högre i gran än i tall. Även korrelation mellan höjd och diameter är högre för gran än för tall. Resultat från sammanställningen av genetiska korrelationer visar att urval för höjd och diameter i tall leder till något försämrad raket, ökat grenantal och grendiameter. Grenvinkeln blir i stort sett oförändrad medan sprötkvistantalet sjunker något. Urval för höjd och diameter i gran leder till lägre densitet, här mätt i form av pilodyninträngning.

För att få en robust korrelationsmatris krävs tillräckligt med data bakom varje korrelation för att få en säker skattning av den. Man bör undvika korrelationer mellan egenskaper som ensamma eller i kombination med andra beskriver i stort sett samma biologiska egenskap. Vilka egenskaper som ska ingå beror i slutänden av vilka förädlingsmålen är och vilka mätegenskaper i fältförsöken som påverkar dessa förädlingsmål.

Bakgrund

Selektionsindex används inom förädlingen för att kombinera data från flera informationskällor till ett sammanvägt värde per individ (Hazel, 1943). Dessa kan vara flera egenskaper mätta på samma individ och/eller information om egenskaper mätta på besläktade individer. I den svenska skogsträdsförädlingen är målet att använda ett ekonomiskt index för att väga samman olika egenskaper för att rangordna och välja individer för fortsatt förädling eller till massförökning i t.ex. fröplantager. Som en viktig komponent i beräkningen av avelsvärden liksom i sammanvägningen till ett index behöver vi kunskap om de genetiska korrelationerna mellan de egenskaper vi mäter i våra avkommeprövningar.

Även om önskemålet är att väga samman egenskaperna i ett index är det inte praktiskt möjligt att ta med alla egenskaper. Det är då angeläget att ha kontroll på vad som händer med egenskaper som inte ingår i indexet. För att kunna göra dessa bedömningar krävs även här kunskap om hur egenskaperna är korrelerade med varandra.

I avkommeförsöken mäts egenskaper såsom höjd, diameter, överlevnad, grenvinkel, grendiameter, grenighet, rakhet, olika typer av skador. Ibland har någon eller några av dessa egenskaper även mätts vid flera tillfällen. Antal egenskaper som mätts varierar mellan försöken.

Skogforsk använder nu analysverktyget TREEPLAN för att beräkna avelsvärden. För att kunna utnyttja verktyget effektivt för att beräkna avelsvärden och ekonomiska index krävs, förutom försöksdata, kunskap om (Schneeberger m.fl. 1992):

- Genetiska korrelationer mellan de egenskaper som vi mäter i avkommeförsöken.
- Korrelationer mellan det vi mäter i försöken och målegenskaperna (t.ex. arealproduktion).
- Ekonomiska vikter för målegenskaperna (för att kunna värdera olika målegenskaper i förhållande till varandra).

Det här projektet handlar om den första punkten, d.v.s. genetiska korrelationer mellan egenskaper. Sammanställningar av genetiska parametrar har delvis gjorts för enskilda försök eller försöksserier (Kroon m.fl. 2011), men det saknas en större sammanställning för att få genomsnittliga värden på korrelationerna. En sådan sammanställning är nödvändig att göra trädslagsvis för att kunna utnyttja analysverktyget TREEPLAN för beräkning av avelsvärden och index.

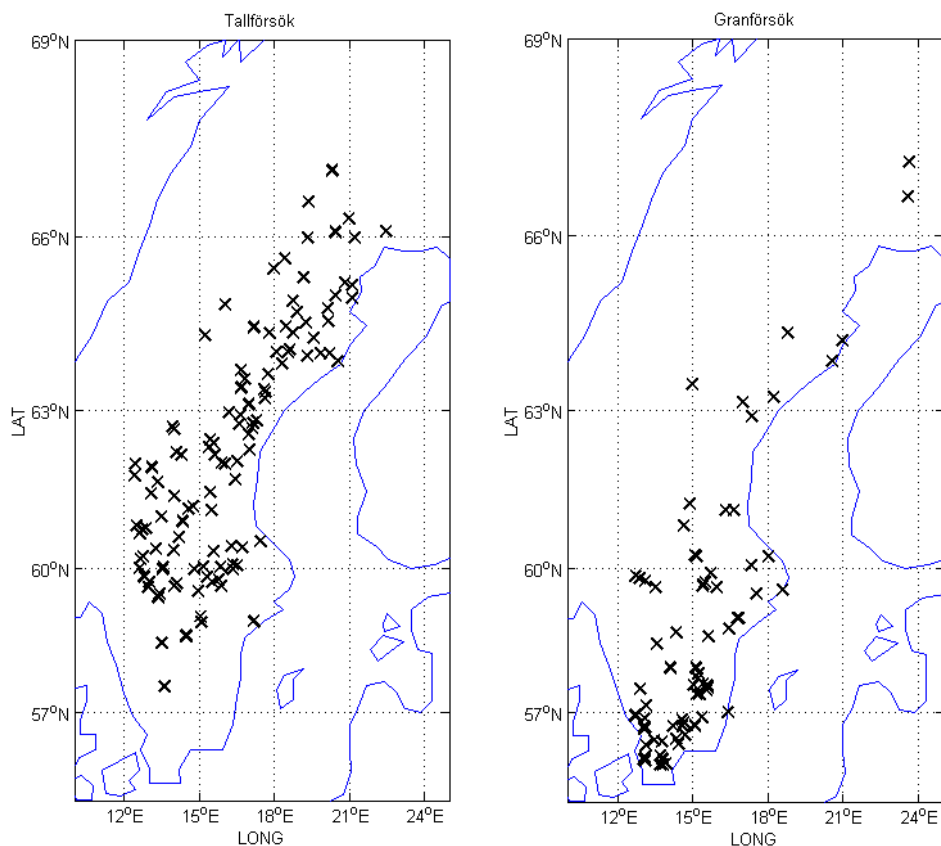
Målet med denna studie är att svara på följande frågor:

- Hur ser korrelationerna ut mellan olika mätegenskaper för gran respektive tall?
- Skiljer sig korrelationerna för olika delar av landet eller för olika ståndorter?
- Hur skall korrelationsmatrisen modelleras för att anpassas till TREEPLAN?
- Finns det skillnader i korrelationerna mellan gran och tall?
- Hur påverkas kvalitetsegenskaper när vi väljer för tillväxt?

Material och metoder

FÖRSÖKSSDATA

Totalt ingår för tall korrelationsdata från 132 försök och för gran korrelationsdata från 118 försök. Vilka egenskaper som mätts varierar från försök till försök. Försökens belägenhet framgår av Figur 1. Som framgår av figuren är försöken för tall koncentrerade till mellersta och norra Sverige, medan försöken för gran är koncentrerade till södra Sverige.



Figur 1.

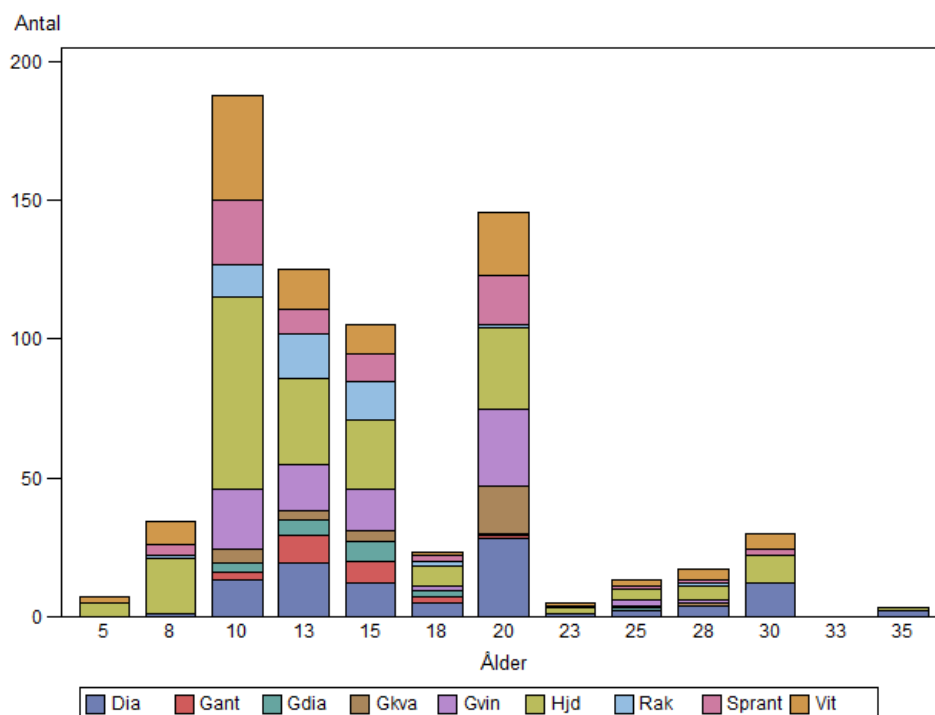
De ingående försökens geografiska belägenhet, tallförsöken i kartan till vänster och granförsöken till höger.

I Tabell 1 beskrivs de egenskaper som mätts i fältförsöken och som ingår i denna rapport. Vilka egenskaper som mätts varierar mellan trädslagen men också mellan norra och södra Sverige.

Tabell 1.
Beskrivning av mätta eller bedömda egenskaper i fältförsöken, samt för vilket trädslag egenskapen finns mätt.

Egenskap	Förkortning	Enhet	Tall	Gran
Brösthöjdsdiameter	Dia	mm	X	X
Grenantal	Gant	antal	X	
Grendiameter	Gdia	Klassificerad, högre värde grövre gren	X	
Grenkvalitet	Gkva	Klassificerad, högre värde fördelaktig kvalitet	X	X
Grenvinkel	Gvin	Klassificerad, högre värde trubbigare grenvinkel	X	X
Höjd	Hjd	cm	X	X
Pilodyn	Pilo	Pilodynträngning, indirekt mått på densitet		X
Rakhet	Rak	Klassificerad, högre värde rakare träd	X	X
Frostskador	Sfrost	Klassificerad, högre värde mer skador		X
Skottskjutning	Skottskj	Klassificerad enl. Krutzsch skala, tidig skottskjutning högre värde		X
Spötkvist	Sprant	Antal	X	
Vitalitet	Vit	Klassificerad, högre värde vitalare träd	X	

TALL



Figur 2.
Antal mätvärden per egenskap och ålder för tallförsöken.

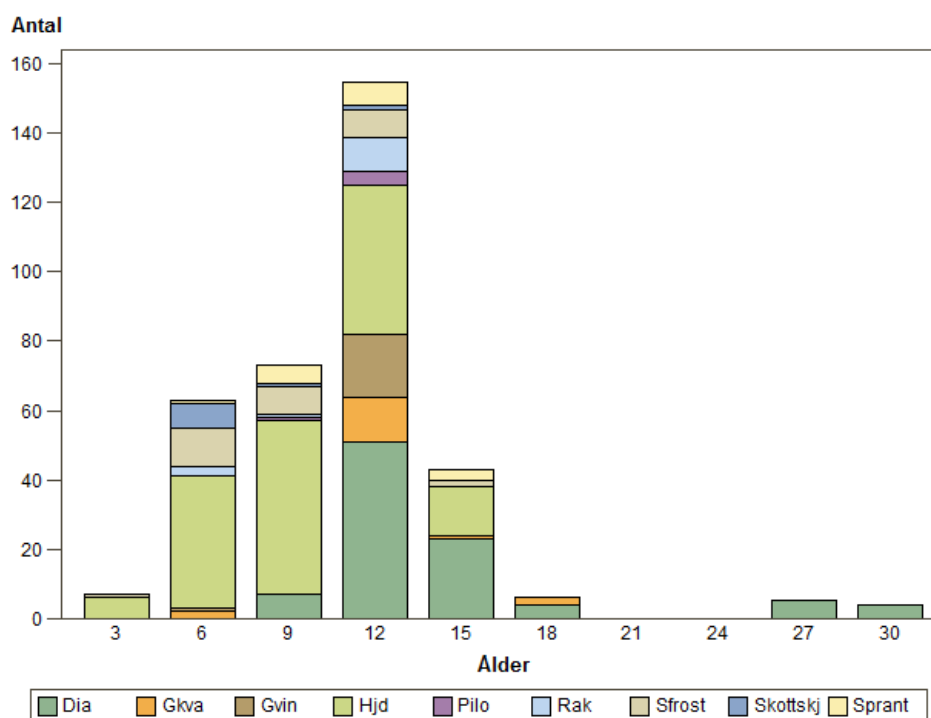
De flesta mätvärdena ligger för tall i intervallet 10–20 år (Figur 2). Höjd och diameter dominerar bland mätegenskaperna, i norr har även vitalitet bedömts i de flesta försöken. Medelhöjden för alla tallförsök ligger på omkring 4.2 m. För de flesta kvalitetsegenskaper finns betydligt färre data redovisat än för höjd, diameter, vitalitet och grenvinkel.

Tabell 2.

Medelvärde, antal observationer, standardavvikelse samt min- och maximumvärden för de mätta egenskaperna i tallförsöken.

Egenskap	Medelvärde	Antal	Standardavvikelse	Minimum	Maximum
Dia	82,4	99	37,1	26,9	198,5
Gant	5,7	22	0,8	4,6	7,5
Gdia	5,2	18	0,4	3,9	5,2
Gkva	5,1	31	0,4	4,7	6,3
Gvin	5,1	87	0,4	3,6	6,0
Hjd	417,9	207	270,5	69,2	1792
Rak	5,2	48	1,6	1,6	7,3
Sprant	0,9	66	0,5	0,2	2,7
Vit	1,8	106	0,6	0,2	2,9

GRAN



Figur 3.

Antal mätvärden per egenskap och ålder för granförsöken.

Granförsöken har i allmänhet mätts vid något lägre ålder och medelhöjd än i tallförsöken. Huvuddelen av granförsöken har mätts mellan 6 och 15 års ålder. Medelhöjden var då 2,7 m (Tabell 3). Även för gran är det höjd och diamettermätningar som dominerar.

Tabell 3.
Beskrivning av de mätta egenskaperna i granförsöken.

Egenskap	Medelvärde	Antal	Standardavvikelse	Minimum	Maximum
Dia	68,8	94	31,0	28,1	142,3
Gkva	3,2	14	0,3	2,9	3,9
Gvin	2,8	19	0,2	2,5	3,1
Hjd	270,3	146	130,0	12,5	679,8
Pilo	19,5	5	0,8	18,4	20,7
Rak	4,4	14	2,0	1,8	8,2
Sfrost	0,4	30	0,4	0,0	2,1
Skottskj	3,6	9	0,8	2,6	5,0
Sprant	0,3	16	0,3	0,1	1,2

METODER

Försöken har först analyserats med en blandad linjär modell (Mixed Model Equation) där varians- och kovarianskomponenter har skattats försöksvis eller parvis mellan försök. Baserat på dessa varians- och kovarianskomponenter har heritabiliteter och korrelationer skattats.

Samband mellan korrelationer och klimatvariabler har studerats med regressionssanalys för att se om det finns några trender som förklarar skillnaden i parametrarna. Vi har testat, uppdelning på ”Milda” och ”Kärva” lokaler, latitud, altitud, tempertursumma, vegetationsperiodens längd och medeltemperatur. Klimatdata har tagits fram från en regionalt nedskalad global klimatmodell som bias-justerats mot interpolerade stationsdata från Sverige och resulterat i ruttnätsdata med 4 x 4 km storlek (Bärring m.fl. manuskript). Uppdelning på ”Mild” och ”Kärv” har för tall gjorts subjektivt baserat på temperatursumma och korrelationen mellan försök. För gran i södra Sverige har en uppdelning gjorts subjektivt för frostlanta och milda lokaler.

Korrelationsmatrisen måste vara ”positivt definit” för att den ska gå att använda i indexberäkningar. Om vi tar medelvärdet av korrelationerna i varje cell blir matrisen inte nödvändigtvis ”positivt definit” och korrelationerna måste därför justeras. Lite förenklat kan man uttrycka det som att korrelationerna måste stå i ett visst förhållande till varandra för att korrelationsmatrisen som helhet ska ge riktiga korrelationer i alla riktningar i matrisen. Ett dataprogram, rgModel utvecklat av Greg Dutkowski (PlantPlan Genetics, Australien), har använts för att ta fram en korrelationsmatris med justerade värden för de genetiska korrelationerna. I modellen används alla korrelationer som skattats såväl inom som mellan försök. I modellen minimeras residualkvadratsumman med hänsyn tagen till att mätningarna utförts vid olika ålder och hänsyn tas också till korrelation mellan olika försökslokaler. Det finns även möjlighet att sätta restriktioner på korrelationerna, t.ex. fixera en korrelation till ett visst värde eller att en korrelation skall vara en produkt av andra korrelationer. Egenvärden och determinanter har använts för att bedöma vilka egenskaper

som ska ingå. Värdet nära noll innebär att egenskapen endast bidrar med begränsad information när den läggs till i korrelationsmatrisen. Åldersberoendet beskrivs i modellen av funktionen $rg = a + b \ln(\text{ålder vid mättilfälle 1} / \text{ålder vid mättilfälle 2})$ (Lambeth, 1980), där rg är den genetiska korrelationen och a och b är parametrar.

Korrelationen mellan försök på samma latitud antas vara densamma medan korrelationen mellan latituder skattas i modellen. För både tall och gran har antagits att korrelationen mellan egenskaper i försök på olika latituder söder om 60:e breddgraden inte påverkar resultatet.

Resultat

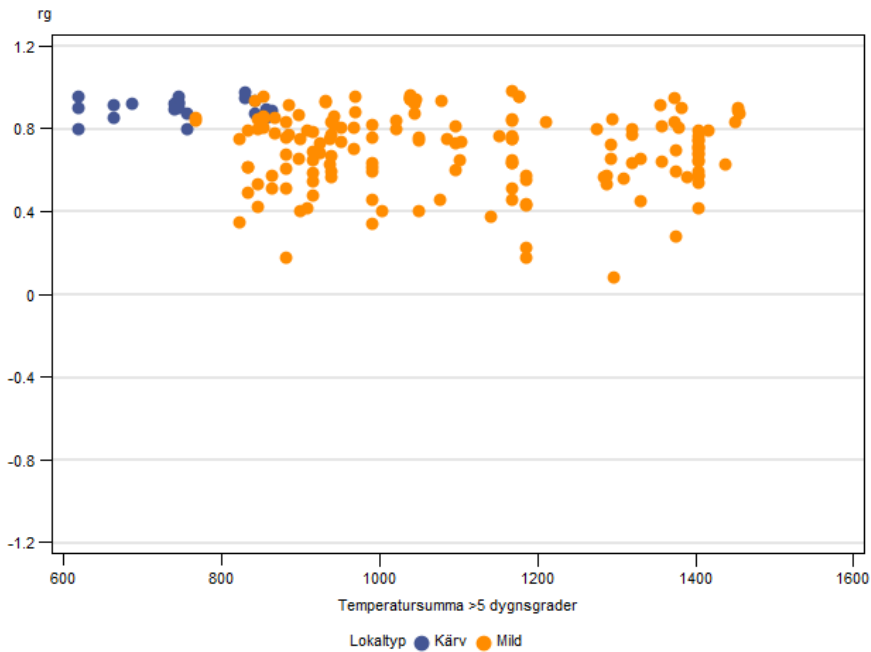
TALL

Heritabiliteten för de ingående egenskaperna beskrivs i Tabell 4. Diameter och höjd har en heritabilitet på 0,18 respektive 0,23. Högst heritabilitet har grenvinkel (0,27), medan sprötkvistantal och vitalitet har lägst heritabilitet. Medelvärden för korrelationerna inom försök, antal observationer samt spridningsmått redovisas för tall i Tabell B1 i Bilaga 1.

Tabell 4.

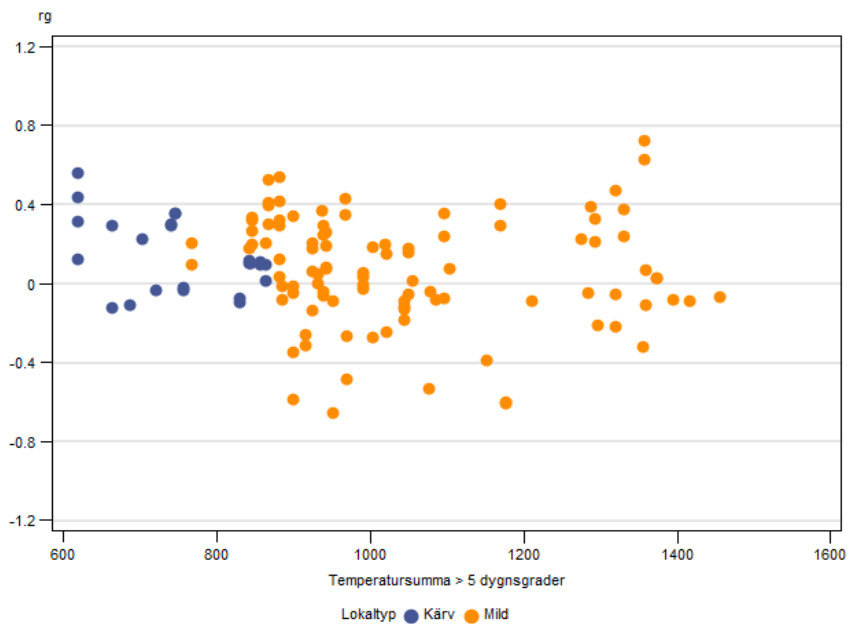
Heritabilitet för de ingående egenskaperna för tall. Tabellen visar medelvärde för heritabiliteten, antal observationer och min- och maxvärde för heritabiliteterna skattade i enskilda försök.

Egenskap	Heritabilitet	Antal	Minimum	Maximum
Dia	0,18	99	0,03	0,53
Gant	0,20	24	0,00	0,68
Gdia	0,15	20	0,00	0,47
Gkva	0,13	31	0,01	0,31
Gvin	0,27	87	0,07	0,57
Hjd	0,23	208	0,03	0,68
Rak	0,15	48	0,03	0,35
Sprant	0,09	70	0,00	0,27
Vit	0,09	109	0,00	0,33



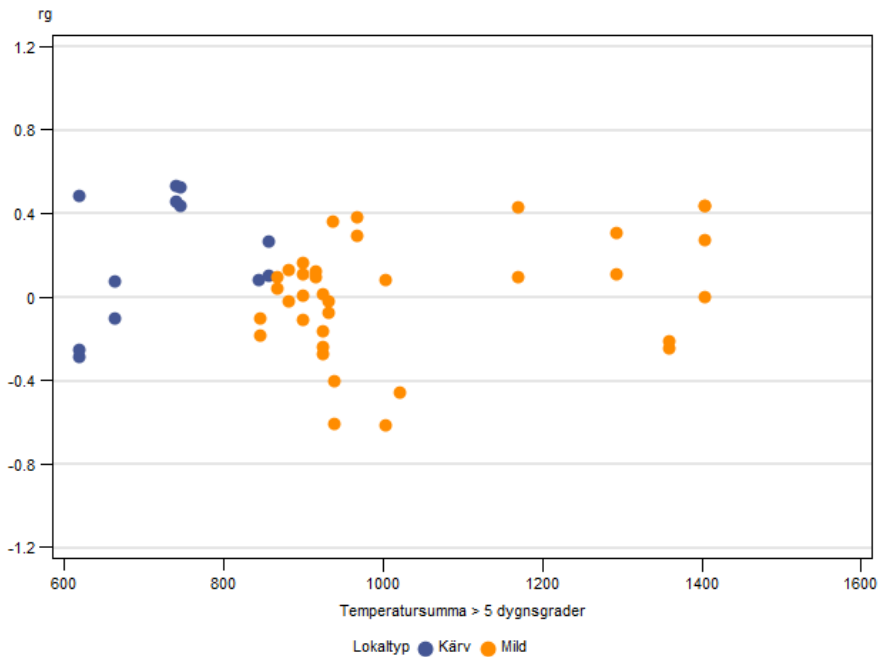
Figur 4.
Korrelationen (r_g) mellan höjd och diameter plottad mot försökslokalens temperatursumma.

Vi har i samtliga figurer valt att plotta korrelationerna mot temperatursumma. I Figur 4 beskrivs sambandet mellan korrelationen för höjd och diameter mot temperatursumman. Vi har testat ett flertal klimatvariabler men inte hittat någon tydlig trend i de testade variablerna som talar för att dela upp materialet och därigenom bilda olika grupper. Variationen är större på milda lokaler, men många av lokalerna har relativt få familjer vilket som en slump-effekt ger en större variation. I en regressionsanalys har latituden en signifikant effekt på korrelationen men påverkan är liten. Korrelationen ökar svagt med stigande latitud.



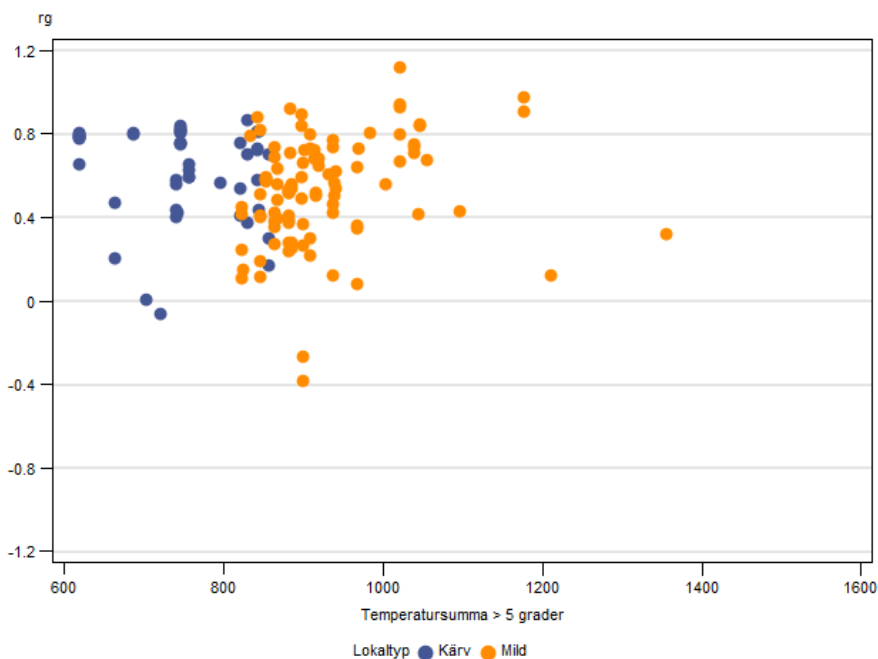
Figur 5.
Korrelationen (r_g) mellan höjd och grenvinkel plottad mot försökslokalens temperatursumma.

Kvalitetsvariabler visar stor variation men ingen påtaglig trend för korrelationerna. För korrelationen mellan höjd och grenvinkel var altituden signifikant (Figur 5). För korrelationen mellan höjd och grenkvalitet var ingen av variablerna signifikant (Figur 6).



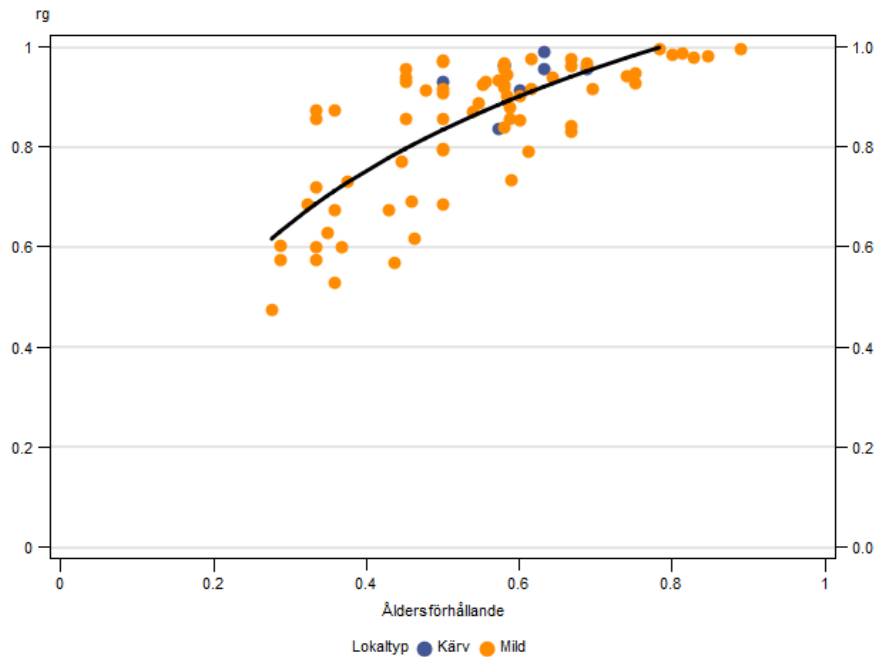
Figur 6.
Korrelationen (rg) mellan höjd och grenkvalitet plottad mot försökslokalens temperatursumma.

Några korrelationer (rakhet-diameter, rakhet-höjd, rakhet-vitalitet) visar ett svagt fördelaktigt samband med sjunkande temperatursumma men det finns endast ett fåtal observationer bakom dessa data.



Figur 7.
Korrelationen (rg) mellan höjd och vitalitet plottad mot försökslokalens temperatursumma.

Latitud, vegetationsperiodens längd, årsmedeltempertur och altitud hade signifikanta effekter på korrelationen mellan höjd och vitalitet (Figur 7). Latitud var den variabel som enskilt hade störst effekt. Variationen var stor och kan inte helt förklaras av de testade variablerna.



Figur 8. Korrelationen (r_g) mellan höjd mätt vid olika ålder uttryckt som åldersförhållande, d.v.s. den tidiga åldern i förhållande till mätning vid en senare ålder. Kurvan beskriver en utjämning av sambandet framtaget med regressionsanalys.

Endast ett fåtal försök i kärva klimatlägen har mätts vid flera tillfällen (Figur 8). Följden blir att ålderssambandet i modellen skattats till största delen baserat på försök i milda klimatlägen. Korrelationen mellan tidiga och senare mätningar följer ett kurvlinjärt samband mot åldersförhållandet mellan mätningarna. Korrelationer mellan mätningar vid olika ålder bygger till största delen på data från höjd, för övriga egenskaper finns endast ett fåtal mätningar inom försök vid olika åldrar.

Sammanfattningsvis kan vi för tillfället inte finna någon variabel som entydigt visar ett samband med korrelationen och därmed skulle utgöra grund för en uppdelning i olika grupper av korrelationer. Det går inte att med de data vi har i dag finna någon variabel som motiverar en delning av korrelationsmatrisen för olika delar av landet.

Tabell 5.

Den övre delen i tabellen visar medeltalet av korrelationer mätta inom försök, den mellersta delen korrelationerna skattade med modellen och den nedre delen skillnaden mellan mätta och skattade värden. Siffror i fetstil anger att medeltalet av korrelationen är signifikant skild från noll ($p < 0,05$). Korrelationerna avser tall. För den mellersta delen visas matrisens determinanter (Det) och egenvärden (Egenv) från rgModel.

Medeltal av korrelationer										
	Vit	Hjd	Dia	Rak	Gvin	Sprant	Gant	Gdia		
Vit	1	0,57	0,72	0,25	0,04	-0,35	0,12	0,12		
Hjd		1	0,73	-0,10	0,08	-0,10	0,42	0,30		
Dia			1	-0,21	-0,02	-0,14	0,40	0,43		
Rak				1	-0,04	-0,21	-0,07	-0,48		
Gvin					1	-0,12	-0,09	-0,41		
Sprant						1	0,26	-0,29		
Gant							1	-0,07		
Gdia								1		
rgModel										
	Vit	Hjd	Dia	Rak	Gvin	Sprant	Gant	Gdia	Det	Egenv
Vit	1	0,51	0,70	0,27	0,02	-0,39	0,34	0,24	1,000	2,946
Hjd		1	0,75	-0,13	0,09	-0,19	0,45	0,30	0,738	1,678
Dia			1	-0,24	-0,02	-0,18	0,47	0,50	0,224	1,279
Rak				1	-0,05	-0,32	-0,10	-0,52	0,127	1,101
Gvin					1	-0,16	-0,12	-0,42	0,121	0,426
Sprant						1	0,19	-0,29	0,093	0,385
Gant							1	0,08	0,060	0,120
Gdia								1	0,009	0,064
Differens										
	Vit	Hjd	Dia	Rak	Gvin	Sprant	Gant	Gdia		
Vit		0,06	0,02	-0,02	0,02	0,04	-0,22	-0,12		
Hjd			-0,02	0,03	-0,01	0,09	-0,03	0,00		
Dia				0,03	0,00	0,04	-0,07	-0,07		
Rak					0,01	0,11	0,03	0,04		
Gvin						0,04	0,03	0,01		
Sprant							0,07	0,00		
Gant								-0,15		
Gdia										

Ett antal skattningar av korrelationer med olika modeller med varierande antal ingående egenskaper samt uppdelning av höjd, diameter och vitalitet på milda och kärva lokaler har testats. Flera av dessa har givit negativa egenvärden, vilket är en indikation på inkonsekvenser eller överparametrisering av modellen. För att få en robust modell krävs att determinant och egenvärden är positiva och större än noll. Detta har lett till valet av en korrelationsmatris innehållande vitalitet, höjd, diameter, raket, grenvinkel, sprötkvistantal, grenantal och grendiameter där determinant och egenvärde är större än noll (Tabell 5).

I de modeller vi redovisar i denna rapport är korrelationerna skattade utan några restriktioner på korrelationerna. Om grenkvalitet tas med samtidigt som grenantal och grendiameter blir determinant och egenvärde noll. Detta indikerar att modellen blir överparametriserad och den information som grenkvalitet tillför är begränsad när de andra egenskaperna ingår. Om vi byter ut grenantal och grendiameter mot grenkvalitet får vi resultatet i Tabell 6. Korrelationen mellan vitalitet, höjd, diameter, rakhet, grenvinkel och sprötkvistantal ger samma värden i Tabell 5 och Tabell 6, vilket visar att modellerna är stabila.

Korrelationen mellan latituder är i båda modellerna för vitalitet 0,23 och för höjd och diameter 0,71. Det svaga sambandet mellan vitalitet på olika breddgrader betyder att det är viktigt att testa det genetiska materialet i dess tilltänkta målområde. Korrelationerna mellan breddgrader bygger på försök norr om 60:e breddgraden, eftersom inga korrelationer mellan försök ännu finns i databasen för sydligare försök. Koefficienten för åldersinflytandet är i båda modellerna 0,178.

I tabellerna visas också skillnader mellan medeltalet av korrelationen och den korrelation som skattas med modellen. Om avvikelserna är stora tyder det på att modellen inte klarar av att producera realistiska korrelationsskattningar, vilket är önskvärt. I de presenterade modellerna är avvikelserna små utom i något enskilda fall där det är få observationer bakom medelvärdet och korrelationen i uppmätta data är inte heller signifikant skild från noll.

Korrelationerna mellan tillväxtegenskaperna höjd respektive diameter och rakhet och grendiameter, grenantal eller grenkvalitet är alla svagt ofördelaktiga. Sprötkvistantal minskar något med ökad diameter och höjd.

Tabell 6.

Den övre delen i tabellen visar medeltalet av korrelationer mätta inom försök, den mellersta delen korrelationerna skattade med modellen och den nedre delen skillnaden mellan mätta och skattade värden. Siffror i fetstil anger att medeltalet av korrelationen är signifikant skild från noll ($p < 0,05$). Korrelationerna avser tall. Tabellen innehåller grenkvalitet (Gkva) istället för grendiameter (Gdia) och grenantal (Gant) som i Tabell 5. För den mellersta delen visas matrisens determinanter (Det) och egenvärden (Egenv) från rgModel.

Medeltal av korrelationer							
	Vit	Hjd	Dia	Rak	Gvin	Sprant	Gkva
Vit	1	0,57	0,72	0,25	0,04	-0,35	0,18
Hjd		1	0,73	-0,10	0,08	-0,10	-0,02
Dia			1	-0,21	-0,02	-0,14	-0,14
Rak				1	-0,04	-0,21	0,18
Gvin					1	-0,12	0,47
Sprant						1	-0,12
Gkva							1

rgModel									
	Vit	Hjd	Dia	Rak	Gvin	Sprant	Gkva	Det	Egenv
Vit	1	0,51	0,70	0,27	0,02	-0,39	0,18	1,000	2,455
Hjd		1	0,75	-0,13	0,09	-0,19	0,08	0,738	1,677
Dia			1	-0,24	-0,02	-0,18	-0,17	0,224	1,293
Rak				1	-0,05	-0,32	0,19	0,127	0,736
Gvin					1	-0,16	0,51	0,121	0,387
Sprant						1	-0,06	0,093	0,374
Gkva							1	0,044	0,078

Differens							
	Vit	Hjd	Dia	Rak	Gvin	Sprant	Gkva
Vit		0,06	0,02	-0,02	0,02	0,04	0,01
Hjd			-0,02	0,03	-0,01	0,09	-0,10
Dia				0,03	0,00	0,04	0,03
Rak					0,01	0,11	-0,01
Gvin						0,04	-0,04
Sprant							-0,06
Gkva							

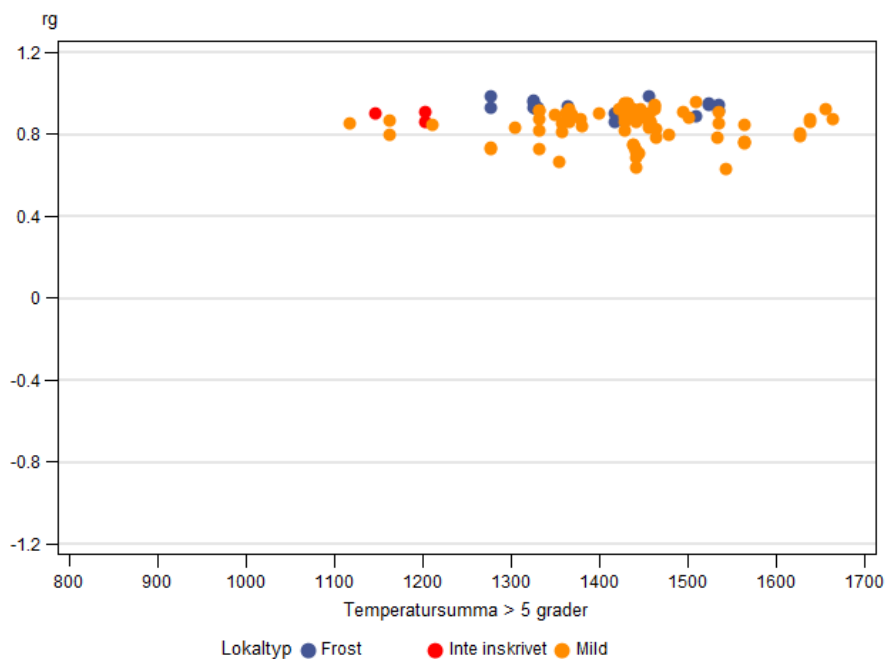
GRAN

Tabell 7.

Heritabilitet för de ingående egenskaperna för gran. Tabellen visar medelvärde för heritabiliteten, antal observationer och min- och maxvärde för heritabiliteterna skattade i enskilda försök.

Egenskap	Heritabilitet	Antal	Minimum	Maximum
Dia	0,39	94	0,12	0,98
Gkva	0,17	18	0,06	0,39
Gvin	0,29	19	0,13	0,48
Hjd	0,36	151	0,10	0,90
Pilo	0,36	5	0,26	0,46
Rak	0,21	14	0,09	0,28
Sfrost	0,20	30	0,03	0,77
Skottskj	0,79	9	0,64	0,90
Sprant	0,08	16	0,02	0,27

Heritabiliteten för diameter och höjd (Tabell 7) är betydligt högre i granförsöken än i tallförsöken (0,39 och 0,36. för gran respektive 0,18 och 0,23 för tall). Maximumvärdena för diameter och höjd är extremt höga. En tänkbar förklaring till detta kan vara att värdena för gran i södra Sverige innehåller provenienseffekter. Urvalet av träd har ofta gjorts i bestånd utan kännedom om ursprung och det har därför inte varit möjligt att ta hänsyn till provenienseffekten på ett tillfredställande sätt. Skottskjutning är den egenskap som visar högst heritabilitet av de mätta egenskaperna (0,79). Även pilodyninträngning har en hög heritabilitet (0,36). Frostskador har stor spridning i värden från 0,03 till 0,77, vilket indikerar att det är en egenskap som är svår att få riktiga värden på. Medelvärden för korrelationerna inom försök, antal observationer samt spridningsmått redovisas för gran i Tabell B2 i Bilaga 1.

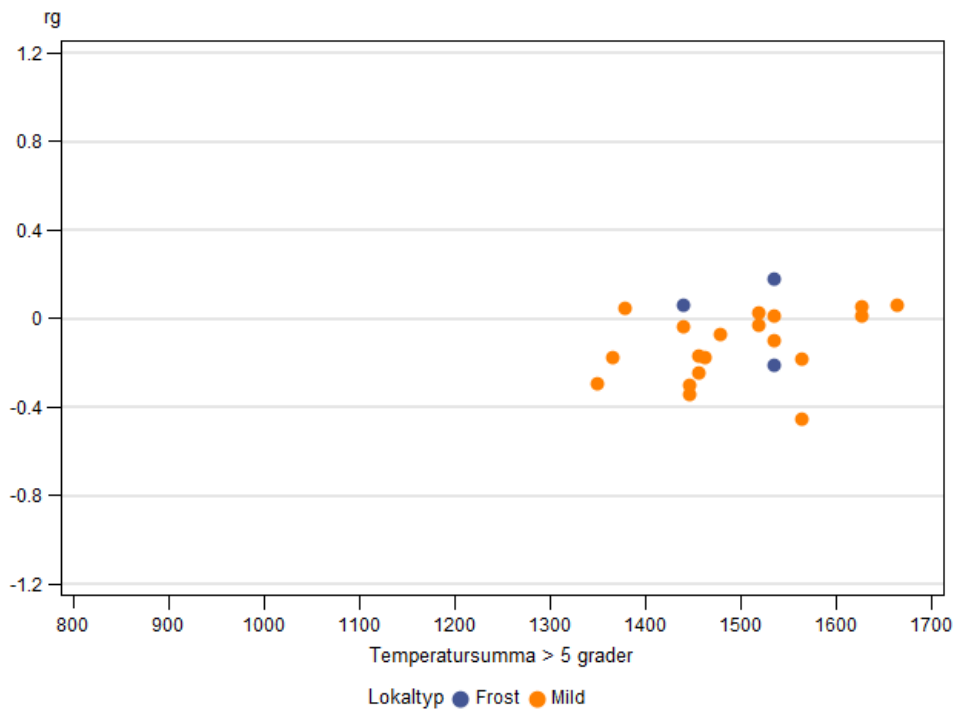


Figur 9.

Korrelationen (rg) mellan höjd och diameter plottad mot försökslokalens temperatursumma.

Data för korrelationen mellan höjd och diameter finns endast för södra Sverige (Figur 9). I regressionsanalysen var ingen av de oberoende variablerna som testats signifikant. Kvalitetsegenskaper är endast mätta i de sydliga försöken. Som ett exempel visas sambandet mellan höjd och grenkvalitet där årsmedeltemperaturen var svagt signifikant (Figur 10).

Sammanfattningsvis kan vi inte heller för gran finna någon variabel som entydigt visar ett samband med korrelationen och därmed skulle utgöra grund för en uppdelning i olika grupper av korrelationer.



Figur 10.
Korrelationen (rg) mellan höjd och grenkvalitet plottad mot försökslokalens temperatursumma.

Tabell 8.

Den övre delen i tabellen visar medeltalet av korrelationer inom försök, den mellersta delen korrelationerna skattade med modellen och den nedre delen skillnaden mellan mätta och skattade värden. Siffror i fetstil anger att medeltalet av korrelationen är signifikant skild från noll ($p < 0,05$). Korrelationerna avser gran. För den mellersta delen visas matrisens determinanter (Det) och egenvärden (Egenv) från rgModel.

Medelvärden av korrelationer för gran							
	Hjd	Dia	Skottskj	Rak	Gvin	Gkva	Pilo
Hjd	1	0,87	-0,10	-0,02	0,10	-0,10	0,42
Dia		1	-0,06	0,01	0,07	-0,29	0,55
Skottskj			1	-0,41	-0,05	-0,09	-0,12
Rak				1	0,09	0,02	0,13
Gvin					1	0,28	0,04
Gkva						1	-0,11
Pilo							1

rgModel									
	Hjd	Dia	Skottskj	Rak	Gvin	Gkva	Pilo	Det	Egenv
Hjd	1	0,95	-0,10	-0,01	0,11	-0,10	0,45	1,000	2,424
Dia		1	-0,05	0,02	0,07	-0,31	0,56	0,102	1,533
Skottskj			1	-0,44	-0,05	-0,10	-0,13	0,100	1,187
Rak				1	0,09	0,04	0,13	0,078	0,706
Gvin					1	0,28	0,04	0,075	0,624
Gkva						1	-0,11	0,037	0,508
Pilo							1	0,018	0,019

Differens							
	Hjd	Dia	Skottskj	Rak	Gvin	Gkva	Pilo
Hjd		-0,08	0,00	-0,01	-0,01	0,00	-0,03
Dia			-0,01	-0,01	0,00	0,02	-0,01
Skottskj				0,03	0,00	0,01	0,01
Rak					0,00	-0,02	0,00
Gvin						0,00	0,00
Gkva							0,00
Pilo							

Frostskador har inte tagits med i modellen då den ger upphov till negativa egenvärden. Korrelationen mellan latituder är för höjd och diameter 0,62. Den låga korrelationen beror troligen på att försöken har stor spridning i latitud. Korrelationerna bygger på försök norr om 60:e breddgraden eftersom korrelationerna mellan försök längre söderut endast indikerar ett försumbart samband med latituden i de försök som hittills analyserats. Koefficienten för åldersberoende är 0,163.

Modellen ger en extremt hög korrelation mellan höjd och diameter (0,95) (Tabell 8). Även medeltalen visar höga värden (0,87). En anledning till ökningen i modellen kan vara att modellen justerar för skillnader i ålder och korrelationer mellan latituder, vilket kan leda till den högre korrelationen i modellskattningen. Ökad tillväxt leder till ökad pilodyninträngning vilket är ett mått på försämrad densitet, d.v.s. lägre densitet.

Diskussion

Ett stort antal heritabiliteter och genetiska korrelationer inom och mellan försök skattas rutinmässigt i den svenska skogsträdsförädlingen. En sammanställning av dessa ger en mer generell bild av de genetiska parametrarna än enskilda skattningar. För att beräkna index för urval till fröplantager eller för fortsatt förädling behövs goda skattningar av genetiska parametrar. Denna studie har fokuserat på korrelationer mellan egenskaper inom en population. En slutsats är att det utifrån de data som finns tillgängliga idag inte finns anledning att använda olika korrelationer för olika delar av landet eller för olika ståndorter, men en uppdelning för varje träslag bör göras.

VILKA EGENSKAPER SKA INGÅ I KORRELATIONSMATRISEN?

För att en uppdelning i olika korrelationsmatriser för olika ståndorter eller liknande ska göras krävs dels att uppdelningen är förutsägbar och objektiv, dels att uppdelningen tydligt förbättrar modellen. De försök till uppdelning i mild-kärv (tall) eller frost-mild (gran) som hittills gjorts bygger till stor del på resultat efter mätning och är därför varken förutsägbara eller objektiva.

I data från tallförsöken specialstuderades en uppdelning av enbart höjd, vitalitet och diameter för mild respektive kärv lokal i korrelationsmatrisen. Determinant och egenvärde användes som indikatorer på vilka egenskaper som ska ingå. Att samtidigt använda dessa egenskaper mätta på mild respektive kärv lokal som två olika egenskaper ledde till att determinant och egenvärde blev noll eller negativa, vilket indikerar att systemet inte är lösbart utan att införa restriktioner. Kraftiga och inte helt logiska restriktioner måste sättas på systemet för att det skulle bli lösbart. Om man samtidigt inför t.ex. vitalitet från mild och kärv lokal som två olika egenskaper innebär det att korrelationsmatrisen innehåller en blandning av korrelationer inom och mellan försök. En slutsats av detta är att om en uppdelning i kategorier ska göras bör det ske i andra strukturer än att manipulera inomförsöksvariationen. Detta kan man t.ex. ta hänsyn till genom korrelationer mellan latituder eller uppdelning baserat på någon annan variabel. Latitud har använts här, men det bör undersökas om man kan finna någon annan variabel eller kombination av variabler som förklarar skillnaderna bättre.

När grenkvalitet klassificeras i fältförsök är det en sammanvägd egenskap som till stor del baseras på grenantal och grendiameter. Detta visade sig också tydligt när vi försökte inkludera grenantal, grendiameter och grenkvalitet samtidigt. Egenvärde och determinant blev då noll eller negativt om vi inte införde restriktioner på parametrarna. Detta visar att man ska undvika att införa egenskaper som till stor del beskriver samma biologiska funktion.

Även om frostsador som egenskap uppvisar en hög heritabilitet är den svår att förutsäga. Heritabilitet för frostsador varierar hos gran från 0,03 till 0,77. Ett problem med frostsador är de inte ger en tydlig bild av de faktiska frostsadorna på ståndorten. Skadeinventering har inte gjorts årligen och skador kan ha inträffat i försöken även när registrering inte gjorts. Träd kan ha varit utsatta för frost och påverkats utan att det uppstått synbara skador. När vi försökte inkludera frostsador i korrelationsmatrisen fick vi problem med egenvärde och determinant. Vi testade med att ha med både skottskjutning och frostsador tillsammans eller var och en för sig. Att inkludera skottskjutning och utesluta frostsador gav den mest robusta korrelationsmatrisen.

För att få en robust korrelationsmatris krävs tillräckligt med data bakom varje korrelation för att få säkra skattningar. Man bör undvika korrelationer mellan egenskaper som ensamma eller i kombination med andra beskriver i stort sett samma sak som egenskaper som redan ingår i matrisen. Vilka egenskaper som ska ingå beror i slutänden av vilka förädlingsmålen är och vilka mätegenskaper i fältförsöken som påverkar dessa förädlingsmål. För att öka stabiliteten i korrelationsmatrisen bör:

- Fler skattningar av korrelationer görs speciellt för gran i norra Sverige och tall i södra Sverige.
- Korrelationer mellan försök skattas för tall i södra Sverige där dessa saknas helt i dag i vår parameterdatabas.
- Luckor i korrelationsmatrisen fyllas med fler mätningar – vissa kombinationer av egenskaper har endast ett fåtal korrelationer skattade.
- Mätningar görs vid olika åldrar för att få ett samband mellan tidiga och sena mätningar.
- Endast egenskaper som tillför information på ett för modellen fördelaktigt sätt användas.

JÄMFÖRELSE GRAN – TALL

Gran och tall visar vissa skillnader i korrelationer och bör därför ha skilda genetiska parametrar. Heritabiliteten för höjd och diameter är betydligt högre i gran än i tall. Detta har även visats tidigare även om skillnaderna då varit mindre (Kroon m.fl. 2011). En tänkbar förklaring kan vara att värdena för gran innehåller provenienseffekter. Ofta är ursprunget för granbestånden i södra Sverige okänt. Även bonitetskillnader och ålder vid mätningarna kan spela in. Även korrelation mellan höjd och diameter är högre för gran än för tall. Rakhets, grenvinkel och grenkvalitet har klassificerats i både gran och tall. Tendensen för korrelationerna är densamma för båda trädslagen även om de absoluta värdena skiljer något men dessa egenskaper är skattade baserat på betydligt färre datapunkter än tillväxtegenskaperna.

För gran kan vi i data se tydliga skillnader i klimatgradient, här uttryckt med latitud, mellan norra och södra Sverige. I de sydliga försöken är korrelationen mellan latituder obetydlig men den är 0,62 i norra Sverige. Till viss del kan den låga korrelationen mellan granförsöken bero på att samma genetiska material finns representerat i många försök med stora breddgradskillnader som följd. För tall ligger korrelationen mellan latituder på 0,71 för tillväxtvariabler och 0,23 för vitalitet, men där kunde bara norra Sverige analyseras.

URVAL FÖR TILLVÄXT

Urval för höjd och diameter i tall leder till något försämrad raket, ökat grenantal och grendiameter. Grenvinkeln blir i stort sett oförändrad medan sprötkvistantalet sjunker något.

Urval för höjd och diameter i gran leder till lägre densitet, här mätt i form av pilodyninträngning. Längre inträngning i veden från pilodyn motsvarar en lägre densitet.

Sammanfattningsvis är en viss försämring i kvaliteten att vänta om man väljer enbart för tillväxt och inte tar hänsyn till andra egenskaper genom ekonomiska vikter i index eller på annat sätt kontrollerar utvecklingen.

Slutsatser

- Varken för tall eller gran har vi kunnat finna någon klimat- eller geografisk variabel som entydigt visar ett samband med korrelationen och därmed skulle utgöra grund för en uppdelning i olika grupper av korrelationer.
- Gran och tall visar vissa skillnader och bör därför ha skilda korrelationsmatriser.
- Resultat från sammanställningen av genetiska korrelationer visar att urval för höjd och diameter i tall leder till något försämrad raket, ökat grenantal och grövre grendiameter. Grenvinkeln blir i stort sett oförändrad medan sprötkvistantalet sjunker något.
- Urval för höjd och diameter i gran leder till lägre densitet, här mätt i form av pilodyninträngning.
- För att få en robust korrelationsmatris krävs tillräckligt med data bakom varje korrelation för att få en säker skattning av den. Man bör undvika korrelationer mellan egenskaper som ensamma eller i kombination med andra beskriver i stort sett samma sak.
- Vilka egenskaper som ska ingå beror i slutänden av vilka förädlingsmålen är och vilka mätegenskaper i fältförsöken som påverkar dessa förädlingsmål.

Erkännande

Studien har bekostats med anslag från Föreningen Skogsträdsförädling. Korrelationsmatriserna har beräknats med ett datorprogram utvecklat av Greg Dutkowski, PlantPlan Genetics, Australien.

Referenser

- Hazel, L.N. 1943. The genetic basis for constructing selection indices. *Genetics* 33: 306—311.
- Kroon, J., Ericsson, T., Jansson, G., and Andersson, B. 2011. Patterns of genetic parameters for height in field genetic tests of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. *Tree Genetics & Genomes* 7(6): 1099-1111. doi: 10.1007/s11295-011-0398-y.
- Lambeth C.C. 1980. Juvenile-mature correlations in *Pinaceae* and implications for early selection. *Forest Science* 26, 571—580.
- Schneeberger M., Barwick S.A., Crow G.H. and Hammond K. 1992. Economic indices using breeding values predicted by BLUP. *J. Anim. Breed. Genet.* 109: 180—187.

Bilaga 1

Tabell B1.

Genetiska korrelationer mellan egenskaper uppmätta i tallförsöken. Samma egenskap t.ex. Dia-Dia innebär att diametern är mätt vid flera åldrar.

Egenskaper	Antal	Medelvärde	Std avv	Medelfel	Minimum	Maximum	t-värde	Pr > t
Dia-Dia	14	0,89	0,13	0,03	0,61	1,00	25,90	<,0001
Gant-Dia	17	0,40	0,42	0,10	-0,62	1,06	3,92	0,0012
Gant-Gant	1	0,85	-	-	0,85	0,85	-	-
Gdia-Dia	14	0,43	0,51	0,14	-0,89	1,09	3,16	0,0075
Gdia-Gant	11	-0,07	0,44	0,13	-0,69	0,51	-0,50	0,6262
Gkva-Dia	23	-0,14	0,33	0,07	-0,83	0,44	-2,01	0,0569
Gkva-Gkva	2	0,65	0,29	0,21	0,44	0,86	3,12	0,1977
Gvin-Dia	63	-0,02	0,29	0,04	-0,95	0,75	-0,51	0,6125
Gvin-Gant	19	-0,09	0,41	0,09	-0,88	0,65	-0,96	0,3481
Gvin-Gdia	16	-0,41	0,26	0,07	-0,88	0,06	-6,18	<,0001
Gvin-Gkva	33	0,47	0,25	0,04	-0,10	1,00	10,84	<,0001
Gvin-Gvin	10	0,89	0,12	0,04	0,69	1,03	24,19	<,0001
Hjd-Dia	181	0,73	0,18	0,01	0,09	0,98	53,44	<,0001
Hjd-Gant	26	0,42	0,28	0,06	-0,43	0,76	7,65	<,0001
Hjd-Gdia	21	0,30	0,54	0,12	-0,86	1,12	2,55	0,0192
Hjd-Gkva	48	0,06	0,29	0,04	-0,61	0,54	1,38	0,1731
Hjd-Gvin	123	0,08	0,27	0,02	-0,65	0,73	3,42	0,0009
Hjd-Hjd	78	0,85	0,14	0,02	0,48	1,00	55,67	<,0001
Rak-Dia	43	-0,21	0,42	0,06	-1,24	0,74	-3,19	0,0027
Rak-Gant	19	-0,07	0,42	0,10	-0,84	0,58	-0,71	0,4880
Rak-Gdia	13	-0,48	0,25	0,07	-0,88	-0,08	-6,98	<,0001
Rak-Gkva	9	0,18	0,24	0,08	-0,25	0,46	2,26	0,0536
Rak-Gvin	37	-0,04	0,31	0,05	-0,67	0,58	-0,77	0,4460
Rak-Hjd	69	-0,10	0,37	0,04	-0,99	0,68	-2,22	0,0300
Rak-Rak	1	0,80	-	-	0,80	0,80	-	-
Sprant-Dia	41	-0,14	0,35	0,06	-0,70	0,83	-2,58	0,0137
Sprant-Gant	7	0,26	0,41	0,16	-0,13	0,91	1,67	0,1465
Sprant-Gdia	7	-0,29	0,28	0,11	-0,62	0,08	-2,75	0,0332
Sprant-Gkva	26	-0,07	0,47	0,09	-1,10	0,70	-0,75	0,4591
Sprant-Gvin	57	-0,12	0,39	0,05	-0,98	1,08	-2,32	0,0239
Sprant-Hjd	95	-0,10	0,36	0,04	-0,81	0,97	-2,80	0,0062
Sprant-Rak	17	-0,21	0,39	0,09	-0,92	0,41	-2,23	0,0404
Sprant-Sprant	11	0,73	0,40	0,12	-0,06	1,37	6,15	0,0001
Vit-Dia	60	0,72	0,21	0,03	-0,04	1,14	26,83	<,0001
Vit-Gant	4	0,12	0,58	0,29	-0,67	0,73	0,41	0,7106
Vit-Gdia	9	0,09	0,59	0,20	-1,17	0,72	0,43	0,6790
Vit-Gkva	27	0,18	0,23	0,04	-0,38	0,64	4,22	0,0003
Vit-Gvin	55	0,04	0,31	0,04	-0,55	0,97	0,93	0,3574
Vit-Hjd	144	0,57	0,26	0,02	-0,38	1,35	26,37	<,0001
Vit-Rak	11	0,25	0,56	0,17	-0,60	1,17	1,46	0,1750
Vit-Sprant	53	-0,35	0,46	0,06	-1,02	1,15	-5,50	<,0001
Vit-Vit	24	0,94	0,06	0,01	0,79	1,00	73,74	<,0001

Tabell B2.

Genetiska korrelationer mellan egenskaper uppmätta i granförsöken. Samma egenskap t.ex. Dia-Dia innebär att diametern är mätt vid flera åldrar.

Egenskaper	Antal	Medelvärde	Std avv	Medelfel	Minimum	Maximum	t-värde	Pr > t
Dia-Dia	4	0,96	0,03	0,02	0,92	1,00	56,23	<,0001
Gkva-Dia	18	-0,29	0,23	0,05	-0,54	0,30	-5,33	<,0001
Gvin-Dia	20	0,07	0,15	0,03	-0,20	0,40	2,13	0,0462
Gvin-Gkva	13	0,28	0,35	0,10	-0,19	0,83	2,96	0,0119
Hjd-Dia	110	0,87	0,08	0,01	0,64	0,99	118,06	<,0001
Hjd-Gkva	22	-0,10	0,16	0,03	-0,45	0,19	-3,00	0,0068
Hjd-Gvin	18	0,10	0,23	0,05	-0,18	0,57	1,92	0,0719
Hjd-Hjd	30	0,93	0,05	0,01	0,79	0,98	98,65	<,0001
Pilo-Dia	5	0,55	0,13	0,06	0,46	0,77	9,46	0,0007
Pilo-Gkva	3	-0,11	0,06	0,04	-0,17	-0,05	-2,95	0,0982
Pilo-Gvin	2	0,04	0,11	0,08	-0,04	0,12	0,54	0,6836
Pilo-Hjd	7	0,42	0,18	0,07	0,19	0,68	6,17	0,0008
Rak-Dia	16	0,01	0,26	0,07	-0,39	0,58	0,19	0,8514
Rak-Gkva	10	0,02	0,28	0,09	-0,52	0,44	0,26	0,8003
Rak-Gvin	8	0,09	0,15	0,05	-0,13	0,35	1,65	0,1422
Rak-Hjd	23	-0,02	0,35	0,07	-0,60	0,78	-0,23	0,8225
Rak-Pilo	2	0,13	0,32	0,22	-0,10	0,35	0,57	0,6695
Sfrost-Dia	23	-0,65	0,23	0,05	-0,96	-0,10	-13,94	<,0001
Sfrost-Gkva	3	0,14	0,42	0,24	-0,29	0,55	0,59	0,6166
Sfrost-Gvin	5	-0,10	0,34	0,15	-0,43	0,34	-0,66	0,5429
Sfrost-Hjd	34	-0,67	0,23	0,04	-0,95	-0,04	-16,91	<,0001
Sfrost-Rak	3	-0,55	0,22	0,13	-0,80	-0,39	-4,33	0,0494
Sfrost-Sfrost	1	0,78	-	-	0,78	0,78	-	-
Skottskj-Dia	5	-0,06	0,29	0,13	-0,44	0,25	-0,44	0,6839
Skottskj-Gkva	3	-0,09	0,14	0,08	-0,17	0,07	-1,12	0,3777
Skottskj-Gvin	1	-0,05	-	-	-0,05	-0,05	-	-
Skottskj-Hjd	12	-0,10	0,22	0,06	-0,38	0,19	-1,51	0,1601
Skottskj-Pilo	2	-0,12	0,00	0,00	-0,12	-0,12	-70,70	0,0090
Skottskj-Rak	2	-0,41	0,21	0,15	-0,56	-0,25	-2,67	0,2281
Skottskj-Sfrost	5	0,73	0,13	0,06	0,54	0,89	12,33	0,0002

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2013

2013

- Nr 786 Grönlund, Ö. & Eliasson, L. 2013. Knivslitage vid flisning av grot. Effects of knife wear on performance and fuel consumption for a small drum chipper. 12 s.
- Nr 787 Sonesson, J. & von Hofsten, H. 2013. Effektivare fältarbete med nya datakällor för skogsbruksplanering.
- Nr 788 Bhuiyan, N., Arlinger, J. & Möller, J.J. 2013. Kvalitetssäkring av beräkningsresultat från hprCM och konvertering av pri- till hpr-filer. – Quality assurance of calculation results from hprCM and conversion of prifiles to hpr files. 24 s.
- Nr 789 Brunberg, T. 2013. Bränsleförbrukningen hos skördare och skotare 2012. – Fuel consumption in forest machines 2012. 12 s.
- Nr 790 Eliasson, L. 2013. Skotning av hyggestorkad grot. 11 s.
- Nr 791 Andersson, G. & Frisk, M. 2013. Skogsbrukets transporter 2010. – Forestry transports in 2010. 91 s.
- Nr 792 Nordström, M. & Möller, J.J. 2013. Kalibrering av skördarens mätsystem. – En kartläggning av nuläge och utvecklingsbehov. A review of current status and development needs. 15 s.
- Nr 793 Lombardini, C., Granlund, P. & Eliasson, L. 2013. Bruks 806 STC. 0150 – Prestation och bränsleförbrukning. 9 s.
- Nr 794 Fridh, L. 2013. Kvalitetssäkrad partsmätning av bränsleved vid terminal. – Quality-assured measurement of energy wood at terminals.
- Nr 795 Hofsten von, H. & Brantholm, M.-Å. 2013. Kostnader och produktivitet i stubbskörd – En fallstudie. 9 s.
- Nr 796 Brunberg, T. & Iwarsson Wide, M. 2013. Underlag för prestationshöjning vid flerträds-hantering i gallring – Productivity increase after multi-tree handling during thinning. 7 s.
- Nr 797 Spatial distribution of logging residues after final felling. – Comparison between forest fuel adapted final felling and conventional final felling methods. Trädresternas rumsliga fördelning efter slutavverkning. – Jämförelse mellan bränsleanpassad och konventionell avverkningsmetod. 19 s.
- Nr 798 Möller, J.J., Arlinger, J. & Nordström, M. 2013. Test av StanForD 2010 implementation i skördare.
- Nr 799 Björheden, R. 2013. Är det lönsamt att täcka grotten? Effekten av täckpappens bredd på skogsbränslets kvalitet. – Does it pay to cover forest residue piles? The effect of tarpaulin width on the quality of forest chips. 15 s.
- Nr 800 Almqvist, C. 2013. Metoder för tidig blomning hos tall och gran. – Slutrapport av projekt 40:4 finansierat av Föreningen skogsträdsförädling. – Early strobili induction in Scots pine and Norway spruce. – Final report of Project no. 40:4, funded by the Swedish Tree Breeding Association. 26 s.
- Nr 801 Brunberg, T. & Mohtashami, S. 2013. Datoriserad beräkning av terrängtransportavståndet. – Computerised calculation of terrain transport distance. 8 s.
- Nr 802 Sonesson, J., Eliasson, L., Jacobson, S., Wilhelmsson, L. & Arlinger, J. 2013. Analyses of forest management systems for increased harvest of small trees for energy purposes in Sweden.

- Nr 803 Edlund, J., Jonsson, R. & Asmoarp, V. 2013. Fokusveckor 2013 – Bränsleuppföljning för två fordon inom ETTdemo-projektet, ST-kran och ST-grupp. – Monitoring fuel consumption of two rigs in the ETTdemo project, ST-crane and ST-group. 22 s.
- Nr 804 Iwarsson-Wide, M., Olofsson, K., Wallerman, J., Sjödin, M., Torstensson, P. O., Aasland, T., Barth, A. & Larsson, M. 2013. Effektiv volymuppskattning av biomassa i vägkanter och ungskogar med laserdata. – Effective estimate of biomass volume on roadsides and in young forests using laser data 40 s.
- Nr 805 Iwarsson-Wide, M., L., Bäfver, Renström, C. & SwedPower, P. 2013. Fraktionsfördelning som kvalitetsparameter för skogsbränsle – Kraft- och värmeverkens perspektiv. 38 s.
- Nr 806 Englund, M. & Jönsson, P. 2013. LED-lampor i såglådan – En pilotstudie. – LED lamps in the saw box – A pilot study. 8 s.
- Nr 807 Nordlund, A., Ring, E., Högbom, L. & Bergkvist, I. 2013. Beliefs among Formal Actors in the Swedish Forestry Related to Rutting Caused by Logging Operations. – Attityder och åsikter med koppling till körskador inom olika yrkesgrupper i skogsbruket 18 s.
- Nr 808 Arlinger, J. & Jönsson, P. 2013. Automatiska tidsstudier i skogsmaskinsimulator. – Driftuppföljning och produktionsdata enligt StanFord 2010. Automatic time-studies in forest machine simulators – Operational monitoring and production data according to StanForD 2010. 10 s.
- Nr 809 Englund, M., Mörk, A. & Jönsson, P. 2013. Skotartävling på Elmia – Kran- och motorinställningars påverkan på bränsleförbrukning och tidsåtgång. Forwarder contest at Elmia. – Effect of crane and engine settings on fuel consumption and speed of work. 9 s.
- Nr 810 Eliasson, L., Lombardini, C., Lundstruöm, H. & Granlund, O. 2013. Eschlböck Biber flishugg – Prestation och bränsleförbrukning – Rangering av fliscontainrar med en John Deere 1410 containerskyttel.
- Nr 811 Eliasson, L. 2013. En simulering av en integrerad skördare för förpackad flis vid energiuttag i gallring. – Simulation of an integrated harvester for pre-packaged chips during energy harvest in early thinning. 16 s.
- Nr 812 Englund, M. 2013. Test av stolar och tillbehör med avseende på helkroppsvibrationer. Test of seats and associated equipment in terms of whole-body vibrations. 32 s.
- Nr 813 Enström, J., Athenasiadis, D., Grönlund, Ö. Öhman, M. 2013. Framgångsfaktorer för större skogs bränsleterminaler. – Success factors for larger energy wood terminals. 37 s.
- Nr 814 Wennström, U. 2013. Holmens fröbehov, produktion och genetisk kvalitet 2012-2060. – Holmen's seed requirements: production and genetic quality 2012–2060. 50 s.
- Nr 815 Hannrup, B., Andersson, M., Larsson, J., Sjöberg, J. & Johansson, A. 2013. Slutrapport för projekt "Beröringsfri diametermätning i skördare – Utveckling av skräpreducerande skydd". Final report of the project 'Hands-free measurement of stem diameter in harvesters. – Development of waste-reducing protection'. 71 s.
- Nr 816 Eriksson, E. & Täljeblad, M. 2013. Prekal – Självföryngring före slutavverkning. – Slutrapport Försök 1–6. Prekal. – Natural regeneration before final felling. Final report, Experiments 1–6. 28 s.

2014

- Nr 817 John Arlinger, Torbjörn Brunberg, Hagos Lundström och Johan Möller. Jämförelse av JD1170E och JD1470E i slutavverkning hos SCA Skog AB hösten 2013. Comparison of JD1170E and JD1470E in final felling at SCA Skog AB, autumn 2013. 29 s.
- Nr 818 Bergkvist, I., Friberg, G., Mohtashami, S. & Sonesson, J. 2014. STIG-projektet 2010–2014. The STIG Project, 2010-2014. 19 s.
- Nr 819 Björheden, R. 2014. Studie av Fixteri FX15a klenträdsbuntare. – Study of Fixteri FX15a small-tree bundling unit. 21 s.
- Nr 820 Löfroth, C. & Brunberg, T. 2014. Bränsleförbrukningen hos rundvirkesfordon 2008 och 2013. Fuel consumption of roundwood vehicles in 2008 and 2013. 12 s.
- Nr 821 Jönsson, P., Hannrup, B., Gelin, O. & Löfgren, B. 2014. Utvärdering av sågenheten R5500 med avseende på kaptid och energiåtgång. Evaluation of the R5500 sawing unit in terms of bucking time and fuel consumption. 24 s.
- Nr 822 Eliasson, L. & Johannesson, T. 2014. Effekten av olika bottensäll på prestation, bränsleförbrukning och flisens fraktionsfördelning för flishuggarna Kesla 645 och Eschlböck Biber-92. – Effects of sieve size on chipper productivity, fuel consumption and chip size distribution for the chippers Kesla 845 and Eschlböck Biber-92. 18 s.
- Nr 823 Eliasson, L., Lombardini, C., Granlund, P., Magagnotti, N. & Spinelli, R. 2014. Prestation och bränsleförbrukning för en lastbilsmonterad Pezzolato PTH 1200/820 flishugg. – Performance and fuel consumption of a truck-mounted Pezzolato PTH 00/820 chipper. 12 s.
- Nr 824 Iwarsson- Wide, M. Grönlund, Ö. 2014. Lastindikatorer och lastbärarvägar. 15 s. – Load indicators and weighing devices on load carriers 12 s.
- Nr 825 Sikström, U. 2014. Föryngring av gran under högskärm: Försöksverksamhet vid Bergvik Skog – Uppföljning 2013. – Regeneration of Norway spruce under shelterwood: Comparison of two types of thinning at the preparatory felling. 48 s.
- Nr 826 Englund, M. 2014. Mätning av mental arbetsbelastning – En metodstudie. 27.
- Nr 827 Jönsson, P., Björheden, R. & Eliasson, L. 2014. Destinering och lägesbyten för att effektivisera transportererna av sko gsfis. – Destination and location exchange will reduce transportation distance. 11 s.
- Nr 828 Barth, A., Holmgren, J., Wilhelmsson, L. & Nordström, M. 2014. Evaluation of single tree based estimates with terrestrial laser scanning in Sweden.
- Nr 829 Jacobson, S. Asktilförsel och dess påverkan på trädens tillväxt och näringsstatus – Revision av sex fältförsök. 32 s.
- Nr 830 Björheden, R. 2014. Proceedings of the Nordic Baltic Conference OSCAR14. Solutions for Sustainable Forestry Operations, June 25-27, NOVA Park Conference, Knivsta, Sweden. – Proceedings från den Nordiska Baltiska konferensen OSCAR14 Solutions for Sustainable Forestry Operations, June 25–27, 2014, NOVA Park Conference, Knivsta, Sverige. 114 s.
- Nr 831 Widinghoff, J. 2014. Kontinuerlig uppföljning av drivmedelsförbrukning och lastfyllnadsgrad för ETT- och ST-fordon. – Continual monitoring of fuel consumption and load utilisation of ETT- and ST-vehicles. 21 s.
- Nr 832 Fridh, L. 2014. Utvärdering av fukthaltsmätare METSO MR Moisture Analyzer. Evaluation of the METSO MR Moisture Analyzer. 8 s.

- Nr 833 Eliasson, L., Lundström, H. & Granlund, P. 2014. Bruks 806 STC. – En uppföljande studie av prestation och bränsleförbrukning. – A performance and fuel consumption when chipping logging residues of beech 10 s.
- Nr 834 Sonesson, J., Berg, S., Eliasson, L., Jacobson, S., Widenfalk, O., Wilhelmsson, L., Wallgren, M. & Lindhagen, A. SLU. Konsekvensanalyser av skogsbrukssystem. – Täta förband i tallungskogar. 105 s.
- Nr 835 Eliasson, L. 2014. Flisning av bränsleved och delkvistad energived med en stor trumhugg–CBI6400.
- Nr 836 Johansson, F., Grönlund, Ö., von Hofsten, H. & Eliasson, L. 2014. Huggbilshaverier och dess orsaker. – Chipper truck breakdowns and their causes. 12 s.
- Nr 837 Rytter, L. & Lundmark, T. 2014. Trädslagsförsök med inriktning på biomassaproduktion – Etapp 2. – Tree species trial with emphasis on biomass production. 20 s.
- Nr 838 Skutin, S.-G. 2014. Simulering av TimberPro drivare med lastanordning i slutavverkning.
- Nr 839 Fridh, L. 2014. Evaluation of the METSO MR Moisture Analyser. – Utvärdering av fukthaltsmätare METSO MR Moisture Analyzer. s. 8.
- Nr 840 Andersson, G. & Svenson, G. 2014. Viktsutredningen del 2. Vägning för transportvederlag.
- Nr 841 Mullin, T. J. 2014. OPSEL 1.0: a computer program for optimal selection in forest tree breeding. s. 20.
- Nr 842 Persson, T. & Ericsson, T. 2014. Projektrapport. Genotyp – Miljösamspel hos tall i norra Sverige. – Projektnummer 133. 12 s.
- Nr 843 Westin, J., Helmersson, A. & Stener, L.-G. 2014. Förädling av lärk i Sverige – kunskapsläge och material. 55 s.
- Nr 844 Hofstten von, H., Nordström, M. & Hannrup, B. 2014. Kvarlämnade stubbar efter stubbskörd. 15 s.
- Nr 845 Pettersson, F. 2014. Röjnings- och gallringsförbandets samt gödslingsregimens (ogödslat/gödslat) effekter i tallskog på skogsproduktion och ekonomi. 69 s.
- Nr 846 Johannesson, T. 2014. Grövre bränsle en omöjlig uppgift? 13 s.
- Nr 847 Johannesson, T. 2014. Simulering av TimberPro drivare med lastanordning i slutavverkning Biomass Harvest and Drying Education Fond du Lac Reservation Cloquet, Minnesota. 13 s.
- Nr 848 Pettersson, F. 2014. Behovet av borttillsförsel vid kvävegödsling av barrskog på fastmark. 32 s.
- Nr 849 Jönsson, P., Eliasson, L. & Björheden, R. 2014. Location barter may reduce forest fuel transportation cost. Destinering och lägesbyten för att effektivisera transportererna av skogsflis. s 10.
- Nr 850 Englund, M., Häggström, C., Lundin, G. & Adolfsson, N. 2014. Information, struktur och beslut, – en studie av arbetet i gallringsskördare och skördetröska.
- Nr 851 Berlin, M., Ericsson, T. & Andersson-Gull, B. 2014. Plantval – Manual med implementeringsteknisk bakgrund. Plantval – Manual and background to technical implementation. 57 s.
- Nr 852 Jansson, G. & Berlin, M. 2014. Genetiska korrelationer mellan tillväxt- och kvalitetsegenskaper. – Genetic correlations between growth and quality traits. 26 s.
- Nr 853 Willén E. 2014. Mobilt mätsystem för insamling av träd- och beståndsdata. 35 s.

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

arbetar för ett lönsamt, uthålligt mångbruk av skogen. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiftelsen, gods, skogsmaskinföretagare, allmänningar m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

FORSKNING OCH UTVECKLING

Två forskningsområden:

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

UPPDRAG

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Det kan gälla utredningar eller anpassning av utarbetade metoder och rutiner.

KUNSKAPSFÖRMEDLING

För en effektiv spridning av resultaten används flera olika kanaler: personliga kontakter, webb och interaktiva verktyg, konferenser, media samt egen förlagsverksamhet med produktion av trycksaker och filmer.

Från Skogforsk nr. 852–2014



www.skogforsk.se