



Examensarbeten

2014:11

Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Jämförelse av prognostiserad och observerad beståndstillväxt 5 år efter första gallring enligt Bergvik Skogs skötselprogram

*Comparison of predicted and observed growth 5 years after first
commercial thinning according to Bergvik Skogs management regime*

Erik Olsson



Examensarbeten

2014:11

Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Jämförelse av prognostiserad och observerad beståndstillväxt 5 år efter första gallring enligt Bergvik Skogs skötselprogram

*Comparison of predicted and observed growth 5 years after first
commercial thinning according to Bergvik Skogs management regime*

Erik Olsson

Nyckelord / Keywords:

Prognos, uppmätt, skötsel, produktion /
Predicted, observed, management, production

ISSN 1654-1898

Umeå 2014

Sveriges Lantbruksuniversitet / *Swedish University of Agricultural Sciences*

Fakulteten för skogsvetenskap / *Faculty of Forest Sciences*

Jägmästarprogrammet / *Master of Science in Forestry*

Examensarbete i skogshushållning / *Master degree thesis in Forest Management*

EX0747, 30 hp, avancerad nivå A2E/ *advanced level A2E*

Handledare / *Supervisor*: Lars Lundqvist

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

Extern handledare / *External supervisor*: Åke Granqvist, Bergvik Skog

Examinator / *Examiner*: Björn Hånell

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

I denna rapport redovisas ett examensarbete utfört vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Skogsvetenskapliga fakulteten, SLU. Arbetet har handletts och granskats av handledaren, och godkänts av examinator. För rapportens slutliga innehåll är dock författaren ensam ansvarig.

This report presents an MSc/BSc thesis at the Department of Forest Ecology and Management, Faculty of Forest Sciences, SLU. The work has been supervised and reviewed by the supervisor, and been approved by the examiner. However, the author is the sole responsible for the content.

Förord

Examensarbetet har skrivits vid institutionen för Skogens Ekologi och Skötsel på Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå och omfattar 30 hp. Uppdragsgivare var Bergvik Skog.

Jag vill tacka min handledare Lars Lundqvist på Institutionen för Skogens Ekologi och Skötsel vid SLU för nyttiga reflektioner och idéer.

Hos Bergvik Skog vill jag tacka Åke Granqvist och Lars Sängstuvall som gjorde det här arbetet möjligt och hjälpt mig med inventeringsunderlaget och tips längsmed vägen.

Erik Olsson
6/3-2014

Sammanfattning

Bergvik Skog utarbetade en ny gallringsmall 2008 där stamantal och övre höjd blev beslutsgrundande. Syftet var att tydliggöra sambandet mellan stamantal under hela omloppstiden och ge en klarare målbild för framtida slutavverkningsbestånd. Genom en tidig och hård låggallring är avsikten att minimera produktionsförlusterna och gynna träd med bäst förutsättningar för dimensionsutveckling. Genom Bergvik Skogs gallringsmall gallras bestånd med lägre växtförutsättningar lika hårt som bestånd med goda växtförutsättningar, vilket får till följd att beståndsvolymen varierar och ingen hänsyn tas till beståndsvolym vid beslut om gallring. Vid prognostisering av beståndutvecklingen och framtida skötselåtgärder använder Bergvik Skog prognosverktyget Heureka. Huruvida Heurekas beståndsvisa tillväxtfunktioner klarar av att prognostisera beståndutvecklingen 5 år efter första gallring undersöktes i 8 olika bestånd. Studien visar att tillväxtfunktionerna i Heureka ger en god indikation på volymtillväxt 5 år efter gallringsåtgärder. Bäst prognos gjordes i bestånd med ett dominerande trädslag. Grundytetillväxt och grundytävåg medeldiameter underskattades dock för samtliga bestånd medan grundytävåg medelhöjd överskattades för samtliga bestånd.

Summary

Bergvik Skog developed a new thinning regime in 2008 where a graph over stems/ha and dominant height became decisive. The aim was to clarify the relationship between planting, pre-commercial thinning and commercial thinning and to give a better picture of the future final stand. By an early and hard low thinning, the aim is to favor trees with the best prerequisites for dimension growth. Bergvik Skogs thinning regime causes stands with less potential production to be thinned as hard as stands with greater potential production, which leads to differences in standing volume and no clear link to volume when decision of thinning is conducted. For prediction of stand development and future stand treatments, Bergvik Skog uses the planning tool Heureka. In this study the ability of Heureka's stand growth functions to predict stand development 5 years after first thinning for 8 stands was examined. The study showed that the growth functions in Heureka gave a good indication of volume growth 5 years after thinning. Best precision for volume growth was found for single-species stands. Basal area growth and basal area weighted mean diameter was underestimated for all stands whereas basal area weighted mean height was overestimated for all stands.

Innehåll

Inledning.....	1
Gallring.....	1
Prognosverktyg.....	2
Heureka	2
Tidigare utvärderingar av tillväxtfunktioner	3
Syfte och mål.....	4
Material och metod.....	5
Analysområde.....	5
Inventering	5
Beräkning av beståndens volym.....	6
Analys av diametertillväxt	7
Rekonstruering av beståndsvärden.....	7
Simulering I Heureka	8
Analys och jämförelse av utfall och kontrollinventering	8
Resultat.....	10
Beståndsmedelvärden från kontrollinventering	10
Diametertillväxt.....	11
Diameterspridning från kontrollinventering och rekonstruerade värden	12
Höjdkurvor	13
Simulering i Heureka med rekonstruerade beståndsmedelvärden	15
Jämförelse mellan Heurekas utfall och kontrollinventering	16
Volym.....	16
Grundtytvägd medeldiameter	18
Grundyta.....	20
Grundtytvägd medelhöjd	22
Analys av differenser	24
Diskussion	25
Källförteckning.....	26
Bilagor.....	29
Bilaga 1	29

Inledning

Gallring

På beståndsnivå har gallring generellt en negativ påverkan på volymtillväxten. Studier visar att påverkan korrelerar med uttaget av grundyta (Møller 1952; Mäkinen & Isomäki, 2004a; 2004b). Dock finns studier som visar att gallrad granskog kan ha en högre löpande tillväxt än en ogallrad skog under vissa perioder, men vanligen tappar dock ett bestånd i volymtillväxt efter gallring (Assman, 1970, Carbonnier 1974, Eriksson & Karlsson 1997, Pettersson 1955, Mäkinen & Isomäki 2004a). Vidare finns studier som visar att volymtillväxten minskar med ökad gallringsstyrka och intensitet (Pettersson, 1955; Carbonnier, 1959; Wiksten, 1960; Eriksson & Karlsson 1997; Valinger et al. 2000). Men syftet med gallring är att styra volymproduktionen på färre antal stammar, vilket syftar till att ge en högre medelstamsvolym och lägre framtida avverkningskostnader.

Kvarvarande träd i bestånd som gallrats får en ökad diametertillväxt på enskilda träd, samt en ökad medeldiameter i hela beståndet eftersom undertryckta och klena stammar tas bort. Valinger et al. (1992) visar att ökad tillväxt på enskilda träd är synlig redan ett år efter gallringsingreppet, vidare visar Valinger et al. (2000) att effekten kan ses 12 år efter gallringsingreppet. Pape (1999) menar att den relativa diametertillväxten efter gallring i granbestånd inte skiljer sig mellan olika diameterklasser, medan andra studier påvisar att undertryckta och härskande träd har en relativt större volymtillväxt än dominerande träd (Larson 1969, Hamilton 1976).

Ett gallringsprogram är en kombination av gallringar med bestämd gallringsform, gallringsstyrka och gallringsintervall under en omloppstid. För att veta när gallring bör utföras används i regel en gallringsmall. Enligt Håkansson (2000) är en gallringsmall en överskådlig beskrivning av ett gallringsprogram där stamantal och grundyta vid en viss övre höjd före och efter gallring uttrycks i tabell eller diagram.

Sedan 2008 sköts Bergvik Skogs markinnehav av Stora Enso och BillerudKorsnäs enligt ett nytt skötselprogram som utarbetades i samband med att Bergvik Skog bildades 2004. Med det nya skötselprogrammet utarbetades en ny gallringsmall där relationen mellan övrehöjd och stamantal är beslutsgrundande för när gallring ska utföras (Bilaga 1). Med denna mall hoppas Bergvik Skog tydliggöra sambandet mellan stamantal under hela omloppstiden och ge en klarare målbild för framtida slutavverkningsbestånd (Granqvist 2008). Avsikten är att genom en tidig och hård låggallring minimera produktionsförlusterna och gynna träd med bäst förutsättningar för dimensionsutveckling, och på så sätt nå grövre dimensioner under en kortare omloppstid (Granqvist 2008). Endast ett diagram, oberoende av ståndortsindex för gran- och tallbestånd används, vilket ska ge lättare hantering av åtgärdsförslag för olika bestånd. Ett bestånd som har röjts enligt riktlinjerna blir aktuellt för gallring när det passerar eller befinner sig ovanför en linje i diagrammet. Att föreslå en tidpunkt för gallring handlar således om att skriva fram den övre höjdens utveckling till den höjd då gallringsbehov uppstår, vilket beror på stamantalet. Vid en övre höjd om 15 m ska dock första gallring ha ägt rum i alla bestånd med minst 1000 stammar/ha (Granqvist 2008).

Gallringsmallar som visar stamantal vid olika ålder eller övre höjd är enkla att använda och förstå, men Agestam (2009) menar att stamantal och ÖH inte beskriver volymen lika väl som gallringsmallar som baseras på grundyta. Detta eftersom bestånd med samma antal stammar och höjd kan ha olika volym beroende på trädens diameter (Agestam 2009).

Prognosverktyg

För att underlätta planeringen inför nästa skötselgrepp och prognostisera beståndsutvecklingen används prognosverktyg som baseras på tillväxtmodeller. Prognosverktyg spelar en viktig roll i den strategiska planeringen av råvaruförsörjning som ligger till grund för beslutfattande i en rad led (Soares m.fl. 1995, Mette 2009). Prognosen är dock en uppskattning av verkligheten, och kan därför inte vara helt korrekt (Popper 1958). En rad parametrar används ofta i prognosverktyg och det ökar också sannolikheten för potentiella felkällor (Lämås & Eriksson 2003). Opålitliga prognoser kan leda till in-optimala beslut, därför är det av yttersta vikt att prognosverktygets tillväxtfunktion speglar den verkliga beståndsutvecklingen så bra som möjligt. Wikström m.fl. (2011) menar att kraven på prognosverktyg för skoglig planering är komplexa. Dels för att de ska klara av att analysera konsekvenser på både kort och lång tid, men också för att stora datamängder ska hanteras och bearbetas för beräkningar. Kännedom om tillförlitligheten hos prognosverktyg är viktig för att kunna fatta rätt beslut (Ståhl & Wilhelmsson 1994).

Skogen är dynamisk och insamlade uppgifter från skogsinventering ger endast en indikation av beståndets tillstånd vid inventeringstillfället. Genom olika modeller försöker man ajourhålla data för att ge en framtida indikation på beståndets utveckling. Ståhl och Wilhelmsson (1994) menar att följande komponenter har störst inverkan på utfallet av prognosen:

- Tillväxtfunktioner
- Funktioner för avgång och inväxning
- Funktioner för behandlingseffekt
- Utbytesfunktioner
- Pris och kostnadsfunktioner

Heureka

Heureka är ett prognosverktyg som utvecklats av Sveriges Lantbruksuniversitet. Det kom att ersätta tidigare prognosverktyg som Indelningspaketet (Jonsson 1993) och Hugin (Elfvig 1982). Heureka är uppdelat i tre applikationer för analyser på olika nivåer men de utgår från samma tillväxtmodeller och innehåller alla de komponenter som Ståhl och Wilhelmsson (1994) nämner.

- StandWise är en interaktiv simulator som används för att analysera enskilda beståndsutveckling efter olika skötselåtgärder.
- PlanWise används för analyser över ett helt skogsinnehav och kan användas av allt från markägare med små skogsinnehav till skogsbolag med stora skogsinnehav.
- RegWise används för analys på regional nivå (Wikström et al. 2011).

Tillväxten i etablerade bestånd förutspås med separata funktioner för grundytillväxt och höjdtillväxt. Initiala uppgifter bör innehålla en trädlista med arter och diameter för alla träd. Andra ingångsvariablerna är beståndsålder, uppgifter om utförd gallring, latitud, höjd, typ av fältvegetation, markfuktighet och ståndortsindex enligt ståndortsfaktorer. Prognoser kan göras på både beståndsdata samt data från provytor. Beståndets utveckling framskrids en 5-årsperiod där grundytetillväxt beräknas antingen för enskilda träd med Söderbergs (1986) eller Elfvings (2004) tillväxtfunktioner, eller med tillväxtfunktionen på beståndsnivå av

Elfving (2005). Enligt Elfving (2010) har den senare högre precision och används för att kalibrera tillväxtnivån, medan de trädvisa tillväxtfunktionerna fördelar tillväxten mellan träd på ett mer realistiskt sätt. Om gallring utförts antas kvarvarande träd få en relativ ökning av diametertillväxten (Elfving 2009).

Höjdtillväxt för enskilda träd förutspås genom Söderbergs (1992) funktioner. Övre höjdens tillväxt förutspås med höjdtutvecklingskurvor (Elfving & Kiviste 1997, Elfving 2003).

Tidigare utvärderingar av tillväxtfunktioner

Prognosverktyg som baseras på ståndortsindex ger generellt en medelvolymtillväxt vid en given höjdtillväxt (Elfving 2008). Studier som utvärderat prognostiserad och observerad volymtillväxt visar att prognosen kan avvika 12-39% från verklig tillväxt (Elfving 2008, Eriksson 1976, Söderberg 1986, Pretzsch 2002).

Vid utvärdering av Elfving's beståndsvisa tillväxtfunktioner har ålder, grundyta och vegetationstyp visat sig vara de viktigaste variablerna vid prognostisering (Elfving 2005). Senare utvärderingar av tillväxtmodellen har också gjorts. Data från permanenta provytor från riksskogstaxeringen under perioderna 1999-2004 och 2000-2005 har använts för utvärdering. Även data från GG-ytorna där olika gallringsutföranden och gödslingsutföranden testats har utvärderats med goda resultat (Elfving 2008).

Syfte och mål

Denna studie syftar till att belysa hur befintliga tillväxtfunktioner som används i Bergvik Skogs prognosverktyg beskriver beståndens volymtillväxt jämfört med den observerade som kan mätas in i beståndet 5 år efter första gallring.

Målet med studien är att resultaten ska kunna användas för att se ifall de prognoser som Bergvik Skog utför stämmer väl med vad som uppmäts.

- Hur mycket skiljer sig den observerade tillväxten mot den prognostiserade?
- Lämpar sig de befintliga tillväxtfunktioner för prognostisering av bestånd som sköts enligt Bergvik Skogs gallringsprogram?

Material och metod

Analysområde

Totalt inventerades 8 bestånd varav 7 var belägna i Värmlands län och ett i Dalssländs län (Figur 1). Bestånden gallrades under tillväxtsången 2008. Beståndsarealen varierade från 4 till 65 ha.



Figur 1. Beståndens lokalisering (svarta prickar)

Figure 1. Location of the stands (black dots)

Inventering

10 stycken cirkelprovytor med 8 meters radie lades ut i ett systematiskt kvadratförband där startpunkt slumpades (Holm, 1998; Wilhelmsson, 2005). Utrustningen som användes var dataklave (Haglöfs Mantax), höjd- och avståndsmätare med transponder (Haglöfs Vertex IV) och tillväxtborr. Beräkning av förband mellan provytorna skedde enligt formel 1.

$$f = (10\,000 * A \div 10)^{1/2} \quad (1)$$

där

f = förband

A = beståndets areal

Samtliga träd inom provytorna trädslagsbestämdes och klavades. Provträd slumpades enligt formel (2) och höjden mättes för att kunna konstruera höjdkurvor och beräkna volym. Borrprovsträd valdes i alla diameterklasser enligt kvoträkning, så att vart n:te träd inom diameterklasserna borrades. Träden delades upp i 4 cm diameterklasser. Diametertillväxten på borrhöjden och ÖH-trädets ålder analyserades senare i mikroskop.

Ståndortsegenskaper antecknades också för att skatta ståndortsindex och använda som indata i Heureka. Ståndortsindex skattades även med aritmetisk medelhöjd och ålder på de två grävsta träden på varje provyta. Beståndets ståndortsindex skattades sedan som medelvärdet för samtliga ytor.

$$K \times dbh^2 \div D^2 \quad (2)$$

där:

K: (kvot %) mellan 0 och 99

dbh: Uppmätt brösthöjds diameter

D: Trädslagets uppskattade medeldiameter i brösthöjd

Beräkning av beståndens volym

Provträdets volymer beräknades först med hjälp av Brandels mindre volymfunktion (Brandel 1990) enligt:

$$V = 10^a * dbh^b * (dbh + 20,0)^c * H^d * (H - 1,3)^e \quad (3)$$

där

V = Stamvolym ovanför stubbe på bark i dm^3

dbh = Brösthöjdsdiametern på bark i cm

dbh = Trädets höjd ovan mark i meter

a, b, c, d och e utgör funktionens ingående koefficienter

För beräkningen av gran-, tall- och björkprovträdets volymer, hämtades koefficienter från Brandels (1990) tabeller för södra Sverige med breddgrad resp. för björk södra Sverige med breddgrad. För att kunna beräkna klavträdets volymer gjordes sekundära volymfunktioner med hjälp av regressionsanalys där trädvolymen (V) är en funktion av trädets brösthöjdsdiameter (dbh) enligt följande modell (Jonsson 1978):

$$\ln(V) = a + b * \ln(dbh) \quad (4)$$

Analys av diametertillväxt

Borrproverna hyvlades för att årsringarna skulle synas bättre, därefter scannades borkkärnorna för att därefter analysera diametertillväxten bildanalysprogrammet WinDendro (Regent instruments 2003).

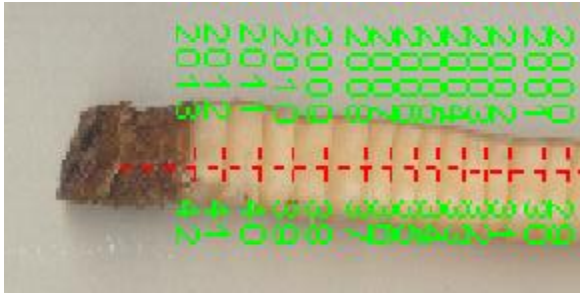


Figure 2. Borrprovsanalys från WinDendro
Figure 2. Core analysis from WinDendro

Diametertillväxten för de 5 senaste åren skattades för varje enskilt borrarat provträd enligt formel (5).

$$D_{diff} = d_{2013} - (2 * \text{års}sb_{(2013-2008)}) \quad (5)$$

där

D_{diff} = Diametertillväxt mellan 2013 och 2008

d_{2013} = Diameter 2013

$\text{års}sb_{(2013-2008)}$ = summan av årsringsbredd mellan 2013-2008

Rekonstruering av beståndsvärden

Diametern rekonstruerades efter att differensen för de 5 senaste årsringarna erhållits. Linjära regressionsanalyser enligt formel (6) gjordes för varje bestånd för att se huruvida tillväxten skiljde sig inom olika diameterklasser. Därefter rekonstruerades diametern för varje klavat träd.

$$D_{Diff\ 2013-2008_{i,j}} = a_j + b_j * D_{2013_{i,j}} \quad (6)$$

där

$D_{Diff\ 2013-2008_{i,j}}$ = är diametertillväxt mellan 2008-2013

$D_{2013_{i,j}}$ = Diameter 2013 för träd i i bestånd j

För att se ifall det förelåg någon trend i diameter- och höjdtutvecklingen för varje enskilt bestånd jämfördes provträdens höjd och diameterspridning med data från 2009 års kontrollinventering. Därefter utarbetades enskilda höjdkurvor för tall, gran och löv för varje bestånd enligt formel (5). Efter att diameter och höjd rekonstruerats för provträden beräknades volymen på nytt enligt formel (3), och därefter utarbetades nya sekundära volymfunktioner enligt formel (4).

Stamantal och trädslagsfördelning antogs vara konstanta vid rekonstruktionen. Dessutom gjordes inga avdrag för barktillväxten.

$$h = X + X_1 * D + X_2 * D^2 \quad (5)$$

Simulering I Heureka

Rekonstruerade beståndsmedelvärden importerades via en excellmall där beståndsvariabler angetts. Vid import angavs höjdkorektionsfaktorn till 1, vilket betyder att Hgv baseras på uppmätta värden helt. Elfving's beståndsvisa tillväxtfunktion användes för beräkning av grundytillväxt. Södergrens (1986) höjdfunktioner användes för höjdtillväxt och Brandels (1990) mindre funktioner användes för beräkning av volym. Därefter framskreds en 5-årsperiod och utfallet jämfördes med uppmätta värden från 2013.

Analys och jämförelse av utfall och kontrollinventering

Parade t-test utfördes på differenserna från prognostiserade och observerade beståndsvärden.

Den genomsnittliga skillnaden (\bar{d}) mellan Heureka's beståndsvärden och observerade värden skattades enligt (Formel 6)

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^n d_i = \sum_{i=1}^n (x_i - y_i) \quad (6)$$

där

x_i = Observerade värde för bestånd i

y_i = Heureka värde för bestånd i

n = antal bestånd

Medelfelet för \bar{d} skattades enligt formeln nedan.

$$Se(\bar{d}) = \frac{S_d}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

där

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} \quad (8)$$

För att hitta faktorer som påverkar prognostiseringen utfördes korrelationstest och regressionsanalys gjordes på differenserna.

Genom Pearsons korrelationskoefficient erhöles ett värde mellan -1 och $+1$, vilket visade på negativ eller positiv samband mellan de två variabler som testet genomfördes för. Denna korrelation testades också efter statistisk signifikans.

Regressionsanalys gjordes enligt formel (9)

$$X_{Prog_{i,j}} = a_j + b_j * X_{Observ_{i,j}} \quad (9)$$

b-värdet som är riktningskoefficienten hypotesprövades för att se om det var lika med 1. Om så inte var fallet, med statistisk säkerhet, ansågs en trend föreligga.

Resultat

Beståndsmedelvärden från kontrollinventering

Tabell 1. Data för bestånden 2013,

	Ålder	SI	Dgv	ÖH	Hgv	Trädslagsfördelning (%)			N	G	V
Bestånds	(år)	(m)	(mm)	(m)	(m)	T	G	L	(st/ha)	(m ² /ha)	(m ³ sk/ha)
B1	39,2	27,2	160,4	16,7	15	0,5	88,7	10,8	1015	16,4	114,4
B2	42,4	27,9	206,3	20,5	18,6	49	33,3	17,7	702	19,9	141,9
B3	39,8	29,2	183,4	18,7	16,2	3,7	92,1	4,2	946	20,5	159,7
B4	42,2	29	222,5	18,2	17	24,7	59,6	15,6	807	21,3	170,7
B5	40,5	26,6	176,3	16,6	15,1	19,6	77,9	2,5	811	15,8	114,3
B6	35	27,6	210,7	18,6	17,1	64,6	32,3	3,1	647	19,6	160,8
B7	35,8	31,3	191,6	18,8	18,4	13,1	69,4	17,5	796	19,8	172,6
B8	36,2	30,9	180,2	18,5	15,9	13,4	79,9	6,7	816	17,4	133

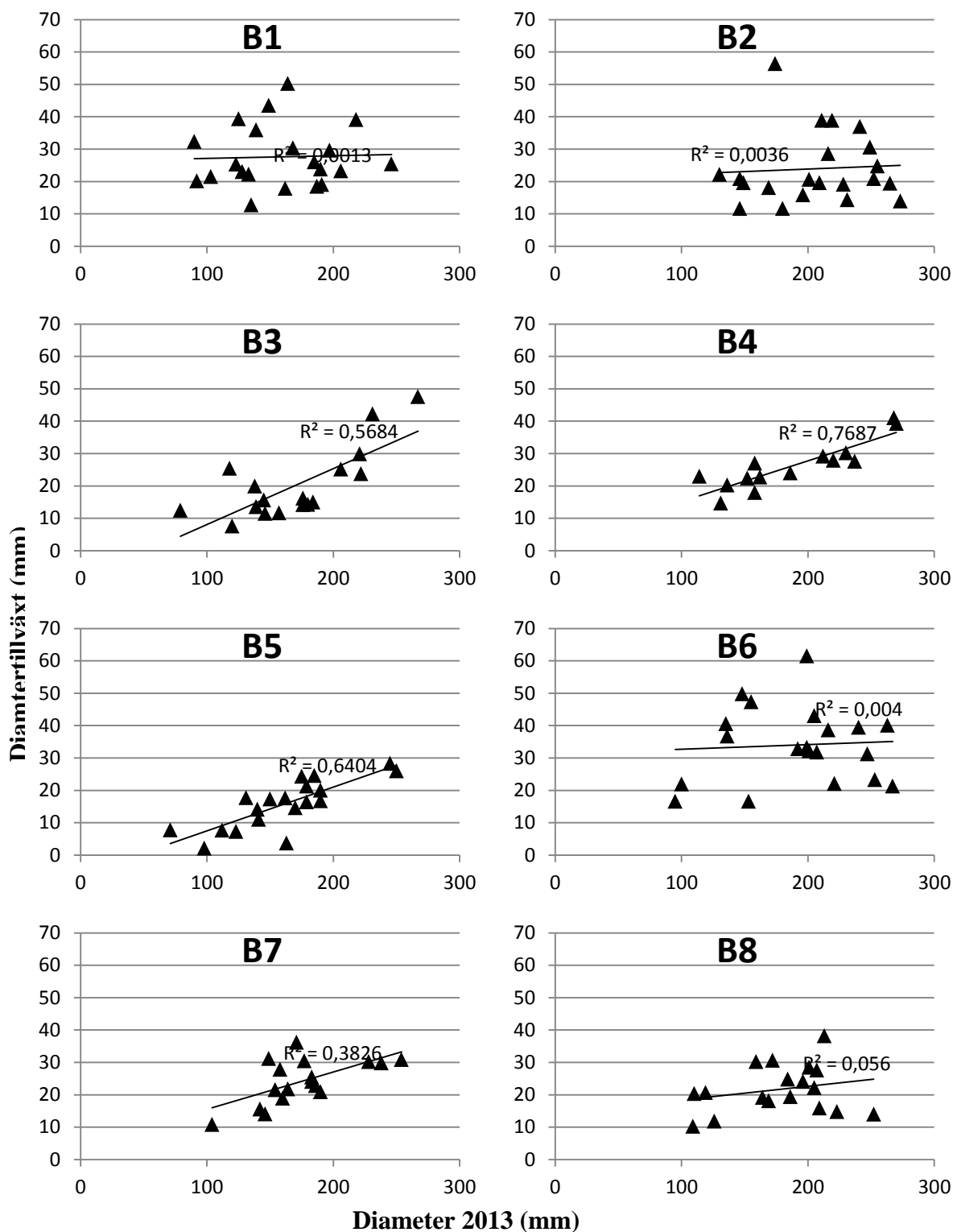
Ålder (totalålder år), Ståndortsindex, Grundytevägd medeldiameter (Dgv), Övrehöjd (Bonitetsvisande trädslag), Grundytevägd medelhöjd (Hgv), Trädslagsfördelning % av grundyta och stamantal, Totalt stamantal per hektar (N), Grundyta (G), Volym (V)

Stand data, Age (total age years), Site productivity index, Mean diameter (Dgv), Dominant height (OH), Mean height (Hgv), Tree species % of basal area and stem density, Total stem density (N), Basal area (G), Volume (V)

Majoriteten av bestånden var grandominerade och hade en brösthöjdsålder mellan 35-42 år (tabell 1). Bestånden hamnade inom riktlinjerna för Bergvik Skogs gallringsmall med ett lågt stamantal efter första gallring (Bilaga 1). Störst volym fanns i bestånd med stor grundyta. Dgv ökade med färre antal stammar/ha.

Diametertillväxt

I fyra av sex grandominerande bestånd hade grövre träd en högre diametertillväxt, medan de två talldominerade bestånden hade en jämnare spridning av diametertillväxten (figur 3).

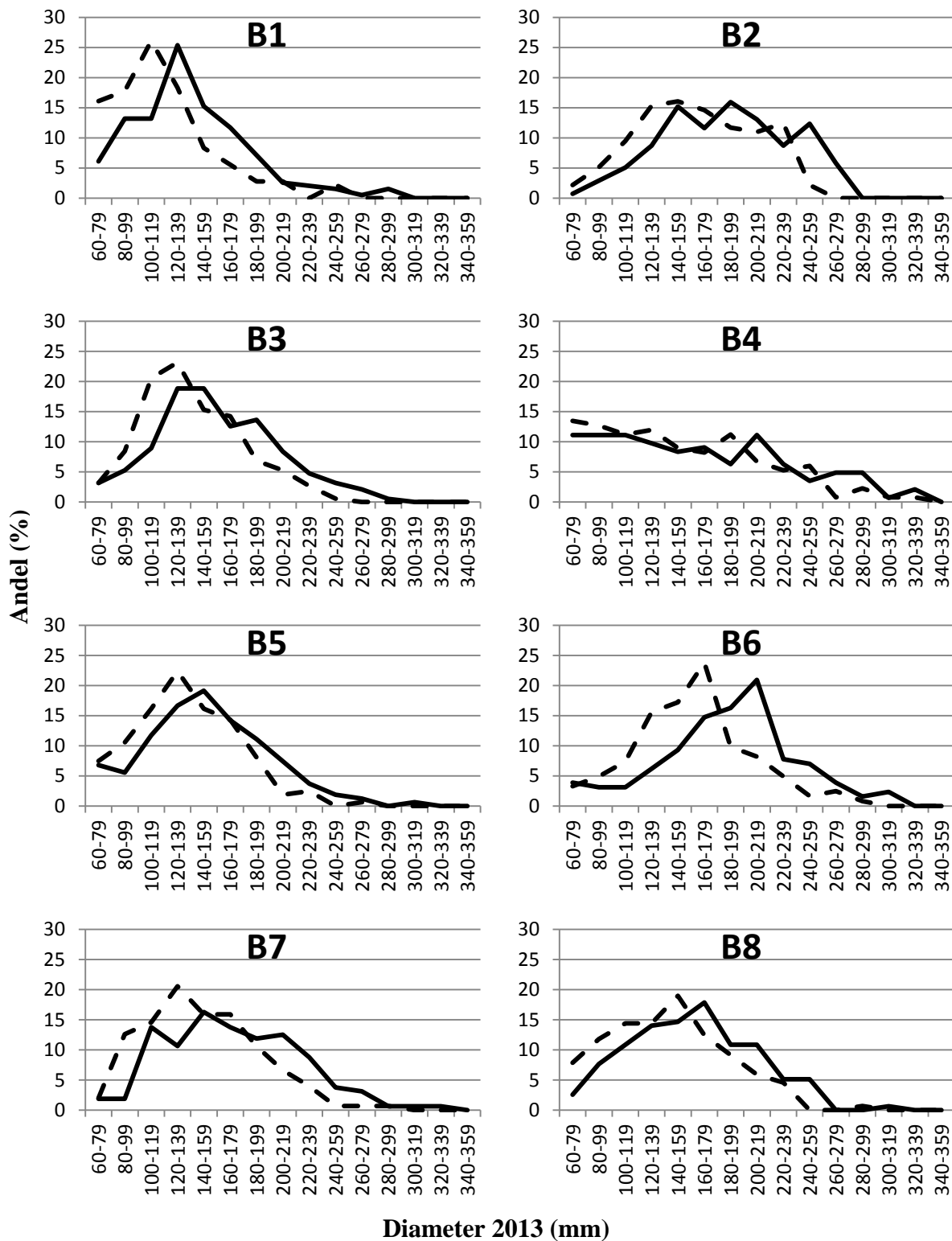


Figur 3. Diametertillväxt de 5 senaste åren fördelade på diameterklasser.

Figure 3. Diameter growth the 5 latest years distributed over diameter classes.

Diameterspridning från kontrollinventering och rekonstruerade värden

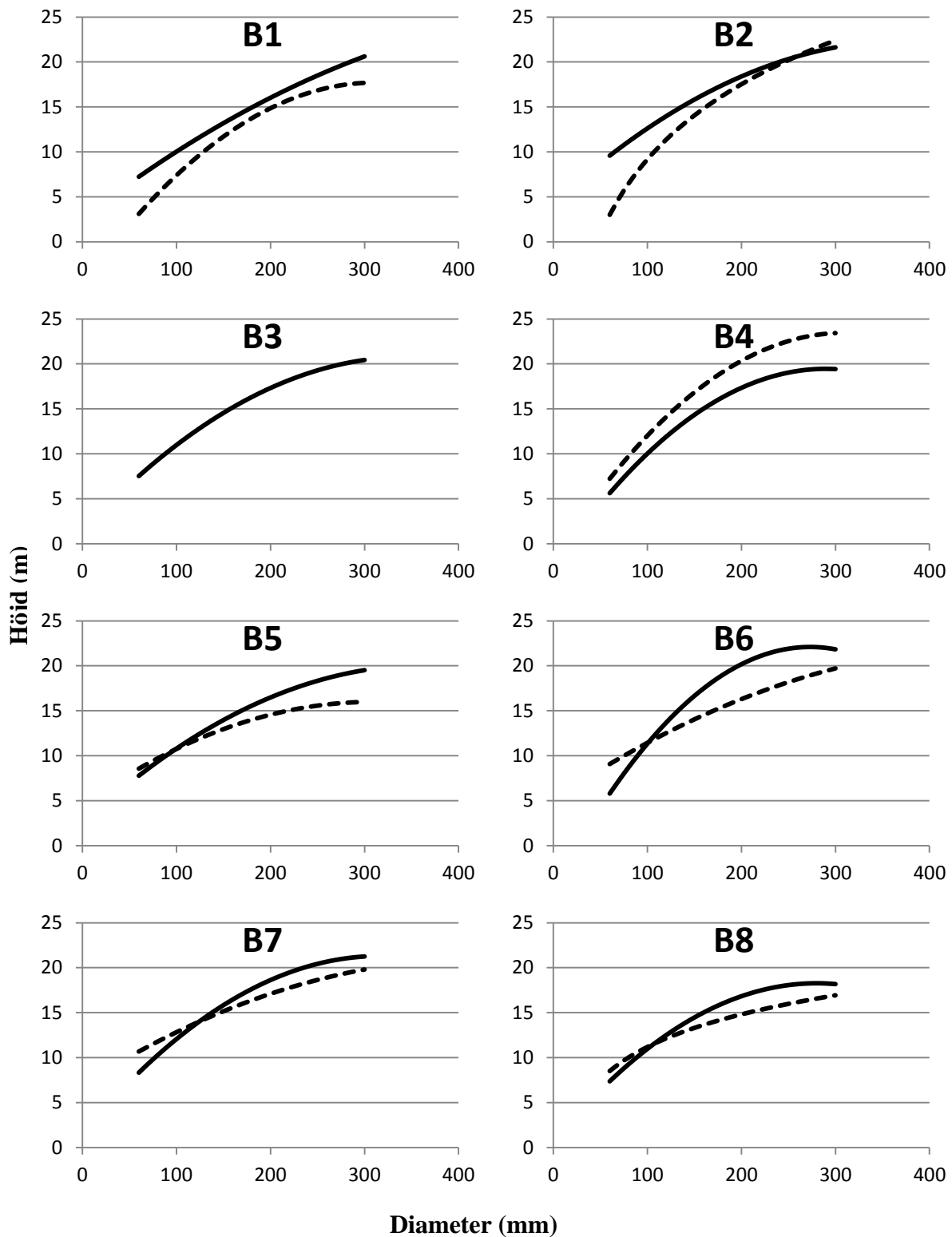
I de bestånd där en trend mellan trädens diameter och diametertillväxten förelåg blev diameterfördelningen i de lägre klasserna högre än där trenden var lägre (figur 4).



Figur 4. Diameterfördelning från kontrollinventering (heldragen linje) och de rekonstruerade (streckad linje).
Figure 4. Diameter distribution from the control inventory (solid line) and the reconstructed (dashed line).

Höjdkurvor

Höjdkurvorna som jämfördes med höjddata från tidigare inventering följde samma mönster för samtliga bestånd varpå inga justeringar behövdes göras.

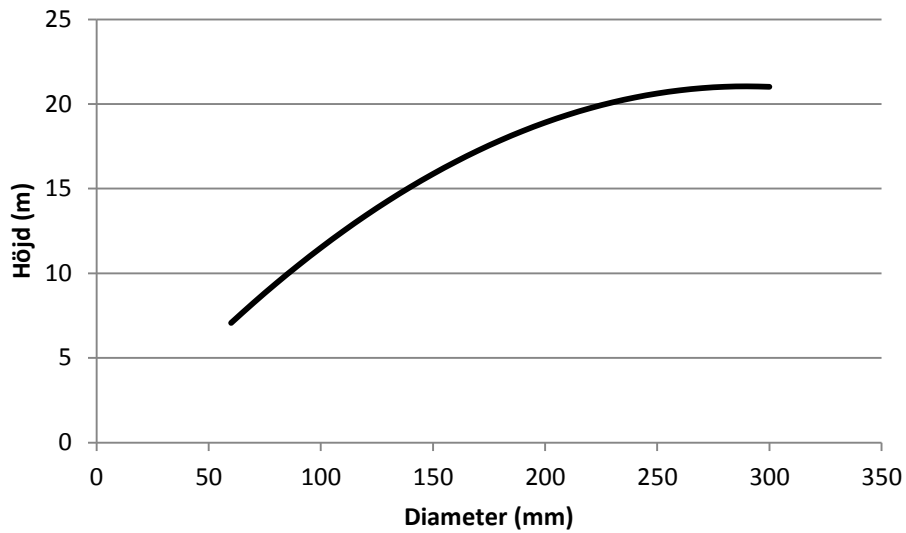


Figur 5. Höjdkurvor för gran (heldragen linje) och tall (streckad linje) för varje bestånd.

Figure 5. Height curves for Norway spruce (solid line) and Scots pine (dashed line) for each stand.

Höjdkurvorna för varje bestånd som användes vid rekonstruering av höjden för provträd. Dessa värden användes därefter för nya sekundära volymberäkningar.

Eftersom samtliga provträd för björk följde samma mönster användes en gemensam höjdkurva för samtliga bestånd vid rekonstruering av höjden (Figur 6).



Figur 6. Gemensam höjdkurva för björk för alla bestånd.
Figure 6. Shared height curve for birch for all stands.

Simulering i Heureka med rekonstruerade beståndsmedelvärden

Tabell 2. Rekonstruerade beståndsdata som användes som indata i Heureka

Table 2. Reconstructed stand data to use in Heureka

Bestånds		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
Län ¹		S	S	S	S	S	P	S	S
Altitud	m.ö.h	270	230	170	120	200	170	150	210
Latitud	° n.br.	59	59	59	59	59	59	59	59
Medelålder	år	34,2	37,4	34,8	37,2	35,5	30	30,8	31,2
Rörligt markvatten	S,K,L	K	K	K	K	K	K	K	K
Vegetationstyp ²		Blåbär	Blåbär	Blåbär	Blåbär	Blåbär	Blåbär	Högört	Örttyp, ris
Ståndortsindex									
SIS	H100 m	27	28	29	29	26	27	30	30
Dgv	cm	13,7	18,5	16	19,8	15,8	16,6	16,6	16,2
Hgv	m	13,5	17,6	15,2	16,3	13,6	16,2	17,3	15
Stammar/ha	st	1015	702	946	807	811	647	796	816
Grundyta	m ²	11	15,7	15,9	15,7	12,8	13,2	14,8	13,4
Volym	m ³	72	127,2	117,6	124,7	88,8	108,7	130,5	100,1
Andel tall av grundyta	%	0,5	49	3,7	24,7	19,6	64,6	13,1	13,4
Andel gran av grundyta	%	88,7	33,3	92,1	59,6	77,9	32,3	69,4	79,9
Andel björk av grundyta	%	10,8	17,7	4,2	15,6	2,5	3,1	17,5	6,7
Senast utförda gallring	år	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008

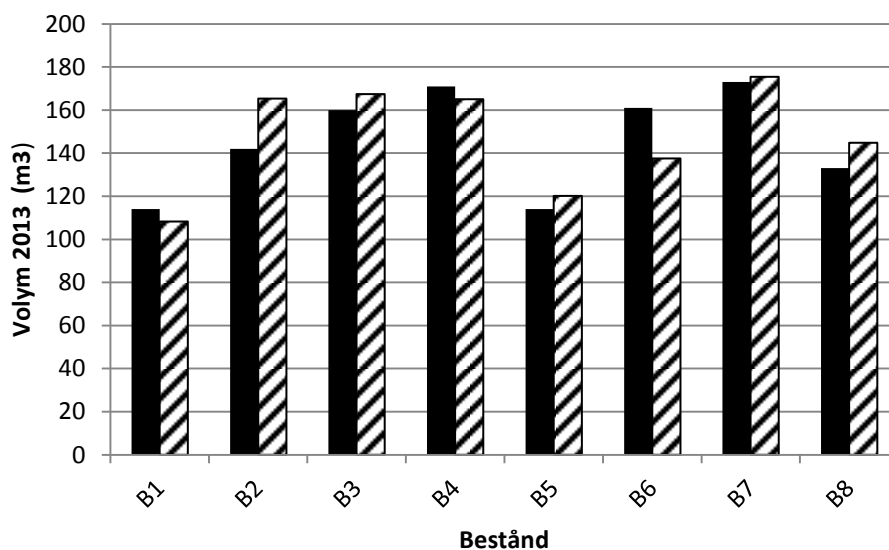
¹ S=Värmland, P=Dalsland

² = Se Riksskogstaxeringens fältinstruktion (Anon. 2009)

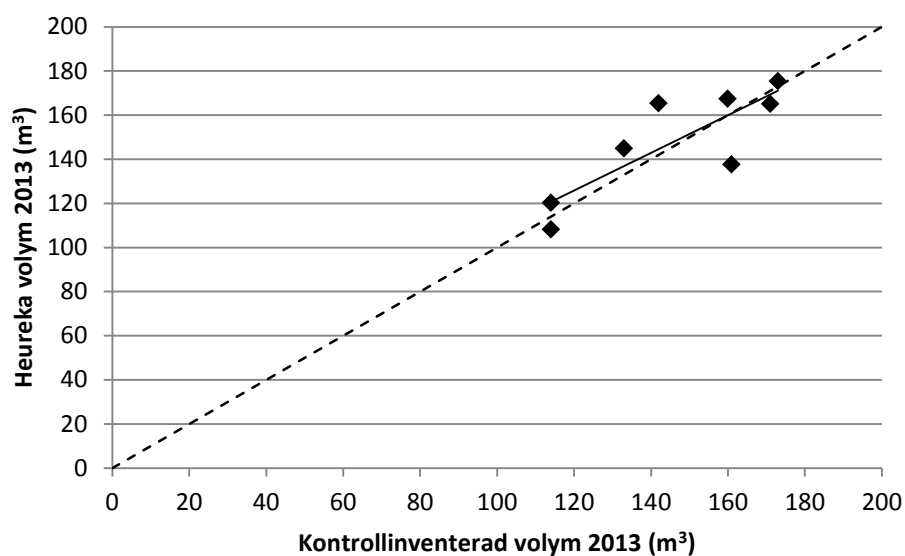
Jämförelse mellan Heurekas utfall och kontrollinventering

Volym

De bestånd som hade störst skillnad mellan prognostiserad och observerad volym var två av de som hade stor trädslagsblandning, dvs. bestånd B4 och B6 (Figur 7). Minst skillnad fanns i bestånd som hade ett dominerande trädslag. En stark korrelation (0,834) mellan prognostiserad och observerad volym fanns (Figur 8). Trendlinjens riktningskoefficient kan inte skiljas från 1, varför förekomsten av trend kan avfärdas. Hypotesen om att prognostiserad volym och observerad volym skiljer sig går inte att förkasta på ett 95% konfidensintervall. Differenserna för min och max var relativt stora, 16% underskattning och 17% överskattning (Tabell 3).



Figur 7. Diagram för observerad volym (svart) och Heurekas prognostiserade volym (streckad)
Figure 7. Graph for observed volume (black) and predicted volume by Heureka (dashed)



Figur 8. Observerad volym gentemot Heurekas prognostiserade volym. Trendlinje (heldragen) och $V_{\text{Heureka}}=V_{\text{Observerad}}$ (streckad).

Figure 8. Observed volume and predicted volume by Heureka. Trendline (whole) and $V_{\text{Heureka}}=V_{\text{Observerad}}$ (dashed).

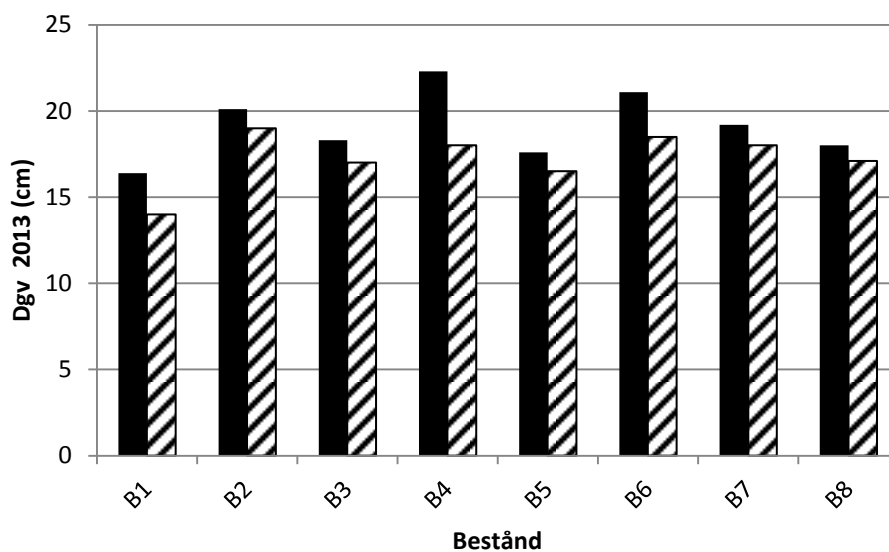
Tabell 3. Systematisk skillnad mellan prognostiserad och observerad volym (\bar{d}_v) med tillhörande medelfel ($Se(\bar{d})$), standardavvikelse (S_d) samt differensernas min- och maxvärden
 Table 3. Systematic difference between predicted and observed volume (\bar{d}_v) with standard error ($Se(\bar{d})$), standard deviation (S_d) and difference of min and max value

Variabel	Syst. Skillnad	Medelfel	Standardavvikelse	Min	Max
	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)
d_v	-1,99 ^{e.s.}	4,94	13,97	-23,3	23,4

Signifikansnivåer: e.s.= ej signifikant ($p>0,05$); *=signifikant ($p\leq 0,05$).

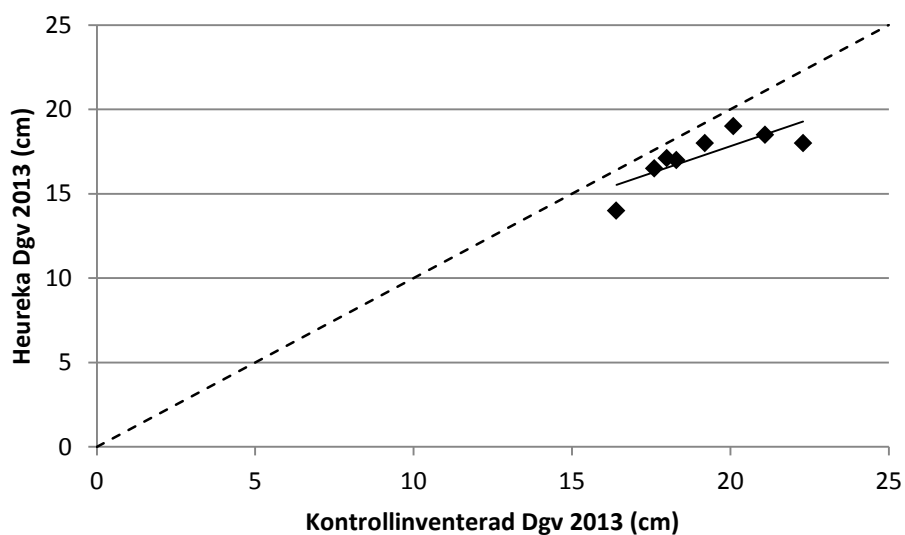
Grundtyevägd medeldiameter

Prognostiserade grundtyevägd medeldiamter (Dgv) var lägre än observerade för samtliga bestånd (Figur 9). Trendlinjens lutningskoefficient gick inte med statistisk säkerhet särskilja från 1 (Figur 10). Underskattningen tenderade att öka med en större observerad Dgv (Figur 10). Hypotesen om att prognostiserad Dgv och observerad Dgv skiljer sig kan förkastas på ett 95% konfidensintervall (Tabell 4).



Figur 9. Diagram för observerad grundtyevägd medeldiameter (svart) och Heurekas prognostiserade grundtyevägda medeldiameter (streckad)

Figure 9. Graph for observed basal area weighted mean diameter (black) and predicted basal area weighted



Figur 10. Observerad grundtyevägd medeldiameter gentemot Heurekas prognostiserade grundtyevägd medeldiameter. Trendlinje (heldragen) och $D_{gv}^{Heureka} = D_{gv}^{Observerad}$ (streckad).
Figure 10. Observed basal area weighted mean diameter and predicted basal area weighted basal area by Heureka. Trendline (whole) and $D_{gv}^{Heureka} = D_{gv}^{Observerad}$ (dashed).

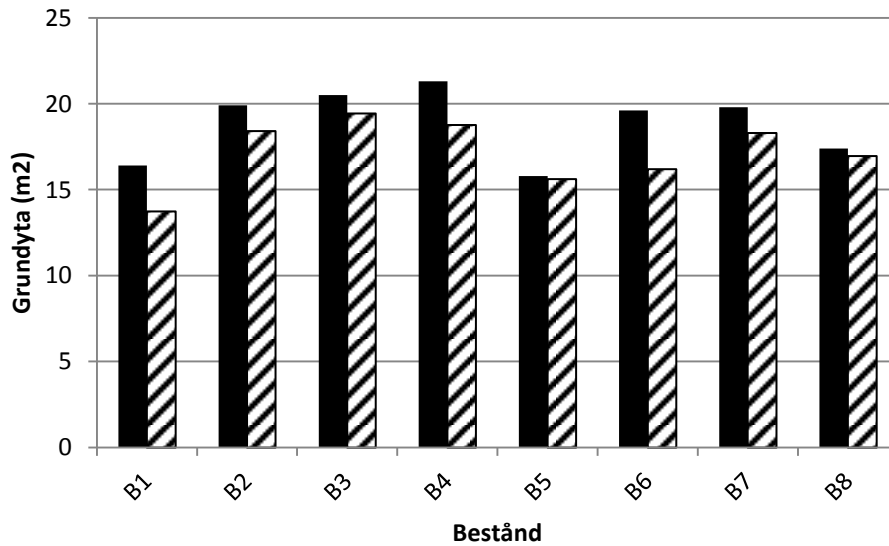
Tabell 4. Systematisk skillnad mellan prognostiserad och observerad grundtyevägd medeldiamter ($\bar{d}_{D_{gv}}$) med tillhörande medelfel ($Se(\bar{d})$), standardavvikelse ($S_{\bar{d}}$) samt differensernas min- och maxvärden
Table 5. Systematic difference between predicted and observed basal area weighted mean diameter ($\bar{d}_{D_{gv}}$) with standard error ($Se(\bar{d})$), standard deviation ($S_{\bar{d}}$) and difference of min and max value

Variabel	Syst. Skillnad	Medelfel	Standardavvikelse	Min	Max
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
$d_{D_{gv}}$	1,863*	0,414	1,172	0,9	4,3

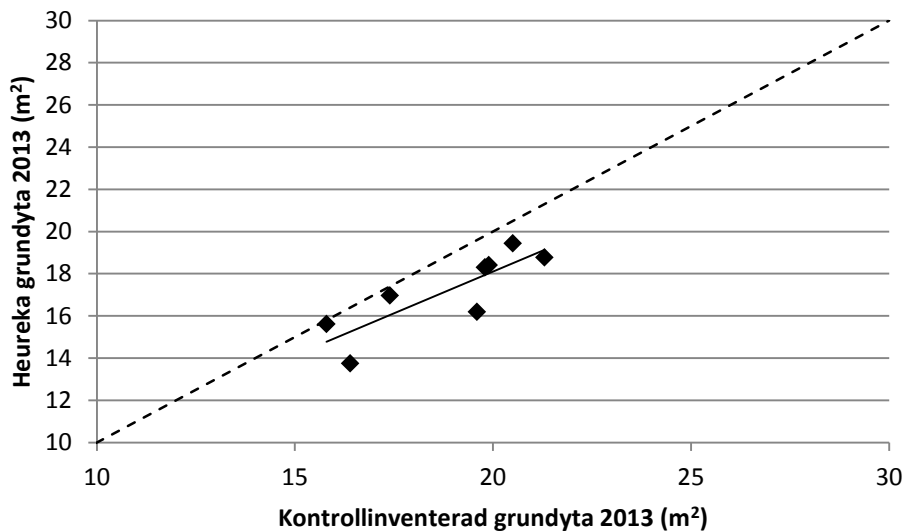
Signifikansnivåer: e.s.= ej signifikant ($p > 0,05$); *=signifikant ($p \leq 0,05$).

Grundyta

Prognostiserad grundyta var lägre än observerad för alla bestånd (figur 12). Korrelationskoefficienten för prognostiserad och observerad grundyta var 0,838. Trots att prognostiserad tillväxt var lägre än observerad för alla bestånd var trendlinjens lutningskoefficient inte skild från 1 med statistisk säkerhet (Figur 13). Underskattningen kunde styrkas av det parade t-testet (Tabell 5). Underskattningen låg mellan 1- 19 % av observerad grundyta (Tabell 5).



Figur 12. Diagram för observerad grundyta (svart) och Heureka's prognostiserade grundyta (streckad).
Figure 12. Graph for observed basal area (black) and predicted basal area by Heureka (dashed).



Figur 13. Observerad grundyta gentemot Heurekas prognostiserade grundyta. Trendlinje (heldragen) och $G_{\text{Heureka}}=G_{\text{Observerad}}$ (streckad).

Figure 13. Observed basal area and predicted basal area by Heureka. Trendline (whole) and $G_{\text{Heureka}}=G_{\text{Observerad}}$ (dashed).

Tabell 5. Systematisk skillnad mellan prognostiserad och observerad grundyta (\bar{d}_G) med tillhörande medelfel ($Se(\bar{d})$), standardavvikelse (S_d) samt differensernas min- och maxvärden

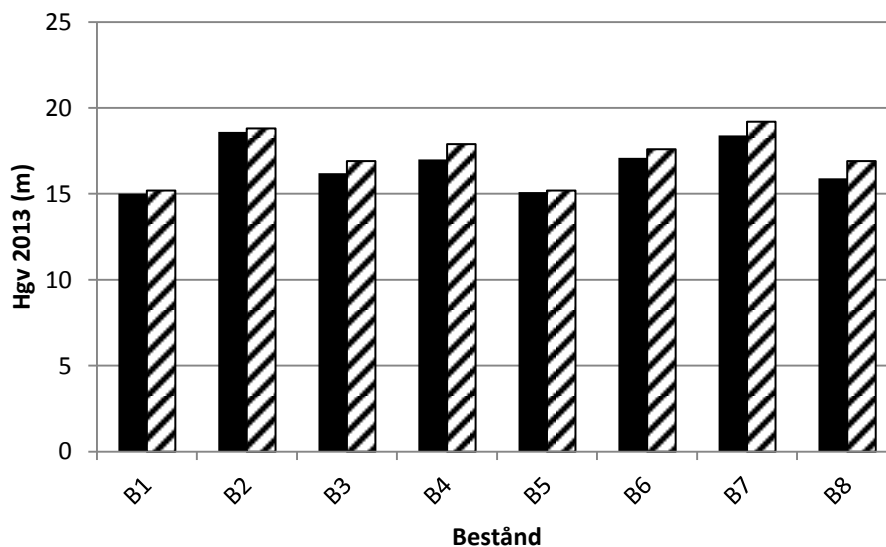
Table 5. Systematic difference between predicted and observed basal area (\bar{d}_G) with standard error ($Se(\bar{d})$), standard deviation (S_d) and difference of min and max value

Variabel	Syst. Skillnad	Medelfel	Standardavvikelse	Min	Max
	(m2)	(m2)	(m2)	(m2)	(m2)
d_G	1,653*	0,398	1,126	0,18	2,65

Signifikansnivåer: e.s.= ej signifikant ($p>0,05$); *=signifikant ($p\leq 0,05$).

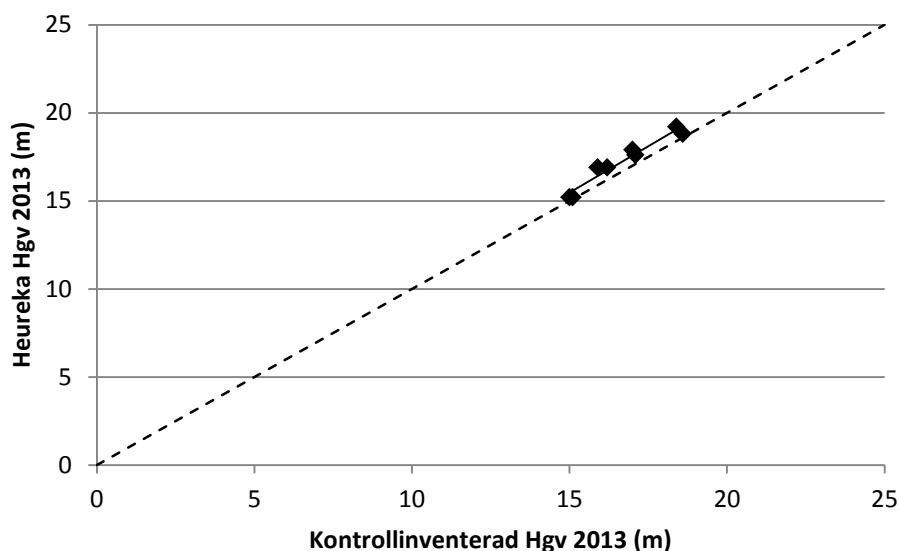
Grundtyevägd medelhöjd

Grundtyevägd medelhöjd (Hgv) överskattades för samtliga bestånd (Figur 14). Korrelationskoefficienten för prognostiserad och observerad Hgv var 0,973. Trots att prognostiserad Hgv var högre än observerad för alla bestånd var trendlinjens lutningskoefficient inte skild från 1 med statistisk säkerhet (Figur 15). Det parade t-testet visar att det förekommer en systematisk överskattning av Hgv på 0,550 m under en 5-årsperiod (Tabell 6).



Figur 14. Fiagram för observerad grundtyevägd medelhöjd (svart) och Heurekas prognostiserade grundtyevägda medelhöjd (streckad).

Figure 14. Graph for observed basal area weighted mean height (black) and predicted basal area weighted mean height by Heureka (dashed).



Figur 15. Observerad grundtyevägd medelhöjd gentemot Heurekas prognostiserade grundtyevägd medelhöjd. Trendlinje (heldragen) och $HgV_{Heureka}=HgV_{Observerad}$ (streckad).

Figure 15. Observed basal area weighted mean height and predicted basal area weighted mean height by Heureka. Trendline (whole) and $HgV_{Heureka}=HgV_{Observerad}$ (dashed).

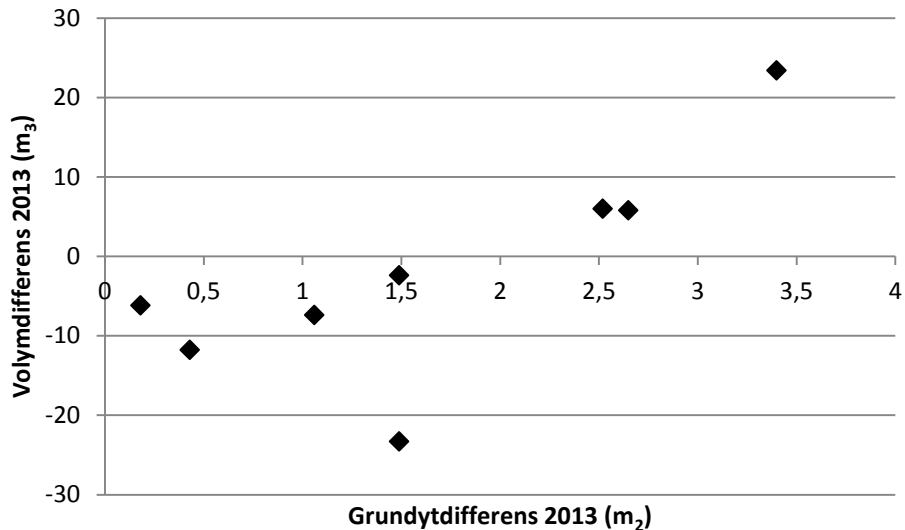
Tabell 6. Systematisk skillnad mellan prognostiserad och observerad grundtyevägd medelhöjd (\bar{d}_{Hgv}) med tillhörande medelfel ($Se(\bar{d})$), standardavvikelse (S_d) samt differensernas min- och maxvärden
Table 6. Systematic difference between predicted and observed basal area weighted mean height (\bar{d}_{Hgv}) with standard error ($Se(\bar{d})$), standard deviation (S_d) and difference of min and max value

Variabel	Syst. Skillnad	Medelfel	Standardavvikelse	Min	Max
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
d_{Hgv}	-0,550*	0,124	0,351	-1	-0,1

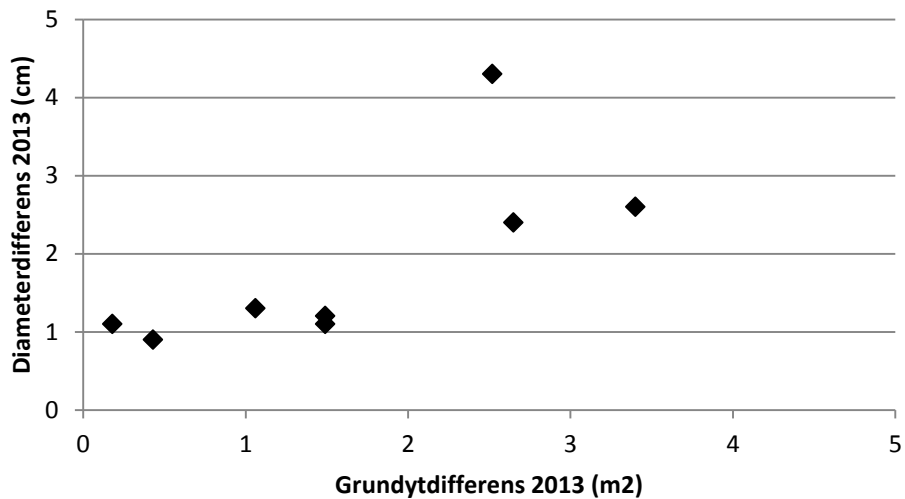
Signifikansnivåer: e.s.= ej signifikant ($p>0,05$); *=signifikant ($p\leq 0,05$).

Analys av differenser

Korrelationskoefficienten för volymdifferensen gentemot grundtydifferensen var 0,76 med ett p -värde på 0,028, vilket tyder på att det finns en klar korrelation mellan differenserna. En högre differens för grundyta gav en högre differens för volym. (Figur 16)



Figur 16 Volymdifferens gentemot grundtydifferens
Figure 16. Volume difference against basal area difference



Figur 17 Diameterdifferens gentemot grundtydifferens
Figure 17. Volume difference against basal area difference

En stark korrelation erhöles även för grundtydifferens och diameterdifferens (Figur 17). (korrelationskoefficient; 0,76, p -värde; 0,037).

Diskussion

Vanligtvis vid en sådan här studie markeras provytor och dess träd ut så att återbesök till samma provyta och träd efter önskad tid är möjlig. Dessutom lämnas referensytor för att jämföra beståndsutvecklingen utan ingrepp. Men då detta inte var möjligt får denna metod där beståndsmedelvärde rekonstruerats utifrån data från enskilda träd dock anses som pålitlig.

Vid utformning av modeller för diametertillväxten efter gallring togs ingen hänsyn till trädslag. Detta kan ha haft betydelse till varför modellen för bestånd med större trädslagsblandning hade sämre förklaringsgrad. I bestånden med ett dominerande trädslag var korrelationen mellan diameterklass 2013 och diametertillväxt de 5 senaste åren mest påtaglig. Medan kvarvarande träd i blandbestånd kan ha reagerat olika snabbt på friställningen efter gallringsingreppet och gett en mer spridd diametertillväxt de 5 senaste åren. Dessutom kan en annan anledning vara att bestånden haft olika skötselhistorik innan första gallring. Detta var dock inget som undersöktes i studien. Att inte hänsyn till barktillväxt, inväxning eller mortalitet under en 5-årsperiod togs bör inte ha så stor inverkan på resultatet.

Utfallen från Heureka gav en bra uppskattning av volymtillväxten i bestånd som inte har så stor trädslagsblandning. Störst differens mellan prognostiserad och observerad volym erhöles i bestånd med stor trädslagsblandning. Liknande studier där volymtillväxt prognostiseras med hjälp av modeller som bygger på ståndortsfaktorer visar på liknande resultat (Elfving 2008; Eriksson 1976; Söderberg 1986; Pretzsch 2002).

Diametertillväxten för samtliga bestånd underskattades. En tendens för Dgv var att ju högre observerad Dgv desto lägre underskattning gjordes av Heureka. Detta kan bero på att funktionerna som simulerar diametertillväxt (gallringsrespons) efter gallring i detta fall inte tagit hänsyn till gallringsform eller gallringstyrka, utan bara vilket år gallring utförts och beståndens ståndortsindex. Dessutom visar Elfving (2009) på att funktionerna som simulerar diametertillväxt i Heureka efter gallring har relativt låg förklaringsgrad.

Till följd av att Dgv underskattades så blev prognostiserad grundyta också lägre än observerad för samtliga bestånd. Störst skillnad var i B6 (19%), som var ett bestånd med relativt stor trädslagsblandning.

Korrelationstestet för differenserna mellan volym och grundyta visade att en ökad överskattning av grundytan gav en överskattning av volymen. Korrelationstest mellan Dgv och grundyta följde samma mönster; en större underskattning av Dgv gav en större underskattning av grundyta.

På beståndsnivå ger Heureka en tillförlitlig indikation på beståndsvolymen 5 år efter första gallring. Men att diametertillväxt underskattades och höjdtillväxten överskattades för samtliga bestånd var anmärkningsvärt. Efter gallring enligt Bergvik Skogs gallringsmall erhöles en högre diametertillväxt än vad som prognostiserats. Hur prognosen blir under en längre tidsperiod har inte undersökts men om Dgv och grundyta fortsätter underskattas kommer detta även leda till underskattning av beståndsvolymen. Överskattningen av höjdtillväxt är också något som kan innebära att tidpunkt för skötselgrepp föreslås felaktigt. Eftersom detta är en variabel som används vid utsökningar i beståndsregistret för att hitta bestånd i behov av skötselgrepp. Därför bör det vara av intresse att jämföra prognostiserad och uppmätt tillväxt i dessa bestånd även i framtiden.

Källförteckning

- Agestam, E 2009. Skogsskötselserien-Gallring. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag.
- Assmann, E. 1970. The Principles of Forest Yield Study. Studies in the Organic Production, Structure, Increment and Yield of Forest Stands. Pergamon Press Ltd., Headington Hill Hall, Oxford.
- Carbonnier, C. 1959. Gallringsförsök i naturbestånd av tall i Norrbottens län. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift 57. Nr 3: 367-385.
- Carbonnier, C. 1974. Preliminära resultat från ett gallringsförsök i granskog. Skogshögskolan. Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser nr 29.
- Elfving B. 1982. Hugins ungskogstaxering 1976-1979. SLU, Projekt Hugin, Rapport 27.
- Elfving, B. 2003. SLU, Dept. of Silviculture, Working Papers 185
- Elfving, B. 2004. Grundytetillväxtfunktioner för enskilda träd, baserade på data från riksskogstaxeringens permanenta provytor. SLU, Inst för skogsskötsel.
- Elfving, B. 2005. En grundytetillväxtfunktion för alla trädslag i hela landet. SLU, Inst för skogsskötsel. Stencil.
- Elfving, B. 2009. Influence of thinning on basal area. SLU, PM Heureka, Appendix 13.
- Elfving, B. 2010. Functions for basal area growth. SLU, PM Heureka, Appendix 4.
- Elfving, B. & Kiviste, A. 1997. Construction of site index equations for *Pinus sylvestris* L. using permanent plot data in Sweden. Forest Ecology and Management (98) 125–134.
- Eriksson, H. 1976. Yield of Norway spruce in Sweden. Royal College of Forestry, Dept. of Forest Yield Research, Research Notes 41.
- Eriksson, H. & Karlsson, K. 1997. Olika gallrings- och gödslingsregimers effekter på beståndsutvecklingen baserat på långliggande experiment i tall- och granbestånd i Sverige. SLU. Institutionen för Skogsproduktion. Rapport 42.
- Granqvist, Å (2008). Bergvik Skogs policy för gallring. Bergvik Skog
- Hamilton, G.J. 1976. Effects of line thinning on increment. Forestry Commission Bulletin No.55: 37-45.
- Håkansson, M. 2000. Skogencyklopedin, Sveriges Skogsvårdsförbund.
- Hägglund, B. 1981. Forecasting growth and yield in established forests. Swedish Univ. Agr. Sci., Dept. of Forest Survey, Report 31.
- Johansson, T. & Karlsson, K. 2004. Experiment med olika gallringsstyrkor och gallringsintervall i granskog. Resultat från en 40 årig studie. SLU. Institutionen för Bioenergi. Rapport Nr 4.
- Jonsson, B., Jacobsson, J. & Kallur, H. 1993. The Forest Management Planning Package. Theory and application. Studia Forestalia Suecica 189.

- Larson, P. R. 1969. Wood formation and the concept of wood quality. Yale Univ. Sch. For. Bull. 74.
- Lämås, T., Eriksson, L.O. 2003. Analysis and planning systems for multiresource, sustainable forestry: the Heureka research programme at SLU. Canadian Journal of Forest Research, 33(3): 500-508.
- Mette, T., Albrecht, A., Ammer, C., Biber, P., Kohnle, U., Pretzsch H. 2009. Evaluation of the forest growth simulator SILVA on dominant trees in mature mixed Silver fir–Norway spruce stands in South-West Germany Ecological Modelling, Volume 220, Issues 13–14, 17, Pages 1670–1680.
- Mäkinen, H. & Isomäki, A. 2004a. Thinning intensity and growth of Norway spruce stands in Finland. Forestry 77. No 4: 349-364.
- Mäkinen, H. & Isomäki, A. 2004b. Thinning intensity and growth of Scots pine stands in Finland. Forest Ecology and Management.
- Møller, C. 1952. Tyndingens indflydelse på massetillvæksten I. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift 4.
- Pape, R. 1999. Influence of Thinning and Tree Diameter Class on the Development of Basic Density and Annual Ring Width in *Picea abies*. Scandinavian Journal of Forest Research 14.
- Petterson, H. 1955. Barrskogens volymproduktion. Meddelanden från Statens skogsforskningsinstitut 45 nr 1A.
- Popper, K.R., 1958. The Logic of Scientific Discovery. Hutchinson, London.
- Pretzsch, H., Biber, P. & Dursky, J. 2002. The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. For. Ecol. Manage. 162.
- Soares, P. Tomé, M. Skovsgaard, J.P., Vanclay J.K. 1995. Evaluating a growth model for forest management using continuous forest inventory data. Forest Ecology and Management, Volym 71, Upplaga 3, Sidor 251–265
- Stage, A. R. 1973. Prognosis model for stand development. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-137.
- Ståhl, G. & Wilhelmsson, E. 1994 Introduktion till skoglig planering.
- Söderberg, U. 1981. Produktionsprognoser grundade på enskilda trädets tillväxt. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift.
- Söderberg, U. 1986. Functions for forecasting of timber yields. SLU, Section of Forest Mensuration and Management. Rapport 14.
- Söderberg, U. 1992. Funktioner for skogsindelning. Höjd, formhöjd och barktjocklek for enskilda träd. Rapport 52,. Inst. för biometri och skogsindelning, Sveriges lantbruksuniversitet..
- Valinger, E. & Lundqvist, L. 1992. The influence of thinning and nitrogen fertilisation on the frequency of snow and wind induced stand damage in forests. Scottish Forestry 46: 311-320.

Valinger, E. & Lundqvist, L. 1993. Rätt skogsskötsel ger lägre risk för snö- och vindskador i tallbestånd. Skogsfakta nr 11.

Valinger, E. and Pettersson, N. 1996. Wind and snow damage in a thinning and fertilization experiment in *Picea abies* in southern Sweden. *Forestry* 69: 25-33.

Valinger, E. Elfving, B., Mörling, T. 2000. Twelve-year growth response of Scots pine to thinning and nitrogen fertilization. *Forest Ecology and Management*, Volume 134, Issues 1–3, Sidorna 45–53

Valsta, L. 1992. An optimization model for Norway spruce management based on individual-tree growth models. *Acta Forrestalia Fennica* 232.

Wiksten, Å. 1960. Beskrivning och analys av några fasta gallringsförsök i mellersta Norrland. *Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt* 49 nr 6.

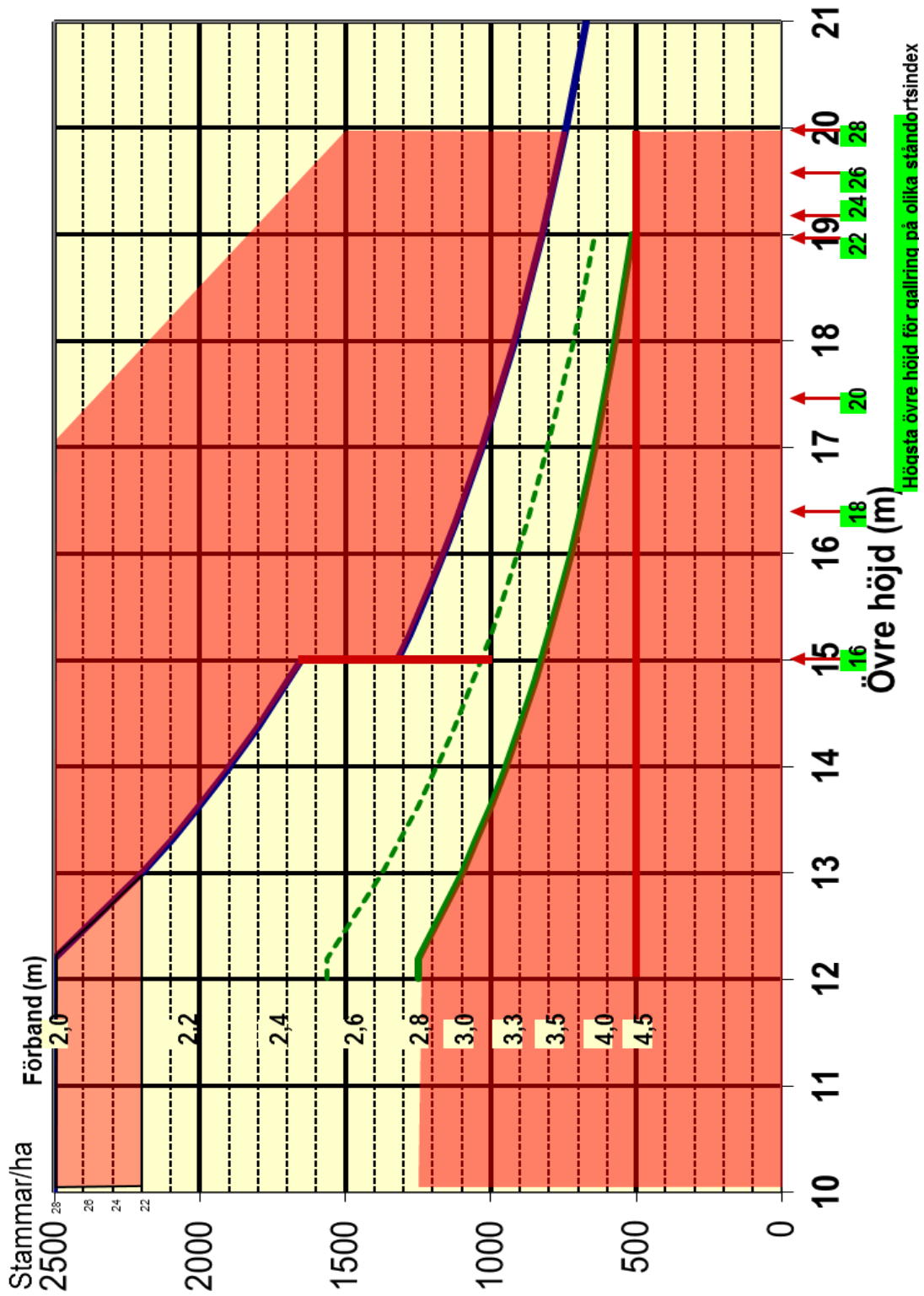
Wikström, P., Edenius, L., Elfving, B., Eriksson L. O., Lämås, T., Sonesson, J., Öhman, K., Wallerman, J., Waller, C. & Klintebäck, F. 2011. *The Heureka Forestry Decision Support System: An Overview*. *Mathematical and Computational Forestry & Natural Resource Science*

Öhman, K. 2000, Creating continuous areas of old forest in long-term forest planning. *Canadian Journal of Forest Research*, 30: 1817-1823

Bilagor

Bilaga 1

Bergvik Skogs gallringsmall (Granqvist 2008)



SENASTE UTGIVNA NUMMER

- 2013:10 Författare: Johan Karlsson
Modellering av diametern hos tall (*Pinus sylvestris*) som en effekt av beståndstäthet och biomekanik
- 2013:11 Författare: Lisa Wik Persson
Nitrogen fixation among boreal feather mosses along a clear-cut chronosequence
- 2013:12 Författare: Jakob Nemer Barbiche
Självspredning av contortatall (*Pinus contorta*) på impedimentmark I Sverige
- 2013:13 Författare: Sebastian Backlund
The effects of mother trees and site conditions on the distribution of natural regeneration establishment in a Bornean rainforest disturbed by logging and fire
- 2014:1 Författare: Matilda Olofsson
Utomhuspedagogik i skogen för barn. Skötsel och informationsförslag för Stadsliden, en stadsskog i Umeå
- 2014:2 Författare: Li Videkull
Tree species traits response to different canopy cover for 34 tree species in an enrichment planted tropical secondary rain forest in Sabah, Malaysia
- 2014:3 Författare: Helena Lindén
Förvaltning och skogsskötsel av ett tätortsnära naturreservat. – En fallstudie om Lugnets naturreservat i Falun
- 2014:4 Författare: Matilda Johansson
Askåterföring på skogsmark – en metaanalys om påverkan på ytvattnets syra-baskemi
- 2014:5 Författare: Sven Gustafsson
Gynnar stora hyggen ortolansparven? Resultat från en inventering i Västerbotten 2013
- 2014:6 Författare: Björn Karlsson
Bergsbrukets början, samt dess och jordbrukets påverkan på vegetationen uti Garpenbergs socken i sydöstra Dalarna
- 2014:7 Författare: Martin Karlsson
Jordbrukets och järnframställningens påverkan på skogsutvecklingen vid Eskilshult, en by med medeltida anor. – En studie baserad på pollenanalys
- 2014:8 Författare: Ragna Lestander
En utvärdering av de skogliga vattenplaneringsverktygen NPK+ och Blå målklassning med avseende på vattenkvalitet och vattenkemi
- 2014:9 Författare: Sara Svanlund
Carbon sequestration in the pastoral area of Chepareria, wesern Kenya – A comparison between open-grazing, fenced pastures and maize cultivations
- 2014:10 Författare: Erik Risby
Beräkning av areal och stående timmervolym i skyddszoner skapade från DTW-index