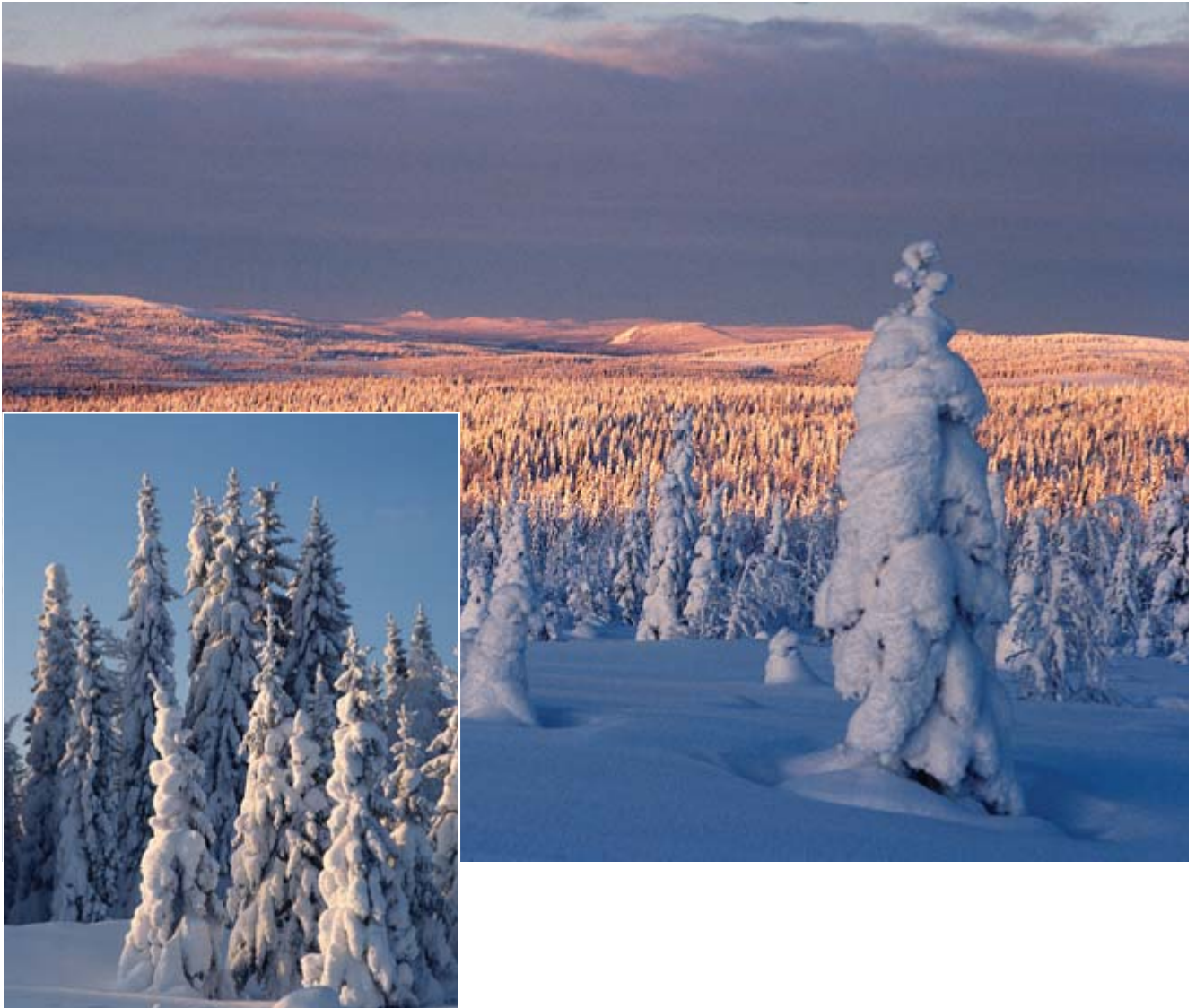


REDOGÖRELSE

FRÅN SKOGFORSK NR. 5 2004



Optimal produktion vid nordförflyttning av gran i norra Sverige

OPTIMAL PRODUCTION FOR NORTHWARD TRANSFER OF NORWAY SPRUCE IN NORTHERN SWEDEN

Johan Kroon & Ola Rosvall



Johan Kroon, jägmästare och doktorand

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



Ola Rosvall, Skog D, forskningsstationschef och skogsträdsförädlare

Anställd 1975 och har arbetat med skogskötsforskning och skogsträdsförädling.

ABSTRACT

**OPTIMAL PRODUCTION FOR NORTHWARD TRANSFER OF NORWAY
SPRUCE IN NORTHERN SWEDEN**

The benefits that can be gained by moving Norway spruce northward are generally substantial. This report analyses a series of experiments including eight Norway spruce populations in eight different locations widely spread over northern Sweden that was started in 1985, and evaluated in 2002. By weighting tree height and survival in various ways, risks are obtained for natural mortality, "risk index", and potential growth, "production index", and, thus, long-term production. At the age of 20 years the maximum safe distance for northward transfer based on the risk index is lower than the corresponding distance derived solely from tree height data. For cold sites the risk index shows that zero-movement is optimal, while for the mildest climatic conditions the maximum transfer is 4.3 degrees of latitude. The advantage of risk and production indexes is that they can be weighed together and thus optimal production for northward transfers can be estimated. In general the results confirm previous experience. The results of transferring spruce northward depend on the temperature climate of the site to which it is moved and the distance in degrees of latitude, i.e. difference in photoperiod.

Ämnesord: avgång, *Picea abies*, produktion, proveniens.

Omslag: Mats Bildström, SkogenBild

Redaktör: Lars Åkerman

Ansvarig utgivare: Jan Fryk

Formgivning: Niclas Eklund

REDOGÖRELSE

Optimal produktion vid nordför- flyttning av gran i norra Sverige

Modeller för sammanvägning av avgång och tillväxt

OPTIMAL PRODUCTION FOR NORTHWARD TRANSFER OF
NORWAY SPRUCE IN NORTHERN SWEDEN

Johan Kroon & Ola Rosvall

Innehåll

Sammanfattning	3
Bakgrund	4
Material och Metod	5
Lokaler och populationer	5
Revisioner och mätvariabler	5
Bearbetning	6
Resultat	9
Utvecklingen på de olika försökslokalerna	9
Förflyttningseffekter	10
Diskussion	16
Begränsningar	16
Modellansatsen	16
Förflyttning för maximal trädhöjd	17
Reducerad förflyttning med hänsyn till överlevnad och skador	17
Förflyttning för högsta arealproduktion	18
Slutsats	18
Referenser	19
Bilaga 1 – Populationens data	20
Bilaga 2 – Överlevnadens beroende av latitutförflyttning	21

Contents

Summary	3
Background	4
Materials and Methods	5
Experimental sites and populations	5
Measured traits	5
Analysis	6
Results	9
Development at each experimental site	9
Transfer effects	10
Discussion	16
Limitations	16
Model assumptions	16
Transfer for maximum tree height	17
Reduced transfer considering survival and damages	17
Transfer for maximum per hectare production	18
Conclusion	18
References	19
Appendix 1 – Population facts	20
Appendix 2 – Transfer effects on survival at each site	21

Sammanfattning

Vinsterna med att nordförflytta gran är i regel stora. Med hjälp av ett riskindex och ett produktionsindex kan slutsatser dras om risk för avgång och produktion. Det gäller att väga samman skador och dödlighet å ena sidan och tillväxt å den andra. Genom att utveckla dessa index kan valet av provenienser göras säkrare i framtiden. Dessa index ligger då till grund för att bedöma en optimal produktion vid förflyttning av granplanter norrut. I föreliggande rapport analyseras en försöksserie som anlades 1985 med hjälp av dessa index.

Denna nya rapport bekräftar tidigare erfarenheter. Utfallet av förflyttningen norrut har varit beroende på temperaturen (kallare eller varmare) dit plantorna flyttats samt förflyttningsavståndet i latitudled, d.v.s. förändringen i dagslängd. Det nya med försöksserien från 1985 är bland annat, att analysen grundas på ett säkrare underlag.

I försöksserien ingår åtta granpopulationer på åtta olika lokaler,

spridda över norra Sverige. År 2002 mättes höjd, kondition, antal toppskiften samt de mest frekventa skadorna.

Hittills har praxis varit att nordförflytta mellan 1 till 4 breddgrader för att öka produktionen. En breddgrad motsvarar 11 mil. Denna praxis har utvecklats efter data från äldre försök. Dessa försök har dock haft brister i upplägget och därmed givit viss osäkerhet i resultaten.

I samband med den här analysen har det varit möjligt att konstruera ett riskindex och utveckla ett tidigare produktionsindex för flyttning av granplanter norrut. Genom att vikta trädhöjd och överlevnad på olika sätt visas risken för avgång och möjlig tillväxt och därmed långsiktig produktion.

Med dessa riskindex och produktionsindex är det möjligt att värdera vinsten vid 20 års ålder med att flytta gran norrut. Med mer data skulle modellen kunna byggas ut och avse hela omloppstiden.

Beaktas riskindex minskar sträckan för nordförflyttningen i jämförelse med om enbart trädhöjden uppmärksammas. I kalla lägen visar riskindex att noll-förflyttning var optimalt. I det mildaste klimatläget maximerades flyttningen till 4,3 breddgrader. Den naturliga slutsatsen är att ju kallare klimat vid nordförflyttning desto större skador och avgångar.

Produktionsindex visar å sin sida, att tillväxten vid förflyttningar norrut till ett mildt klimat är större än vid ett kärvt. Exempelvis var produktionsindex 35 procent i det mildaste klimatläget vid en flytt på 4,5 breddgrader, men endast 8 procent i det kärvaste vid 2 graders flytt. Dvs. produktionen var drygt fyra gånger högre vid flytt i mildare klimatlägen än i kärvare.

Fördelen med ett risk- och produktionsindex är att det går att väga samman dessa index och på så sätt få fram den sammanlagda optimala produktionen vid nordförflyttning.

Summary

The benefits that can be gained by moving Norway spruce northward are generally substantial. With the help of a risk index and a production index conclusions can be drawn about the risks related to natural mortality and production. Damage and mortality risks have to be weighed against potential growth benefits. Developing such indexes can make provenance choices more reliable for the future. The indexes can then provide a basis for assessing optimal production when moving spruce northward. This report ana-

lyses a series of experiments that was started in 1985, with the help of these indexes.

The results confirm previous experience. The results of transferring spruce northward depend on the temperature climate of the site to which it is moved and the distance in degrees of latitude, i.e. difference in photoperiod. The novel feature of the 1985 experimental series is that the analysis now has a more reliable basis. The experimental series includes eight Norway spruce populations in eight different loca-

tions widely spread over northern Sweden. In 2002, height, tree condition, number of leading-shoot shifts and the most common types of damage were measured.

To date, the practice has been to move spruce northward by between 1 – 4 degrees of latitude in order to increase production. One degree corresponds to 110 km. This practice has developed from data obtained from older experiments, which had shortcomings that made the results uncertain.

In this analysis it has been possible to construct a risk index and improve an older production index for moving spruce northward. By weighting tree height and survival in various ways, risks are obtained for natural mortality and potential growth and, thus, long-term production. With these indexes it is possible to assess the benefits, at the age of 20 years, of moving spruce northward. With more data the model could be expanded to cover the whole rotation period.

The maximum safe distance for

northward transfer based on the risk index is lower than the corresponding distance derived solely from tree height data. For cold sites the risk index shows that zero-movement is optimal, while for the mildest climatic conditions the maximum move is 4.3 degrees of latitude. The clear conclusion is that the colder the climate the more damage and natural mortality is likely to occur, when moving spruce northward. In addition, the production indices show that northward transfer to a mild climate

will generally result in greater growth than transfer to a harsh climate. For example, the production index was 35 percent for the mildest site, but only 8 percent for the harshest site for a 2 degree move. That is, production was over four times higher for moves to milder climates than for moves to harsher ones.

The advantage of risk and production indexes is that they can be weighed together and thus optimal production for northward transfers can be estimated.

Bakgrund

För att optimera tillväxten av gran (*Picea abies* (L) Karst) i norra Sverige tillämpas nordförflyttning med en sträcka varierande mellan 1 och 4 breddgrader. Förflyttningarna görs längre i varma än i kalla temperaturlimn (Rosvall *et al.* 1998). Underlaget för proveniensvalet utgörs framförallt av resultat från 1959 års granproveniensserie som analyserats vid olika utvecklingsstadier, senast av Rosvall & Ericsson (1982). En revision, där inte alla försök ingick, gjordes nyligen av Eriksson & Ulander (2003). Deras begränsade studie kunde inte styrka att gynnsammare temperaturlimn ökar det optimala förflyttningsavståndet. Slutsatsen var att tre breddgraders nordlig förflyttning var optimalt för volymproduktionen oavsett lokalens klimatiska belägenhet.

De äldre försöken har flera brister. De omfattar visserligen många provenienser men för få lokaler (Hannerz 1993, Rosvall & Ericsson 1982). Enligt Rosvall & Ericsson (1982) kan försöksresultaten från

1959 års försöksserie ha påverkats av omständigheter såsom:

- att många försök i serien är utlagda på magra marker där gran sannolikt inte är rätt trädslag
- att granarna har haft en generellt svag utveckling som berott på hyggesrensning, bränning, fläckmarkberedning för hand och intensiv lövsanering
- att det är stor skillnad i försökskvalité (skador m.m.) mellan de nordliga och de sydliga försöken
- att alla nordliga försök ligger i relativt kärva lägen
- att plantmaterialet var speciellt

Plantorna i 1959 års serie bestod av långt drivna, omskolade, stora barrotsplanter, varför selektion i plantskolan i Sundmo inte kan uteslutas. Planttillväxt och selektion var då beroende av proveniensernas anpassning till klimatet i plantskolan. Alla dessa omständigheter kan ha påverkat, inte enbart överlevnad och tidig utveckling, utan även hela mönstret för överlevnad och tillväxt

av proveniensskillnader på de olika försökslokalerna.

De äldre försöken gavs alltså en helt annan start jämfört med dagens granplanteringar som utförs med effektiva markberedningsmetoder och täckrotsplanter.

För att förbättra kunskapen om granpopulationers optimala förflyttning har det därför anlagts ett antal nya proveniensförsöksserier med gran i norra Sverige, bl.a. en serie år 1985. I den serien eftersträvades en bättre spridning av försökslokaler och en mer kontrollerad odling av plantorna. Inom en snar framtid kommer provenienseffekter också att kunna studeras i samtliga avkommeförsök i det svenska förädlingsprogrammet, där ett brett referensmaterial med naturpopulationer av gran ingår.

Den här rapporterade analysen har två syften. Det ena är att vidareutveckla en metod för att beräkna relativa förflyttningseffekter i proveniensförsöksserier och det andra att med nytt material beräkna lämplig förflyttning av gran i norra Sverige.

Material och Metod

LOKALER OCH POPULATIONER

I norra Sverige anlades 1985 en proveniensförsöksserie om åtta försök spridda från norr till söder (*figur 1*) och i olika temperaturklimat (*figur 2*). Fem av försöken återfinns i låglägen, varav ett på en utvalt frostlänt mark och tre i höglägen (*tabell 1*).

I serien ingår åtta granpopulationer (*Picea abies* (L) Karst), vilka härrör från insamlad beståndsmaterial från 59° till 67°N (*bilaga 1*). 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 (*figur 3*). Plantorna odlades i Cellpot CP 2 med 90 cm³/planta.

Försöksplantorna planterades ut med fullständig randomisering på respektive försökslokal. Marken harvades (i försök 417 Storsjökapell frästes fårar med Wadell-fräs) och plantorna planterades med 2,2 x 2 eller 2 x 2 förband beroende på vilken markberedningsmaskin som användes. För den statistiska analysen gjordes en blockindelning av försöken. Hänsyn togs till terrängens lutning och jämnstora block eftersträvades.

I försöksserien ingick även sammanlagt 100 populationer av svartgran (*Picea mariana* (Mill) B.S.P)

och vitgran (*Picea glauca* (Moench) Voss), för vilka de åtta populationerna av den inhemska granen (*Picea abies* (L) Karst) även skulle tjäna som referensmaterial.

REVISIONER OCH MÄTVARIABLER

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 väder-

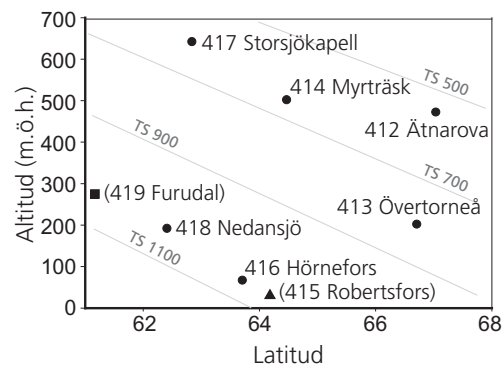
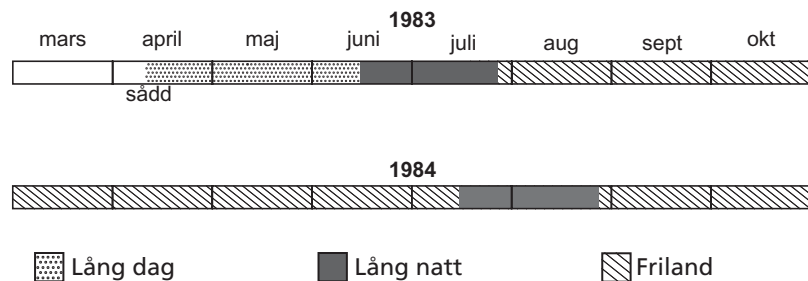
Tabell 1. Försökslokalerna i 1985 års försöksserie. Temperatursumman beräknades efter Ericsson *et al.* (2002).

Försökslokal	Försök (nr)	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



Figur 1. Försökslokalernas geografiska läge.

Figur 3. Ljusstyrning för försöksmaterialet enligt Rosvall (1985)



Figur 2. Försökslokalernas temperaturklimat uttryckt som temperatursumma (TS) (efter Odin *et al.* 1983). Beräknad temperatursumma för respektive lokal redovisas i *tabell 1*.

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 (cm) från terminalskottsknopp till mark, ev. skottskjutning 2002 togs inte med.
Skada	Kodbeteckning för skada, enligt Karlman <i>et al.</i> (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 tydlig genomgående stam sattes "9".
Undertryckt (räknas till 419)	Plantans undertryckthet 1. Obetydlig 2. Betydande 3. Svår 4. Dödande På klasserna 3 och 4 mättes ingen höjd.

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

Försöksserien mättes under barmarksperioden 2002. Det var den första totalmätningen av trädhöjd (tidigare har stickprovsmätningar gjorts). Försök 414 Myrträsk, 415 Robertsfors, 416 Hörnefors och 418 Nedansjö mättes på våren i början på skottskjutningen, medan 412 Ätnarova, 413 Övertorneå, 417 Storsjökapell och 419 Furudal mättes på hösten efter skottskjutningen. Oberoende av när mätningen ägde 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.

Försök 415 Robertsfors anlades med syftet att studera frostsador på en extremt frostlänt lokal och

har skadats svårt av frost under flera omgångar. Separata mätningar av frostsadorna gjordes 1993 och 2002. De kommer att rapporteras på annan plats. I den här studien utelöstes därför Robertsforsförsöket från analysen. Försök 419 Furudal blev övervuxet av tall. Vid mätningen undantogs 25 % av plantorna för att de var extremt undertryckta av tallarna. Furudalsförsöket utelöstes ur analysen p.g.a. den låga försökskvalitén. I försök 412 Ätnarova mättes inga toppskiften (p.g.a. låg andel) och detta försök har därför inte ingått i den samlade analysen för toppskiften. Vid bearbetningen av trädhöjd har svårt skadade träd i skadeklass 3 inte tagits med.

BEARBETNING

Testade modellvariabler: Tidigare studier har visat att lokalens temperaturklimat och dag/natt-förhållande tillsammans med granens latitud-

och altitudförflyttning har betydelse för dess tillväxt (Remröd *et al.* 1972, Rosvall och Ericsson 1982). Här testades följande förklarande variabler 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) - (granpopulationens ursprungslatitud) (*tabell 3*)
- Populationens altitudförflyttning = (försökslokalens altitud) - (granpopulationens ursprungsalitud)
- Populationens longitudförflyttning = (försökslokalens longitud) - (granpopulationens longitudursprung)
- Planthöjden = granpopulationens

aritmetiska medelhöjd i plantskolan efter 2 års odling

Modellansats: Tillväxtfaktorerna förutsattes ha en multiplikativ inverkan på trädhöjden, varför en allmän funktion till modellen kan skrivas:

$$y = e^{\beta_0} \cdot e^{\beta_1 X_1} \cdot e^{\beta_2 X_2} \cdot e^{\beta_{12} X_{12}} \text{ etc.}$$

där y är höjden, β_0, β_1, \dots är regressionskonstanter, X_1 och X_2 separata modellvariabler och X_{12} är samspels-effekten av X_1 och X_2 . Genom en logaritmisk transformation fås en linjär modell. I den linjära modellen är det sedan lättare att skatta parametrarna. Det var av särskilt intresse att utreda hur förflyttningssträcka och förflyttningseffekten varierar med lokalens klimatläge, d.v.s. att studera samspelet X_{12} .

Primärbearbetning: Samtliga beräkningar utfördes på enskilda träd. Trädens kondition och antal toppskiften transformerades till "normal score", för att bli approximativt normalfördelade. Normal score-värdena återtransformerades sedan med valda tröskelvärden för överlevnad och andel toppskiften (Danell 1991).

För att minska systematisk miljövariation blockindelades försöken. Blockskillnaden för trädhöjd var signifikant på 5 %-nivån i 414 Myrträsk, 416 Hörnefors och 418 Nedansjö men inte signifikant i de andra försöken. Blockindelningen bibehölls ändå i alla försök för att göra analysen enhetlig vid sambearbetningen. Enskilda försöksmedelvärden beräknades som "LS-means" med Proc Glm för höjd och aritmetiskt för kondition och skador med Proc Summary resp. Proc Tabulate i SAS (SAS 1999).

Analysen inleddes med att försöksvis göra en stegvis regressionsanalys av $\ln(\text{trädhöjd})$ med de studerade variablerna till funktionen som separata termer och som samspelestermer med Proc Reg i SAS (SAS 1999). Resultaten varierade för försöken men effekten av latitudförflyttning som separat term eller i samspel med andra variabler var genomgående den mest betydelsefulla, även om det var med svag signifikans.

Samlad analys: Temperaturklimatet har stor betydelse för höjduvecklingen. Därmed förväntas att försöks-

medelvärdena för trädhöjd blir starkt korrelerade med temperatursumman. Därför valdes i enlighet med Andersson *et al.* (2003) temperatursumman som ett mått på lokalens klimat för den samlade analysen.

Även ett annat sätt att hantera mycket olika trädmedelhöjd på olika lokaler prövades genom att analysera försöksvisa relativa värden för populationernas egenskaper. Här sattes t.ex. trädens höjd i relation till medelvärdet i respektive block.

Betydelsen av samspelet mellan populationens latitudförflyttning och lokalens temperaturklimat studerades i tre olika modellfunktioner: [1] och [2] utan samspel och [3] med samspel mellan latitudförflyttning och lokalens temperaturklimat. För alla tre funktionerna valdes en blandad modell med latitudförflyttning och temperatursumma som fixa effekter och försök och block inom försök som slumpmässiga effekter.

Regressionsanalysens funktioner anpassades till data med Mixed-proceduren med REML-variansskattningar i SAS (SAS 1999). De slutliga funktionerna valdes med ledning av signifikansnivåer och residualstudier

Tabell 3. Granpopulationernas latitudförflyttning i respektive försök (breddgrader) (se Bilaga 1).

Population	Försök							
	412 Ätnarova	413 Övertorneå	414 Myrträsk	415 Robertsfors	416 Hörnefors	417 Storsjökapell	418 Nedansjö	419 Furudal
59 100	8,1	7,7	5,5	5,2	4,7	3,9	3,4	2,2
60,37 135	6,7	6,3	4,1	3,8	3,3	2,5	2,0	0,8
62,63 125	4,4	4,1	1,9	1,6	1,1	0,2	-0,2	-1,5
63,23 150	3,8	3,5	1,3	1,0	0,5	-0,4	-0,8	-2,1
64,42 175	2,6	2,3	0,1	-0,2	-0,7	-1,6	-2,0	-3,3
65,5 130	1,6	1,2	-1,0	-1,3	-1,8	-2,7	-3,1	-4,3
66,33 200	0,7	0,4	-1,8	-2,1	-2,6	-3,5	-3,9	-5,2
67 190	0,1	-0,3	-2,5	-2,8	-3,3	-4,2	-4,6	-5,8

och att funktionerna skulle vara logiska i enlighet med hypoteserna. Residualdiagrammet visade att de till sist valda funktionerna gav konstant varians utan tecken på sned fördelning.

Regressionsfunktioner utan samspel mellan förflyttning och temperaturklimat:

De bästa anpassningarna till data erhöles av *funktion* [1] och [2]:

$$\ln y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_2 X_2 + \mu_i + y_{i(j)} + \varepsilon_{ijk} \quad [1]$$

$$\text{nscore } y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_{11} X_1^2 + \mu_i + y_{i(j)} + \varepsilon_{ijk} \quad [2]$$

där y_{ijk} i [1] är höjden på det individuella trädet (cm) i försök i och block j och y_{ijk} i [2] är kondition (normal score) på det individuella trädet fr.o.m. etablering i försök i och block j samt antal toppskiften (normal score) på det individuella trädet i försök i och block j , β_0, β_1, \dots är regressionskonstanter, X_1 är populationens latitudförflyttning i breddgrader och X_2 är lokalens temperaturklimat (temperatursumman

dividerad med 100). Termerna $\mu_i, y_{i(j)}$, och ε_{ijk} representerar den slumpmässiga avvikelserna mellan försök, mellan block inom försök samt mellan träd inom block inom försök, med $E(\mu) = E(y) = E(\varepsilon) = 0$, $V(\mu) = \sigma_\mu^2$, $V(y) = \sigma_y^2$ och $V(\varepsilon) = \sigma_\varepsilon^2$ (residualvariansen).

Regressionsfunktioner med samspel mellan förflyttning och temperaturklimat:

Den bästa anpassningen till data erhöles med *funktion* [3]:

$$\ln y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \mu_i + y_{i(j)} + \varepsilon_{ijk} \quad [3]$$

där y_{ijk} är höjden (cm) på det individuella trädet respektive kondition (normal score) på det individuella trädet fr.o.m. etablering i försök i och block j , β_0, β_1, \dots är regressionskonstanter, X_1 är populationens latitudförflyttning i breddgrader, X_2 är lokalens temperaturklimat (temperatursumman dividerad med 100) och $X_1 X_2$ är samspelseffekten av X_1 och X_2 . Termerna $\mu_i, y_{i(j)}$ och ε_{ijk} representerar den slumpmässiga avvikelserna mellan försök, mellan block inom försök

samt mellan träd inom block inom försök, med $E(\mu) = E(y) = E(\varepsilon) = 0$, $V(\mu) = \sigma_\mu^2$, $V(y) = \sigma_y^2$ och $V(\varepsilon) = \sigma_\varepsilon^2$ (residualvariansen).

Populationens altitudförflyttning och longitudförflyttning samt plantornas höjd i plantskolan var antingen korrelerade med de variabler som redan ingick i funktionen, som t.ex. populationens latitudursprung med altitudursprung (*figur 4*), eller saknade signifikans. De togs därför inte med i funktionen.

Riskindex: För att väga in risken vid nordförflyttning med syfte att enbart maximera tillväxten (trädhöjden) skapades ett index som beaktar tendensen till samtidigt minskad överlevnad. Indexet beräknades enligt:

$$r = h \cdot o \quad [4]$$

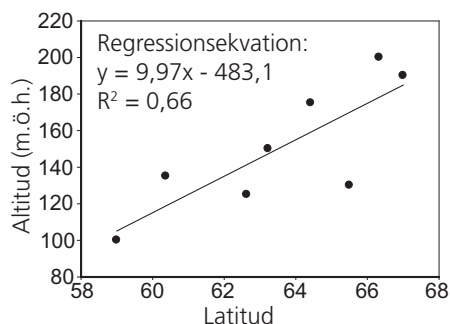
där r är riskindex i procent, h är den skattade relativa medelhöjden för en population och o är den skattade relativa överlevnaden för en population.

Indexet beräknades för tre olika kombinationer av funktionsansatser (*tabell 4*): Det första utan samspel mellan populationens förflyttningsavstånd och lokalens temperatursumma i modellfunktionerna för både trädhöjd och överlevnad [r_i]; det andra med detta samspel i modellfunktionerna för enbart trädhöjd och inte för överlevnad [r_{ii}]; det tredje med detta samspel i modellfunktionerna för både trädhöjd och överlevnad [r_{iii}].

Produktionsindex: Bjørgung (1959) visade att volymen per hektar kan bestämmas med:

$$v = k(\sqrt{n} \cdot h^2) \quad [5]$$

där v är volym/ha, n är stamantalet



Figur 4. Sambandet mellan granpopulationernas latitud- och altitudursprung.

Tabell 4. Alternativa riskindex med trädhöjd och överlevnad skattad med olika regressionsfunktioner.

Index	Regressionsfunktion	
	trädhöjd	överlevnad
$[r_i]$	[1]	[2]
$[r_{ii}]$	[3]	[2]
$[r_{iii}]$	[3]	[3]

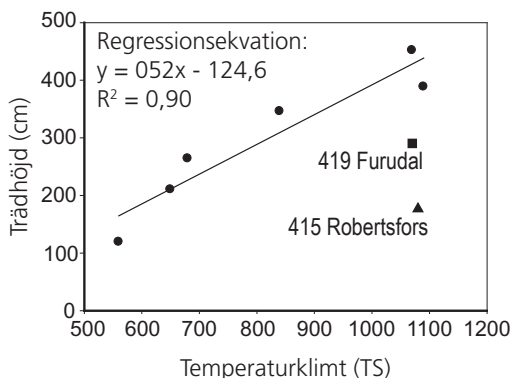
per ha, h är beståndets medelhöjd och k är en konstant som kan variera från plats till plats. "Björgungs index" användes för att skatta effekt av förflyttning på granens hittills

uppnådda totalproduktion. Indexet beräknades för två olika kombinationer av funktionsansatser. Eftersom antalet plantor var det samma kunde n bytas ut mot överlevnaden s och

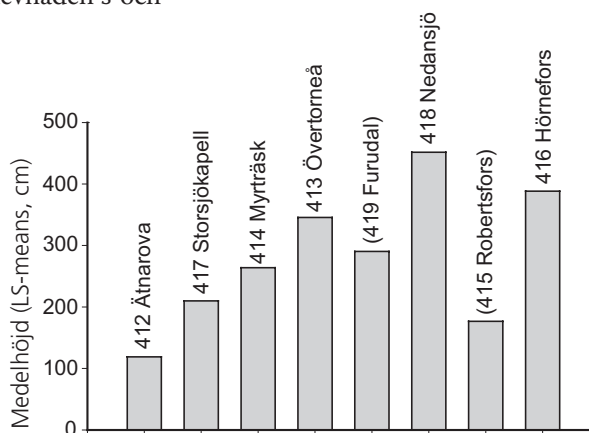
genom att använda relativa tal för h och s kunde resultat från olika lokaler sammanföras i en samlad analys enligt alternativen i *tabell 5*.

Tabell 5. Alternativa produktionsindex med trädhöjd och överlevnad skattad med olika regressionsfunktioner.

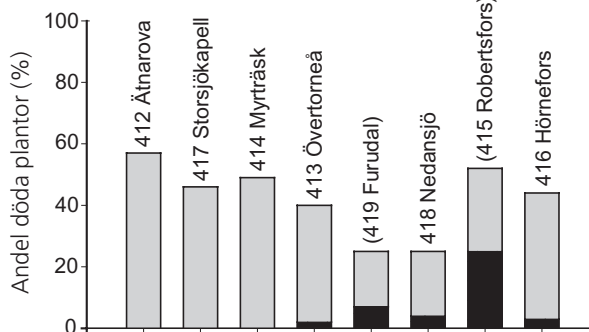
Index	Regressionsfunktion	
	trädhöjd	överlevnad
$[V_i]$	[1]	[2]
$[V_{ij}]$	[3]	[2]



Figur 6. Sambandet mellan lokalens temperaturklimat och försöksmedelvärdena för trädhöjd. Försök 415 Robertsfors och 419 Furudal undantogs från den samlade analysen.



Figur 5. Försöksmedelvärden för trädhöjd efter stigande temperaturklimat.



Figur 7. Total plantavgång. Den svarta delen av stapeln anger döda från etablering, dvs. en växtsäsong efter plantering. Försöken är ordnade efter stigande temperaturklimat.

Resultat

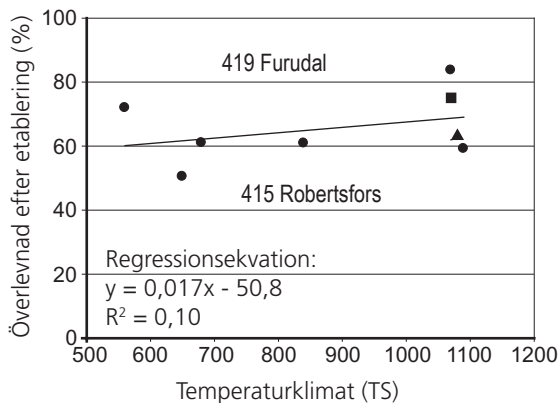
UTVECKLINGEN PÅ DE OLIKA FÖRSÖKSLOKALERNA

Trädmedelhöjden varierade mycket mellan de olika försöken (*figur 5*). Lokalens temperaturklimat har påverkat höjdtutvecklingen (*figur 6*), men också andra lokala förhållanden har haft viss betydelse. Plantor i för-

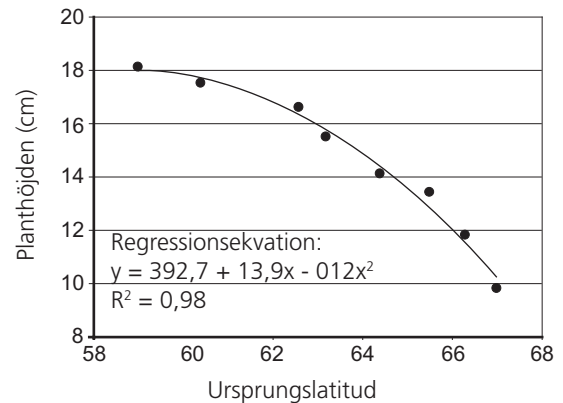
sök på kärvarer lokaler hade klarat etableringsfasen (till hösten efter plantering) utan någon plantavgång. På mildare lokaler fanns en del avgångar, men de var förhållandevis små. Endast i det hårt frostska-dade försöket 415 Robertsfors, var överlevnaden påtagligt lägre. Efter

etableringen har lokalernas kärvhet däremot varit en dominerande faktor för fortsatt avgång. Försök 416 Hörnefors avviker med stora avgångar trots det förhållandevis milda läget (*figur 7*).

För gran av lokal proveniens fanns dock inget signifikant sam-



Figur 8. Överlevnad för lokal gran skattad försöksvis med funktionerna i *bilaga 2*



Figur 9. Granplantornas höjd efter två års odling i plantskolan.

Tabell 7. Regressionsfunktion ln(trädhöjd) enligt [1].

Variabler	Koefficient	Skattning	Medelfel	p-nivå
Intercept	β_0	3,7618	0,4186	<0,001
Latitudförflyttning	β_1	0,05472	0,007931	<0,001
(Latitudförflyttning) ²	β_{11}	-0,00741	0,001771	<0,001
Temperatursumma (TS)	β_2	0,2195	0,04973	<0,001
Varians mellan försök		0,05773		
Varians mellan block inom försök		0,01515		
Residualvarians (oförklarad varians)		0,1567		
Den beroende variabelns totala varians		0,384818		

band mellan överlevnad och lokalens kärvhet (*figur 8*), utan det var sydliga populationer som överlevde sämre ju kärvare klimat. Den genomsnittliga överlevnaden för lokal gran var ca 75 % (se *bilaga 2*), vilket utnyttjades som tröskelvärde mellan död och levande vid återtransformering från

”normal score”-värden till överlevnad i procent.

FÖRFLYTTNINGSEFFEKTER

Plantstorlek: Efter odlingen av plantorna i plantskolan var skillnaden i planthöjd mellan populationer större än vad som från början eftersträva-

des. En orsak var att tillväxtkontroll med dag/natt-reglering inte ger effekt under andra odlingsåret. Nordliga populationer blev därför kortare än sydliga efter två säsonger (*figur 9*). Korrelationen mellan planthöjden och trädhöjden i fält varierade mellan de olika försöken. Regres-

Tabell 6. Riktningkoefficienten β_1 , för respektive försök, i en enkel regressionsekvation $y = \beta_0 + \beta_1 x$, där y = höjd (2001) och x = planthöjd.

	412 Ätnarova	413 Övertorneå	414 Myrträsk	415 Robertsfors	416 Hörnefors	417 Storsjökapell	418 Nedansjö	419 Furudal
β_1	-0,9	3,9	12,9	-9,5	22,4**	8,3	28,5**	-4,1

(** signifikant $p < 0.05$)

sionssambandet mellan planthöjd och trädhöjd respektive överlevnad var oftast inte signifikant ($p > 0,05$). Sambandet var heller inte alltid positivt i de enskilda försöken (*tabell 6*).

Trädhöjd och överlevnad i fält utan hänsyn till samspel mellan förflyttning och temperaturklimat: Regressionsanalysen gav en funktion med

skattade parametrar enligt *tabell 7* för trädhöjd och *tabell 8* för kondition (överlevnad). Funktionernas förklaringsgrad varierade beroende på den beroende variabeln (*tabell 9*). Populationens latitudförflyttning och lokalens temperatursumma utgjorde de fixa effekterna i funktionerna. De slumpmässiga effekterna utgjordes av försök och block inom försök samt

Tabell 8. Regressionsfunktion för trädens överlevnad (kondition i "normal score"-skala) enligt [2].

Variabler	Koefficient	Skattning	Medelfel	p-nivå
Intercept	β_0	4,8899	0,03240	<0,001
Latitudförflyttning	β_1	-0,00931	0,01043	0,3722
(Latitudförflyttning) ²	β_{11}	0,009401	0,002245	<0,001
Varians mellan försök		0		
Varians mellan block inom försök		0		
Residualvarians (oförklarad varians)		0,607		
Den beroende variabelns totala varians		0,621231		

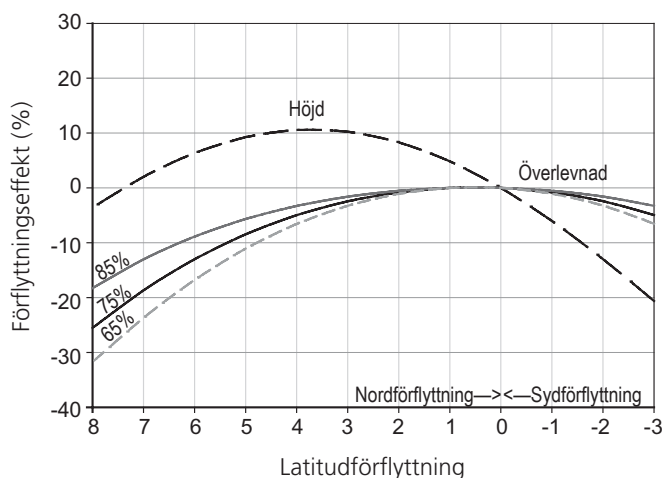
Tabell 9. Förklaringsgrad för de ingående effekterna i *tabell 7* och *8*.

Effekter (% av total variation)	Trädhöjd [1]	Överlevnad [2]
Fixa effekter	40 %	2 %.
Mellan försök och mellan block inom försök	19 %	0 %
Residualvarians	41 %	97 %

av residualerna.

De relativa latitudförflyttningseffekterna på trädhöjd och överlevnad visas i *figur 10*. Den maximala trädhöjden nåddes med en nordförflyttning av 3,7 breddgrader, vilket gav en vinst på ca 11 % jämfört med trädhöjden hos lokal gran. Den relativa förflyttningseffekten på överlevnaden beräknades för tre tänkta fall för den lokala granens överlevnad = 65, 75 respektive 85 %. Högst överlevnad nåddes med en mycket liten nordförflyttning (0,5 breddgrader) eller approximativt med lokal gran, oberoende av avgångsnivå. Den relativa effekten av förflyttning var störst vid den lägsta överlevnadsnivån, även om de absoluta förflyttningseffekterna var ungefär lika stora i de tre fallen.

Trädhöjd och överlevnad i fält med hänsyn till samspel mellan förflyttning och temperaturklimat: Regressionsanalysen gav en funktion med skattade parametrar för trädhöjd enligt *tabell 10* och kondition



Figur 10. Den relativa förflyttningseffekten för trädhöjd och överlevnad vid 65, 75 och 85 % genomsnittlig överlevnad för lokal gran, enligt [2] utan samspel mellan latitudförflyttning och temperaturklimat.

Tabell 10. Regressionsfunktion för ln(trädhöjd) enligt [3].

Variabler	Koefficient	Skattning	Medelfel	p-nivå
Intercept	β_0	3,7906	0,3974	<0,001
Latitutförflyttning	β_1	0,001324	0,03303	0,9680
(Latitutförflyttning) ²	β_{11}	-0,00654	0,04720	<0,001
Temperatursumma (TS)	β_2	0,2161	0,04479	<0,001
Latitutförflyttning x TS	β_{12}	0,00600	0,003608	0,0969
Varians mellan försök		0,05148		
Varians mellan block inom försök		0,01506		
Residualvarians (oförklarad varians)		0,1563		
Den beroende variabelns totala varians		0,38481		

Tabell 12. Förklaringsgrad för de ingående effekterna i tabell 10 och 11.

Effekter (% av total variation)	Trädhöjd [1]	Överlevnad [2]
Fixa effekter	42 %	3 %.
Mellan försök och mellan block inom försök	17 %	0 %
Residualvarians	41 %	97 %

Tabell 11. Regressionsfunktion för trädens överlevnad (kondition i "normal score"-skala enligt [3]).

Variabler	Koefficient	Skattning	Medelfel	p-nivå
Intercept	β_0	4,8296	0,1373	<0,001
Latitutförflyttning	β_1	0,08935	0,04109	0,0299
(Latitutförflyttning) ²	β_{11}	0,007212	0,002433	0,0031
Temperatursumma (TS)	β_2	0,007189	0,01604	0,6542
Latitutförflyttning x TS	β_{12}	-0,01136	0,004607	0,0139
Varians mellan försök		0,002018		
Varians mellan block inom försök		0		
Residualvarians (oförklarad varians)		0,6039		
Den beroende variabelns totala varians		0,621231		

(överlevnad) enligt tabell 11. Funktionernas förklaringsgrad redovisas i tabell 12.

De relativa latitutförflyttningseffekterna på trädhöjd visas i figur 11. Den optimala förflyttningen varierade mellan 2,4 och 5,3 breddgrader beroende på lokalens kårighet. Störst vinsten gav nordförflyttning i milda lägen med i det närmaste 20 % högre trädhöjd vid 1100 dygngrader mot 4 % vid 500 dygngrader.

Effekt av latitutförflyttning på granens överlevnad vid 75 % överlevnad hos lokal gran visas i figur 12. I de allra kåraste lägena ökar överlevnaden genom att förflytta gran söderut. I de intermediära temperaturklimaten ger lokal gran högst överlevnad och i de allra mildaste lägena maximeras överlevnaden vid en måttlig nordförflyttning.

Riskindex: Indexet (höjd \times överlevnad) i funktionsansats [r_i] utan samspelsterm mellan population-

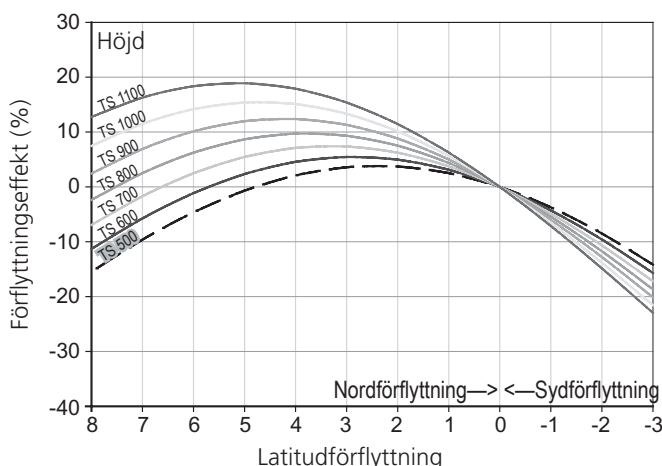
ens latitudförflyttning och lokalens temperaturklimat maximerades vid 2,5 breddgraders nordförflyttning (figur 13).

För riskindexet i funktionsansats $[r_{ii}]$ varierade den optimala förflyttningen mellan 1,5 och 3,5 breddgrader beroende på lokalens kärvhet (figur 14). Det är 0,9 resp. 1,8 bredd-

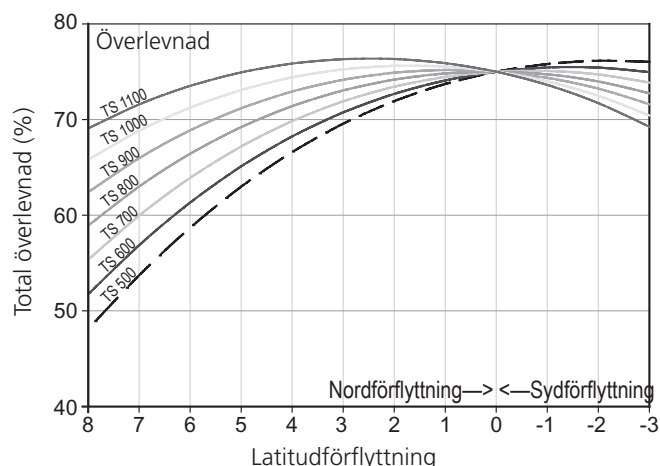
grader mindre än om förflyttningen maximeras för enbart trädhöjd med samspelstermen [3].

För riskindexet i funktionsansats $[r_{iii}]$ med samspel mellan populationens latitudförflyttning och lokalens temperaturklimat för både trädhöjd och överlevnad varierade den optimala förflyttningen mellan

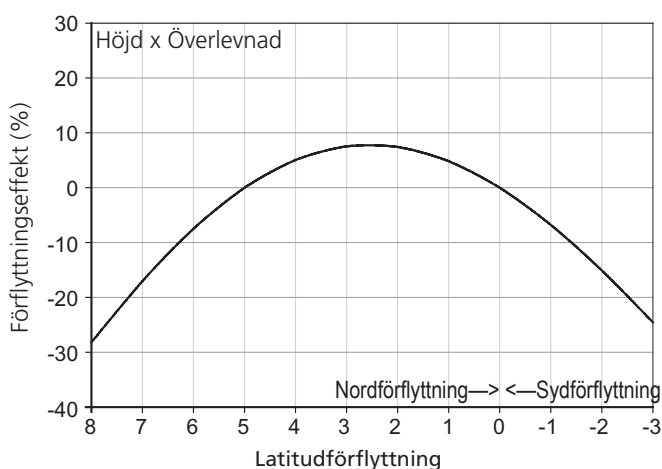
0,5 och 4,3 breddgrader beroende på lokalens kärvhet. Vinsterna av en förflyttning i de kärvaste klimatlägena blev nu mycket små (figur 15). Det innebär en minskning av förflyttningsoptimumet med 1,9 resp. 1 breddgrad jämfört med om förflyttningen optimerats för enbart trädhöjd [3]. När samspelstermen



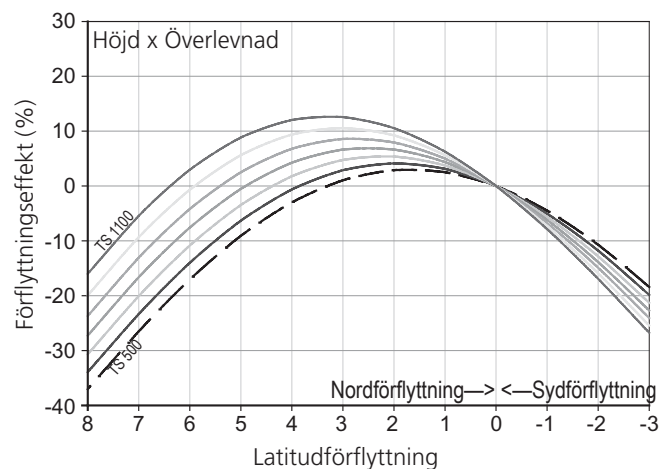
Figur 11. Den relativa effekten av latitudförflyttning på trädhöjd vid temperatursummor (TS) mellan 500 och 1100 dygngrader enligt [3] med samspel mellan latitudförflyttning och temperaturklimat.



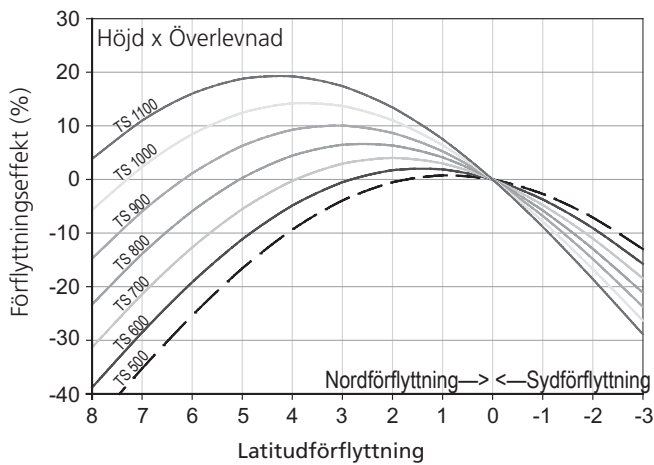
Figur 12. Effekt av latitudförflyttning på överlevnaden vid temperatursummor (TS) mellan 500 och 1100 dygngrader och 75 % överlevnad för lokal gran med samspel mellan latitudförflyttning och temperaturklimat enligt [3].



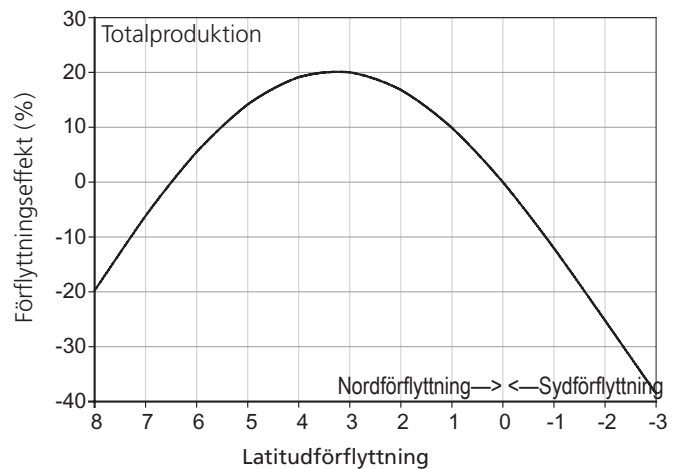
Figur 13. Effekt av latitudförflyttning på riskindexet (höjd x överlevnad) i funktionsansats $[r_i]$, vid 75 % överlevnad för lokal gran.



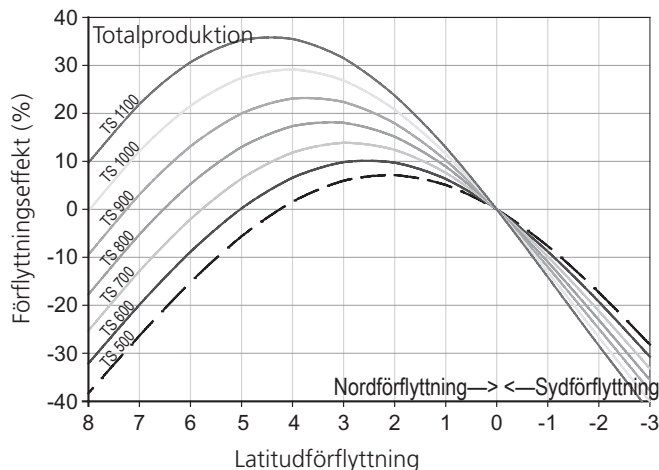
Figur 14. Effekt av latitudförflyttning på riskindexet höjd x överlevnad i funktionsansats $[r_{iii}]$, för temperatursummor mellan 500 och 1100 dygngrader vid 75 % överlevnad för lokal gran.



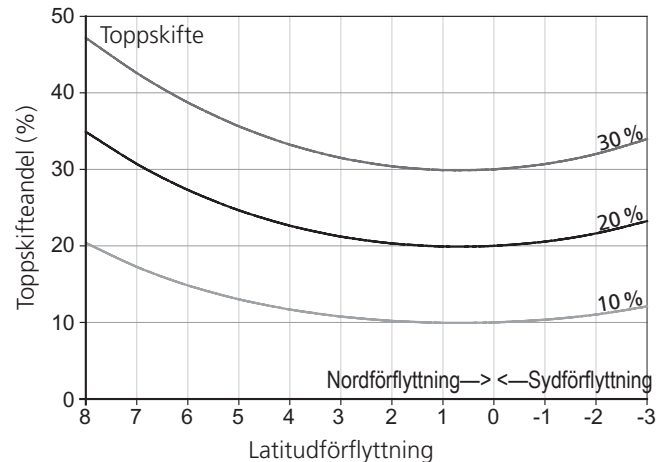
Figur 15. Effekt av latudförflyttning på riskindexet (höjd x överlevnad [r_{ij}]), för temperatursummor mellan 500 och 1100 dygngrader vid 75 % överlevnad för lokal.



Figur 16. Effekt av latudförflyttning på totalproduktion (relativa tal) vid 75 % överlevnad för lokal gran efter [v_{ij}] utan samspelsterm mellan latudförflyttning och temperaturklimat.



Figur 17. Effekt av latudförflyttning på totalproduktionen (relativa tal) för temperatursummor mellan 500 och 1100 dygngrader vid 75 % överlevnad för lokal gran efter [v_{ij}] med samspel mellan latudförflyttning och temperaturklimat för trädhöjd och utan samspel för överlevnad.



Figur 18. Samband mellan andel toppskiften och populationens latudförflyttning [2] vid 10, 20 och 30 % andel toppskiften för lokal gran.

Population	413 Övertorneå	414 Myrträsk	415 Robertsfors	416 Hörnefors	417 Storsjökapell	418 Nedansjö	419 Furudal
59 100	55	0	25	0	8	13	3
60,37 135	40	11	29	0	13	5	0
62,63 125	40	0	14	15	11	0	0
63,23 150	21	0	20	15	0	10	7
64,42 175	20	0	13	17	0	19	13
65,5 130	22	13	0	17	0	25	29
66,33 200	7	0	25	14	0	8	7
67 190	40	0	60	17	0	40	6
Totalt	29	2	22	12	4	14	9

Tabell 13. Andel granar med toppskiften (%) i respektive försök.

tillfördes överlevnadskomponenten i indexet ($r_{ii} \rightarrow r_{iii}$) ökade effekten av nordförflyttning i milda klimatlägen både m.a.p. förflyttningens längd och indexets nivå, jämfört med när samspelet inte var med.

Totalproduktion : För produktionsindex [v_i] med stamantal (relativ överlevnad) och trädhöjd (relativa trädhöjd) enligt [5], utan samspe-

term mellan temperaturklimat och latitudförflyttning maximerades produktionen vid en nordlig förflyttning av 3,3 breddgrader (*figur 16*). Det gav en maximal relativ produktionsökning på 20 % jämfört med lokal gran. För produktionsindex [v_{ii}] med samspel mellan populationens latitudförflyttning och lokalens temperatursumma och för trädhöjd och utan motsvarande samspel för

överlevnad varierade den optimala förflyttningen mellan 2 och 4,5 breddgrader beroende på lokalens kärvhet (*figur 17*). Detta gav en maximal relativ produktionsökning på mellan 8 och 35 % jämfört med en population av lokal proveniens.

Toppskiften: Frekvensen toppskiften på de fem översta grenvarven varierade mellan de olika försöken (*tabell 13*). Analysen gav en funktion med skattade parametrar enligt *tabell 14*. Funktionens förklaringsgrad redovisas i *tabell 15*.

Effekten av en latitudförflyttning på andelen toppskiften visas i *figur 18* för 3 skadenivåer. Den

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

Effekter (% av total variation)	Toppskifte [2]
Fixa effekter	2 %
Mellan försök och mellan block inom försök	0 %
Residualvarians	98 %

Tabell 14. Regressionsfunktion för frekvens toppskiften i "normal score"-skala enligt [2].

Variabler	Koefficient	Skattning	Medelfel	p-nivå
Intercept	β_0	4,93	0,03227	<0,001
Latitudförflyttning	β_1	-0,01137	0,009913	0,2521
(Latitudförflyttning) ²	β_{11}	0,008513	0,002536	0,001
Varians mellan försök		0		
Varians mellan block inom försök		0		
Residualvarians (oförklarad varians)		0,301		
Den beroende variabelns totala varians		0,307847		

Tabell 16. Andel skador (%) av olika skadegörare i respektive försök.

Skadetyper	412 Ätnarova	413 Övertorneå	414 Myrträsk	415 Robertsfors	416 Hörnefors	417 Storsjökapell	418 Nedansjö	419 Furudal
Gremeniella		11	2	2	1			
Snöskytte	16	9						
Granbarrlus	16	2	4	2	6	6	5	1
Vegetation	1	1		8	16		5	
Höstfrost		3	2					
Vårfrost			1	67			2	
Lutning			1				1	
Grankotterost				6	4			
Bete								5
Antal träd	70	93	81	51	79	85	114	118

genomsnittliga toppskiftesandelen i hela försöksserien för en population av lokal proveniens var ca 20 %. Lågst andel toppskiften uppnåddes vid 0,67° nordlig förflyttning, vilket

innebär att en population av lokal proveniens har få toppskiften. **Övriga skador** : Det fanns få övriga skador (tabell 16). Granens snöskytte och granbarrlus fanns på 16 % av

plantorna i 412 Ätnarova. De tre nordligaste populationerna hade de flesta skadorna, 11 % för snöskytte och 13 % för granbarrlus. I 413 Övertorneå fanns skador av svampen *Gremmeniella abietina* på 11 % av plantorna. Det var främst de tre sydligaste populationerna som var drabbade, totalt 9 %.

De frostskaador som registrerades i 415 Robertsfors var jämnt fördelade över populationerna (tabell 17). En separat regressionsanalys för Robertsfors, med "normal score"-transformerad frostskaada, kunde inte förkasta nollhypotesen (inga skillnader mellan populationer) ($p = 0,50$).

Tabell 17. Andel skadade träd av vårfrost för olika populationer i 415 Robertsfors (%).

	Population -Lat.(°N) -Alt (m.ö.h.)							
	59	60,37	62,63	63,23	64,42	65,5	66,33	67
	100	135	125	150	175	130	200	190
Vårfrost	12	21	12	9	15	15	9	9

Diskussion

BEGRÄNSNINGAR

Höjdtvecklingen var starkt störd i två av försöken. I 415 Robertsfors där en extremt frostlänt mark söktes upp var träden hårt frostskaadade. Den typen av frostlokaler är inte särskilt vanliga i norra Sverige, varför försöket aldrig var avsett för den samlade analysen och därför utelämnades. Ofullständiga, osäkra och störda tillväxtdata i 419 Furudal uppkom av tidiga frostskaador 1990, men framförallt av att granarna i stort sett blivit underväxt i en tallungskog. Därför har även detta försök tagits bort från den samlade analysen. Granarna i 416 Hörnefors har haft konkurrens av självföryngrade lövträd, vilket kan ha orsakat den låga överlevnaden.

Tidigare studier har visat att granpopulationers altitudursprung har en viss, men svag betydelse för deras tillväxt etc. men att effekten av latitud dominerar (bl.a. Remröd *et al.*, 1972). I denna studie med hög korrelation mellan populationernas latitudursprung och altitudursprung

kan effekterna inte särskiljas. Eftersom skillnaderna i altitudursprung mellan proveniens var för liten (maximalt 100 m) för att förväntas ha någon betydelse har vi valt att se hela förflyttningseffekten som orsakad av latitudförflyttning.

Plantodlingen är viktig för den fortsatta etableringen och utvecklingen av träden. Redan i plantskolan visar populationerna proveniensbetingade skillnader i tillväxttryck och tillväxt p.g.a. rådande fotoperiodiska förhållanden i plantskolan. Det har alltså betydelse om plantskolan ligger i norr eller i söder i förhållande till populationernas ursprung och försökslokalernas läge. Ansträngningen att ta bort denna effekt genom att tillämpa ljusstyrning för att alla plantor skulle bli lika stora fungerade första året men inte det andra. Sydliga populationer kunde utnyttja förhållandena bättre och blev dubbel så långa som de nordliga. De får därmed ett extra försprång åtminstone på sydliga lokaler. Om sydliga

populationer klarar klimatet på nordliga lokaler tar det extra tid för bättre anpassade populationer att först växa i kapp och sedan växa förbi.

Trots skillnaden i planthöjd hade latitudförflyttningen till respektive lokal och plantornas fortsatta höjdtveckling hunnit få större inverkan på totalhöjden vid mättillfället. Planthöjden hade i några fall signifikant betydelse för både överlevnad och trädhöjd men sydliga populationer som växt bäst som plantor i Sävar var inte alltid de största i fält. I de få fall där det fanns ett positivt samband berodde det på att resultatet sammanföll med effekten av lokalens läge och populationens latitudförflyttning. I de flesta fall kunde inte heller någon korrelation styrkas statistiskt.

MODELLANSATSEN

Ett problem vid analysen av alla försök tillsammans är att både trädhöjd och förflyttning samspelar med temperaturklimatet. I de kallaste klimatlägena med lägst trädhöjder

har dessutom effekterna av förflyttning kanske ännu inte kommit till uttryck. Den multiplikativa modellen ger samma relativa effekter oavsett trädhöjd, vilket kan vara en förenkling om det är så att effekterna på något sätt beror av trädhöjden. Det finns dock flera skäl till den multiplikativa modellen. Den är en naturlig följd av erfarenheter om hur olika faktorer påverkar tillväxt och den underlättar när resultaten skall generaliseras till granar i allmänhet av genomsnittlig storlek i olika klimatlägen.

De fotoperiodiska förhållandena som reglerar plantors invintringsanpassning är viktiga för förflyttningseffekterna och bestäms av lokalens latitud. De fotoperiodiska förhållandena förändrar sig inte helt proportionellt med latituden och en naturlig hypotes är därför, att den optimala förflyttningen är olika i norr och söder. Något samspel mellan latitudförflyttning och lokalens latitud kunde dock inte påvisas. En viktigare faktor för förflyttningseffekten är lokalens temperaturklimat, som främst beror av höjden över havet och närhet till trädgränsen. Det gick att påvisa ett samspel mellan populationens latitudförflyttning och lokalens temperatursumma även om signifikansen var låg. Därmed kan hypotesen om samspel mellan latitudförflyttning och odlingslokalens klimat enligt Rosvall och Ericsson (1982) inte förkastas. Vi har därför valt att lägga störst vikt vid de resultaten.

I en alternativ ansats till den multiplikativa modellen beräknades relativa värden för populationernas egenskaper i förhållande till respektive försöksmedeltal (blockmedeltal).

På så sätt fick den studerade egenskapen samma nivå i alla försök. Den relativa spridningen mellan populationer minskade och blev också lika i alla försök (den absoluta spridningen mellan populationer skiljer mycket mellan försök). Ett principiellt problem med de relativa värdena var dock att populationerna inte var ett oberoende urval för varje lokal. När samma populationer används på alla lokaler påverkas medelvärde och spridning av att förflyttningseffekterna är olika för varje försök. Resultatet var ändå att de olika populationernas relativa värden för en viss egenskap varierade lika mycket i alla försöken oavsett trädhöjd, vilket då också stöder den multiplikativa modellen, som ger samma procentuella effekt oavsett medelvärde.

FÖRFLYTTNING FÖR MAXIMAL TRÄDHÖJD

Om enbart trädhöjden skall maximeras blev vinsten i trädhöjd 11 % vid en nordlig förflyttning med 3,7 breddgrader, när ingen hänsyn togs till samspel mellan temperaturklimatet och latitudförflyttningen. Med samspel maximerades vinsten i det mildaste temperaturklimatet vid 5,3 graders nordförflyttning och 19 % högre trädhöjd. I kärvare klimatlägen minskade vinsten och blev som lägst 4 % vid 2,4 breddgraders nordförflyttning. Det är logiskt att vinsterna blir mindre när de optimala förflyttningsavstånden minskar. De relativa vinsterna indikerar vilka vinstnivåer för trädhöjd vid ca 20 års ålder som i allmänhet kan förväntas vid förflyttning av granpopulationer i norra Sverige, om ingen hänsyn tas till avgång och skaderisker.

REDUCERAD FÖRFLYTTNING MED HÄNSYN TILL ÖVERLEVAD OCH SKADOR

Funktionernas anpassning till data för överlevnad och antal toppskiften var svag, men resultaten var logiska. Sydliga provenienser skadades mer och överlevde sämre. Det är första gången det framkommer effekter på överlevnaden av latitudförflyttning allmänt i en granproveniensserie i norra Sverige. Hittills har det bara hänt i enskilda försök under klimatiskt extrema betingelser (Rosvall och Ericsson 1982) men här har latitudförflyttningen påverkat överlevnaden i de flesta försöken (se *bilaga 2*).

Ökade skador och dödlighet vid långa nordförflyttningar av gran är en indikation på bristande anpassning. Mot bakgrund av granens stora motståndskraft och överlevnadsförmåga är även små utslag i dödlighet viktiga varningssignaler. Bristande anpassning kan visa sig i minskad produktion eller komma till uttryck i allvarliga skador vid speciella vädersituationer. Försöksperioderna är korta och exceptionella vädersituationer förekommer sällsynt. Av försiktighetsskäl är det därmed motiverat att beakta skillnaderna i överlevnad vid valet av lämplig förflyttning.

Ett sätt att beakta både överlevnad och tillväxt (trädhöjd) är att multiplicera samman dem till ett riskindex. Sydliga provenienser med hög tillväxt kommer då att "straffas" av deras lägre överlevnad. Genom att sätta olika vikter på tillväxt och överlevnad kan "risken" värderas i olika grad. Här har vi dock inte använt några vikter.

Resultatet av att inkludera överlevnad och trädhöjd i ett riskindex blev att den "optimala" latitudför-

flyttningen i genomsnitt blev 1,2 breddgrader kortare och att vinsten minskade med 3 procentenheter i jämförelse med om förflyttningen maximeras för enbart trädhöjd. När samspelet mellan lokalens kärvhet och populationens latitudförflyttning beaktades för trädhöjd ökade det optimala förflyttningsavståndet och vinsten framförallt i mildare klimatlägen. När samspelet beaktades för både trädhöjd och överlevnad ökade den optimala förflyttningen i milda lägen ytterligare till 4,3 breddgraders nordförflyttning och vinsten till 19 %. I kalla klimatlägena uteblev vinsten av förflyttning helt.

Den valda överlevnadsnivån efter etablering (75 % för lokal gran) har betydelse för indexanalysen. Minskades överlevnaden för lokal gran till 65 % minskade den optimala latitudförflyttningen och den relativa effekten. Ökades däremot överlevnaden för lokal gran till 85 % var effekten den motsatta.

FÖRFLYTTNING FÖR HÖGSTA AREALPRODUKTION

Genom att multiplicera höjd och överlevnad med varandra skapas också en form av produktionsindex. Överlevnaden har emellertid mindre betydelse än trädhöjden för arealproduktionen vid normala stamantal (produktionen hos döda träd överförs till granträden). Genom viktningen ”höjden i kvadrat” och ”roten ur stamantalet”, det s.k. ”Björgungs index”, erhålls en skattning som är rätlinjigt proportionell mot det stående virkesförrådet (Björgung 1959). Indexet har med hög korrelation visat sig vara proportionellt mot volymen för olika tallavkommor i ett medelålders parcellförsök (Lundmark

och Persson 1985). Nya analyser av en serie tallproveniensförsök har visat att Björgungs index dessutom är proportionellt mot den långsiktiga arealproduktionen (Ericsson 2004).

Björgungs index är utvecklat för att skatta virkesförråd på en enhetligt behandlad parcell. De här försöken utgörs av etträdsparcerer där konkurrensen mellan sorter i genomsnitt är lika även om överlevnaden/stamantalet för sorterna är olika. Användningen av Björgungs index sker här därför under antagande att avgång och höjduitveckling skulle blivit densamma i ett sortvist parcellförsök, d.v.s. att avgången i våra försök inte är täthetsberoende och att höjden inte påverkats av konkurrens. Vi bedömer att det är rimliga antaganden.

De relativa vinsterna för uppnådd totalproduktion var maximalt 35 % i det mildaste klimatläget med 4,5 breddgraders förflyttning och 8 % i det kärvaste med 2 breddgraders förflyttning. Även om Björgungs index ger ett bra rätlinjigt samband mellan stående förråd för olika provenienser behöver dessutom sambandet mellan Björgungs index och långsiktig arealproduktion beaktas. Granpopulationer som var 10 % högre vid 2,5 m medelhöjd i 1959 års granprovenienser, vilket skulle motsvara 20 % högre Björgungsindex hade 13 % högre produktion efter 46 år (Eriksson och Ulander 2003). Det talar för att indexet i sig överdriver den långsiktiga produktionskillnaden.

SLUTSATS

Den multiplikativa modellansatsen, som beaktar samspelet mellan granens förflyttning och lokalens temperaturklimat tillsammans med

riskindex och produktionsindex förefaller att vara lämplig för träd i det här aktuella utvecklingsstadiet.

Resultaten stöder nu tillämpad hypotes att korta nordförflyttningar är optimalt i kallt och långa i varmt klimat. Mer skador och större dödlighet med ökad nordförflyttning än i tidigare studier gör att detta bör vägas in i ett index så att nordförflyttningarna av säkerhetsskäl förkortas. Optimal förflyttning bör ligga i det intervall som anges av risk- och produktionsindexet. Resultaten är helt i linje med nu tillämpat beslutsunderlag för granförflyttning och innan beslutsunderlaget ses över skall ytterligare försöksdata analyseras från en serie avkommeförsök. Vidare skall de långsiktiga vinsternas verkliga storlek studeras med hjälp av äldre försök. Målet ska vara att kunna bedöma ett bestånds utveckling under hela dess omloppstid, dvs. fram till slutavverkning.

Med dessa kompletteringar bör risk- och produktionsindex kunna bli ett användbart verktyg vid nordförflyttningar av gran. Dessa index bör förbättra möjligheten, att bedöma utfallet av populationer som flyttas norrut.

Referenser

- Andersson, B., Elfving, B., Ericsson, T., Persson, T., and Gregorsson, B. 2003. Improved *Pinus sylvestris* performance in northern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 18: 199–206.
- Bjørgung, E. 1959. Kubering av skog på grundlag av höyde og antall. *Skogeieren* 2. s.44–46.
- Danell, Ö. 1991. Kategoriska egenskaper – transformering av avels- och genotypvärden från underliggande skala till sannolikhetslära. Institutet för Skogsförbättring. Arbetsrapport nr. 256. Uppsala.
- 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.
- Ericsson, T. 2004. Tidig produktionsprognos för tall i norra Sverige. Manuskript. Skogforsk. Sävar.
- Eriksson, P-E. & Ulander, P. 2003. Förflyttningseffekter i äldre norrländska granproveniensförsök. Skogsingenjörsprogrammet, Examensarbete 8. SLU Skinnskatteberg.
- Hannerz, M. 1993. Granprovenienser i Mellansverige –tillväxt och skador i ett tolvårigt proveniensförsök i södra Gästrikland. Skogforsk, Redogörelse nr 1. Uppsala.
- 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.
- Lundmark, L. & Persson, T. 1985. Höjden i ung ålder som prognosinstrument. SLU, examensarbete, skogsmästarskolan.
- Odin, H., Eriksson, B. & Perttu, K. 1983. Temperaturklimat för svenskt skogsbruk. Rapporter i skogsekologi och skoglig marklära. Nr 45. Inst. För skoglig marklära. SLU. Umeå.
- Remröd, J., Ericsson, T. & Andersson, G. 1972. Norrländska granproveniensförsök. Föreningen skogssträdsförädling och Institutet för skogsförbättrings årsbok 1971, 140–197. Uppsala.
- Rosvall, O. & Ericsson, T. 1982. Förflyttningseffekter i norrländska granproveniensförsök [Transfer effects in north Swedish provenance experiments with Norway spruce]. In: Årsbok 1981 (Föreningen skogssträdsförädling och Institutet för skogsförbättring), 85–117. Uppsala.
- Rosvall, O. 1985. Proveniensförsök med vitgran. Odlingsinstruktion i försöksmapparna till försöksserien, S23F8560412-421. Opubl. Skogforsk. Sävar.
- Rosvall, O., Andersson, B. & Ericsson, T. 1998. Beslutsunderlag för val skogsodlingsmaterial i norra Sverige med trädslagsvisa guider. Skogforsk, Redogörelse nr 1. Uppsala.
- SAS Institute Inc. 1999. SAS/STAT User's Guide, Version 8, Cary, NC. 3884 pp. ISBN 1-58025-49

Bilaga 1

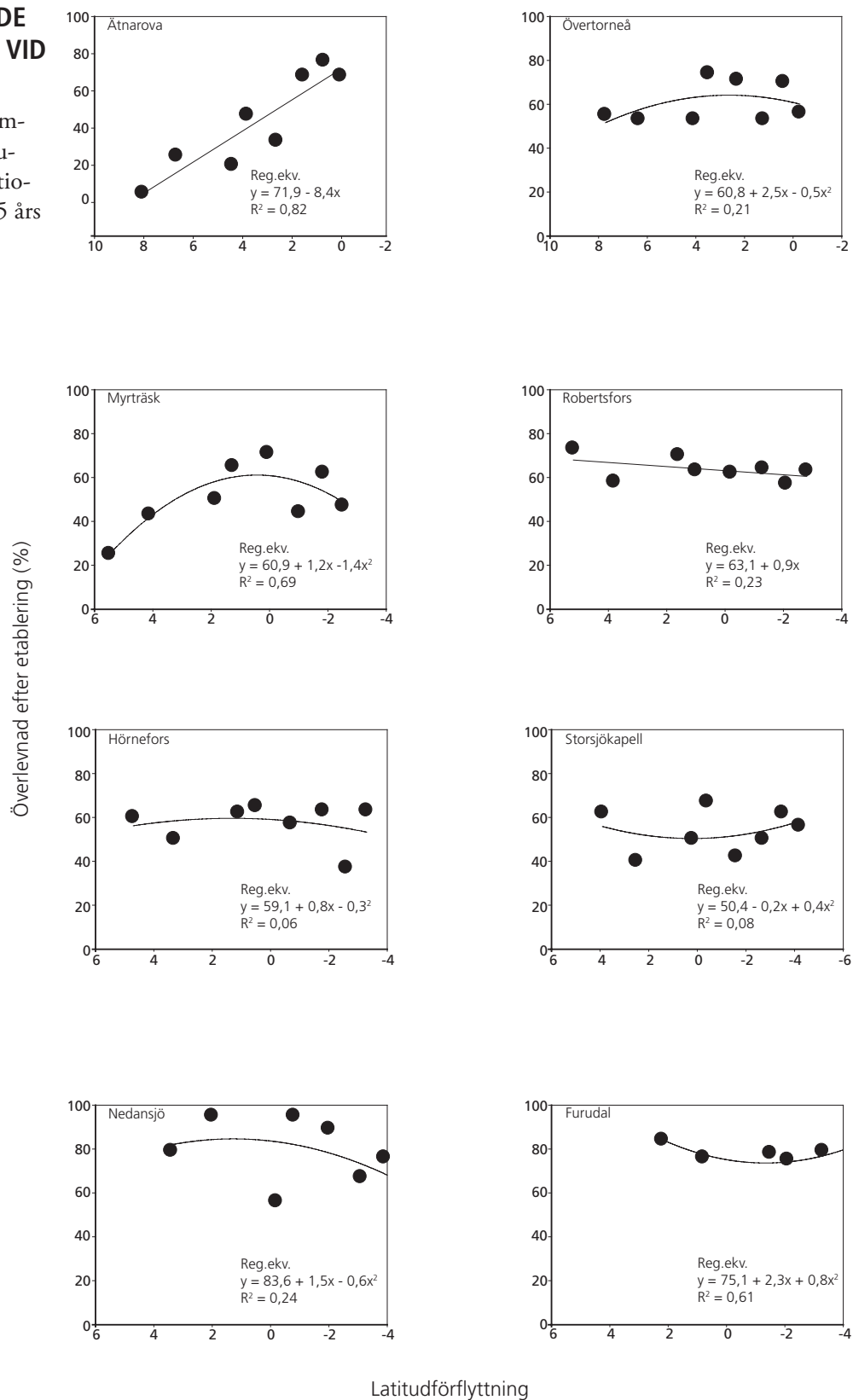
POPULATIONSDATA

	Population							
	59 100	60,37 135	62,63 125	63,23 150	64,42 175	65,5 130	66,33 200	67 190
Populationsnr.	101	102	103	104	105	106	107	108
Registernr.	S23A81 20006	S23A81 20007	S23A81 20008	S23A81 20009	S23A81 20010	S23A81 2011	S23A81 20012	S23A81 20013
Lokalbeteckning	Zkoppar torp	ZBosjo	Zhog- landstj	Zsoder- fors	Zvitsidan	Zbrann- berg	Zbjorkland	Zjerijarvi
Latitud (°)	59	60,37	62,63	63,23	64,42	65,5	66,33	67
Longitud (°)		16,18	17,37	16,75		21	22	23
Altitud. (m.ö.h.)	100	135	125	150	175	130	200	190
Försök	Antal planterade plantor per försök för respektive population							
412 Ätnarova	20	20	20	19	21	19	21	19
413 Övertorneå	21	19	20	19	21	18	20	18
414 Myrträsk	20	21	20	20	21	18	21	17
415 Robertsfors	14	14	12	13	14	13	13	14
416 Hörnefors	21	21	21	20	21	19	21	20
417 Storsjökapell	21	20	18	21	19	20	21	18
418 Nedansjö	19	20	17	21	19	20	19	17
419 Furudal	20	20	20	21	20	21	17	19

Bilaga 2

ÖVERLEVNADENS BEROENDE AV URSPRUNGLATITUDEN VID FÖRFLYTTNING

Diagrammen visar försöksvis sambandet mellan överlevnad (populationmedelvärden) och populationernas latitutförflyttning i 1985 års granprovenienser.



TIDIGARE REDOGÖRELSE FRÅN SKOGFORSK

2000

- Nr 1 Hannerz, M., Eriksson, U., Wennström, U. & Wilhelmsson, L.: Tall- och granfröplantager i Sverige – en beskrivning med analys av framtida fröförsörjning.
- Nr 2 Utvecklingskonferens 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. & Strömmer 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.

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
ISSN 1103-4580