

REDOGÖRELSE

FRÅN SKOGFORSK NR. 1 2006



Förflyttningseffekter hos vit- och svartgran i norra Sverige

TRANSFER EFFECTS OF WHITE SPRUCE AND BLACK SPRUCE
FOR POSSIBLE REGENERATION IN THE NORTH OF SWEDEN

Johan Kroon & Ola Rosvall



Johan Kroon, jägmästare och doktorand

Anställd 2001 och har arbetat med fältförsök. Är sedan 2004 doktorand i skogsgenetik med stationering vid Skogforsk.



Ola Rosvall, Skog D, forskningsstationschef och skogsträdsförädlare

Anställd 1975 och har arbetat med skogskötselutveckling och skogsträdsförädling.

ABSTRACT

TRANSFER EFFECTS OF WHITE SPRUCE AND BLACK SPURCE FOR POSSIBLE REGENERATION IN THE NORTH OF SWEDEN

The establishment of a series of field trials was initiated in 1985 with hopes that white spruce could be a suitable tree in northern Sweden. Eight experimental sites were established with population samples of white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss), black spruce (*Picea mariana* (Mill) B.S.P), collected in many different parts of the area in which the species grow naturally, and of some populations of Norway spruce (*Picea abies* (Karst) L.). Optimal seed transfer and provenance differences, accounting for risk in transfer and long-term production, were analysed. Northward movement of seed over large distances gave rise to the tallest trees, whereas mortality and damage was unfavourable for especially white spruce. Neither white spruce nor black spruce gave a satisfying result to be regarded as an interesting alternative to Norway spruce for regeneration in the north of Sweden. However, the results showed that black spruce could be a useful complement to Norway spruce on sites that are particularly prone to frost.

Ämnesord: vitgran, *Picea glauca*, svartgran, *Picea mariana*, gran, *Picea abies*, förflyttningseffekt, artförsök, främmande trädslag, proveniensförsök.

Omslag: Johan Kroon (vitgranskottar & vitgranar i Storsjökapell)

Redaktör: Lars Åkerman

Ansvarig utgivare: Jan Fryk

Formgivning: Niclas Eklund

REDOGÖRELSE

Förflyttningseffekter hos vit- och svartgran i norra Sverige

TRANSFER EFFECTS OF WHITE AND BLACK SPRUCE FOR
REGENERATION IN THE NORTH OF SWEDEN

Johan Kroon & Ola Rosvall

Innehåll

Sammanfattning	3
Vitgran	3
Svartgran	3
Bakgrund	5
Material och metod	6
Revisioner och mätvariabler	6
Databearbetning	6
Regressionsfunktioner för höjd, överlevnad...	8
Riskindex och produktionsindex	8
Resultat	9
Höjdtvecklingen i plantskolan	9
Försöksvis jämförelse mellan arter	9
Trädhöjd och överlevnad	9
Toppskiften	11
Biotiska skador	12
Samlad regressionsanalys av proveniensskillnader hos vitgran	12
Reducerad förflyttning med hänsyn till risk	15
Totalproduktion	16
Toppskiften	17
Granbarrlus	17
Samlad regressionsanalys av proveniensskillnader hos svartgran	19
Reducerad förflyttning med hänsyn till risk	20
Totalproduktion	20
Toppskiften	21
Jämförelse mellan arter vid optimal förflyttning	21
Diskussion	22
Plantodling	22
Optimal förflyttning av vitgran	22
Optimal förflyttning av svartgran	23
Jämförelse mellan arter	24
Funktionernas säkerhet	25
Slutsats	26
Referenser	27
Bilaga 1–5	29

Contents

Summary	4
White spruce	4
Black spruce	4
Background	5
Materials and Methods	6
Measured traits	6
Analysis	6
Regression functions for height, survival...	8
Risk index and production index	8
Results	9
Early height in the nursery	9
A sitewise comparison between species	9
Tree height and survival	9
Spike knots	11
Biotic damages	12
A joint analysis for provenance differences of white spruce	12
Risk in seed transfer	15
Total production	16
Spike knots	17
Spruce gall aphids	17
A joint analysis for provenance differences of black spruce	19
Risk in seed transfer	20
Total production	20
Spike knots	21
Comparison between species at optimal seed transfer	21
Discussion	22
Early growth	22
Optimal transfer of white spruce	22
Optimal transfer of black spruce	23
Comparison between species	24
Reliability of functions	25
Conclusion	26
References	27
Appendix	29

Sammanfattning

Varken vit- eller svartgran förefaller att vara intressanta alternativ till vanlig gran för allmän skogsodling i norra Sverige. På speciellt frostutsatta lokaler kan dock svartgran vara ett bra komplement till den inhemska granen. Det visar resultatet av en serie fältförsök i Sverige.

Svartgran och vitgran är två viktiga skogsträd i hela norra Nordamerika. I de boreala skogarna är vitgran i sin ekologiska nisch jämförbar med vår skandinaviska gran. Vitgran är växtligare än svartgran, som i sin tur är anpassad till marginalområden. Vitgran är i det närmaste oprövad i norra Sverige och har givit förhoppning om att den skulle kunna vara lämplig där. För att studera dess odlingsvärde anlades därför år 1985 en serie fältförsök på åtta försökslokaler i norra Sverige, med 71 populationer av vitgran och 29 populationer av svartgran från stora delar av det naturliga utbredningsområdet. I försöksserien ingår också 8 populationer av vanlig gran. Trädhöjd och överlevnad mättes 2002 efter 18 år. För att ta hänsyn till risk för avgång respektive långsiktig produktion beräknades ett riskindex och ett produktionsindex genom att vikta tillväxt och överlevnad på olika sätt.

Vitgranen

Den hade i allmänhet stor dödlighet och låg kondition med fler skador än övriga trädslag, framförallt av granbarrlus och snöskytte. Den låga vitaliteten tilltog med ökad kärvhet hos odlingslokalen. Den dåliga överlevnaden och vitaliteten till trots var vitgranens tillväxt jämförelsevis god.

Populationer av vitgran från Klippiga bergen i Kanada var genomgående bäst. Lång nordförflyttning gav högst trädhöjd och optimalt förflyttningsav-

stånd varierade med planteringsplatsens temperaturklimat. Högst överlevnad uppnåddes med ännu längre nordförflyttning oberoende av klimatläge. Det bidrog till att ytterligare förlänga förflyttningsavståndet vid en sammanvägning av trädhöjd och överlevnad till ett risk- resp. produktionsindex. Dessa långa nordförflyttningar var inte negativt för andelen träd med toppskifte eller andelen träd med granbarrlus. Eftersom sydliga provenienser av vitgran klarat sig bättre och

skador men hade dock drabbats av toppskiften på samtliga lokaler och i större omfattning än andra arter, vilket är en artspecifik egenskap snarare än en effekt av proveniens. Resultaten visade att östliga (samtidigt sydliga) provenienser var bättre än västliga på milda lokaler med ett temperaturklimat över 800–900 dygngrader. På kärvare lokaler var västliga provenienser bättre. Ökad dödlighet vid nordförflyttning resulterade i att den optimala nordförflyttningen var kortare för att maxi-



Svartgran (vänster) och vitgran (höger) vid försökslokal Ätnarova. Foto: Jörgen Hajek

var mindre skadade i milda såväl som kärva lägen förefaller låg motståndskraft mot skadeorganismer vara orsak till vitgranens missanpassning snarare än bristande hårdighet.

Svartgranen

Svartgranen gav alltid ett friskt intryck. Den hade överlevt bra i alla klimatlägen, men i kärva lägen överlevde sydliga populationer sämre än nordliga. Svartgranen hade generellt lite

mera risk- och produktionsindex än för att maximera trädhöjd.

En jämförelse mellan de tre arterna vid optimalt proveniensval visade att svart- och vitgran hittills var bäst i kärva klimatlägen, medan den inhemska granen var bäst i de milda klimatlägena (>900 dygngrader). Men sammantaget och på lång sikt förefaller alltså varken vit- eller svartgran att vara intressanta alternativ till vanlig gran för storskalig skogsproduktion i norra Sverige.

Summary

Neither white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) nor black spruce (*Picea mariana* (Mill) B.S.P) is regarded as an interesting alternative to Norway spruce (*Picea abies* (Karst) L.) for regeneration in the north of Sweden. However, the findings of a series of field trials have shown black spruce to be a useful complement to Norway spruce on sites that are particularly prone to frost.

White and black spruce trees are grown widely throughout North America. White spruce is ecologically at home in the boreal forests, and is comparable to our Scandinavian Norway spruce. White spruce grows over a larger geographical area than black spruce, which has become adapted to marginal sites. There have been hardly any trials on white spruce in northern Sweden, but hopes have been harboured that the species might prove to be suitable there. A series of field trials were therefore set up in 1985 to study the growth of white spruce in the north. Eight experimental sites were established, and these included samples from 71 populations of white spruce and 29 of black spruce, with collected in from many different parts of the area in which the species grow naturally. Eight populations of Norway spruce were also included in the trials. Tree height and survival were monitored after 18 years (in 2002). To account for the risk of seedling mortality and to monitor long-term production, we calculated a risk index and a production index by applying different weightings to tree growth and survival.

White spruce

White spruce in general exhibited

high mortality, poor condition, and a higher level of damage—above all from the spruce gall aphid (*Sacchipiantes* sp.) and snow blight (*Phacidium infestans* L.)—than the other species. Tree vigour diminished with increasing harshness of the site. Yet despite its poor survival rate and vigour, white spruce exhibited comparatively healthy growth.

The best populations of white spruce throughout were those from the Rocky Mountains in Canada. Northern transfer of seed over large distances gave rise to the tallest trees, with the optimum distance varying with the heat sum of the planting site. The highest survival levels occurred in seed transferred north over even greater distances, which was true regardless of climate. This finding resulted in seed being moved even further north, after taking tree height and survival into consideration in the risk index and production index. Such long movement north did not adversely affect the percentage of trees with top kill or spruce gall aphids. Given that southern provenances of white spruce were found to exhibit superior survival and less damage in both mild and harsh climates, it is apparent that it is the low resistance to harmful organisms, rather than insufficient hardiness, that accounted for the unsuitability of white spruce indicated by in trials.

Black spruce

Black spruce always appeared to be healthy. It had a high survival rate in all climatic conditions, but southern provenances had a lower survival rate than those from the north. Black spruce generally exhibited little damage but was afflicted by top kill on all the

sites, and to a greater extent than in other species—a property peculiar to the species rather than a provenance effect. The findings revealed that eastern—and also southern—provenances grew better than western ones on mild sites having a heat sum of 800–900 degree-days. On sites with harsher conditions, western provenances fared better. Increased mortality following seed movement north resulted in the optimum distance being shorter, in order to maximize the risk and production indices, rather than the maximum tree height.

A comparison of the three species, given the optimum choice of provenance, showed that white and black spruce were superior in harsh climate conditions, whereas the domestic Norway spruce was best on sites having a mild climate (> 900 degree-days). However, overall and in the long term, it seems that neither the white nor the black spruce species is likely to constitute an attractive alternative to Norway spruce for large-scale production in the north of the country.

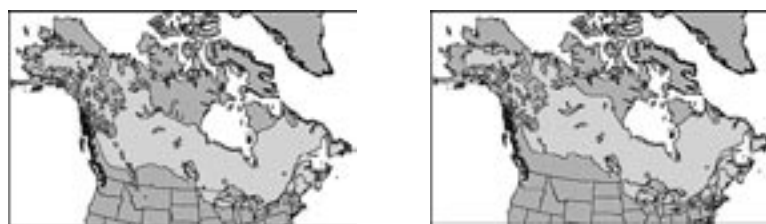
Bakgrund

Svartgran (*Picea mariana* (Mill) B.S.P) och vitgran (*Picea glauca* (Moench) Voss) är två viktiga skogsträd med vidsträckta utbredningsområden i norra Nordamerika, från Alaska i väster till Kanadas kust i öster. Deras förekomst följer den boreala nordgränsen, vilket innebär att utbredningen är mer nordlig i väster än i öster (figur 1). Det varierande klimatet inom detta vida område har gett upphov till en stor genetisk variation inom respektive art (Hannerz 1998, Ying & Morgenstern 1979). I motsvarande nordamerikanska proveniensförsök har inga klara adaptationsmönster kunnat påvisats över hela utbredningsområdet (Nienstaedt & Teich 1972, Morgenstern 1978). För västliga populationer har en klinal anpassning till fotoperiod och temperatur kunnat urskiljas, medan främst östliga populationer uppvisat en mer ekotypisk variation (Beaulieu et al. 2004, Morgenstern & Mullin 1990, Wei et al. 2004). Dessa försök ligger dessutom ofta i andra klimatområden jämfört med norra Sverige, vilket gör att resultaten inte är direkt överförbara till våra förhållanden.

Svartgranens förmåga att växa på försumpade marker i frostutsatta lägen har gjort att denna redan tidigt varit av intresse för skogsodling i södra Sverige. I norra Sverige finns ett fåtal äldre trädslagsförsök där svartgran ingår (Remröd et al. 1976). I dessa och yngre nordsvenska trädslagsförsök har svartgranen högre överlevnad och snabbare höjdtillväxt än gran men förväntas ha lägre produktion på längre sikt (Rosvall & Hajek 1992).

Baserat på en försöksserie med provenienser från både västra och östra Nordamerika anlagd av SCA 1968-1974 och utvärderad av Haara & Ingman (1984) presenterade Rosvall

(1988) förslag till generell förflyttningsrekommendation för svartgran i norra Sverige. Nordförflyttning av västliga populationer rekommenderades. Optimal förflyttning varierade mellan 0 och 8 breddgrader (med kortare förflyttning i kallt klimat och längre i mildt klimat). Även Ståhl et al. (1993) drog slutsatsen att västliga provenienser bör väljas i norra Sverige (med nordligare material ju kärvare klimatet är på lokalen som skall planteras). En förnyad mätning och analys av ett flertal variabler i SCA:s serie gjordes år 2004 (efter mer än 30 år i fält). Emellertid framkom inga entydiga



Figur 1. Utbredningen av vitgran (vänster) och svartgran (höger) i Nordamerika (U.S. Geological Survey 1999) är likartad för de båda arterna.

skillnader mellan proveniensområden annat än att populationer från hög altitud i västra Nordamerika var mer trögväxande (Lundström 2004).

Vitgranen finns inte representerad annat än undantagsvis i äldre försöks-serier i norra Sverige (Stefansson 1957, Remröd 1979 och Alenius & Lindgren 1981) och då med olämpliga provenienser. Det omnämns av Stefansson (1957) att vitgran på Avarde-fjället inte motsvarat sitt rykte som vindhärdigt trädslag. Vitgranen i Nordamerika är ett växtligare träd än svartgranen och har med sin stora och något nordligare utbredning givit förhoppning om att den med rätt proveniens skulle

kunna vara lämplig i norra Sverige med god härdighet och hög produktion.

Mot den bakgrunden anskaffades i början av 1980-talet ett omfattande frömaterial från hela utbredningsområdet. Ett plantskoleförsök anlades 1983 med syftet att studera tillväxtrytm och frostkänslighet mellan vitgran, svartgran och gran. Försöket skulle vägleda vid val av provenienser för fältförsök. Denna studie gav dock inga tydliga signaler för att basera ett urval för fältförsök. För de fältförsök som planterades ut 1985 valdes därför ett mer förutsättningslöst synsätt, varvid nästan hela materialet vitgran planterades

tillsammans med svartgran och vanlig gran (Rosvall 1985). Granen i försöksserien har analyserats separat av Kroon & Rosvall (2004).

Syftet med det här arbetet var att baserat på fältdata vid 15 års ålder analysera trädslagets utveckling, utreda vilka provenienser som är lämpliga och om möjligt beräkna optimala förflyttningsavstånd på olika lokaler i norra Sverige.

I fortsättningen används termen *population* för de enskilda individerna från en geografisk lokal samt frö från dessa. *Proveniens* är det geografiska ursprunget på en population (efter Rehfeldt et al. 1999).

Material och Metod

Proveniensförsöksserien med vitgran, svartgran och vanlig gran anlades 1985 på åtta lokaler i norra Sverige på olika breddgrader (figur 2) och i olika temperaturregioner (figur 3). Fem av försöken återfinns i låglägen, varav ett på en utvald frostlänt mark, och tre i höglägen (tabell 1). Plantorna planterades med randomisering utan blockindelning i respektive försök.

I serien ingår 71 populationer av vitgran (*Picea glauca* (Moench) Voss) och 29 populationer av svartgran (*Picea mariana* (Mill) B.S.P) samt ett referensmaterial med 8 populationer av vanlig gran (*Picea abies* (Karst) L.) (bilaga 1-3). Femton av svartgranpopulationerna är gemensamma med dem i SCA:s svartgranserie (Haara & Ingman 1984, Lundström 2004).

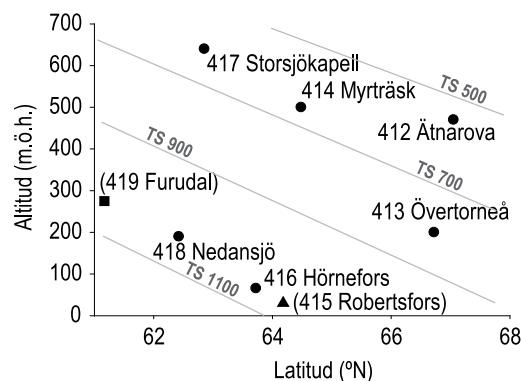
Plantorna odlades vid Skogforsks plantskola i Sävar. För att motverka att försöksplantorna redan vid odlingen i plantskolan skulle få en proveniensbetingad skillnad i storlek som beror av plantskolans dag/natt-förhållande, tillämpades ljusstyrning. Plantorna odlades under långdagsförhållanden följt av artificiell invintring med lång natt i växthus utan omskolning. Försöksplantorna planterades ut med randomisering utan blockindelning på harvade marker med 2,2 x 2 m eller 2 x 2 förband (beroende på vilken markberedningsmaskin som användes). Ungefär 10–20 plantor per population planterades i försöken (bilaga 1). En komplett redovisning av försöksserien återfinns i Kroon & Rosvall (2004).

REVISIONER & MÄTVARIABLER

Denna studie baseras på data från revision av försöksserien år 2002. Det var den första totalmätningen av höjd (tidigare har stickprovsmätningar gjorts). Oberoende av när mätningen ägde



Figur 2. Försökslokalernas geografiska läge (latitud på vänstra skalan).



Figur 3. Försökslokalerna inlagda i Odins temperatursummenomogram (temperatursumma=TS) (Odin et al. 1983).

Tabell 1. Försökslokalerna i 1985 års försöksserie. Temperatursumma beräknad efter Ericsson et al. (2002).

Försökslokal	Försöksnr	Latitud (°N)	Longitud (°O)	Altitud (m.ö.h.)	Temperatursumma (dygngrader)
Furudal	419	61,17	15,07	275	1070
Nedansjö	418	62,42	16,90	190	1070
Storsjökapell	417	62,85	13,23	640	650
Hörnefors	416	63,72	19,93	65	1090
Robertsfors	415	64,18	20,88	30	1080
Myrträsk	414	64,48	17,90	500	680
Övertorneå	413	66,72	23,50	200	840
Ätnarova	412	67,05	20,30	470	560

rum mättes enbart höjden upp till och med 2001 års skottsträckning. Dessutom taxerades plantornas kondition, de mest frekventa skadorna samt antal toppskiften (tabell 2). Ett träd kunde ha flera skador samtidigt.

En överlevnadsinventering av försöksserien gjordes efter första växtsäsongen hösten 1985. Då gjordes bedömningen att dödligheten inte hade något samband med proveniens utan med problem vid etableringen, t.ex. att vissa plantor var i dålig kondition eller att markförhållandena tillsammans med de rådande väderförhållandena

försvårat plantornas etablering. Överlevnaden har därför räknats utifrån antalet etablerade plantor hösten 1985.

DATABEARBETNING

All bearbetning av data har gjorts i enlighet med Kroon & Rosvall (2004) (där enbart granen ingick i analysen). Samma antagande om modellerna gjordes och data analyserades med Mixed procedure med REML-variansskattningar i SAS (SAS 1999) efter Andersson et al (2003). På samma sätt som i den studien har det frostskadade försöket i Robertsfors och det

konkurrensutsatta försöket i Furudal inte ingått i analysen. Till följd av den naturliga utbredning av vit- och svartgran i Nordamerika är korrelationen mellan de olika populationernas ursprungs latitud och ursprungs longitud hög (vilket framgår i *bilaga 2*). För att underlätta analysen delades därför vit- och svartgranpopulationerna in i fem geografiska proveniensområden; *Alaska, Klippiga bergen, Alberta, Saskatchewan* och *Öst (bilaga 3)*. Svartgran var inte representerad i Alberta och i Saskatchewan ingick endast en svartgranpopulation, vilken motsvarar Manitobapopulationen i Lundström (2004). Två svartgranprovenienser med okänt ursprung från SCA-serien kallas *SCA-population*.

Inledningsvis gjordes en jämförelse av arter och populationer med enkla försöksmedelvärden. För höjd beräknades *LS-means* med Proc Glm och för kondition och skador beräknades aritmetiska medelvärden med Proc Summary resp. Proc Tabulate i SAS (SAS 1999). I ett andra steg gjordes en samlad bearbetning över

hela försöksserien med regressionsanalys. För svartgran valdes att analysera alla svartgransområden som en enhet med en enda regressionsanalys. Detta gjordes eftersom förstudien visade att det fanns ett påfallande tydligt samband mellan populationsmedelvärden och ursprungs latitud för svartgran oavsett proveniensområde (*bilaga 5*). Motsvarande enhetliga mönster kunde inte konstateras för vitgran. För vitgran gjordes istället först en samlad regressionsanalys för enbart trädhöjd över alla proveniensområden. Därefter gjordes en regressionsanalys med populationer från enbart det bästa proveniensområdet för samtliga egenskaper. Genom att gå vidare med det bästa proveniensområdet i den samlade bearbetningen hoppades vi även kunna separera effekter som var korrelerade med proveniensområde.

Följande förklarande oberoende variabler testades i olika regressionsfunktioner: *Lokalens temperaturklimat*, karakteriserad av temperatursumman, beräknad på samma vis som i "*Val av skogsodlingsmaterial*" (Ericsson et al. 2002) (tabell 1); *Lokalens latitud*, som

mått på försökslokalens fotoperiodiska förhållande; *Populationens latitudförflyttning*=(försökslokalens latitud)-(populationens ursprungs latitud); *Populationens altitudursprung*; *Populationens longitudursprung*; *Planthöjden*=populationens aritmetiska medelhöjd i plantskolan efter 2 års odling. I fortsättningen används termen *nollförflyttning* för den latitudförflyttning en tänkt lokal population skulle ha haft. De slutliga regressionsfunktionerna valdes med hänsyn till modellansatsens logik, variabelernas signifikans och att residualerna var jämnt fördelade kring funktionen.

Vid bearbetningen av trädhöjd togs inte svårt skadade träd i skadeklass 3 med. Kategoriska data såsom överlevnad och skador transformerades till "normal score" (normalfördelnings-skala) (Danell 1988). Vid återtransformering från normal score till överlevnad valdes nivån vid nollförflyttning till 75 % för svartgran och 65 % för vitgran, vilket i stort representerar försökens medelvärden. För att bättre bedöma risk och total produktion skapades en ny beroende variabel från de sortvisa

Tabell 2. Mätvariabler vid inventeringen 2002.

Kondition	För trädets överlevnad och tillväxt: 1 = Ingen eller obetydlig vitalitetsnedsättning. 2 = Betydande vitalitetsnedsättning som kan inverka på trädets överlevnad eller tillväxt. 3 = Svår vitalitetsnedsättning som kraftigt påverkar trädets överlevnad eller tillväxt. 4 = Trädet är dött eller saknas.
Trädhöjd	Höjd i cm, från terminalskottknopp till mark (ev. skottskjutning 2002 togs inte med).
Skada	Kodbeteckning för skada, enligt Karlman et al. (1982).
Antal toppskiften	0-5 (9). På träd med en höjd (år 2001) högre än 2 m: Antal tydliga toppskiften de senaste 5 åren, räknas från toppen ned till 5:e grenvarvet. På mycket buskiga träd med en otydlig genomgående stam sattes "9".
U-tryck (mättes endast i försök 419 Furudal)	Plantans undertryckthet: 1. Obetydlig. 2. Betydande. 3. Svår. 4. Dödande. På klasserna 3 och 4 mättes ingen höjd.

blockmedelvärdena inom respektive försök. Alla beräkningar för höjd och överlevnad är gjorda på enskilda träd. För en jämförelse med traditionella proveniensförsök gjordes beräkningar för höjd även på populationsmedelvärden.

REGRESSIONSFUNKTIONER FÖR HÖJD, ÖVERLEVAD OCH SKADOR

I analysen av samtliga vitgranpopulationer indelade i proveniensområden valdes funktion [1] som gav bäst anpassning till trädhöjd. För analys av vitgranpopulationer i det bästa proveniensområdet (Klippiga bergen) gav funktion [2] bäst anpassning till trädhöjd och funktion [3] bäst anpassning till överlevnad. För svartgran gav funktion [2] bäst anpassning till trädhöjd och funktion [4] bäst anpassning till överlevnad. Vid regressionsanalys av skador för vitgranpopulationer från Klippiga bergen erhöles de bästa anpassningarna till data med funktion [5] för toppskifteandel och med funktion [6] för granbarrlusandel:

$$\ln y_{ijk} = \beta_{op} + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1^2 X_1 + \beta_{12p} X_1 X_2 + \mu_i + \gamma_{i(j)} + \epsilon_{ijk} \quad [1]$$

$$\ln y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \mu_i + \gamma_{i(j)} + \epsilon_{ijk} \quad [2]$$

$$nsc \gamma_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_2 X_2 + \mu_i + \gamma_{i(j)} + \epsilon_{ijk} \quad [3]$$

$$nsc \gamma_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_{12} X_1 X_2 + \mu_i + \gamma_{i(j)} + \epsilon_{ijk} \quad [4]$$

$$nsc \gamma_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \mu_i + \gamma_{i(j)} + \epsilon_{ijk} \quad [5]$$

$$nsc \gamma_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \mu_i + \gamma_{i(j)} + \epsilon_{ijk} \quad [6]$$

där y_{ijk} i funktion [1] och [2] är trädhöjd (logaritmerad) i cm på det individuella trädet i försök i och block j , p i funktion [1] är index för proveniensområde, $\gamma_{i(j)}$ i funktion [3]–[6]

är överlevnad fr.o.m. etablering samt skadeandel (normal score) på det individuella trädet i försök i och block j , β_0, β_1, \dots är regressionskoefficienter, X_1 är populationens förflyttningslängd i breddgrader, X_2 är lokalens temperatursumma (dividerad med 100) och $X_1 X_2$ är samspelseffekten av X_1 och X_2 . Termerna $\mu_i, \gamma_{i(j)}$ and ϵ_{ijk} representerar den slumpmässiga avvikelser mellan försök och mellan block inom försök samt mellan träd inom block inom försök, med $E(\mu) = E(\gamma) = E(\epsilon) = 0$, $V(\mu) = \sigma_\mu^2$, $V(\gamma) = \sigma_\gamma^2$ and $V(\epsilon) = \sigma_\epsilon^2$.

Populationernas ursprungsalteud och ursprungslongitud var i olika grad korrelerad med huvudvariablerna (effekt av latitud) i analysen, såsom longitud med latitud samt altitud med latitud (*bilaga 2*). Effekten av dessa variabler var därför svår att renodla från huvudvariablerna eller var inte signifikanta och togs därför inte med i funktionerna.

RISK- OCH PRODUKTIONSINDEX

I det boreala området är trädens anpassning till odlingslokalens kärvhet en starkt begränsande faktor för trädens tillväxt. Hur ett lokalt anpassat material påverkas av förflyttning kan vägas mot dess potentiella tillväxt på den nya odlingslokalen. Detta kan uttryckas som den risk för tillväxtstörning som kan uppkomma p.g.a. en klimatisk missanpassning (Campbell 1983, Rehfeldt 1988). Denna risk vid förflyttning har använts vid proveniensstudier under boreala förhållanden i t.ex. Raymond & Lindgren (1986). För att väga in risken vid nordförflyttning i denna studie användes ett enkelt index, som beaktar både tillväxt och överlevnad. Indexet beräknades för de enskilda populationerna i respektive försök enligt:

$$r = h \cdot s \quad [7]$$

där r är riskindex i cm, h är den beräknade trädmedelhöjden per block och s är den beräknade medelöverlevnaden per block för en population.

För att skatta effekt av förflyttning på granens hittills uppnådda totalproduktion användes "Björgungs index". Indexet antas här också vara en approximativ skattning av den produktionspotential som ett material besitter. Björgung (1959) visade att volymen per ha kan uppskattas med:

$$v = k (\sqrt{n} \cdot h^2) \quad [8]$$

där v är volym per hektar, n är stamantalet per hektar, h är beståndets medelhöjd och k är en konstant, som kan variera från plats till plats. Här beräknades indexet enligt [8] med blockmedelvärden per försök för respektive population och istället för stamantalet, n , användes den relativa överlevnaden, s , eftersom förbandet var lika för alla sorter.

Det beräknade risk- och produktionsindexet användes som beroende variabel i en regressionsanalys. Bästa anpassning av data gav då funktion [9] för både vitgran och svartgran.

$$\ln y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \mu_i + \gamma_{i(j)} + \epsilon_{ijk} \quad [9]$$

där y_{ijk} är risk- och produktionsindex beräknade enligt [7] resp. [8] i försök i och block j , β_0, β_1, \dots är regressionskoefficienter, X_1 är populationens förflyttningslängd i breddgrader, X_2 är lokalens temperatursumma (dividerad med 100) och $X_1 X_2$ är samspelseffekten av X_1 och X_2 . Termerna $\mu_i, \gamma_{i(j)}$ and ϵ_{ijk} representerar den slumpmässiga avvikelser mellan försök och mellan block inom försök samt mellan träd inom block inom försök, med $E(\mu) = E(\gamma) = E(\epsilon) = 0$, $V(\mu) = \sigma_\mu^2$, $V(\gamma) = \sigma_\gamma^2$ and $V(\epsilon) = \sigma_\epsilon^2$.

Resultat

HÖJDUTVECKLINGEN I PLANTSKOLAN

För svartgran (och gran) var plantor från sydliga populationer längre än från nordliga efter två års odling i plantskola. Plantor av vitgran däremot hade inte differentierats under odlingen och det fanns inget samband mellan plantornas längd och populationernas ursprung (figur 4).

FÖRSÖKSVIS JÄMFÖRELSE MELLAN ARTER

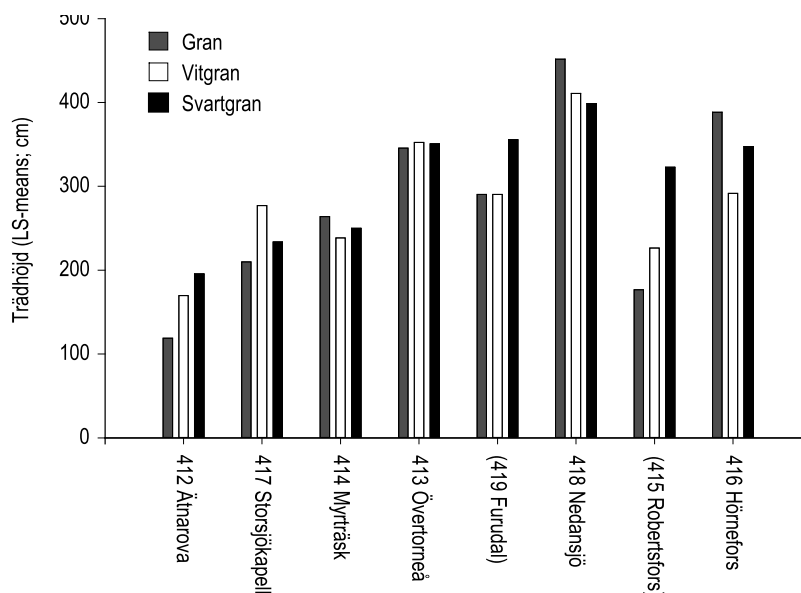
Trädhöjd och överlevnad

Vid analys av enkla medelvärden varierade trädhöjden mycket mellan de olika försöken (figur 5). Lokala temperaturklimat har påverkat höjdutvecklingen, men också andra lokala förhållanden har haft betydelse. Försöksmedelvärdena för trädhöjd och försökens temperatursumma var således starkt korrelerade (figur 6).

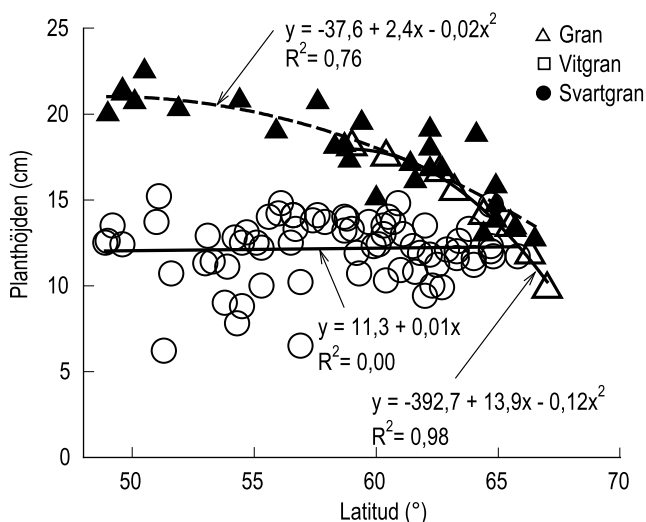
Skillnader mellan trädslagen i resp. försök var signifikanta i de flesta fall ($p < 0,05$) men inte i 418 Nedansjö och

413 Övertorneå och inte mellan gran och svartgran i 414 Myrträsk samt mellan vitgran och gran i 419 Furudal. De största skillnaderna mellan trädslag fanns i det frostskadade 415 Robertsfors där svartgranen blev 43 % högre än vitgranen och 83 % högre än granen.

Inget trädslag var genomgående bäst och i genomsnitt för försöken (utom 415 Robertsfors och 419 Furudal) var skillnaden mellan trädslag inte signifikant. Det fanns dock en tendens till att svart- och vitgran växt bättre än gran i kallt och sämre i varmt klimat (figur 6).



Figur 5. Försöksmedelvärden för trädhöjd sorterade efter stigande temperatursumma (där Ätnarova är kallast och Hörnefors varmest).



Figur 4. Effekt av latitudursprung på planthöjd efter två års odling av olika populationer hos svart- och vitgran samt vanlig gran. Plantskolan i Sävar är belägen på latitud 63,9.

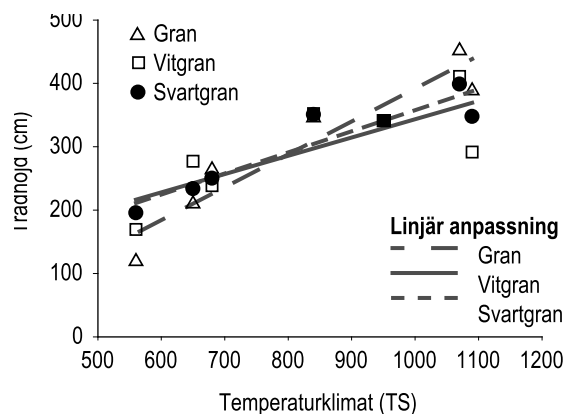
Tabell 3. Trädslagsvis andel toppskiften (%) i respektive försök

Försök	Svartgran	Vitgran	Gran
412	24	7	0
413	40	14	29
414	18	6	2
416	21	13	12
417	16	9	4
418	43	23	14

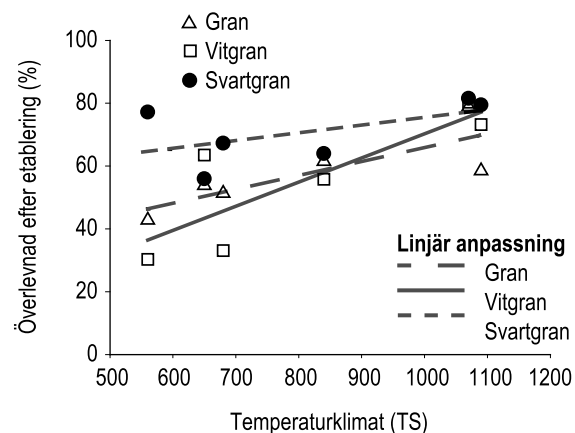
Plantorna i försöken på kärvare lokaler hade klarat etableringsfasen (till första hösten efter plantering) nästa helt utan någon avgång (svartgran uppvisade dock små avgångar). På mildare lokaler uppträdde större avgångar för samtliga trädslag under etableringsfasen (figur 7). Men endast i det hårt frostskadade försöket 415 Robertsfors

var dödligheten hög och samtliga arter var drabbade. Efter etableringen ökade avgången och lokalens kärvhet förefaller att ha haft betydelse för den fortsatta dödligheten. Avgången ökade i genomsnitt med 39%-enheter (undantaget 415 Robertsfors och 419 Furudal). Räknet efter etableringssäsongen hade svartgran lägst avgång med

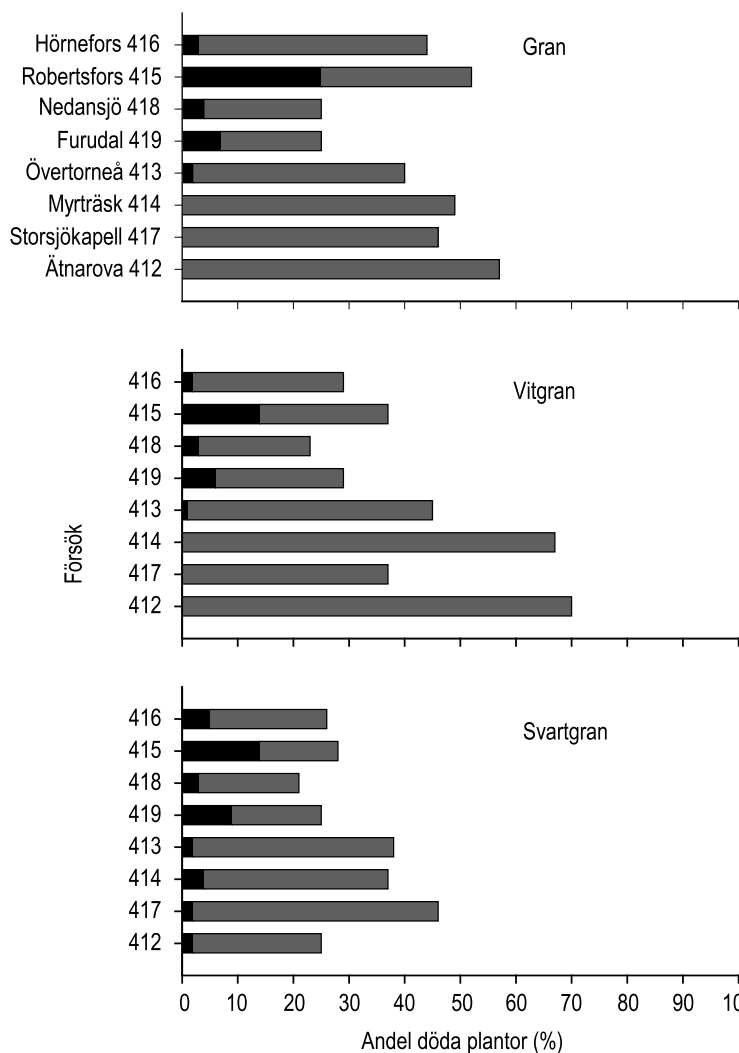
32 % mot 44 % för gran och 45 % för vitgran. För vitgranen ökade dödlighet mer med ökad kärvhet än för gran och svartgran. Svartgran hade klarat kärva lägen bäst (figur 8). I 417 Storsjökapell hade 7 % av svartgranarna betats. Förhållandena för försöket var dock speciella, eftersom det är omgivet av en tät ungskog av contortatall (*Pinus*



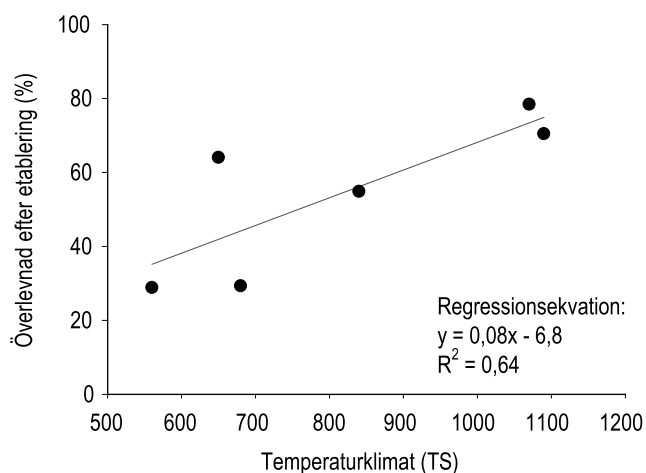
Figur 6. Samband mellan trädhöjd (försöksmedelvärden) och försökslokals temperaturklimat.



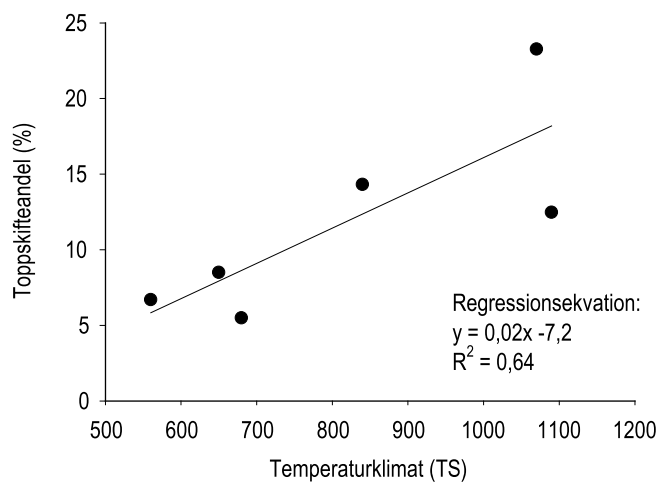
Figur 8. Samband mellan överlevnad (försöksmedelvärden efter etablering) och försökslokals temperaturklimat.



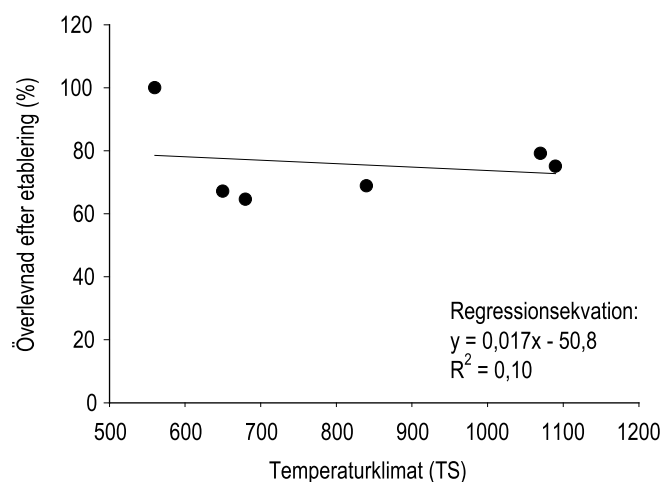
Figur 7. Försöksmedelvärden för plantavgång. Den svarta delen av stapeln anger döda fram till etablering – efter en växtsäsong. Försöken redovisas efter stigande temperatursumma.



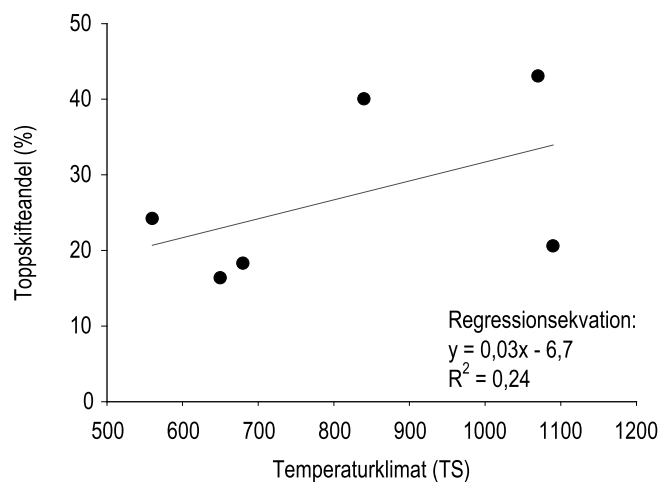
Figur 9. Samband mellan överlevnad hos vitgrän vid nollförflyttning (avläst i *bilaga 4*) och försökslokalens temperaturklimat.



Figur 11. Samband mellan toppskifteandel (försöksmedelvärden) och försökslokalens temperaturklimat hos vitgrän.



Figur 10. Samband mellan överlevnad hos svartgrän vid nollförflyttning (avläst i *bilaga 4*) och försökslokalens temperaturklimat.



Figur 12. Samband mellan toppskifteandel (försöksmedelvärden) och försökslokalens temperaturklimat hos svartgrän.

contorta Dougl.). Här hade uppenbarligen svartgränen varit en mer omtyckt föda för vilda djur. Viltskador på just svartgrän framhålls dock av Kardell (2004).

Analysen av överlevnaden påverkas dock av att populationerna förflyttas mer till nordliga än sydliga lokaler.

Genom att istället analysera avgång/överlevnad för populationer med ungefär samma ursprungslatitud som respektive försökslokal (nollförflyttning) blir jämförelsen mellan arter mer rättvis. Vid nollförflyttning var den genomsnittliga överlevnaden efter etablering ca 75 % för svartgrän och 65 %

för vitgrän (se *bilaga 4*). För vitgrän (*figur 9*) men inte för svartgrän (*figur 10*) ökade överlevnaden med ökad temperatursumma.

Toppskiften

Frekvensen toppskiften på de fem översta grenvarven varierade mellan

Tabell 4. Andel skador i respektive försök (%). Svartgran (S) och Vitgran (V).

Skadetyper	412 Åtnarova		413 Övertorneå		414 Myrträsk		416 Hörnefors		417 Storsjökapell		418 Nedansjö	
	S	V	S	V	S	V	S	V	S	V	S	V
Gremmeniella			3		5	6						2
Snöskytte	3	22	5	19						5		
Granbarrlus		10		12		3		18		12		19
Höstkrost					11	7						
Vårfrost							5	7				3
Grankotterrost	3						5				10	1
Betesskador									7	2		
Stambrott			7								4	
Antal mätta träd	384	329	340	629	340	347	398	851	298	707	375	774

Tabell 5. Trädhöjd (ln trädhöjd) enligt [1]. p=proveniensområde (Ala=Alaska, Alb=Alberta, Klb=Klippiga bergen, Ost=Öst och Sas=Saskatchewan).

Variabler	Koefficient	p	Skattning	Medelfel	p-nivå
Intercept _{grp}	β_0	Ala	4,7332	0,4071	<0,0001
		Alb	4,7300	0,4130	<0,0001
		Klb	4,7266	0,4081	<0,0001
		Ost	4,0990	0,4513	<0,0001
		Sas	4,6335	0,4141	<0,0001
Latitudförflyttning (dlat)	β_1		-0,00559	0,008688	0,5198
Temperatursumma (TS)	β_2		0,09767	0,04834	0,0434
dlat*dlat*TS	β_3		-0,00026	0,000062	<0,0001
(dlat*TS) _{grp}	β_{3p}	Ala	0,001783	0,001023	0,0814
		Alb	0,002711	0,001395	0,0521
		Klb	0,004709	0,000935	<0,0001
		Ost	0,009036	0,001489	<0,0001
		Sas	0,004354	0,001152	0,0002
Varians mellan försök			0,05629		
Varians mellan block inom försök			0,09768		
Residualvarians (oförklarad varians)			0,1688		
Den beroende variabelns totala varians			0,25113		

de olika försöken (*tabell 3*). Svartgran hade mycket större andel toppskiften jämfört med vitgran. Den genomsnittliga nivån var 27 % för svartgran och 12 % för vitgran. För båda arterna

ökade toppskifteandelen med ökad temperatursumma (*figur 11* och *12*).

Biotiska skador

De mest frekventa skadorna var snö-

Tabell 6. Förklaringsgrad för de ingående effekterna i tabell 5.

Effekter (% av total variation)	Trädhöjd [1]
Fixa effekter	7 %
Mellan försök och mellan block inom försök	26 %
Residualvarians	67 %

skytte och granbarrlus (*tabell 4*). Relativt få skador av olika skadeorganismer hade registrerats och det var stor skillnad i andel skadade träd mellan försöken. Granbarrlus fanns i samtliga försök medan snöskytte hade registrerats i de tre inlandsförsöken. Förutom för granbarrlus fanns det inga påvisbara samband mellan skada och populationsursprung.

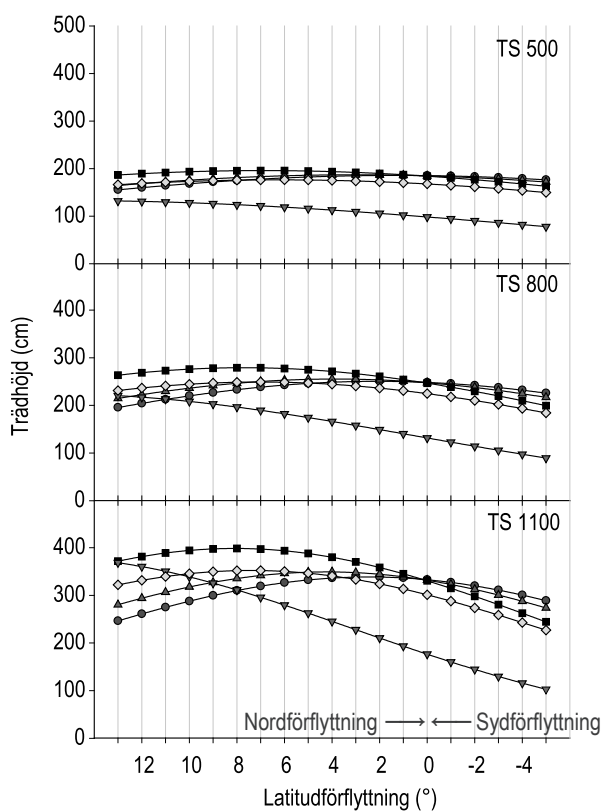
SAMLAD REGRESSIONSANALYS AV PROVENIENSSKILLNADER HOS VITGRAN

Bästa proveniensområde analyserades med en modell för enbart trädhöjd. Regressionsanalysen för trädhöjd gav då en funktion med skattade parametrar enligt *tabell 5* och förklaringsgrad

enligt tabell 6. Populationens latitudförflyttning och lokalens temperaturklimat utgjorde de fixa effekterna medan försök och block inom försök samt residualerna utgjorde de slumpmässiga effekterna i funktion [1].

Höjdtutvecklingen för populationerna i respektive proveniensområde visas för tre olika temperaturklimat, i figur 13. I samtliga temperaturklimat var populationer från Klippiga bergen bäst och östliga sämst.

Separat analys av vitgranpopulationer från proveniensområde Klippiga



Figur 13. Sambandet mellan trädhöjd, latitudförflyttning och temperaturklimat (TS = temperatursumma) för proveniensområdena hos vitgran enligt [1]. Verkliga data från proveniensområde Öst omfattar endast de allra längsta förflyttningarna.

Tabell 7. Regressionsfunktion för trädhöjd (ln trädhöjd) för proveniensområde Klippiga bergen enligt [2].

Variabler	Koefficient	Skattning	Medelfel	p-nivå
Intercept	β_0	4,6936	0,4526	0,0005
Latitudförflyttning	β_1	0,03006	0,01713	0,0797
(Latitudförflyttning) ²	β_{11}	-0,00258	0,000569	<0,0001
Temperatursumma (TS)	β_2	0,09815	0,05343	0,0664
Latitudförflyttning x TS	β_{12}	0,001466	0,001463	0,3164
Varians mellan försök		0,06593		
Varians mellan block inom försök		0,01339		
Residualvarians (oförklarad varians)		0,1539		
Den beroende variabelns totala varians		0,245799		

Tabell 8. Regressionsfunktion för trädens överlevnad (kondition i "normal score"-skala) för proveniensområde Klippiga bergen enligt [3].

Variabler	Koefficient	Skattning	Medelfel	p-nivå
Intercept	β_0	3,3344	0,6355	0,0063
Latitudförflyttning	β_1	0,09630	0,03238	0,0031
(Latitudförflyttning) ²	β_{11}	-0,00463	0,001080	<0,0001
Temperatursumma (TS)	β_2	0,1864	0,07465	0,0128
Latitudförflyttning x TS	β_{12}	-0,00096	0,002728	0,7253
Varians mellan försök		0,1265		
Varians mellan block inom försök		0,01050		
Residualvarians (oförklarad varians)		0,2769		
Den beroende variabelns totala varians		0,486545		

Tabell 9. Förklaringsgrad för de ingående effekterna i tabell 7 och 8.

	Trädhöjd [2]		Överlevnad [3]
Effekter (% av total variation)	Individ-nivå	Populations-nivå	Individ-nivå
Fixa effekter	4 %	37 %	4 %
Mellan försök och mellan block inom försök	33 %	39 %	8 %
Residualvarians	63 %	24 %	88 %

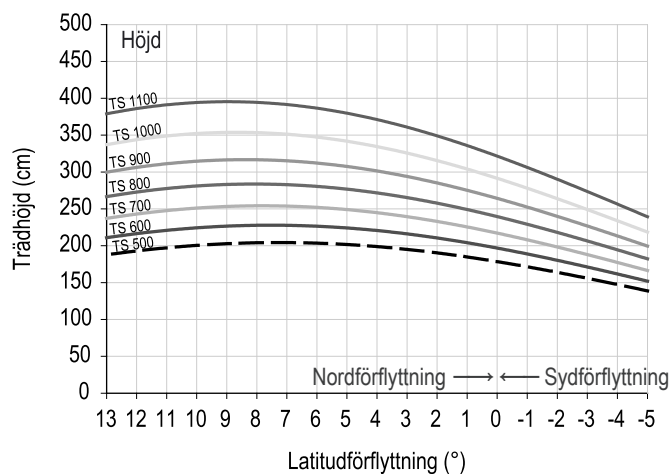
bergen gav en funktion med skattade parametrar enligt *tabell 7* för höjd och *tabell 8* för överlevnad. Förklaringsgrad för funktionerna beräknade för enskilda träd samt för populationsmedelvärden redovisas i *tabell 9*.

Den optimala förflyttningsläng-

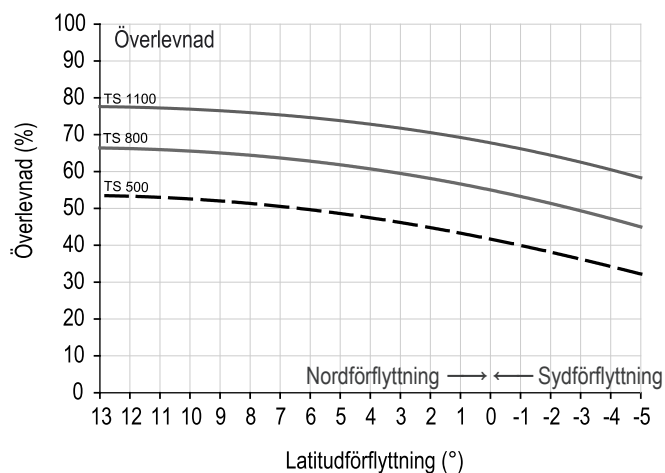
den för trädhöjd för populationer från Klippiga bergen blev nästan densamma oberoende av klimatläget och varierade mellan 7 breddgrader i det kärnvaste klimatläget och 9 breddgrader i det mildaste (*figur 14*). Den relativa effekten på trädhöjd av dessa

förflyttningar varierade mellan 14 och 23 % i jämförelse med populationer från samma breddgrad som planteringslokalen (nollförflyttning) (*figur 15*).

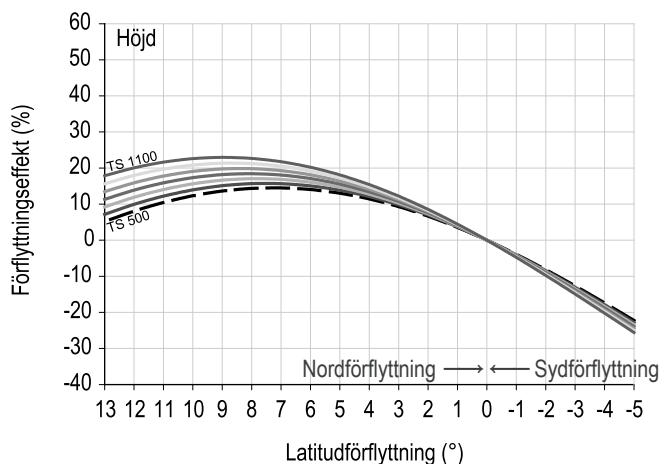
Nordförflyttning av populationer från Klippiga bergen ökade överlev-



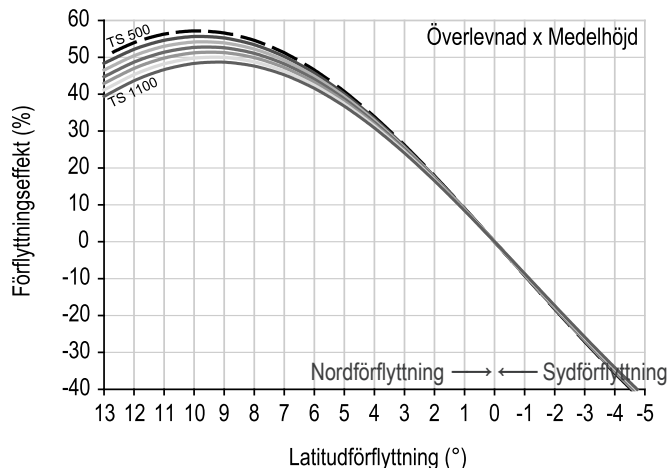
Figur 14. Effekten av latitutförflyttning på trädhöjd vid temperatursummor (TS) mellan 500 och 1100 dygngrader för vitranspopulationer från Klippiga bergen.



Figur 16. Förflyttningseffekten för överlevnad (efter etablering) vid 55% genomsnittlig överlevnad (i klimatläget 800 dygngrader) för en populationen med samma ursprungslatitud som planteringslokalen för vitranspopulationer från Klippiga bergen.



Figur 15. Den relativa effekten av latitutförflyttning på trädhöjd vid temperatursummor (TS) mellan 500 och 1100 dygngrader för vitranspopulationer från Klippiga bergen.



Figur 17. Relativ effekt vid latitutförflyttning för riskindex hos bästa proveniensområde Klippiga bergen (vitgran).

Tabell 10. Regressionsfunktion för riskindex (ln riskindex) för proveniensområde Klippiga bergen enligt [9].

Variabler	Koefficient	Skattning	Medelfel	p-nivå
Intercept	β_0	6,0588	0,4028	0,0001
Latitutförflyttning	β_1	-0,04271	0,01210	0,0004
(Latitutförflyttning) ²	β_{11}	0,001523	0,000801	0,0574
Temperatursumma (TS)	β_2	-0,112	0,04762	0,0187
Varians mellan försök	β_{22}	0,05464		
Varians mellan block inom försök		0,003993		
Residualvarians (oförklarad varians)		0,5907		
Den beroende variabelns totala varians		0,673317		

Tabell 12. Regressionsfunktion för produktionsindex (ln produktionsindex) för proveniensområde Klippiga bergen enligt [9].

Variabler	Koefficient	Skattning	Medelfel	p-nivå
Intercept	β_0	8,7582	0,9762	0,0009
Latitutförflyttning	β_1	0,07883	0,04120	0,0562
(Latitutförflyttning) ²	β_{11}	-0,00601	0,001374	<0,0001
Temperatursumma (TS)	β_2	0,2392	0,1151	0,0382
Latitutförflyttning x TS	β_{22}	0,003081	0,003473	0,3754
Varians mellan försök		0,3082		
Varians mellan block inom försök		0,03591		
Residualvarians (oförklarad varians)		0,4478		
Den beroende variabelns totala varians		0,952266		

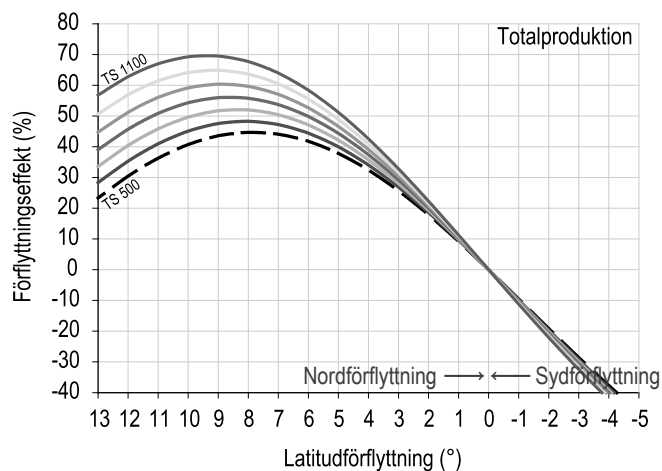
naden lika mycket i alla klimatlägen. Överlevnaden ökade med ca 12 procentenheter vid optimal förflyttning när överlevnaden för en nollförflyttad population var 55 % i klimatläget 800 dygngrader (figur 16).

Reducerad förflyttning med hänsyn till risk

Analys av vitranspopulationer från proveniensområde Klippiga bergen gav en funktion med skattade parametrar enligt tabell 10 för riskindex. Förkla-

Tabell 11. Förklaringsgrad för de ingående effekterna i tabell 10.

Effekter (% av total variation)	Riskindex [9]
Fixa effekter	15 %
Mellan försök och mellan block inom försök	28 %
Residualvarians	57 %



Figur 18. Relativ effekt vid latitutförflyttning för totalproduktion hos vitgran från bästa proveniensområde Klippiga bergen.

Tabell 13. Förklaringsgrad för de ingående effekterna i tabell 12.

Effekter (% av total variation)	Produktionsindex [9]
Fixa effekter	17 %
Mellan försök och mellan block inom försök	36 %
Residualvarians	47 %

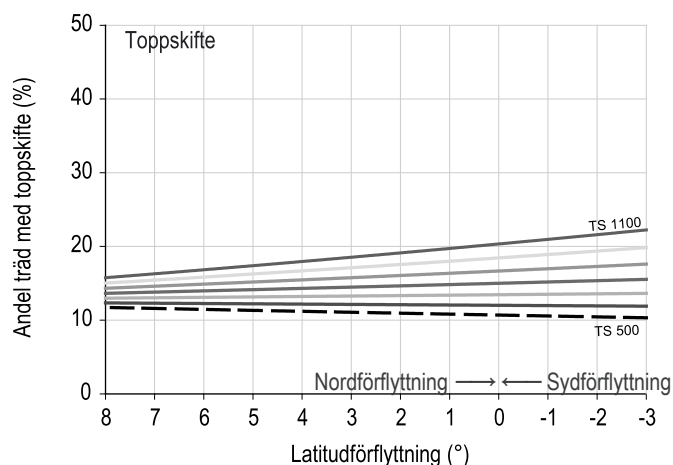
ringensgrad för de ingående effekterna i funktionen redovisas i tabell 11. För riskindex varierade den optimala förflyttningen mellan 10 breddgraders nordförflyttning i det kärvaste klimatläget och 9 i det mildaste läget (figur 17).

Tabell 14. Regressionsfunktion för trädens toppskifteandel ("normal score"-skala) för proveniensområde Klippiga bergen enligt [5].

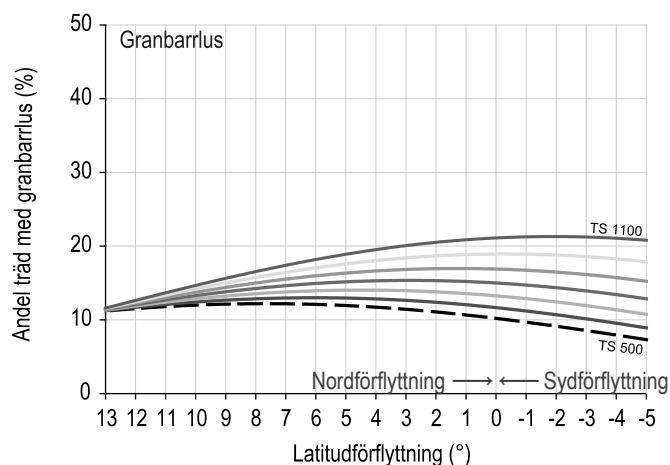
Variabler	Koefficient	Skattning	Medelfel	p-nivå
Intercept	β_0	4,5165	0,2042	<0,0001
Latitutförflyttning	β_1	0,03062	0,01999	0,1259
Temperatursumma (TS)	β_2	0,06891	0,02286	0,0026
Latitutförflyttning x TS	β_3	-0,00477	0,002284	0,0371
Varians mellan försök		0,003446		
Varians mellan block inom försök		0,002886		
Residualvarians (oförklarad varians)		0,452		
Den beroende variabelns totala varians		0,465038		

Tabell 15. Förklaringsgrad för de ingående effekterna i tabell 14.

Effekter (% av total variation)	Toppskifte [5]
Fixa effekter	1 %
Mellan försök och mellan block inom försök	2 %
Residualvarians	97 %



Figur 19. Samband mellan andel toppskifte och populations latitutförflyttning enligt [5] hos vitgran från bästa proveniensområde Klippiga bergen. (Vid en genomsnittlig andel på 15 % för den nollförflyttade populationen i klimatläget 800 dygngrader).



Figur 20. Samband mellan andel granbarrlus och populations latitutförflyttning enligt [6] hos vitgran från bästa proveniensområde Klippiga bergen. (Vid en genomsnittlig andel på 15 % för den nollförflyttade populationen i klimatläget 800 dygngrader).

När överlevnaden på detta sätt vägdes in ökade alltså förflyttningen med 3 breddgrader i det kärvaste klimatläget, men var oförändrad i det mildaste klimatläget jämfört med om enbart trädhöjd skulle maximeras. Detta kan verka paradoxalt men är en naturlig verkan av den ökande överlevnaden med nordförflyttning (figur 16). De

största vinsterna (57%) gav nordförflyttning i de kärvaste klimatlägena, jämfört med nollförflyttningen. I det mildaste läget var motsvarande vinst av en latitutförflyttning 48%.

Totalproduktion

Analys av vitgranspopulationer från proveniensområde Klippiga bergen gav

en funktion med skattade parametrar enligt tabell 12 för produktionsindex med förklaringsgrad för de ingående effekterna i funktionen redovisad i tabell 13.

För produktionsindex varierade den optimala förflyttningen mellan 8 och 9,5 breddgrader beroende på lokalens kärvhet (figur 18), d.v.s. på

samma sätt som för trädhöjd. Motsvarande maximala produktionsökning varierade mellan ca 45 och 70 % jämfört med en nollförflyttad population.

Toppskiften

Analys av vitgranpopulationer från proveniensområde Klippiga bergen gav en funktion med skattade parametrar

enligt *tabell 14* för den genomsnittliga andelen toppskifte, med förklaringsgrader för de ingående effekterna i funktionen redovisade i *tabell 15*.

Latitutförflyttning av vitgranpopulationer påverkar andelen toppskifte mycket lite och störst andel finns på milda lokaler (*figur 19*). Nordförflyttning minskade andelen toppskifte i

milda klimatlägen medan effekten var mycket liten i de intermediära och i de kärva klimatlägena.

Granbarrlus

Analys av vitgranpopulationer från proveniensområde Klippiga bergen gav en funktion med skattade parametrar enligt *tabell 16* för den genomsnitt-

Tabell 16. Regressionsfunktion för trädens granbarrlusandel ("normal score"-skala) för proveniensområde Klippiga bergen enligt [6].

Variabler	Koefficient	Skattning	Medelfel	p-nivå
Intercept	β_0	4,3779	0,1801	<0,0001
Latitutförflyttning	β_1	0,05609	0,02619	0,0324
(Latitutförflyttning) ²	β_{11}	-0,00180	0,000896	0,0451
Temperatursumma (TS)	β_2	0,07796	0,01903	<0,0001
Latitutförflyttning x TS	β_{12}	-0,00572	0,002211	0,0098
Varians mellan försök		0		
Varians mellan block inom försök		0,005651		
Residualvarians (oförklarad varians)		0,3893		
Den beroende variabelns totala varians		0,410998		

Tabell 18. Regressionsfunktion för trädhöjd (ln trädhöjd) hos svartgranpopulationer enligt funktion [2].

Variabler	Koefficient	Skattning	Medelfel	p-nivå
Intercept	β_0	4,8803	0,2092	<0,0001
Latitutförflyttning	β_1	-0,01202	0,008620	0,1632
(Latitutförflyttning) ²	β_{11}	-0,00255	0,000280	<0,0001
Temperatursumma (TS)	β_2	0,08201	0,02481	0,0010
Latitutförflyttning x TS	β_{12}	0,006580	0,000774	<0,0001
Varians mellan försök		0,01428		
Varians mellan block inom försök		0,002036		
Residualvarians (oförklarad varians)		0,1443		
Den beroende variabelns totala varians		0,229895		

Tabell 17. Förklaringsgrad för de ingående effekterna i *tabell 16*.

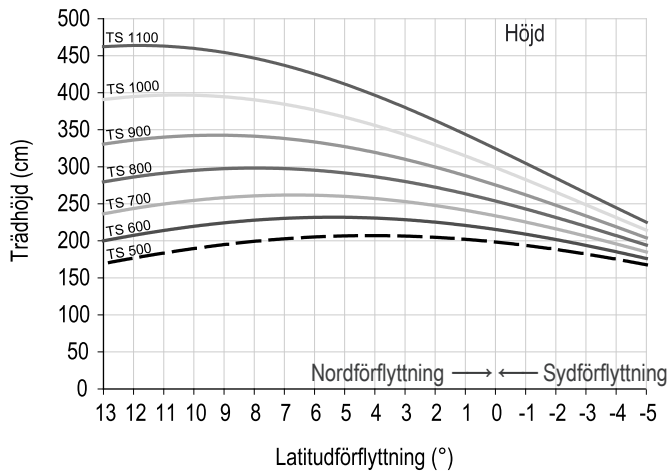
Effekter (% av total variation)	Granbarrlus [6]
Fixa effekter	4 %
Mellan försök och mellan block inom försök	1 %
Residualvarians	95 %

Tabell 19. Regressionsfunktion för trädens överlevnad (kondition i "normal score"-skala) för svartgranpopulationer enligt [4]

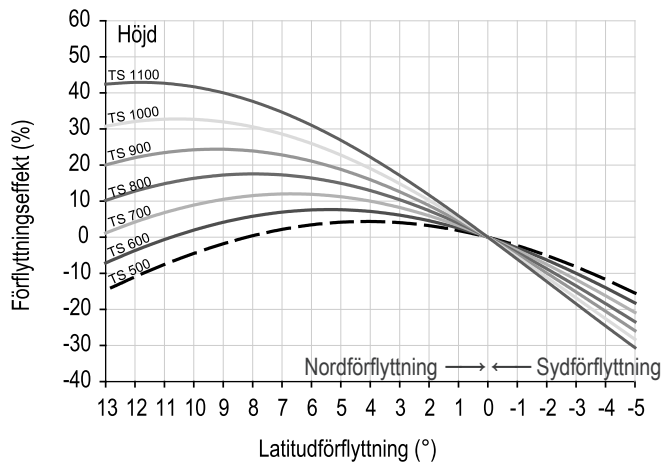
Variabler	Koefficient	Skattning	Medelfel	p-nivå
Intercept	β_0	4,8494	0,07798	<0,0001
Latitutförflyttning	β_1	0,08342	0,01010	<0,0001
Latitutförflyttning x TS	β_{12}	-0,00873	0,001213	<0,0001
Varians mellan försök		0,03166		
Varians mellan block inom försök		0,01322		
Residualvarians (oförklarad varians)		0,5556		
Den beroende variabelns totala varians		0,602372		

Tabell 20. Förklaringsgrad för de ingående effekterna i tabell 18 och 19.

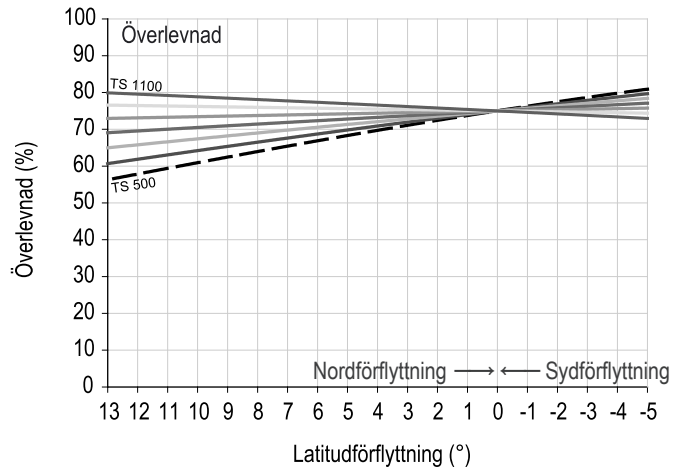
Effekter (% av total variation)	Trädhöjd [2]		Överlevnad [4]
	Individ-nivå	Populations-nivå	Individ-nivå
Fixa effekter	31 %	43 %	0,3 %
Mellan försök och mellan block inom försök	7 %	9 %	8 %
Residualvarians	62 %	48 %	92 %



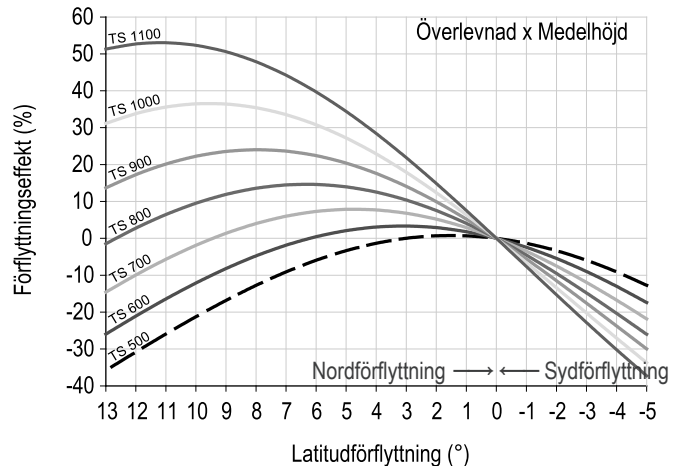
Figur 21. Effekten av latitutflyttning på trädhöjd hos svartgran vid temperatursummor (TS) mellan 500 och 1100 dynggrader.



Figur 22. Den relativa effekten av latitutflyttning på trädhöjd hos svartgran vid temperatursummor (TS) mellan 500 och 1100 dynggrader.



Figur 23. Förflyttningseffekten för överlevnad hos svartgran vid 75% genomsnittlig överlevnad för en populationen med samma ursprungslatitud som planteringslokalen.



Figur 24. Relativ effekt vid latitutflyttning för riskindex hos svartgran.

liga skadegraden av granbarrlus, med förklaringsgrader för de ingående effekterna i funktionen redovisade i *tabell 17*.

Latitudförflyttning av vitgranpopulationer påverkar andelen träd med granbarrlus ungefär på samma sätt som för andelen träd med toppskiften (*figur 20*). Angreppen var störst i milda klimatlägen och nordförflyttning mins-

kade andelen granbarrlus. Effekten av förflyttning var obetydlig i kärva lägen.

SAMLAD REGRESSIONSANALYS AV PROVENIENSSKILLNADER I SVARTGRAN

Skattade parametrar för funktioner för trädhöjd och överlevnad vid plantering med svartgranpopulationer av olika ursprung i olika klimatlägen redovisas i

tabell 18 respektive *tabell 19*. Funktionernas förklaringsgrad, beräknade både för enskilda träd och för populationsmedelvärden, redovisas i *tabell 20*.

Den förflyttningslängd som maximerade trädhöjden varierade mellan 4 breddgrader i det kärvaste klimatläget och 12 breddgrader i det mildaste (*figur 21*). Vid dessa förflyttningar ökade trädhöjden med mellan 4 och 42 %

Tabell 21. Regressionsfunktion för riskindex (ln riskindex) för proveniensområde Klippiga bergen enligt [10].

Variabler	Koefficient	Skattning	Medelfel	p-nivå
Intercept	β_0	4,6199	0,2767	<0,0001
Latitudförflyttning	β_1	-0,04481	0,01598	0,0052
(Latitudförflyttning) ²	β_{11}	0,00341	0,000510	<0,0001
Temperatursumma (TS)	β_2	0,08295	0,03267	0,0113
Latitudförflyttning x TS	β_{12}	0,01100	0,001433	<0,0001
Varians mellan försök		0,02213		
Varians mellan block inom försök		0,01027		
Residualvarians (oförklarad varians)		0,2049		
Den beroende variabelns totala varians		0,340571		

Tabell 23. Regressionsfunktion för produktionsindex (ln produktionsindex) för svartgran enligt [9].

Variabler	Koefficient	Skattning	Medelfel	p-nivå
Intercept	β_0	9,6476	0,3580	<0,0001
Latitudförflyttning	β_1	-0,03729	0,02038	0,0677
(Latitudförflyttning) ²	β_{11}	-0,00583	0,000651	<0,0001
Temperatursumma (TS)	β_2	0,1653	0,04230	0,0001
Latitudförflyttning x TS	β_{12}	0,01577	0,001828	<0,0001
Varians mellan försök		0,03911		
Varians mellan block inom försök		0,006052		
Residualvarians (oförklarad varians)		0,3337		
Den beroende variabelns totala varians		0,714065		

Tabell 22. Förklaringsgrad för de ingående effekterna i *tabell 21*.

Effekter (% av total variation)	Riskindex [9]
Fixa effekter	30 %
Mellan försök och mellan block inom försök	10 %
Residualvarians	60 %

Tabell 24. Förklaringsgrad för de ingående effekterna i *tabell 23*.

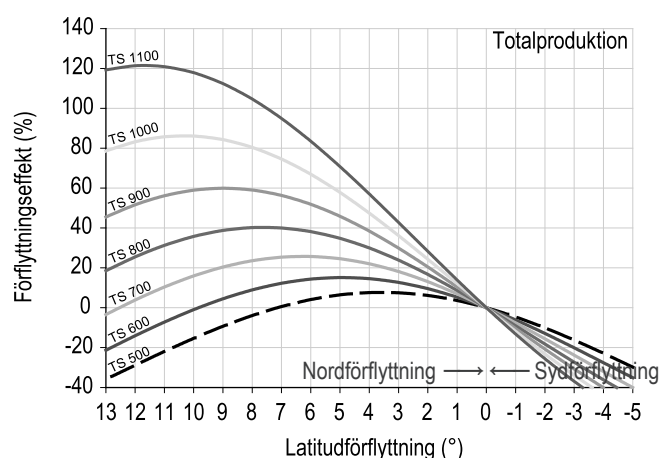
Effekter (% av total variation)	Produktionsindex [9]
Fixa effekter	47 %
Mellan försök och mellan block inom försök	6 %
Residualvarians	47 %

i jämförelse med populationer från samma breddgrad som planteringslokalen (nollförflyttning) (figur 22). Högst överlevnad nåddes med sydförflyttning av svartgranpopulationer i kärva klimatlägen, ingen förflyttning i intermediära och nordförflyttningar i milda klimatlägen (figur 23). Effekterna av förflyttning var större i kärva än i milda klimatlägen.

Reducerad förflyttning med hänsyn till risk

Analys av svartgranpopulationer gav en funktion med skattade parametrar enligt tabell 21 för riskindex med förklaringsgrad för de ingående effekterna i funktionen redovisad i tabell 22.

För riskindex varierade den optimala förflyttningen mellan 1–2 breddgrader nordförflyttning i det kärvaste klimatläget och 11 i det mildaste läget (figur 24). När överlevnaden på detta sätt vägdes in minskade alltså förflyttningen med 2,5 breddgrader i det kärvaste klimatläget jämfört med om enbart trädhöjd skulle maximeras.



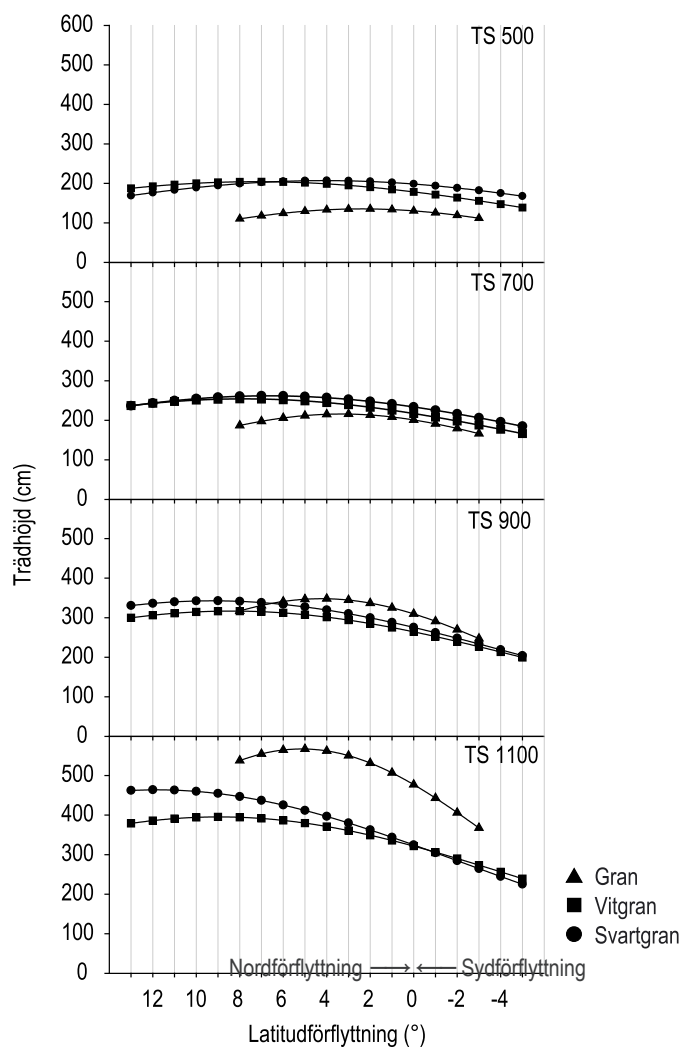
Figur 25. Relativ effekt vid latitudförflyttning för totalproduktion hos svartgran.

Vinsterna av en nordförflyttning i de kärvaste klimatlägena blev nu också mycket små. För allt varmare klimatlägena minskade successivt inflyttandet av överlevnad på indexet och i det mildaste läget var den optimala

förflyttningen 11 breddgrader, vilket är samma som vid förflyttning för att enbart maximera trädhöjd.

Totalproduktion

Skattade parametrar för funktionen för



Figur 26. Jämförelse av trädhöjd vid olika latitudförflyttning och temperaturklimat (TS = temperatursumma) mellan svartgran, vitgran (populationsområde Klippiga bergen) och gran. Regressionsfunktionen för gran är hämtad från Kroon & Rosvall (2004).

produktionsindex redovisas i *tabell 22* med förklaringsgrad för de ingående effekterna i funktionens redovisad i *tabell 23*.

För produktionsindex varierade den optimala förflyttningen mellan 2 och 12 breddgrader beroende på lokalsens kärvhet (*figur 25*), d.v.s. på samma sätt som för riskindex. Motsvarande maximala produktionsökning varierade mellan 4 och 121 % jämfört med en nollförflyttad population.

Toppskiften

För svartgran fanns inget samband mellan toppskifteandel och de testade variablerna.

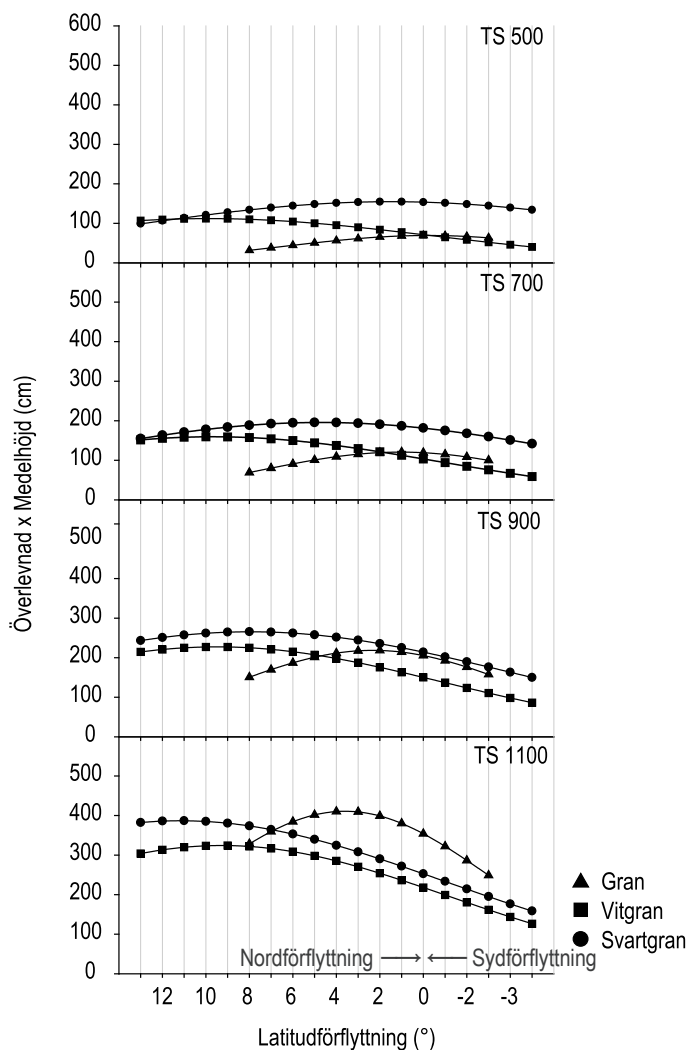
JÄMFÖRELSE MELLAN ARTER VID OPTIMAL FÖRFLYTTNING

En jämförelse av trädhöjd mellan de tre arterna vitgran, svartgran och gran (enligt Kroon och Rosvall 2004) med hänsyn tagen till populationernas latitudförflyttning och planteringsplatsens temperatursumma visas i *figur 26*. I kärmare lägen med en temperatursumma under 900 dygngrader var trädhöjderna för svart- och vitgran av bästa proveniens i stort sätt likvärdiga, men klart bättre än för gran. I milda klimatlägen med temperatursumma över 900 dygngrader var gran av lämplig proveniens överlägsen i trädhöjd. Den optimala förflyttningssträckan skiljer mycket mellan de nordamerikanska och den inhemska granen.

Då överlevnad och höjd vägs samman till ett riskindex (överlevnad \times trädhöjd) sänker vitgranens generellt höga avgång dess värde (*figur 27*). Optimal förflyttning reduceras för svartgran och gran jämfört med då enbart trädhöjd optimeras.

Speciellt i det kärmaste klimatläget där optimal förflyttning närmar sig noll-

förflyttningen. Det förhållande att en lång nordförflyttning inte är negativt för överlevnaden hos vitgran gör att optimal förflyttning enligt riskindex förskjuts åt söder jämfört med då enbart trädhöjd optimeras.



Figur 27. Jämförelse av riskindex vid olika latitudförflyttning och temperatursumma (TS = temperatursumma) mellan svartgran, vitgran (proveniensområde Klippiga bergen) och gran.

Diskussion

Plantodling

Tidigt insatt långnattsbehandling under plantodlingen är ett och två syftade till att plantorna i de olika populationerna skulle bli lika långa oavsett breddgradsursprung. Därmed skulle inflytandet av plantskolans lokalisering i förhållande till försökslokaler elimineras. Från tillväxtrytm-

samma plantlängd för populationerna av vitgran medan sydliga populationer av svartgran och gran blev avsevärt längre än nordliga. Vitgranplantorna blev dessutom tämligen korta. Enligt Junttila & Skaret (1990) är det känt att vitgranen har en kort tillväxtperiod och snabb invintring, vilket de också kunde påvisa i sina försök både i fyto-

kondition på grund av klimatiska omständigheter eller att den i allmänhet har liten motståndskraft mot olika skadeorganismer. I genomsnitt var vitgran också mer drabbad av de skador som inventerades än svartgran, framförallt av granbarrlus och snöskytte. Vitgranen hade också lägre överlevnad än svartgran och gran, speciellt i kärva lägen. En allmänt låg kondition hos vitgran i de här försöken stöds av resultat från de artförsök som planterades längs med fjällkedjan i Norrlands inland under 1983-87 (Rosvall et al. 1996).

Dödligheten för vitgran ökade starkt med ökad kärvhet för lokalen och starkare än för svartgran och gran. Samtidigt har sydliga provenienser ändå överlevt bättre än nordliga. Det fanns inte heller något samspel mellan förflyttningseffekt för överlevnad och klimatläge. Detta är paradoxalt. Visserligen var överlevnaden måttligt högre för sydliga populationer, men om den större avgången i kärva lägen hade varit klimatiskt betingad borde sydliga populationer ha haft de största avgångarna. Att så inte är fallet skulle kunna tolkas som att resistensfrågorna är viktigare och att vitgranen som art har problem med de skadegörare som finns i kallt klimat i Sverige, t.ex. snöskytte och gremmeniella. Dessa skador är också vanliga hos vitgran i andra artförsök (Rosvall et al. 1996). Just snöskytte är framförallt närvarande i Norrlands inland (Anonym 1995), varför försöken inom detta område hade störst angrepp av svampen.

De jämförelsevis små plantorna av vitgran skulle också kunna vara en orsak till vitgranens låga överlevnad. Vitgranen drabbades dock inte av större avgångar under planteringsåret än svartgran och gran och avgångarna



En typisk vitgransrad med felaktig proveniens i SO-försöket i Henåsen. Foto: Johan Kroon

experiment med vit- och svartgran vet vi att naturlig nattlängd ger betydligt längre plantor och stor skillnad mellan populationer. Långnattsbehandling fungerar på ettårsplantor där knoppsättning induceras, men effekten på tvååriga plantor är inte lika direkt. Här sker sträckning av skott från fjolårsknopparna mer eller mindre oavsett nattlängd. Däremot kan eventuell fri tillväxt begränsas. I vårt fall uppnåddes

tronen och i fält. Kanske det förhållandet har bidragit till vårt resultat.

Optimal förflyttning av vitgran

Det här är första gången vitgran med stor variation i ursprung testas på många lokaler i Sverige. I fält gav den genomgående intryck av att ha låg vitalitet med missfärgade barr och få levande barrårgångar. Det kan bero på att vitgranen generellt var i dålig

var inte större på milda mer vegetationsrika lokaler, vilket talar emot denna orsak.

Den starkt avtagande överlevnaden med minskande temperatursumma mot kallare klimat hos vitgran påminner starkt om förhållandet för tall (Persson & Ståhl 1993). Det återfinns inte hos gran och svartgran, där överlevnaden är ungefär densamma oavsett temperaturklimat.

Trots hög dödlighet och mycket skador var vitgranens tillväxt jämförelsevis god. I denna studie har vi testat populationer från hela vitgranens utbredningsområde. Populationer från Klippiga bergen visade sig vara bäst. Skillnaden jämfört med populationer från de andra proveniensområdena varierade beroende på temperaturklimat. Populationer från östra Kanada hade genomgående mycket lägre tillväxt, medan bra populationer från Alaska, Alberta och Saskatchewan endast hade något sämre tillväxt än populationerna från Klippiga bergen. Skillnader mellan proveniensområden kan härröra från en naturlig genetisk skillnad inom vitgran på grund av de migrationsmönster (efter senaste nedisningen) och de naturliga barriärer som hindrar ett genutbyte mellan populationer (Nienstaedt & Teich 1972).

För trädhöjd fanns ett svagt samspel mellan förflyttningseffekt och klimatläge, men för överlevnad kunde ett sådant samspel inte upptäckas. För populationer från Klippiga bergen blev den optimala förflyttningen för maximal trädhöjd nästan densamma oberoende av lokalens klimatläge och varierade mellan 7–9 breddgrader norrut i det kärvaste klimatläget och 9 breddgrader norrut i det mildaste klimatläget. Den relativa vinsten i trädhöjd av en nordlig förflyttning var

14–23 % beroende på klimatläge. För överlevnaden var också en nordförflyttning optimalt, vilket ökade vinsten med omkring 12 % -enheter (vid 12 breddgraders nordförflyttning) oberoende av klimatläge.

När både höjd och överlevnad tas i beaktande i ett riskindex och produktionsindex, ökade därför den totala effekten av en nordförflyttning. Detta kan verka paradoxalt men är en effekt av den ökande överlevnaden med nordförflyttning (*figur 16*). För ett riskindex blir effekten speciellt stor i de kärvaste klimatlägena där optimal latitudförflyttning ökade från 7 till 10 breddgraders nordlig förflyttning jämfört med då förflyttningen görs för att enbart maximera trädhöjden. I de mildaste klimatlägena blev förflyttningen obetydligt längre än då förflyttningen görs för enbart maximering av trädhöjd. Den relativa vinsten i riskindex av förflyttning var då 48–57 % beroende på klimatläget (*figur 17*). När överlevnaden viktas lägre i ett produktionsindex förändrades optimala förflyttning enbart litet för samtliga klimatlägen jämfört med då förflyttningen görs för enbart maximering av trädhöjd. Den relativa vinsten i produktionsindex av förflyttning var då 45–70 % beroende på klimatläget (*figur 18*).

Milda lokaler hade störst andel toppskifte och andel granbarrlus (ca 15–20 %), och effekten avtog med ökande kärvhet på lokalen, ned till ca 10 % (*figur 19* och *20*). Nordförflyttning minskade andelen toppskifte samt andelen granbarrlus i milda klimatlägen. I kärva lägen var effekten av en nordförflyttning obetydlig både med avseende på andelen toppskiften samt för andelen träd med granbarrlus.

Det svårtolkade resultatet av skadebilden och att sydliga populationer överlevt bäst, gör att trädhöjden tillsvidare kanske är bästa kriterium för proveniensval av vitgran. Ett riskindex och produktionsindex beräknades dock ändå för att få en likartad jämförelse i analysen mellan arter.

Optimal förflyttning av svartgran

Svartgranen gav alltid ett friskt intryck i försöken. Den hade överlevt bra i alla klimatlägen, men i kärva lägen överlevde sydliga populationer sämre än nordliga. Samspelet mellan latitudförflyttning och planteringsplatsens temperaturklimat var också tydligt i motsats till för vitgran. Svartgranen hade generellt lite skador. Den hade dock drabbats av toppskiften på samtliga lokaler och i större omfattning än andra arter, vilket är en artspecifik egenskap. I Nordamerika har svartgranen en förmåga att få en förtätad topp p.g.a. flerstammighet (Schmidt-Vogt 1977), vilket dock inte generellt varit en prioriterad egenskap vid plusträd-surval på svartgran i Kanada (Simpson, 1992). Toppskiften skulle också kunna vara en indikation på missanpassning genom mottaglighet för skador av olika slag. Svartgranen hade dock inte mer frostsador än vitgran. Till skillnad mot Lundström (2004) kunde inte heller någon effekt av latitudförflyttning för andelen toppskifte påvisas. Vår tolkning av resultaten är därför att mångtoppighet är knutet till svartgran som art.

Den optimala latitudförflyttningen av svartgran för högsta trädhöjd varierade mellan 4 breddgrader i det kärvaste klimatläget och 12 breddgrader i det mildaste klimatläget. Den relativa effekten av dessa förflyttningar

varierade då mellan 4–43 % i jämförelse med populationer från samma breddgrad som planteringslokalen.

För överlevnaden är nordliga populationer av svartgran bäst på kärva lokaler medan effekten av en latitudförflyttning är liten på mildare lokaler. Tydliga effekter av en latitudförflyttning på överlevnaden för svartgran stärks av de samstämmiga försöksvisa resultaten (se *bilaga 4*). Ökad avgång hos sydliga populationer i kärva lägen indikerar någon typ av missanpassning, vilket innebär en risk även för framtida skador. Ett sätt att beakta detta är att enbart låta överlevnaden styra proveniensvalet. Då skulle nordförflyttningen i kärva lägen i stället bytas mot en sydförflyttning. Ett annat sätt är att samtidigt beakta både trädhöjd och överlevnad i ett riskindex. Det gav störst förändring i det kärvaste klimatläget där den optimala nordförflyttningen minskade från 4 till 1–2 breddgrader medan optimal nordförflyttning var oförändrad 12 breddgrader i milda lägen. Den relativa vinsten i riskindex av förflyttning var då 1–53 % beroende på klimatläget (*figur 24*). Om överlevnaden skulle viktas ännu högre skulle det leda till nollförflyttning i kärva lägen.

För långsiktig totalproduktion har överlevnaden något mindre betydelse, vilket fångas av produktionsindex. Den optimala förflyttningen är ungefär densamma som för enbart trädhöjd, varierande mellan 3–4 och 12 breddgrader beroende på lokalens kärvhet. Produktionsindexet ger en bättre uppskattning av uppnådd produktion än enbart trädhöjden. För temperaturklimat i intervallet 500 och 1100 dygngrader ökade totalproduktionen för optimal proveniens jämfört med nollförflyttad med 4–121 %. Motsva-

rande värden för trädhöjd var 4–42 %.

Effekten av latitudförflyttning för svartgran var till skillnad från för vitgran beroende av odlingslokals klimat (samspel mellan latitudförflyttning och lokalens temperatursumma). Eftersom svart- och vitgranens utbredning är sydligare i öst än i väst finns ett beroende mellan ursprungets latitud och longitud och det är svårt att separera de båda geografiska effekterna. Efter att den inledande analysen visat att hela materialet gav en bra anpassning till latitudursprunget både inom och mellan proveniensområden, valde vi att inte dela in svartgranen i proveniensområden på det sätt som gjordes med det större vitgranmaterialet.

Resultaten visade att östliga (samtidigt sydliga) provenienser var bättre än västliga på lokaler med ett temperaturklimat över 800–900 dygngrader. På kärvare lokaler var västliga provenienser bättre. Ett liknande resultat för svartgran i södra och mellersta Sverige fick Gyllemark (2002). Han rekommenderar svartgran på fuktiga och frostlanta marker med ett ursprung från östra delen av utbredningsområdet för plantering i södra Sverige, men ett något mer västligt ursprung för mellersta Sverige. De östliga populationernas fördel i södra Sverige bekräftades också av Kardell (2004), som analyserade ett av SkogForsks proveniensförsök på torvmark i Halland. Vid analys 15 år efter plantering av SCA:s svartgranproveniensserie från 1968 med i stort sett samma populationer som i 1985 års serie påvisade Haara och Ingman (1984) effekter av proveniensens latitudförflyttning för västliga provenienser analyserade för sig. Västliga provenienser var också generellt bättre än östliga på samtliga lokaler. När samma serie analyserades

vid 34 års ålder av Lundström (2004) hade dock skillnaderna i höjdtillväxt försvunnit mellan det östliga och västliga proveniensområdet och mellan populationer med olika västliga latitudursprung. I det västliga området var dock höghöjdspopulationer mer trögväxande vid 34 års ålder än låghöjdspopulationer, ett förhållande som inte framkom i vår analys av 1985 års serie. Dessutom kvarstod vissa skillnader mellan proveniensområden för andra egenskaper än trädhöjd och överlevnad i SCA:s serie.

SCA:s serie innehåller visserligen i stort sett samma populationer som i 1985 års serie, men omfattar enbart tre lokaler belägna inom det mellersta temperaturklimatområdet. Både milda eller kärva lokaler saknas. Utvecklingen över tiden i SCA:s serie skall ändå ses som en varning för att effekter som observeras i tidig ålder kanske inte håller i sig i senare utvecklingsstadier. Detta fenomen har observerats i ett flertal studier för just svartgran vilket omnämns i Beaulieu et al. (2004).

Jämförelse mellan arter

Erfarenheter från skogsodling med exotiska trädarter har visat deras överlägsenhet i jämförelse med inhemska arter (Zobel & Talbert 1984). Detta förhållande gäller t.ex. för contortatall i jämförelse med vanlig tall i norra Sverige (Elfving et al. 2001). I vår studie är det möjligt att jämföra svart- och vitgran med vanlig gran som också fanns med i försöken (Kroon och Rosvall 2004). För att all artjämförelse skall vara rättvis skall den göras mellan lämpliga provenienser av respektive trädslag. Vad som är lämplig proveniens varierar med planteringslokals breddgrad och temperaturklimat och med den egenskap som skall jämfö-

ras. I det aktuella fallet har det stor betydelse för artjämförelsen vilken vikt som läggs vid vitgranens överlevnad. Fästs endast avseende på trädhöjd var svart- och vitgran ungefär likvärdiga i de kärmare klimatlägena och överlägsna gran. I det mildaste klimatläget var istället bästa proveniens av gran överlägset högst. Överlevnaden var dock lägre för vitgran än för svartgran och gran och den relativt höga skadeandelen för vitgran ger en indikation om ett visst mått av missanpassning vilket kan komma att ge ytterligare utslag i avgång eller reducerad tillväxt senare under omloppstiden. Tas hänsyn till överlevnaden med riskindex (överlevnad \times trädhöjd) faller vitgranen tillbaka i jämförelse med svartgran och särskilt mycket i de kärmaste lägena. I klimatlägen kallare än 900 dygngrader var bästa proveniens av vitgran som nordförflyttas ca 10 breddgrader dock alltid bättre än optimal proveniens av gran (ingen förflyttning). Svartgranen som nordförflyttats optimalt mellan 1-11 breddgrader beroende på klimatläget var med sin högre överlevnad än gran än mer överlägsen när riskindex betraktades. I de mildaste lägena var granen bästa art för både överlevnad och riskindex.

Skadebild och avgång hos vitgranen står alltså i kontrast till de överlevande trädens goda höjdtutveckling. Att dessutom sydliga provenienser utvecklats bäst både med avseende på tillväxt samt överlevnad gör orsakssammanhangen osäkra. Utan en bättre förståelse av resultaten är det därför inte möjligt att bedöma vitgranens långsiktiga potential som trädslag i norra Sverige. När det gäller svartgran vet vi däremot att dess stora överlevnadsförmåga och goda höjdtillväxt i ungdomen är förenat med låg diame-

tertillväxt, vilket resulterar i låg långsiktig produktionspotential. I det långa loppet kan svartgranen bara mäta sig med gran på extremt svårföryngrade marker.

Att välja rätt proveniens för optimerad skogsodling av en trädart kan inte nog understrykas. Genom att använda klimatvariabler för att analysera trädens tillväxt har vi visat att man kan studera effekten av en förändring i temperaturklimatet. I vår analys skulle ett varmare klimat gynna vanlig gran i jämförelse med vit- och svartgran på friska marker i norra Sverige. Sett på lång sikt under ett sådant mycket generellt klimatscenario skulle därför ingen av de båda nordamerikanska arterna utgöra ett alternativ till vanlig gran.

Funktionernas säkerhet

Vi har baserat regressionsfunktionerna på enskilda trädindivider. Traditionella proveniensförsök är designade i parceller med en population per parcell. Bearbetningen av dessa har i de flesta fall gjorts på proveniens- eller parcellmedelvärden. När istället enskilda träd analyseras kommer variationen mellan dessa individer inom en population att utgöra den allra största variationskomponenten och den kommer också att kvarstå som största delen av residualvariationen sedan inflytandet av fixa och slumpmässiga effekter beaktats i funktionen. Om regressionerna istället baseras på populationsmedelvärden avlägsnas huvuddelen av denna variation ur analysen och förklaringsgraden ökar, men till priset av mindre noggranna parameterskattningar. De till synes låga förklaringsgraderna på några procent i modeller med enskilda träd är således förhållandevis betydelsefulla. För vitgran t.ex. utgjorde de fixa effekterna (populationens latitutförflyttning och

lokalens temperatursumma) 4% av den totala variationen i trädhöjd för modellen med enskilda träd mot 37% för modellen baserad på populationsmedelvärden (*tabell 9*).

Slutsats

Försökslokalernas goda representation av norra Sverige har gjort det möjligt att påvisa hur främst temperaturklimatet påverkar populationernas tillväxt, skadegrad och överlevnad samt hur förflyttningseffekterna beror på och samspelar med klimatläget. För vitgran framkommer inga effekter av lokalernas nordliga läge i sig (latituden). Vitgranen från Klippiga Bergen som var bästa proveniensområde hade således en starkt avtagande överlevnad mot



Vitgran i vinterskrud. Foto: Johan Kroon

kärva lägen, men tämligen svaga förflyttningseffekter som var oberoende av klimatläget. För svartgranen betydde klimatläget mycket lite för överlevnad och skador medan det var stor skillnad mellan populationer och lämplig för-

flyttning beroende på klimatläget (starkt samspel mellan förflyttningseffekt och temperaturklimat). De lämpligaste vitgranpopulationerna skulle således generellt flyttas långt mot norr medan lämpliga svartgranar skulle förflyttas endast några breddgrader till lokaler i kärva klimatlägen och avsevärt längre i milda klimatlägen. Då blev vinsten av förflyttning också avsevärt större.

I höjdtillväxt var vitgran av lämpligt ursprung endast något sämre än svartgran. Men om hänsyn togs till både tillväxt och överlevnad genom det s.k. riskindex föll vitgranen starkt tillbaka i jämförelse. I jämförelsen med gran var lämplig population av både vit och svartgran bättre i kärva klimatlägen. Gran däremot var generellt bäst i det mildaste klimatläget både för trädhöjd och för riskindex. Det något paradoxala resultatet att sydliga populationer av vitgran hade bättre överlevnad än nordliga, trots generellt starkt ökad dödlighet i kärva klimatlägen, tolkas som att vitgran är tillräckligt hårdig för klimatet. Men på artnivå tycks den inte vara anpassad till förhållandena i norra Sverige, där olika svampskador får ökat inflytande mot kallare klimat. Från svartgranens förhållandevis bra resultat i Norrlands inland måste dras dess svaga diametertillväxt, vilket innebär att dess långsiktiga produktion kommer att bli lägre än granens. Endast i extremt kärva lägen och på speciellt frostutsatta lokaler kan svartgran vara ett komplement till den inhemska granen.

Referenser

- Anonym 1995. Skador på barrträd. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- Andersson, B., Elfving, B., Ericsson, T., Persson, T., & Gregorsson, B. 2003. Improved *Pinus sylvestris* performance in northern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 18: 199-206.
- Alenius, H. & Lindgren, T. 1981. Främmande trädslag i norra Sverige. Examensarbete. Skogsmästarprogrammet 1980/81. SLU.
- Beaulieu, J., Perron, M. & Bousquet, J. 2004. Multivariate patterns of adaptive genetic variation and seed source transfer in *Picea mariana*. *Can. J. For. Res.* 34:531-545.
- Campbell, R. K. 1986. Mapped genetic variation of Douglas-fir to guide seed transfer in southwest Oregon. *Silvae Genet.* 35: 85-96.
- Danell, Ö. 1988. Arbetsgång vid bearbetning av contortaförsök. Arbetsrapport nr 219. Institutet för skogsförbättring, Uppsala.
- Elfving, B., Ericsson, T. & Rosvall, O. 2001. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden - a review. *Forest Ecol. Manag.* 141: 15-29.
- Ericsson, T., Almqvist, C., Andersson, B., Hannrup, B., Högberg, K-A., Jansson, G., Karlsson, B., Rosvall, O., Sonesson, J., Stener, L-G. & Westin, J. 2002. Val av skogsodlingsmaterial för plantering i Sverige – kunskapssystem för plantskolor och skogsodlare (Internet: <<http://www.skogforsk.se>>, Kunskap direkt, Val av skogsodlingsmaterial). Skogforsk. Uppsala.
- Gyllemark, M. 2002. Provenienser av svartgran (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) i södra och mellersta Sverige. Redogörelse nr 4, Skogforsk, Uppsala.
- Haara, H. & Ingman, U. 1984. Svartgran (*Picea mariana* (Mill) B.S.P) i norra Sverige. Examensarbete. Skogsmästarprogrammet 1983/84. nr. 1. SLU.
- Hannerz, M. 1998. Genetic and seasonal variation in hardiness and growth rhythm in boreal and temperate conifers. – a review and annotated bibliography. Report nr 2, Skogforsk, Uppsala.
- Junttila, O. & Skaret, G. 1990. Growth and survival of seedlings of various *Picea* sp. under northern climatic conditions results from phytotron and field experiments. *Scand. J. For. Res.* 5: 69-82.
- Kardell, L. 2004. Gran, svartgran och omorika på Öllsjö mossen i Torup. Rapport nr. 94. Inst f skoglig landskapsvård, SLU.
- Karlman, M., Lundh, J-E. & Martinsson, O. 1982. Instruktion för bestämning av våra vanligaste skador i föryngring och försöksplantering av tall, contortatall och gran. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift Nr 3. Djursholm.
- Kroon, J. & Rosvall, O. 2004. Optimal produktion vid nordförflyttning av gran i norra Sverige. Redogörelse nr 5, Skogforsk.
- Lundmark, L. & Persson, T. 1985. Höjden i ung ålder som prognosinstrument. SLU, examensarbete, skogsmästar-skolan.
- Lundström A. 2004. Proveniensval och produktion för svartgran (*Picea mariana* (Mill) B.S.P) i norra Sverige. Examensarbete. 2003-9. SLU, Umeå.
- Morgenstern, E.K. 1978. Range-wide genetic variation of black spruce. *Can. J. For. Res.* 8: 463 - 473
- Morgenstern, E.K. & Mullin, T.J. 1990. Growth and survival of black spruce in the range-wide provenance study. *Can. J. For. Res.* 20: 130-143.
- Nienstaedt, H. & Teich, A. 1972. The genetics of white spruce. Res. Pap. WO-15. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 24 p.
- Persson, B. & Ståhl, E.G. 1993. Effekter av proveniensförflyttning och förband i en försöksserie med tall (*Pinus sylvestris* L.) i norra Sverige (Rapport 35, Institutionen för skogsproduktion, SLU), 92 pp. Garpenberg.
- Raymond, C. & Lindgren, D. 1986. A model for genetic flexibility. Provenances and Forest Tree Breeding for high latitudes, Proceedings of the Frans Kempe symposium at Umeå, June 10–11, 1986 pp 159-177 (Report 6 1986, Dept. of Forest Genetics and Plant Physiology, Swedish Univ. of Agr. Sci.)
- Rehfeldt, G E., Ying, C C., Spittlehouse, D. & Hamilton, D A. 1999. Genetic response to climate in *Pinus contorta*: niche breadth, climate change, and reforestation. *Ecological Monographs*, 69(3): 375–407.
- Rehfeldt, G E. 1988. Ecological genetics of *Pinus contorta* from the Rocky Mountains (USA): a synthesis. *Silvae Genet.* 37: 131-135.

- Remröd, J., Strömberg, S., Alfjorden, G. & Andersson D. G. 1976. Främmande granarter i norra Sverige. Föreningen skogsträdsförädling och Institutet för skogsförbättrings årsbok 1976, 117–1169. Uppsala.
- Rosvall, O. & Hajek, J. 1992. Tidig utveckling, skador och avgång i skogsodlingsförsök med arter av *Abies*, *Picea*, *Pinus* och *Larix* i områden med kallt klimat. [Early development, injuries and mortality in reforestation effects in north Swedish provenance experiments with Norway spruce]. In: Årsbok 1981 (Föreningen skogsträdsförädling och Institutet för skogsförbättring), 85–117. Uppsala.
- Rosvall, O. 1985. Proveniensförsök med vitgran. Odlinginstruktion i försöksmapparna till försöksserien, S23F8560412-421. Opubl. Skogforsk. Sävar.
- Rosvall, O. 1988. Främmande trädslag i praktiskt svenskt skogsbruk. Kunskapsläge och försöksverksamhet i norra Sverige. Kungl. skogs och lantbruksskolekademins tidskrift. 1988: 1-2. sid. 95-105. Stockholm.
- Rosvall, O. 1985. Val av svartgransprovenienser i norra Sverige. Institutet för skogsförbättring. Skogsträdsförädlingsinformation 1985/86 nr 2.
- Rosvall, O., Andersson, B. & Ericsson, T. 1998. Beslutsunderlag för val skogsodlingsmaterial i norra Sverige med trädslagsvisa guider. Skogforsk, Redogörelse nr 1. Uppsala.
- Rosvall, O., Hajek, J., Westin, J. & Bäckström, I. 1996. Norrländska trädslagsförsök 5-12 år efter plantering. Skogforsk, Resultat nr 5. Uppsala
- SAS Institute Inc. 1999. SAS/STAT User's Guide, Version 8, Cary, NC. 3884 pp. ISBN 1-58025-494-2.
- Schmidt-Vogt, H. 1977. Die Fichte, Band I. Taxonomie, Verbreitung, Morphologie, Ökologie, Waldgesellschaft. Paul Parey, Hamburg.
- Stefansson, E. 1957. Försök med olika barrträd vid Avarö och Muruåsen i Frostviken. Norrlands skogsvårdsförbunds tidskrift, häfte 2. s. 129-270. Stockholm.
- Simpson, J. D. 1992. Plus tree selection in New Brunswick. NB Tree Improvement Council. Technical report no. 5. 21 p. Fredericton. Canada.
- Ståhl, E. G., Persson, B. & Karlsmats, U. 1993. Svartgran – när inget annat lyckas? Skogsfakta nr.4. SLU. Uppsala.
- U.S. Geological Survey, 1999. Digital representation of "Atlas of United States Trees" by Elbert L. Little, Jr. (Internet: <http://climchange.cr.usgs.gov/data/atlas/little/>), accessed 27-Nov-2001.
- Wei, R. Han, S D. Dhir, N K. & Yeh, F C. 2004. Population variation in growth and 15-year-old shoot elongation along geographic and climatic gradients in black spruce in Alberta. Can. J. For. Res. 34: 1691-1702.
- Zobel, B. J. & Talbert, J. T. 1984. Applied forest tree improvement. p 505. Wiley (New York).
- Ying, C.C & Morgenstern, E. K. 1979. Correlations of height growth and heritabilities at different ages in white spruce. *Silvae Genet.* 28: 181-185.

Bilaga 1

Populationer av svartgran, vitgran och gran i 1985-års proveniensserie.

Population							Försök							
Trädslag (trsl): V=vitgran, S=Svartgran, G=Gran							Antal planterade plantor							
Nr.	Registernr.	Lokalbeteckning	Lat. (°N)	Long. (°O)	Alt. (m)	Trsl	412	413	414	415	416	417	418	419
1	S23A8160001	RossRiver	62	132,5	750	V	8	11	2	7	11	8	3	7
2	S23A8160002	Carmacks2	62,28	136,25	550	V	21	20	19	12	19	21	20	20
3	S23A8160003	BeaverCre	62,45	140,77	640	V	19	21	16	12	20	20	18	19
4	S23A8160004	MayoCreek	63,37	136,62	520	V	20	19	18	14	21	19	18	21
5	S23A8160005	Dawson1	64,02	138,8	380	V	15	15	14	14	20	20	13	15
6	S23A8160006	WatsonL2	60,05	128,88	610	V	13	17	14	8	16	16	14	15
7	S23A8160026	FinlayFork	56	123,83	671	V	14	14	11	12	16	13	6	14
8	S23A8160027	ParrotLake	54,18	126,67	823	V	17	16	12	9	14	16	18	19
9	S23A8160028	McDamePost	59,17	129,25	762	V	18	19	14	12	18	12	11	11
10	S23A8160029	GroundBir	56,5	122,17	823	V	16	16	18	13	16	21	16	17
11	S23A8160030	LowerPost	59,92	128,5	640	V	16	14	12	12	17	15	16	13
12	S23A8160031	CanyonLake	53,02	123,2	1280	V	19	20	17	11	19	19	15	19
13	S23A8160032	UnitiCreek	53,13	122,13	945	V	19	19	21	12	19	19	20	20
14	S23A8160033	GreybackM	49,6	119,28	1585	V	16	20	20	14	20	21	19	19
15	S23A8160034	Athabasca1	58,73	111,25	245	V	14	9	7	5	10	12	4	10
16	S23A8160035	FootnerL1	58,73	117,25	455	V	20	19	19	9	18	16	17	20
17	S23A8160036	PeaceRiv1	56,57	119,67	760	V	16	14	13	6	19	10	16	16
18	S23A8160037	PeaceRiv2	57,6	117,52	855	V	16	17	16	12	18	12	14	15
19	S23A8160038	FootnerL2	57,92	115,5	460	V	21	21	21	12	21	21	19	21
20	S23A8160039	SlaveLake	56,63	114,58	730	V	16	16	16	13	18	21	16	15
21	S23A8160040	GrandePra	55,58	118,3	640	V	19	20	21	14	21	21	20	19
22	S23A8160042	BuffaloNa	56,08	108,92	426	V	19	21	18	14	19	21	17	20
23	S23A8160043	DoreLake	54,7	107,27	485	V	8	16	8	8	9	7	5	8
24	S23A8160044	Riverton	51	97	213	V	16	18	17	13	19	16	18	15
25	S23A8160045	RedLake	51,1	93,77	396	V	19	21	20	12	20	20	19	18
26	S23A8160062	McKinleyVi	63,28	148,87	610	V	19	20	19	12	20	19	17	19
27	S23A8160063	WillowIsl	64,68	148,22	120	V	21	21	19	14	20	20	19	21
36	S23A8360132	JakesCorn	60,38	133,78	860	V	14	19	15	11	19	14	10	19
37	S23A8360133	LittleFox	61,03	135,63	890	V	16	18	17	11	16	14	12	20
38	S23A8360134	CircleCity	65,83	144,07	240	V	21	21	21	14	20	19	18	20
39	S23A8360135	Talkeetna	62,17	150,1	130	V	20	19	19	14	19	20	17	21
40	S23A8360136	PortTGirw	60,87	148,97	20	V	21	18	18	13	19	19	18	20
41	S23A8360137	CooperLan	60,47	149,75	210	V	17	20	19	11	21	18	19	16

fortsätter på nästa sida

Population							Försök							
Trädslag (trsl): V=vitgran, S=Svartgran, G=Gran							Antal planterade plantor							
Nr.	Registernr.	Lokalbeteckning	Lat. (°N)	Long. (°O)	Alt. (m)	Trsl	412	413	414	415	416	417	418	419
42	S23A8360138	Tustumena	60,25	151,18	100	V	19	18	19	13	18	19	19	18
43	S23A8360139	SummitL2	60,72	149,33	390	V	15	20	14	10	19	17	15	15
44	S23A8360140	MoosePass	60,33	149,33	180	V	14	20	15	12	17	17	15	19
45	S23A8360141	GlennHwy	61,8	148,83	250	V	15	17	15	11	15	16	11	15
46	S23A8360142	CooperCen	61,95	145,25	410	V	21	21	20	14	21	21	18	21
47	S23A8360143	Valdez	61,08	146	80	V	21	20	21	13	19	20	19	19
48	S23A8360144	Chitina	61,58	144,47	310	V	18	20	18	13	20	20	19	20
49	S23A8360145	Palmer	61,52	149,03	20	V	15	16	16	13	21	18	17	20
50	S23A8360146	GerstleRi	63,83	144,88	365	V	19	20	18	14	20	21	18	20
51	S23A8360147	MentastaP1	62,93	143,5	220	V	13	15	17	9	17	18	17	18
52	S23A8360148	Slana	62,72	144,13	800	V	6	14	10	6	16	13	8	18
53	S23A8360149	TetlinJun1	63,32	142,63	510	V	21	20	19	13	19	21	19	19
54	S23A8360150	JarrasCre	64	145,88	380	V	21	21	19	14	19	21	17	18
55	S23A8360151	BonanzaCr2	64,68	148,2	130	V	21	21	21	14	20	20	20	19
56	S23A8360152	BonanzaCr3	64,77	148,27	470	V	18	19	20	13	21	20	17	21
57	S23A8360153	BonanzaCr5	64,72	148,33	300	V	19	21	19	14	20	20	18	21
58	S23A8260157		56,67	111,25	365	V	19	17	19	14	19	21	16	19
62	S23A8360163	StonyRap	59,27	105,83		V	2	7	7	3	6	4	8	4
63	S23A8360164	NSealCre	56,93	92,85		V	7	8	10	5	13	7	5	9
64	S23A8360165	RoblinR	56,93	93,2		V	4	4	2	3	10	6	5	4
65	S23A8360166	Moosonee	51,27	80,65		V	8	3	4	3	4	5	3	4
66	S23A8360167	DavieLake	54,53	122,75		V		1		2				1
67	S23A8360168	SummitL3	54,28	122,67		V			1	9	1	3		2
68	S23A8360169	Pasedena	49,02	57,62		V	9	9	4		12	6	6	5
69	S23A8360170	FinlayRiv	57,42	125,67		V	9	14	10		15	15	7	13
70	S23A8360171	GrandFalls	48,92	55,85		V	21	21	20	14	21	21	21	20
71	S23A8360172	Cochrane	49,17	81,25		V	17	19	18	13	19	21	18	20
72	S23A8360173	SundownCre	55,33	120,67		V	14	14	15	10	17	17	15	18
73	S23A8360174	FStJames1	54,47	124,25		V	6	4	9	9	12	6	11	9
74	S23A8360175	GagnonCre	55,25	123,08		V	16	18	12	11	16	15	16	14
75	S23A8360176	AndrewBay	53,83	126,67		V	10	12	10	9	17	9	12	12
76	S23A8360177	SkeenaCro	55,08	127,83		V	10	9	5	2	13	8	9	8
77	S23A8360178	FortFraser	53,87	124,62		V	15	15	15	7	16	11	15	13
78	S23A8360179	Strathnav	53,3	122,2		V	12	15	16	10	16	11	8	12
79	S23A8360180	MadgeLake	51,63	101,67		V	12	13	8	7	12	13	10	12
80	S23A8260207	100	58,75	118,83	335	V	20	19	21	14	21	19	20	20

fortsätter på nästa sida

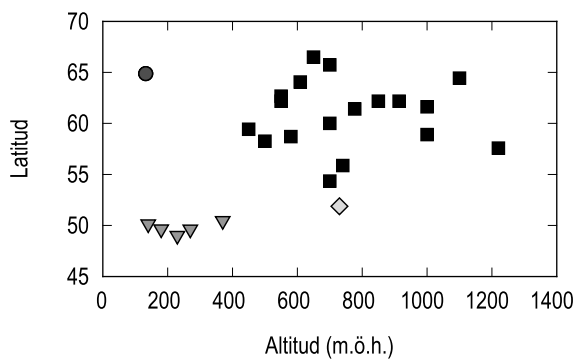
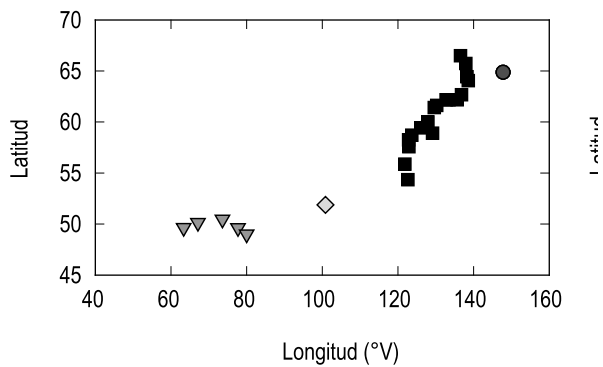
Population							Försök							
Trädslag (trsl): V=vitgran, S=Svartgran, G=Gran							Antal planterade plantor							
Nr.	Registernr.	Lokalbeteckning	Lat. (°N)	Long. (°O)	Alt. (m)	Trsl	412	413	414	415	416	417	418	419
81	S23A8260208	101	59	117,83	335	V	20	20	21	14	21	21	15	20
82	S23A8260209	102	59,67	117,25	304	V	20	18	19	14	21	21	18	21
28	S23A8160095	FrancesL2	61,42	129,63	777	S	19	21	21	13	19	21	20	20
29	S23A8160096	FaroJunct	62,17	133,5	914	S	20	21	18	13	18	20	14	19
30	S23A8160097	NKlondyke	64,05	138,62	609	S	18	21	21	14	20	20	20	20
31	S23A8160098	CampbellH	61,63	130,25	1000	S	17	18	16	11	19	16	15	18
32	S23A8160099	RacingRiv	58,9	129,15	1000	S	20	21	20	14	20	19	18	21
33	S23A8160100	ArcticCir	66,5	136,55	650	S	13	17	21	12	14	18	19	15
34	S23A8160101	Ogilvie	65,73	137,97	700	S	18	20	17	11	17	21	15	18
35	S23A8160102	DempstHw24	64,43	138,28	1100	S	7	10	10	10	17	12	8	7
59	S23A8260160		64,85	147,87	133	S	18	20	20	11	19	20	19	21
60	S23A8260161		64,85	147,87	133	S	17	18	21	12	19	19	17	20
61	S23A8260162		64,85	147,87	133	S	20	20	20	13	19	20	17	17
83	S23A8360210	Okant2	55,87	121,83	740	S	19	20	20	13	21	21	11	20
84	S23A8360211	Okant2	58,25	122,82	500	S	20	21	21	13	19	19	15	21
85	S23A8360212	Okant2	59,42	126,07	450	S	18	21	21	13	17	20	18	20
86	S23A8360213	Okant2	SCA			S	20	21	19	14	21	21	19	20
87	S23A8360214	StatBrook	SCA			S	21	20	21	14	21	21	20	20
88	S236IS712	Quebec1	50,45	73,63	370	S	19	21	20	14	21	21	16	21
89	S236IS713	Quebec2	49,62	77,75	270	S	21	21	21	14	20	21	18	20
90	S236IS714	Quebec3	50,13	67,15	140	S	21	19	20	13	21	21	19	21
91	S236IS715	Quebec4	49,63	63,37	180	S	18	18	20	14	19	20	18	21
92	S236IS716	SHS14053	51,88	100,85	730	S	18	20	20	14	20	20	17	20
93	S236IS717	Kapuskasin	49	80	230	S	20	21	21	14	21	21	14	21
94	S236IS718	BC1	54,35	122,63	700	S	21	21	20	12	18	20	20	21
95	S236IS719	BC2	57,58	122,93	1220	S	17	20	20	13	19	19	18	20
96	S236IS720	BC3	58,7	123,67	580	S	16	14	15	10	18	14	15	17
97	S236IS721	Yukon1	60	127,93	700	S	19	20	20	14	21	21	18	21
98	S236IS723	Yukon3	62,17	132,75	850	S	13	17	10	10	11	20	17	6
99	S236IS724	Yukon4	62,17	135,67	550	S	21	20	21	14	21	21	19	20
100	S236IS725	Yukon5	62,67	136,8	550	S	1	6	5	4	3	2	2	5
101	S23A8120006	Koppartorp	59		100	G	20	21	20	14	21	21	19	20
102	S23A8120007	Bosjo	60,37	16,18	135	G	20	19	21	14	21	20	20	20
103	S23A8120008	Hoglandstj	62,63	17,37	125	G	20	20	20	12	21	18	17	20
104	S23A8120009	Soderfors	63,23	16,75	150	G	19	19	20	13	20	21	21	21
105	S23A8120010	Vitsidan	64,42		175	G	21	21	21	14	21	19	19	20

fortsätter på nästa sida

Population							Försök							
Trädslag (trsl): V=vitgran, S=Svartgran, G=Gran							Antal planterade plantor							
Nr.	Registernr.	Lokalbeteckning	Lat. (°N)	Long. (°O)	Alt. (m)	Trsl	412	413	414	415	416	417	418	419
106	S23A8120011	Brannberg	65,5	21	130	G	19	18	18	13	19	20	20	21
107	S23A8120012	Bjorkland	66,33	22	200	G	21	20	21	13	21	21	19	17
108	S23A8120013	Jerijarvi	67	23	190	G	19	18	17	14	20	18	17	19

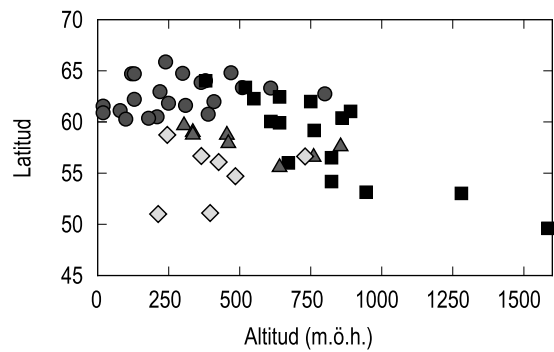
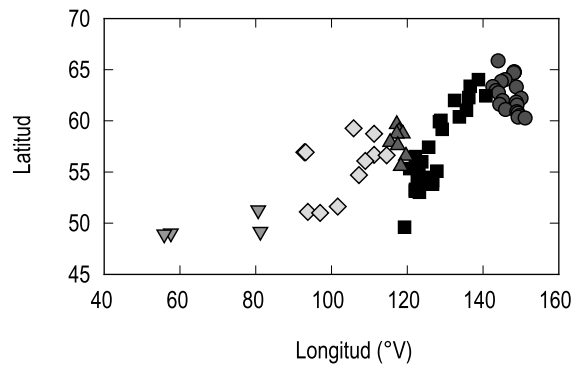
Bilaga 2

Svartgran



- Alaska
- Klippiga bergen
- ◇ Saskatchewan
- ▼ Öst
- △ SCA-population

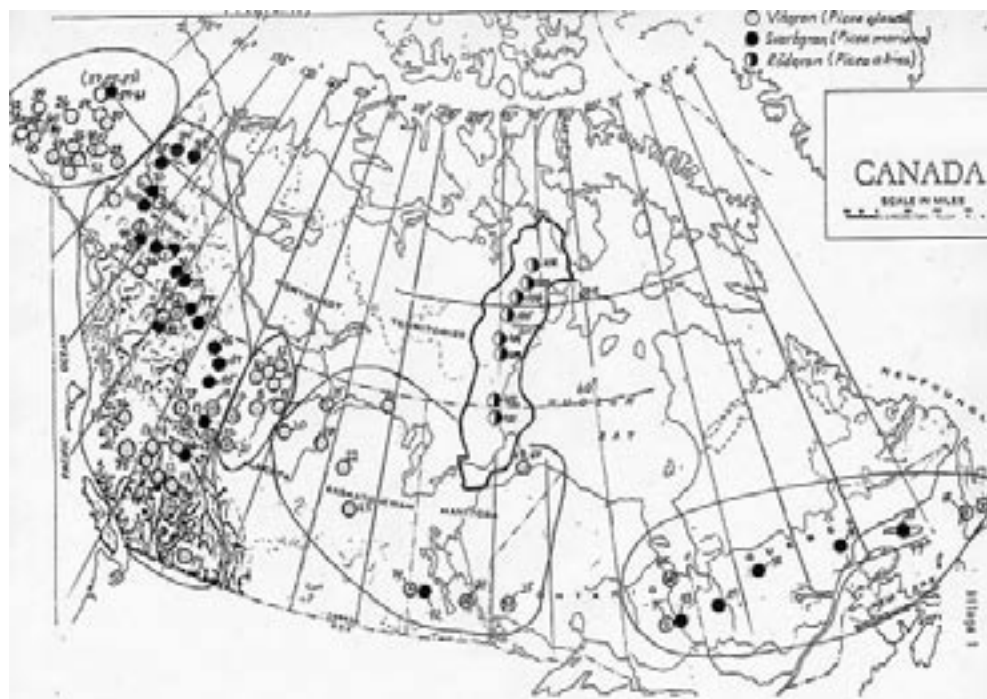
Vitgran



- Alaska
- Klippiga bergen
- ◇ Saskatchewan
- ▼ Öst
- ▲ Alberta

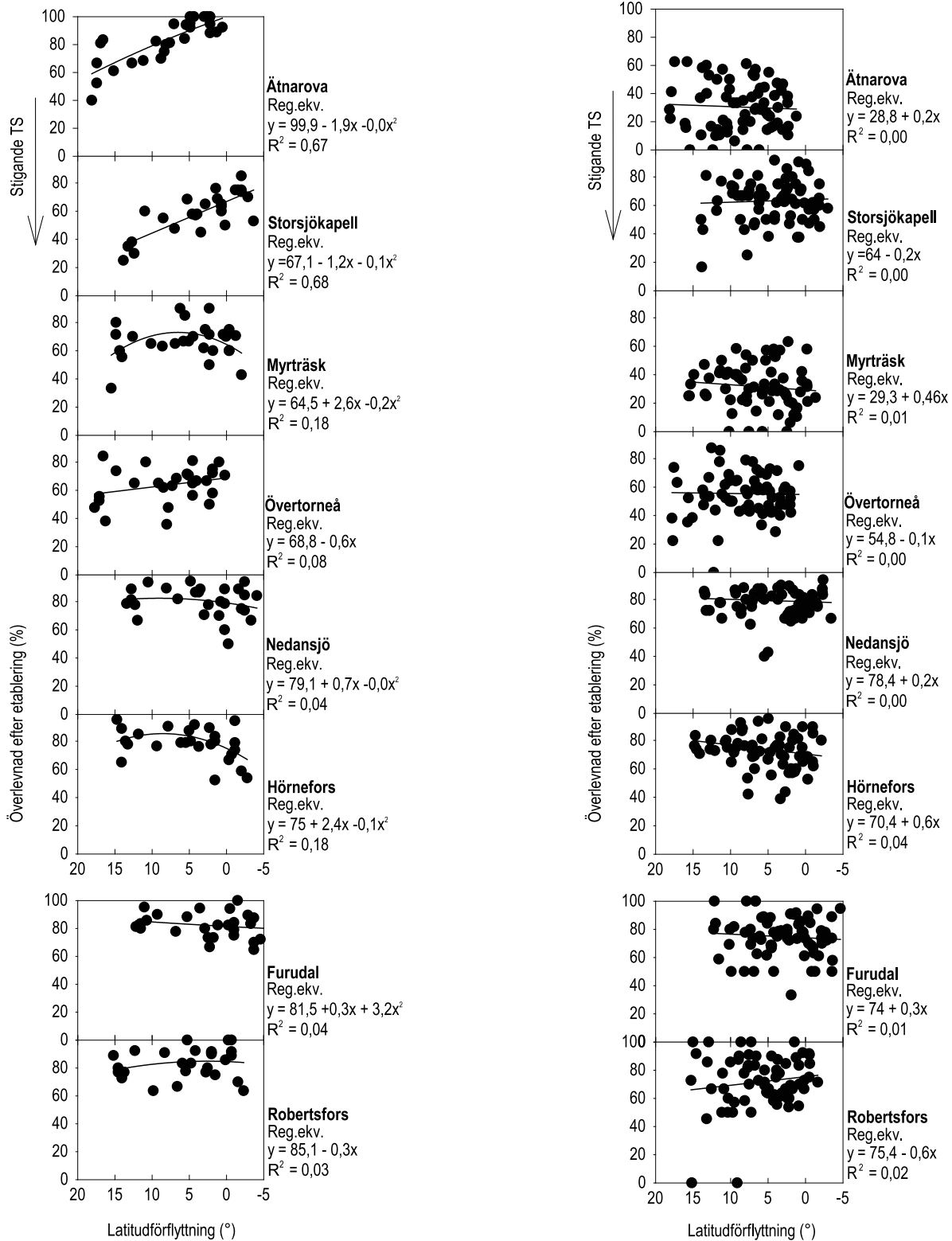
Bilaga 3

Ingående populationer av svartgran, vitgran och gran (Sverigekartan, inritade i Canada-kartan). Proveniensområdena av vitgran inringade; (från väst till öst) Alaska, Klippiga bergen, Alberta, Saskatchewan, Öst.



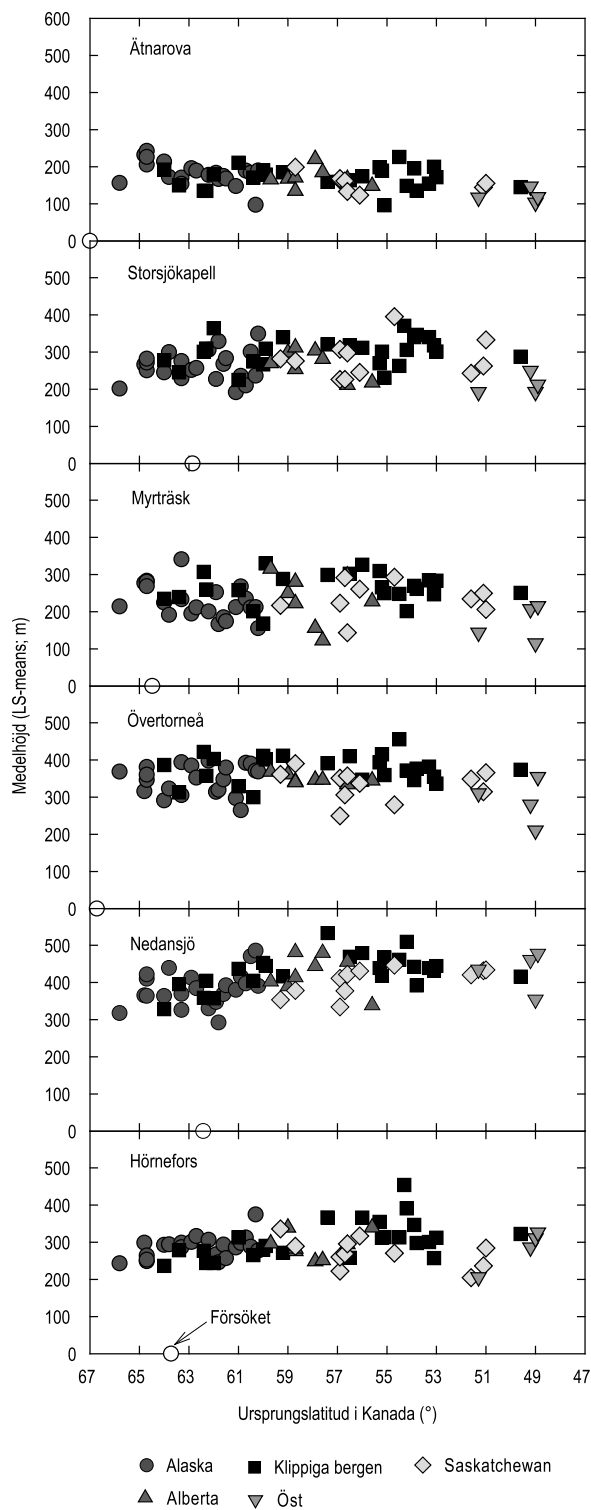
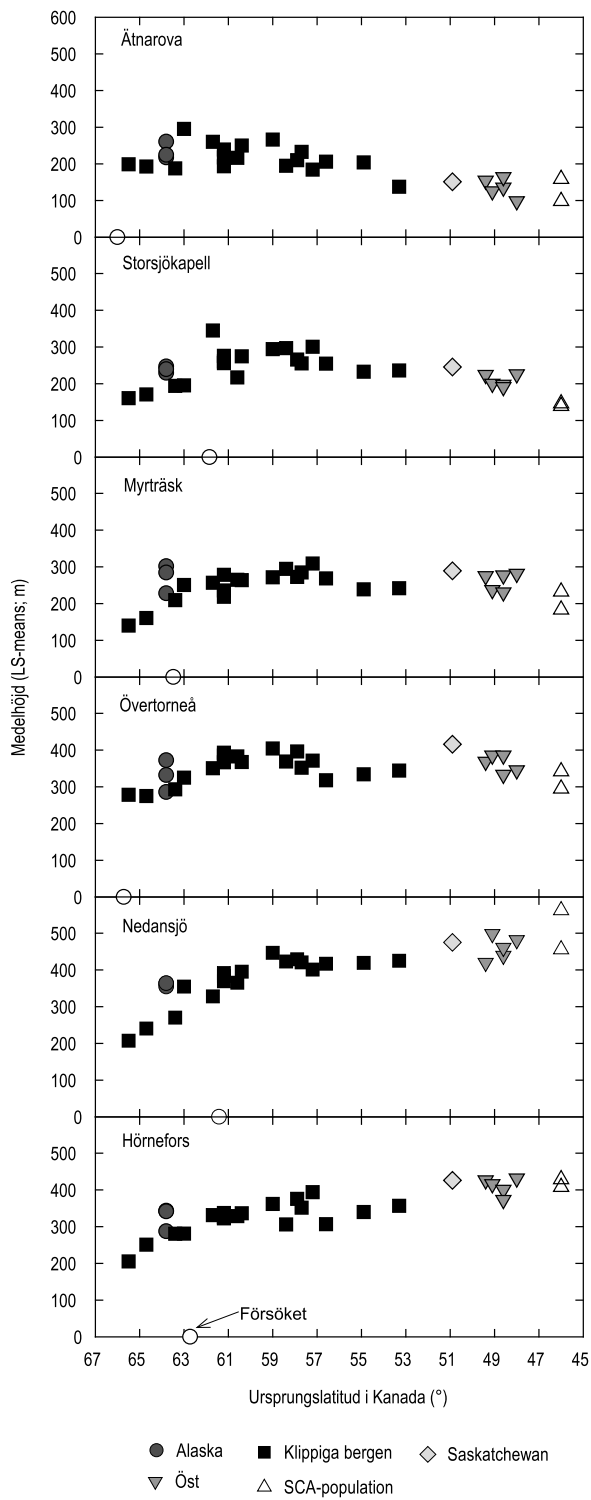
Bilaga 4

Försöksvisa förflyttningseffekter för överlevnad hos svartgran (till vänster) och vitgran (till höger).

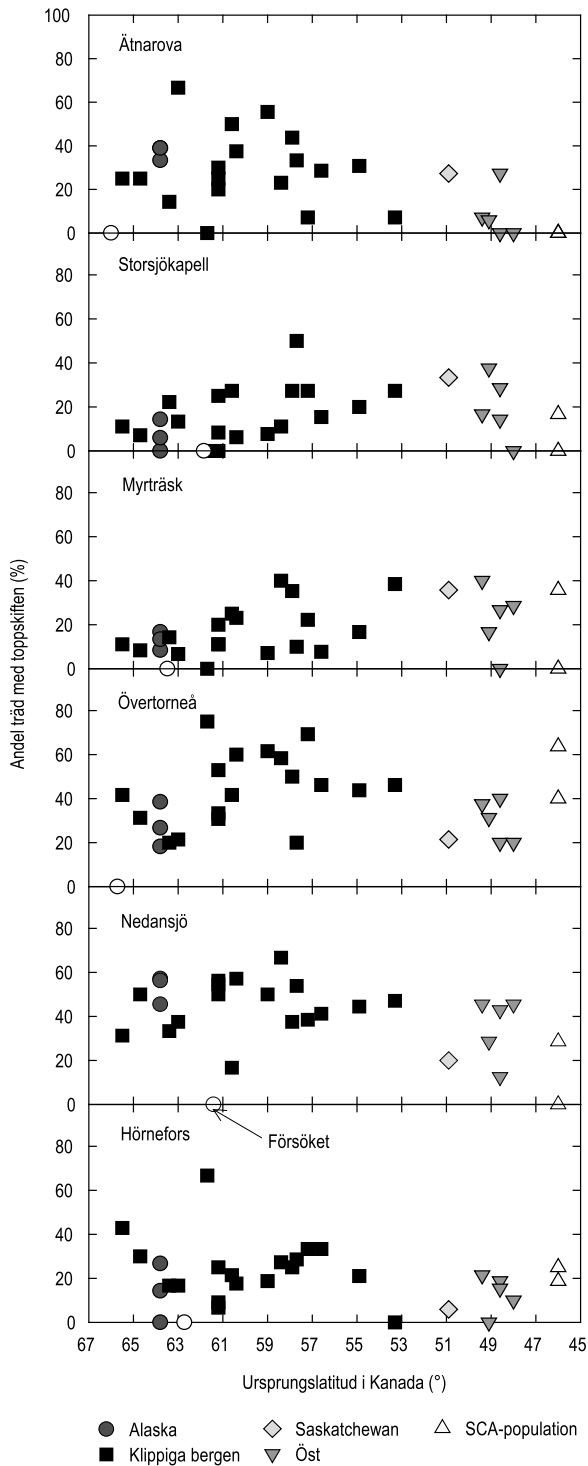


Bilaga 5

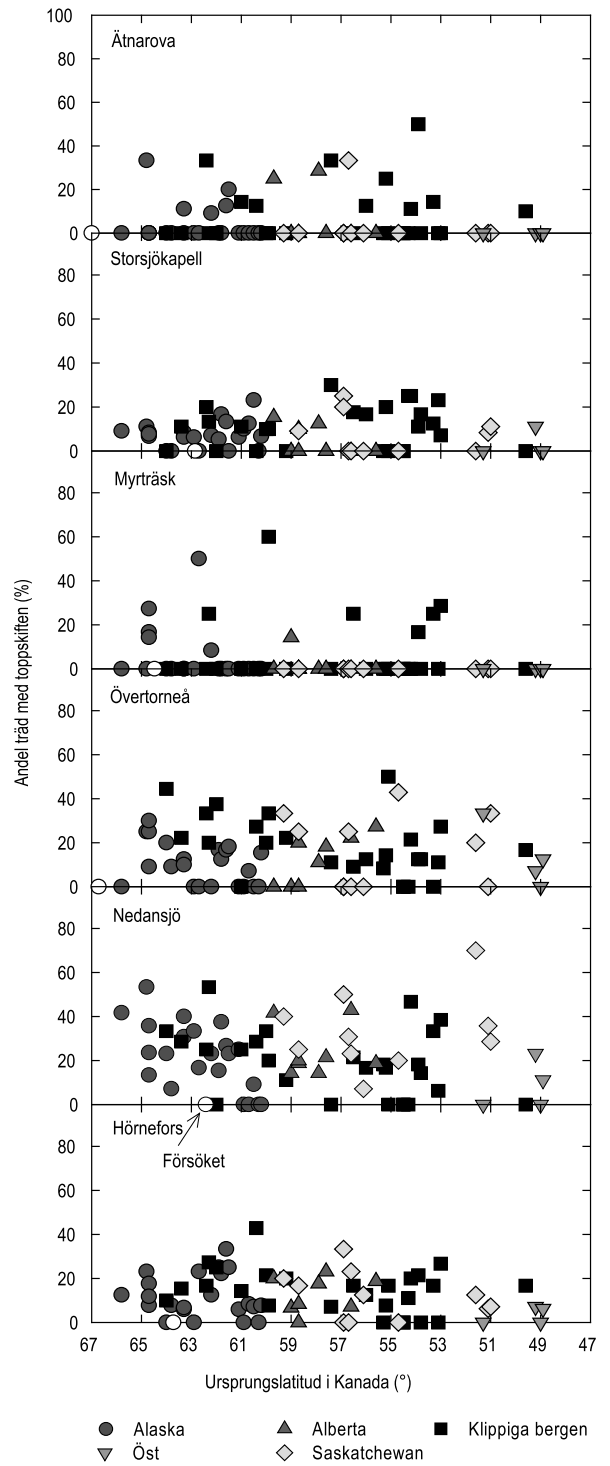
Mätvariabler plottade områdesvis över ursprungslatituden för svartgran (till vänster) och vitgran (till höger).



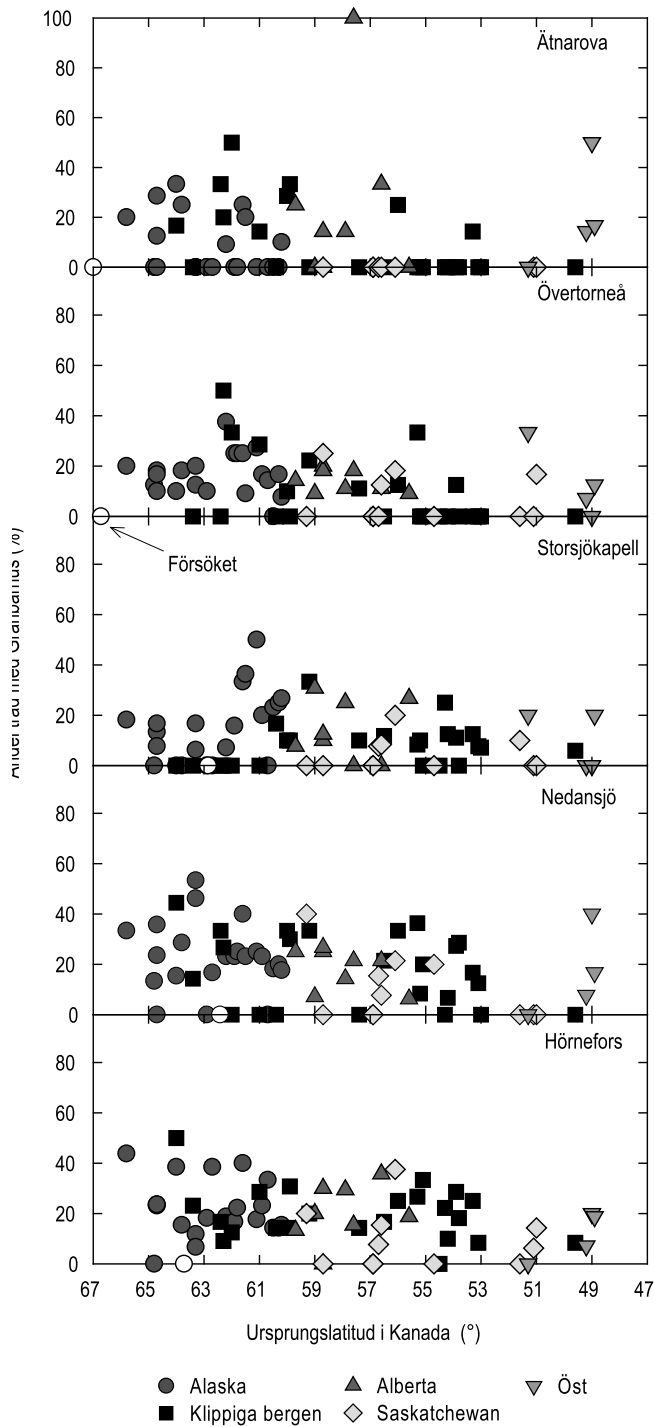
Svartgran



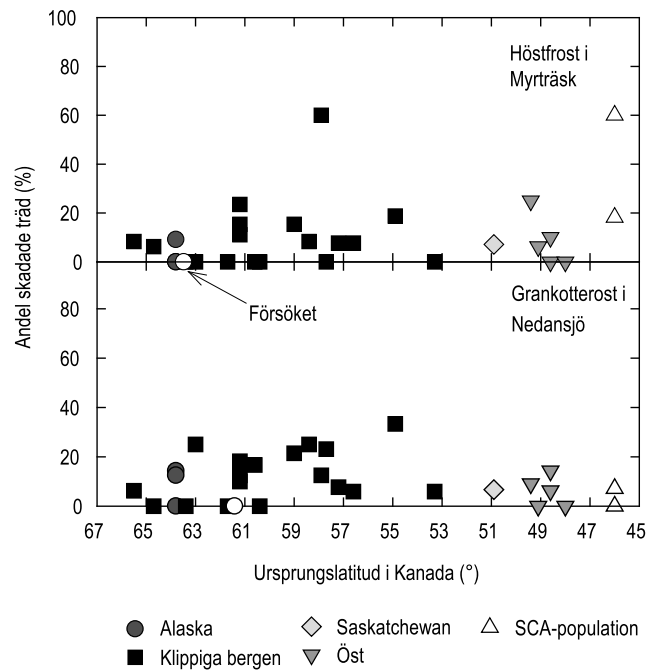
Vitgran



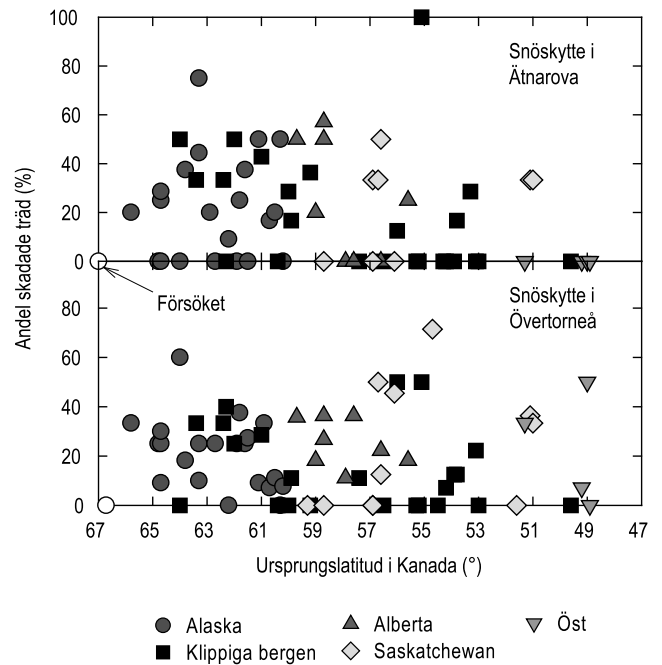
Vitgran



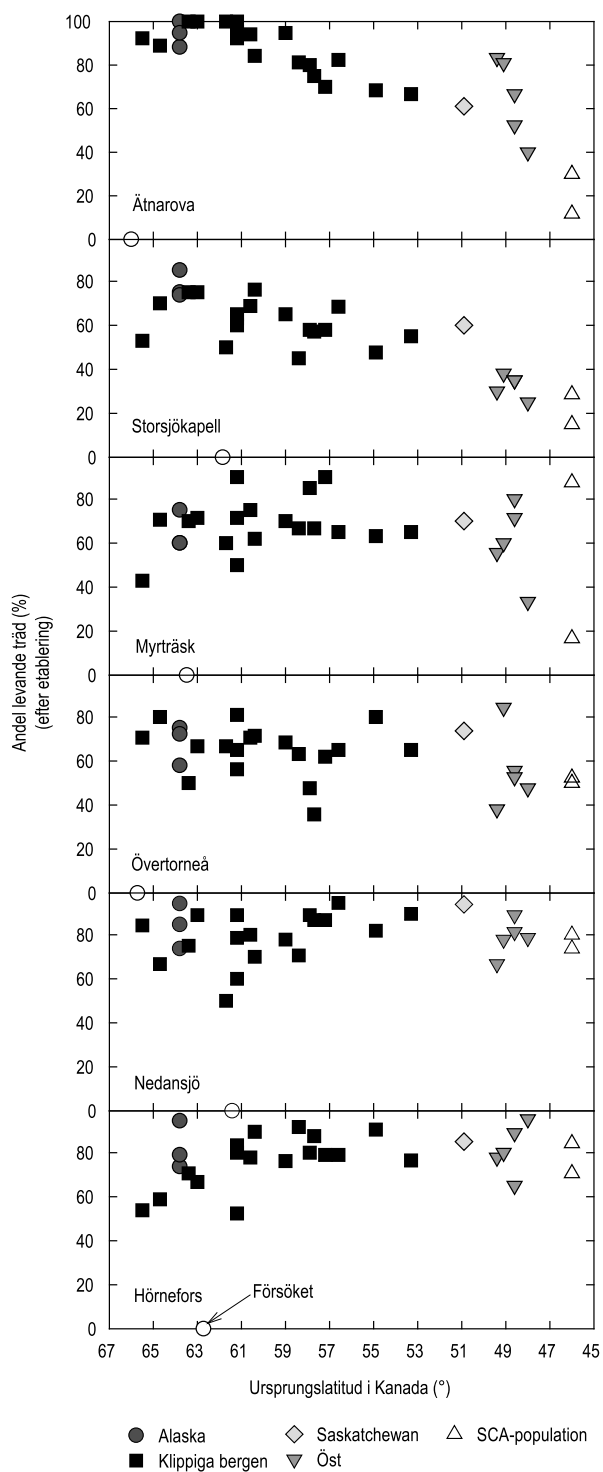
Svartgran



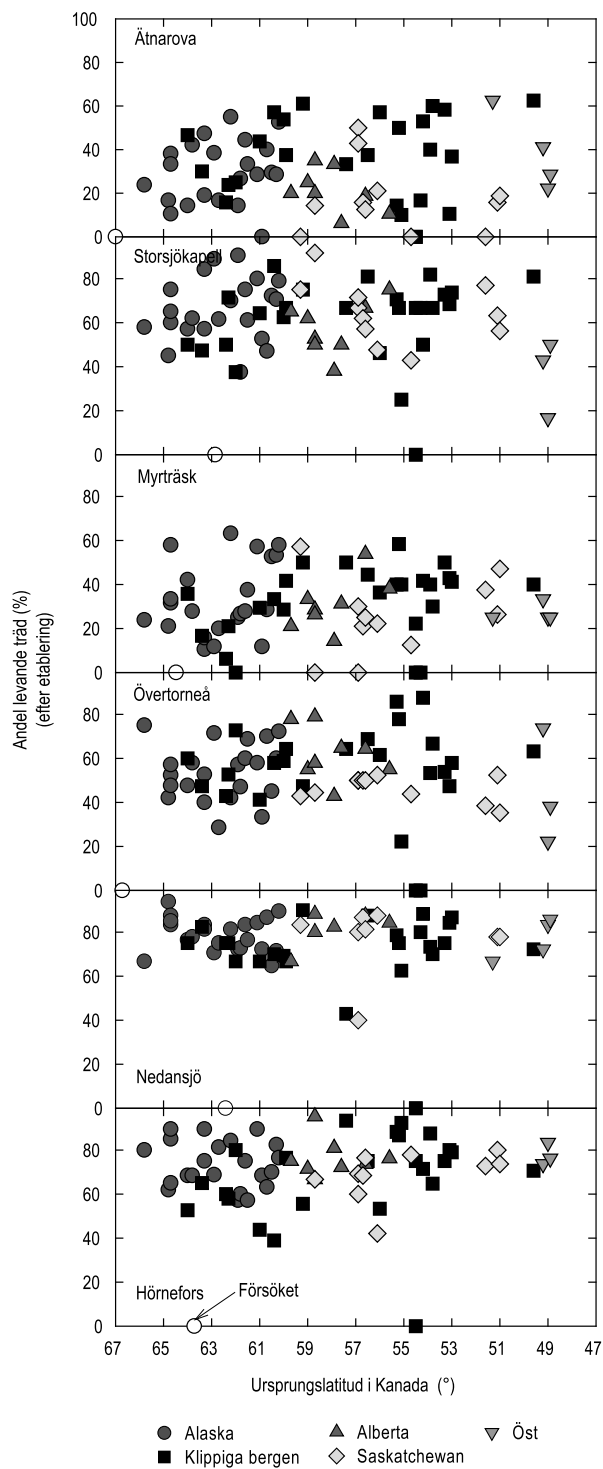
Vitgran



Svartgran



Vitgran



TIDIGARE REDOGÖRELSE FRÅN SKOGFORSK

2000

- Nr 3 Werner, M., Rytter, L. & Stener, L.-G.: Förbättrat lövedsutnyttjande för vidareförädling.
- Nr 4 Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Brunberg, T., Rehnberg, O., Jönsson, A., Miller, J., Nylinder, M., Duchesne, O. & Spångberg, K.: Vedsortering för bättre pappers- och kartongprodukter.

2001

- Nr 1 Rosvall, O., Jansson, G., Andersson, B., Ericsson, T., Karlsson, B., Sonesson, J. & Stener, L.-G.: Genetiska vinster i nuvarande och framtida fröplantager och klonblandningar.
- Nr 2 von Hofsten, H., Petersson, M. & Örlander, G.: Mekaniska snytbaggesskydd – påverkan på rot- och skottutveckling hos gran.
- Nr 3 Högberg, K.-A. & Jansson, G.: Odlingstester av tallfröplantager i södra Sverige.
- Nr 4 Pettersson, F.: Effekter av olika röjningsåtgärder på beståndsutvecklingen i tallskog.

2002

- Nr 1 Norin, K.: Upphandling och försäljning av entreprenadtjänster i skogsbruket – en diskussion om affärskoncept som stöder drivningssystemens utveckling.
- Nr 2 Möller, J. J., Sondell, J., Lundgren, C., Nylinder, M. & Warensjö, M.: Bättre diametermätning i skog och industri.
- Nr 3 Hallonborg, U. & Granlund, P.: Virkesbehandling med engreppsskördare.
- Nr 4 Gyllemark, M.: Provenienser av svartgran (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) i södra och mellersta Sverige.
- Nr 5 Glöde, D. & Strømmer P.-G.: Norrskogsgallring – utveckling, förankring och implementering av ett gallringskoncept.
- Nr 6 Högbo, L. & Jacobson, S.: Kväve 2002 – en konsekvensbeskrivning av skogsgödsling i Sverige.
- Nr 7 Möller, J. J., Sondell, J. & Arlinger, J.: Virkesvärdestest 2001 – Apteringsfrågor.

2003

- Nr 1 Hallonborg, U.: Maskinsågkedjor i praktisk drift.
- Nr 2 Aulén, G. & Gustafsson, L.: Skogliga naturvärdesregioner för södra Sverige.
- Nr 3 Pettersson, F.: Effekter på beståndsutvecklingen och ekonomin av olika förstagallringsåtgärder i tallskog – Redovisning av försöksresultat och synpunkter på dagens röjnings- och gallringsverksamhet.
- Nr 4 Glöde, D. & Bergkvist, I.: 30 år med maskinell röjning – summering av utförd FoU och analys av framtida potential.

2004

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

Skogforsk arbetar för ett långsiktigt, lönsamt skogsbruk
på ekologisk grund. Vår verksamhet består av tillämpad FoU,
uppdrag och kommunikation av ny kunskap.



SKOGFORSK

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala

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

E-post. skogforsk@skogforsk.se

www.skogforsk.se

© Skogforsk 2004

ISBN 1103-4580