



KANDIDATARBETEN I SKOGSVETENSKAP 2015:3
Fakulteten för skogsvetenskap

Två höjdtilldelningsmetoder för trädhöjder Hur metoden påverkar höjdsfattning med laserdata

*Two methods for height assignment of tree heights
How the method affect height estimations made with laser data*

Arvid Axelsson och Tomas Ekström

Sveriges Lantbruksuniversitet

Jägmästarprogrammet

Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Kandidatarbete i skogsvetenskap, 15 hp, nivå G2E

Handledare: Mats Nilsson, Institutionen för skoglig resurshushållning

Umeå, 2015

Examinator: Tommy Mörling, Institutionen för skogens ekologi och skötsel



Kandidatarbeten i skogsvetenskap

2015:3

Fakulteten för skogsvetenskap

Två höjdtilldelningsmetoder för trädhöjder

Hur metoden påverkar höjdsfattning med laserdata

*Two methods for height assignment of tree heights
How the method affect height estimations made with laser data*

Arvid Axelsson och Tomas Ekström

Nyckelord/*Keywords:*

Laserskanning, inventering, grundtyevägd medelhöjd, fjärranalys,
regressionsmodeller/*airborne laser scanning, forest inventory, basal area
weighted mean height, remote sensing, regression models*

Umeå, 2015

Sveriges Lantbruksuniversitet/*Swedish University of Agricultural Sciences*
Fakulteten för skogsvetenskap/*Faculty of Forest Sciences*
Jägmästarprogrammet/*Master of Science in Forestry*
Kandidatarbete i skogsvetenskap/*Bachelor degree thesis in forestry science*
EX0592, 15 hp, nivå G2E/*basic level G2E*

Handledare/*supervisor:* Mats Nilsson, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning/*SLU,
Dept. of Forest Resource Management*
Examinator/*examiner:* Tommy Mörling, SLU, Institutionen för skogens ekologi och skötsel/
SLU, Dept. of Forest Ecology and Management

Sammanfattning

Detta kandidatarbete avsåg att utvärdera två metoder för höjdtilldelning av enskilda träd och hur dessa påverkade kvalitén på skattningar av grundytvägd medelhöjd gjord med hjälp av laserdata. De metoder som utvärderades var Söderbergs funktioner och en ny metod som Riksskogstaxeringen nyligen tagit fram. Studien skedde i tre delar, först en jämförelse mellan de värden för varje provyta som tilldelats enligt Söderbergs funktioner respektive Riksskogstaxeringens metod, sedan en regressionsanalys av mängden värden från respektive metod och laserdata, och slutligen en granskning av regressionsfunktionernas noggrannhet gentemot fältinventerade provytor som inte användes i framtagandet av funktionerna. För att göra dessa analyser användes Riksskogstaxeringens provytor, Lantmäteriets laserdata samt provytor tillhandahållna av Bergvik Skog. Resultatet visade på att den nya metoden gav systematiskt högre skattningar än Söderbergs funktioner. Skattningar gjorda utifrån laserdata baserade på den nya metoden hamnade närmare det fältinventerade värdet, jämfört med skattningar grundade på Söderbergs funktioner.

Abstract

The aim of this bachelors degree thesis was to analyze how estimations of basal area weighted mean height made with airborne laser scanning (ALS) data is affected by the tree wise height estimation method used for the plots before regression analysis. The methods compared are Söderberg's functions and a new method produced by the Swedish National Forest Inventory (NFI). This study was performed in three parts. First an initial comparison between the values assigned to every plot was made. Then a regression analysis between these values and laser data was completed. Finally an evaluation of estimations made with the computed functions versus third party inventoried values was performed. To make this analysis, data was used that came from the NFI, Lantmäteriet's (the Swedish national land survey) national laser scanning, and Bergvik Skog. The result showed that the new method developed by the NFI systematically produced a higher value than Söderberg's functions. It was found that the estimates, made with ALS data, based on the new height estimation method showed better agreement with the evaluation data from Bergvik Skog than the estimates based on Söderberg's functions.

1 Inledning

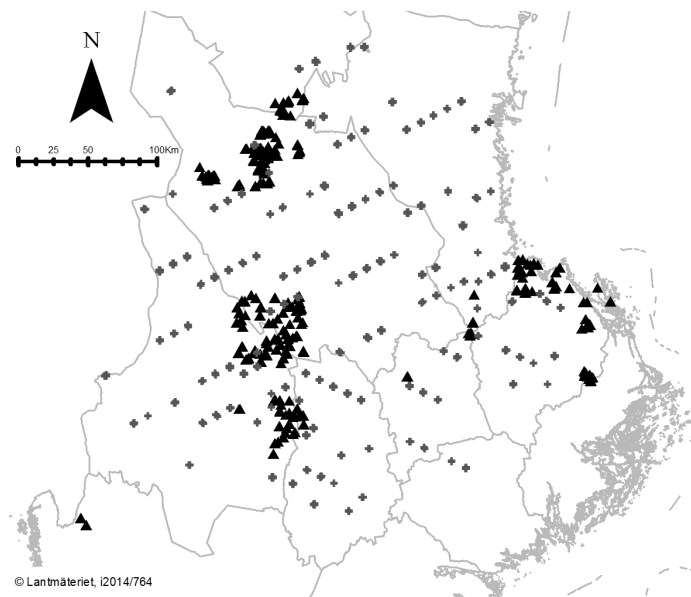
Fältinventeringar tar lång tid och kostar därmed mycket pengar. För att förbättra och effektivisera inventeringarna används ofta någon typ av fjärranalys, till exempel digitala ortofoton eller satellitbilder. På senare tid har det blivit allt vanligare att vissa variabler skattas med hjälp av flygburen laserskanning. Metoden är mer kostnadseffektiv och ger ofta bättre skattningar av skogliga variabler än subjektiv inventering. (Magnusson, 2006).

Laserpulserna skjuts från ett instrument buret av flygplan eller helikopter. Instrumentet mäter tiden från att pulsen skickas ut tills dess att den reflekterats tillbaka från marken eller vegetationen (Nilsson och Olsson, 2008) och då ljusets hastighet är känd kan avståndet räknas ut. Med hjälp av planets position samt avstånd och riktning kan varje laserretur positionsbestämmas med hög noggrannhet (Lindberg och Holmgren, 2014).

Regressionsanalyser gör det möjligt att hitta ett samband mellan lasermetriker och fältinventerat data, till exempel en höjdpercentil och skogens medelhöjd (Lindberg och Holmgren, 2014). När regressionsfunktionerna är framtagna kan de användas för att, utifrån insamlade laserdata, skatta de skogliga variablerna. Holmgren (2004) gjorde ett försök där han, för en mängd provytor, korrelerade laserdata mot skattningar av medelhöjd baserade på Söderbergs funktioner (Söderberg, 1992). Skattningar gjorda med denna regressionsfunktion jämfördes sedan med medelvärden från totalinventerade bestånd. I denna studie fick man en mycket god korrelation och ett RMSE på fem procent av totalinventerad medelhöjd trots att trädhöjderna som använts för regressionsanalysen var skattade och inte fältmätta.

Lantmäteriet har sedan 2009, på uppdrag av regeringen, utfört en heltäckande laserskanning av Sverige med målet att ta fram en ny nationell höjdmodell (Miljödepartementet, 2008). I samband med denna fanns möjlighet att göra nationella skattningar av skogliga variabler, vilket resulterade i ett regeringsuppdrag till Skogsstyrelsen att i samarbete med SLU göra dessa skattningar (Landsbyggsdepartementet, 2012). De variabler som skattas är grundyta, grundytvägd medelhöjd, grundytvägd medeldiameter, volym och biomassa. Inför skattningen av grundytvägd medelhöjd korreleras laserdata mot Riksskogstaxeringens provytor där träden tilldelats höjder utifrån Söderbergs funktioner. För att få ett tillfredsställande antal provytor i varje lokalanpassad regressionsanalys skrivs provytorna fram eller tillbaka med hjälp av Heureka till det år skanningen genomfördes (Nordkvist, 2014).

På senare tid har Riksskogstaxeringen uttryckt misstankar om att Söderbergs funktioner systematiskt underskattar höjden. Odokumenterade tester av Söderbergs funktioner gentemot provträd har visat på detta. Misstanken kan vara befogad då materialet till grund för dessa funktioner är Riksskogstaxeringens provytor från perioden 1973–1977 (Söderberg, 1992) och hur skogen växer kan ha förändrats sedan dess. Om det är så att systematiska fel föreligger kommer detta följa med till den höjdsfattning som görs med hjälp av laserdata. Riksskogstaxeringen har nu tagit fram en ny metod för att tilldela höjder (fortsättningsvis kallad RT-metoden) som enligt utsago ska ge bättre resultat än Söderbergs funktioner.



Figur 1. Karta över de provytor som användes för att ta fram och utvärdera skattningar med laserdata; trianglar representerar Bergvik Skogs provytor och kors Riksskogstaxeringens

1.1 Syfte

Detta kandidatarbete avsåg att undersöka hur väl RT-metoden lämpade sig, jämfört med Söderbergs funktioner, att använda för höjdtilldelning, av inklavade träd, på provytor i samband med regressionsanalys mot laserdata. Två frågor låg till grund för studien.

1. Vilka systematiska skillnader finns mellan skattningar av grundtyevägd medelhöjd gjorda med Söderbergs funktioner respektive RT-metoden som grund?
2. Hur påverkar trädvis höjdtilldelning med Söderbergs funktioner respektive RT-metoden kvalitén i skattningar av grundtyevägd medelhöjd med hjälp av laserdata?

2 Material

Studien byggde på Riksskogstaxeringens fältinventerade provytor, Lantmäteriets rikstäckande laserdata samt fältinventerade provytor från Bergvik Skog. Från Riksskogstaxeringen användes 19 694 provytor som var systematiskt utlagda över hela Sverige (Anon., 2014). I den senare delen av studien gjordes ett geografiskt urval av dessa provytor, som användes för att ta fram de regressionsfunktioner som skattar grundtyevägd medelhöjd utifrån laserdata. Bergvik Skogs provytor användes för utvärdering av skattningarnas noggrannhet. I figur 1 syns Bergvik Skogs provytor och de utvalda ytorna från Riksskogstaxeringen med sina placeringar i mellersta Sverige.

2.1 Riksskogstaxeringens provytor

Riksskogstaxeringen gör varje år en inventering av landets skogar. Ytorna finns i så kallade trakter där provytor är utlagda i ett rektangulärt mönster. Det finns både tillfälliga och permanenta ytor. På en provyta klavas alla träd och beroende på ägoslag, grundyta och provyteareal tas ett visst antal provträd ut (Anon., 2014). För dessa provträd registreras ytterligare variabler och utifrån detta kan bland annat virkesförråd beräknas (Åkesson och Westerlund, 2014).

På alla ytor hade höjd tilldelats varje träd med både Söderbergs funktioner och RT-metoden, därefter beräknades grundytvägd medelhöjd för provytan. Det innebar att varje yta hade två olika värden för den grundytvägda medelhöjden, ett baserat på vardera metod. Ur erhållet material plockades ett flertal ytor bort enligt vissa kriterier, vilket resulterade i tidigare nämnda 19 694 provytor. Varje yta skulle vara

- av ägoslaget produktiv skogsmark
- inventerad i perioden 2009–2013
- utan överståndare eller fröträd
- höjdsfattad med både RT-metoden och Söderbergs funktioner
- odelad.

När regressionsanalysen med laserdata skulle genomföras ställdes ytterligare krav på provytorna. Varje yta skulle även

- vara permanent
- ha ett värde för den nittiofemte höjdpercentilen över en meter
- vara skannad samma år som inventering genomfördes.

2.1.1 Söderbergs metod

De höjdtilldelningsfunktioner som Söderberg (1992) tog fram byggde på Riksskogstaxeringens provträdsdata från perioden 1973–1977. Funktionerna grundade sig på egenskaper från träd, bestånd och ståndort; till exempel diameter, ålder, grundyta, ståndortsindex och region i landet. När funktionerna skulle användas var åldern för enskilda träd den variabel som tog längst tid att samla in och var därmed mest kostsam. På grund av kostnaderna tog Söderberg även fram en enklare funktion som använde beståndsålder istället för ålder på enskilda träd. Denna funktion hade en något lägre noggrannhet men blir allt träffsäkrare desto fler provträd som används för beräkning av beståndsålder. Funktionerna hade ett logaritmiskt bias på under två procent som inte korrigerades för i den här studien (Söderberg, 1992). I erhållet material var grundytvägda medelhöjder, utifrån Söderbergs funktioner, tilldelade provytorna med programvaran Heureka.

Söderbergs funktioner granskades av Lindgren (1990) och han visade att funktionerna kunde få systematiska fel om dessa inte kalibrerades med lokala provträdsdata. Holmgren (2004) använde i sin studie Söderbergs funktioner, när han tog fram regressionsfunktioner för att skatta medelhöjd med laserdata, och visade att den beräknade regressionsfunktionen systematiskt underskattade medelhöjden på provytor.

2.1.2 RT-metoden

Vid tillfället för denna studie var RT-metoden i ett försöksstadium och odokumenterad. Inte mycket fanns skrivet om dess noggrannhet och algoritmer. Följande beskrivning kommer därmed inte vara heltäckande men ämnar ge en summarisk förklaring av funktionen och hur den är uppbyggd.

I Riksskogstaxeringens insamlade data fanns mer information än vad som användes i Söderbergs funktioner. Man hade mätt fler variabler på provträden än klavträden och beräknat volym för de förstnämnda enligt den volymfunktion som passade bäst. De funktioner som användes för att beräkna volym var bland andra Näslunds (1941, 1947), Hagberg och Matérns (1975), Erikssons (1973) och Anderssons (1954). Dessa funktioner använde olika indata, vanligen höjd och diameter men ibland även annan information om beståndet så som andel klykstammar och täthet. Utifrån klavträdens egenskaper och provträdens volym kunde volym tilldelas klavträden. Detta resulterade i en lokal anpassning i skattningen av trädens volym. (Åkesson och Westerlund, 2014).

I RT-metoden användes trädens tilldelade volymer för att göra en höjdskatting. Vissa av de tidigare nämnda volymfunktionerna inverterades för att skatta höjd utifrån trädets diameter i brösthöjd och stamvolym. Då somliga volymfunktioner inte alltid gått att invertera har Riksskogstaxeringen komplementerat med nya regressionsfunktioner (Åkesson, 2015). I erhållet material var den grundtevägda medelhöjden, framtagen med RT-metoden som grund, beräknad av Riksskogstaxeringen.

2.2 Laserdata

Materialet från Lantmäteriet bestod av ett punktmoln där varje punkt motsvarade en koordinatsatt laserretur som klassats till mark, vatten, bro eller oklassifierad. Insamlingen av data skedde med flygplan på en höjd av mellan 1 700 och 2 300 meter över marken (upp till 3 500 meter vid extremfall i fjällen). Punkttätheten skulle normalt sett ligga mellan 0,5 och 1 per kvadratmeter men i fjällen gick man ner till 0,25 punkter per kvadratmeter. Skanningen gjordes med en vinkel på $\pm 20^\circ$ och ett överlapp av stråk på 20 procent. För arbetet hade ett flertal olika skannersystem använts. (Lantmäteriet, 2015).

För varje provyta fanns så kallade lasermetriker tilldelade utifrån Lantmäteriets laserdata. Dessa beskriver hur punkterna är fördelade över viss area. Provytan kunde ses som en cylinder som går upp i luften och laserreturernas fördelning inom denna cylinder beskrevs med ett antal tal. Den lasermetrik som användes i denna studie var den nittiofemte höjdpercentilen (fortsättningsvis kallad H_{P95}). Denna var höjden över mark under vilken nittiofem procent av laserreturerna fanns. (Iwarsson-Wide, Olofsson, Wallerman, Sjödin, Torstensson, Aasland, Barth och Larsson, 2013).

2.3 Bergvik Skogs provytor

Provytorna, vilka användes som utvärderingsmaterial, har tagits fram av Bergvik Skog. Ett stratifierat PPS-urval (Probability Proportional to Size) där avdelningar viktats i förhållande till areal produktiv skogsmark användes inför utläggning av provytor. Stratifiering skedde utifrån åldersklass, dominerande trädslag och volymklass. I varje avdelning slumpades ett antal provytor systematiskt ut bero-

ende på dess areal. Riktvärdet var två ytor för avdelningar under fem hektar, tre ytor för avdelningar mellan fem och tjugo hektar och fyra ytor för avdelningar över tjugo hektar. Inventering genomfördes under åren 2011 och 2012. Avdelningar som avverkats eller hade en medelhöjd under sex till sju meter¹ plockades bort.

En provyta hade en radie på 8,46 meter och alla träd med en brösthöjdsdiameter över fem centimeter registrerades. För ytor där medeldiameter låg under tio centimeter sänktes denna gräns till fyra centimeter. Höjd mättes på ett antal provträd som valdes med PPS-urval där sannolikheten berodde på grundyta. Urval av avdelningar, beräkningar samt trädvis tilldelning av höjd och volym skedde med hjälp av Indelningspaketet. Lokala provträd användes för att kalibrera den skattade grundytavägda medelhöjden. Detta ska ha gett bättre skattningar än att bara använda Söderbergs funktioner som fanns inbyggda i Indelningspaketet. Totalt erhöles, från Bergvik Skog, 642 provytor från 213 avdelningar. (Anon., 2012).

3 Metod

Inledningsvis inspekterades data visuellt. Provytor som stack ut ur mängden, med en stor skillnad i hur de olika metoderna gett skattningar av den grundytavägda medelhöjden, kontrollerades med hjälp av flygbilder för att avgöra skogstyp och eventuella felkällor. Därpå undersöktes om det verkligen förelåg en skillnad mellan skattningar gjorda med Söderbergs funktioner respektive RT-metoden (hädanefter kallade SB-värde och H_{SB} respektive RT-värde och H_{RT}). Vid denna analys användes alla provytor där var och en hade två skattade höjder, en enligt vardera metod. För att utröna om det fanns en signifikant skillnad mellan de olika metoderna kontrollerades medeldifferensen värdena emellan. Nollhypotesen var att båda dessa metoder skattade lika, det vill säga att $\bar{H}_{SB} = \bar{H}_{RT}$.

$$H_0 : \bar{H}_{SB} - \bar{H}_{RT} = 0$$

$$H_A : \bar{H}_{SB} - \bar{H}_{RT} \neq 0$$

För att se om skillnaden mellan SB- och RT-värde förändrades med storleken på träd delades provytorna in i klasser utifrån grundytavägd medeldiameter. Eftersom provytorna totalklavades och dessa värden användes som grunddata för båda höjdsfattningarna ansågs det rimligt att skapa klasser utifrån den variabeln. Dessa värden var inte normalfördelade, eftersom antalet provytor ökade snabbt från de minsta diametrarna och sedan följde ett långsamt avtagande mot grövre diametrar. För att få jämnstora klasser beräknades fem kvantiler så de 20 procent med minst grundytavägd medeldiameter hamnade i en klass, nästa 20 procent i en klass och så vidare. I varje klass beräknades medelvärde och 95-procentigt konfidensintervall för att se om värdena skiljde sig från varandra. Denna analys resulterade i en slutsats om huruvida Söderbergs funktioner och RT-metoden skiljde sig över hela Sverige sett. Regionala skillnader kunde givetvis förekommit men den analysen gjordes inte.

¹I *Field sampling for the Bergvik laser projects 2011–2012* var detta intervall angivet, inget enskilt värde var satt som gräns.

För att göra skattningar av grundtevägd medelhöjd med hjälp av laserdata beräknades två regressionsfunktioner, en för vardera höjdtilldelningsmetod. Utifrån den visuella analysen togs vissa provytor bort och ytterligare två, alternativa funktioner, beräknades för att se hur dessa påverkade skattningarnas noggrannhet. Funktionerna togs fram med minsta kvadratmetoden och utvärderades i form av förklaringsgrad (R^2)² samt konfidensintervall. Interceptet låstes ej till noll då ingen provyta i utvärderingsmaterialet hade en inventerad höjd under fem meter. För att ta fram funktionerna och göra en mer lokal skattning användes de femhundra av Riksskogstaxeringens provytor som låg närmast medelkoordinaten hos Bergvik Skogs provytor. Provytor med osedvanligt stora residualer plockades bort för att funktionerna inte skulle påverkas starkt av ett fåtal provytor.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_{1i} - \hat{y}_{2i})^2} \quad (1)$$

$$\text{RMSE } \% = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_{1i} - \hat{y}_{2i})^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{y}_{2i}} \quad (2)$$

$$\text{Bias} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_{1i} - \hat{y}_{2i}) \quad (3)$$

När de två funktionernas noggrannhet skulle jämföras användes Bergvik Skogs provytor. Skattningar gjordes för varje yta och dessa jämfördes med det fältinventerade värdet. Skillnaderna, mellan skattningarna och fältinventerat värde, uttrycktes i form av RMSE och bias enligt ekvationerna 1, 2 och 3 där \hat{y}_1 var det skattade värdet enligt regressionsfunktionen och \hat{y}_2 det fältinventerade. För att avgöra om den systematiska felskattningen för varje funktion skiljde sig från noll och ifall de skiljde sig från varandra beräknades ett 95-procentigt konfidensintervall beträffande bias.

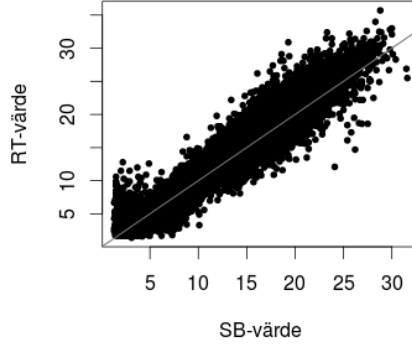
Även här gjordes en klassindelning för att se hur skillnaderna mellan de två funktionerna artade sig i olika skogstyp. Den fältinventerade grundtevägda medelhöjden användes för att konstruera klasser och då denna var någorlunda normalfördelad genererades jämnstora intervall. För varje klass beräknades RMSE och bias enligt ekvationerna 1, 2 och 3 samt 95-procentigt konfidensintervall för bias.

4 Resultat

4.1 Jämförelse av värden på provytor

Först inspekterades provytorna visuellt med avseende på H_{SB} och H_{RT} . Som spridningsdiagrammet i figur 2 visar fanns ett antal provytor som avvek från den generella trenden. Dessa kontrollerades närmare med hjälp av flygfoton men ingen togs bort. Gruppen där SB-värdet var relativt lågt samtidigt som RT-värdet

²Till följd av det stora antalet provytor blev den anpassade förklaringsgraden i princip densamma som förklaringsgraden.



Figur 2. RT-värde mot SB-värde med linjen för $H_{RT} = H_{SB}$

Tabell 1. Medelvärde för differens mellan H_{RT} och H_{SB} i olika diameterklasser och 95-procentigt konfidensintervall

Diameterklass (cm)	$A < 11,4 \leq B < 16,4 \leq C < 20,8 \leq D < 26,3 \leq E$				
Differens (m)	0,08	0,30	0,54	0,64	0,81
Intervall (95 %)	$\pm 0,05$	$\pm 0,04$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,07$

var högt bestod av strandnära eller ovanligt glesa bestånd. Detta berodde inte nödvändigtvis på att modellerna skattade olika, utan kunde också berott på hur överståndare identifierats och hanterats innan respektive metod applicerats. De ytterlighetsfall där SB-värdet istället var avsevärt större än RT-värdet förekom endast i form av ädellövskog i södra Sverige.

En snabb analys av punkternas fördelning gav vid handen att det förelåg en skillnad som såg ut att öka med ökande SB- respektive RT-värde. Denna skillnad verkade vara att RT-metoden generellt sett skattade högre än Söderbergs funktioner. För att utvärdera huruvida de två skattningarna skiljde sig åt beräknades differensen $H_{RT} - H_{SB}$ för varje provyta. Medelvärde och 95-procentigt konfidensintervall beräknades för alla provytor samt för olika diameterklasser. Konfidensintervallet för alla provytor var $0,47 \pm 0,02$. För varje diameterklass finns resultatet presenterat i tabell 1.

4.2 Regressionsfunktioner för höjdsfattning

Eftersom det förelåg en skillnad mellan metoderna för höjdtilldelning var det intressant att fortsätta analysen och se hur denna påverkade de skattningar som gjordes med hjälp av laserdata. För att göra detta utformades två regressionsfunktioner, en för vardera H_{SB} (kallad SB-funktionen, ekvation 4) och H_{RT} (kallad RT-funktionen, ekvation 5) gentemot H_{P95} . Dessa funktioner beräknades utifrån de femhundra av Riksskogstaxeringens ytor som låg närmast medelkoordinaten för Bergvik Skogs provytor. Inför denna analys rensades extremvärden bort, för vardera regressionsanalys plockades fem punkter bort men de var inte desamma för båda metoderna.

Tabell 2. Funktionernas koefficienter och intercept samt 95-procentiga konfidensintervall

Ekvation	(4)	(5)	(6)	(7)
Intercept	1,99	1,26	2,42	1,37
<i>Konfidensintervall</i>	$\pm 0,36$	$\pm 0,36$	$\pm 0,49$	$\pm 0,49$
Koefficient	0,85	0,94	0,83	0,94
<i>Konfidensintervall</i>	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,03$	$\pm 0,03$
Förklaringsgrad (%)	90,9	92,6	86,4	89,2

$$H_{SB} = 0,85 \times H_{P95} + 1,99 \quad (4)$$

$$H_{RT} = 0,94 \times H_{P95} + 1,26 \quad (5)$$

Vid den visuella analysen i del 4.1 undersöktes en grupp provytor där RT-värdet var ovanligt högt i förhållande till SB-värdet. För att utreda ifall denna grupp påverkade regressionsfunktionerna avsevärt beräknades två alternativa regressionsfunktioner, en med Söderbergs funktioner (ekvation 6) respektive RT-metoden (ekvation 7) som grund. Här plockades alla provytor med ett SB-värde under sju meter bort inför framtagandet av regressionsfunktionerna för att eliminera gruppens påverkan. De provytor som tidigare rensats bort användes inte heller med vid framtagandet av dessa funktioner. Totalt återstod 442 provytor.

$$H_{SB} = 0,83 \times H_{P95} + 2,42 \quad (6)$$

$$H_{RT} = 0,94 \times H_{P95} + 1,37 \quad (7)$$

För varje funktion beräknades konfidensintervall och förklaringsgrad, dessa finns redovisade i tabell 2. Mellan de först framtagna funktionerna (4 och 5) och de alternativa funktionerna (6 och 7) fanns ingen signifikant skillnad mellan varken intercepten eller lutningarna. Följden av att alla provytor med ett SB-värde lägre än sju meter plockades bort är en genomgående lägre förklaringsgrad. Mellan funktionerna (ekvation 4 och 5) som grundats på olika höjdtilldelningsmetod fanns en signifikant skillnad för lutningen. Konfidensintervallen för intercept låg så pass nära att avrundningsfel kunde betyda att de var lika.

4.3 Skattningarnas noggrannhet

När noggrannheten i de beräknade funktionerna (ekvation 4 och 5) skulle utvärderas användes de 642 provytor som tillhandahölls av Bergvik Skog. RMSE och bias beräknades för alla provytors SB- och RT-värde gentemot det fältmätta värdet. För SB-funktionen blev RMSE 1,66 (10,8 %) och bias $-1,05 \pm 0,10$. För RT-funktionen blev samma värden 1,38 (9,0 %) och $-0,48 \pm 0,10$. Klasser konstruerades med jämna intervall utifrån den fältmätta grundytavägda medelhöjden. RMSE och bias beräknades för varje klass, resultaten finns presenterade i tabell 3.

Tabell 3. Skattningarnas noggrannhet i olika höjdklasser med 95-procentigt konfidensintervall för bias

Höjdklass (m)	$a < 9,34 \leq b < 13,38 \leq c < 17,42 \leq d < 21,46 \leq e$				
Medelhöjd (m)	8,2	11,5	15,3	19,4	23,0
Antal	58	197	163	156	68
RT-funktionen					
RMSE (m)	0,99	1,23	1,47	1,37	1,81
RMSE (%)	12,0	10,7	9,6	7,1	7,9
Bias (m)	-0,64	-0,39	-0,26	-0,64	-0,82
Intervall	$\pm 0,20$	$\pm 0,16$	$\pm 0,23$	$\pm 0,19$	$\pm 0,39$
SB-funktionen					
RMSE (m)	0,85	1,22	1,56	1,94	2,56
RMSE (%)	10,3	10,6	10,2	10,0	11,1
Bias (m)	-0,51	-0,60	-0,85	-1,59	-2,09
Intervall	$\pm 0,18$	$\pm 0,15$	$\pm 0,20$	$\pm 0,18$	$\pm 0,36$

5 Diskussion

5.1 Slutsats

En tydlig systematisk skillnad föreligger mellan de två metoderna för tilldelning av grundtyevägd medelhöjd. För alla provytor tillsammans och för alla diameterklasser kan nollhypotesen, att metoderna skattar lika, förkastas. Med ökande skattat värde ökar skillnaden. Ser man till diameterklasser ökar skillnaden mellan värden beräknade utifrån respektive metod med ökande diameter. Detta gäller endast när analysen görs för hela Sverige, lokal variation kan förekomma.

Skillnader finns också i hur sydsvensk lövskog och ovanligt glesa eller strandnära bestånd skattas. I strandnära eller gles skog ger RT-metoden relativt höga värden och Söderbergs funktioner låga. Det omvända förekommer i detta datamaterial endast i ädellövskog i södra Sverige. När den förstnämnda gruppen plockas bort påverkas inte de resulterande regressionsfunktionerna signifikant. Det betyder att av de femhundra provytorna som använts fanns inte tillräckligt många av dessa för att ge en effekt. Skulle studien gjorts i ett område med större andel av dessa bestånd kunde resultatet blivit annorlunda.

Mellan de regressionsfunktioner framtagna med RT-metoden respektive Söderbergs funktioner som grund finns en signifikant skillnad i lutningen. RT-funktionen skattar systematiskt högre utifrån samma värde för den nittiofemte höjdpercentilen. Intercepten ligger så pass nära att de inte kan sägas vara signifikant skilda från varandra. Det innebär att i låg skog ger funktionerna ungefär samma värden. Förklaringsgraden är något högre för RT-funktionen och det visar på att värdena sammanfaller bättre med laserdata än hos SB-funktionen runt vilken residualernas varians är större.

I förhållande till fältinventerad grundtyevägd medelhöjd för Bergvik Skogs provytor har RT-funktionen ett lägre systematiskt fel men underskattar fortfarande. Skattningarnas spridning kring de inventerade värdena är också mindre; medelfelet är 28 centimeter mindre än det hos SB-funktionen. I de olika höjdklasserna syns en ökande skillnad med ökande höjdklass, i de två lägsta finns ingen signifikant skillnad men i de högre skattar RT-funktionen närmare det inventera-

de värdet. Någonstans i intervallet 13,4–17,4 meters grundytvägd medelhöjd börjar RT-funktionen skatta närmare det fältinventerade värdet. För klassen under 9,3 meter har SB-funktionen ett mindre medelfel men det kan bero på hur överståndare hanterats.

5.2 Studiens svagheter och framtiden

I och med arbetets gång har ett antal nya frågor framkommit. Datamaterialet som använts har bestått av de provytor som skannats samma år som inventering genomförts. När man gör de nationella skattningarna av skogliga variabler används istället alla provytor. Dessa skrivs då fram eller tillbaka i programvaran Heureka för att skapa en bild av hur skogen såg ut vid skanningstidpunkten. Detta resulterar i ett större antal provytor som kan användas för att ta fram regressionsfunktioner. RT-metoden för trädvis tilldelning av höjd finns inte i Heureka men skulle funktionen implementeras kan samma metodik användas och mer lokalt anpassade skattningar kan göras.

Söderbergs funktioner bygger på ett datamaterial framtaget under 1970-talet och som tidigare nämnts kan det vara en av orsakerna till varför de leder till underskattningar av grundytvägd medelhöjd. Då funktionerna är väl dokumenterade skulle en revidering av dessa med ett mer aktuellt datamaterial kunna eliminera problemet. De värden som erhållits från Söderbergs funktioner har varit behäftade med ett logaritmiskt bias, på mellan en till två procent, vilket påverkar främst de högre höjdklasserna där RT-metoden, i denna studie, ger en bättre skattning. I Söderbergs (1992) publikation finns en bilaga för att korrigera logaritmiskt bias och att genomföra studien på nytt med korrigeringen kunde vara intressant.

RT-metoden är vid tidpunkten för detta kandidatarbete till stor del odocumenterad, förutom personlig kunskap hos upphovsmännen. Resultatet visar på att metoden skattar lika bra som eller bättre än Söderbergs funktioner och detta talar för dess fortsatta användning. Metoden grundar sig på ett flertal olika funktioner och en matematisk analys bör företas för att utreda hur fel i indata fortplantar sig. Den skogliga näringen kan mycket väl ta till sig denna metod då den verkar fungera men om den ska användas i forskningssyfte måste den dokumenteras i detalj.

Båda metoderna för trädvis höjdtilldelning består av ett flertal funktioner för olika trädslag i olika delar av landet. Bland de provytor och kontrolltytor som använts i denna studie har inga vidare analyser av trädslag eller geografi genomförts. Försök bör göras i framtiden för att analysera hur metoderna skiljer sig åt beroende på trädslag och plats i landet.

Lantmäteriets laserdata är framtaget på olika sätt vid olika tidpunkter. Ett antal variabler som kan vara intressanta att ta hänsyn till är skannermodell, om skogen var lövad och hur stor del av årets höjdtillväxt som skett mellan tidpunkterna för inventering och skanning. I denna studie har data framtaget med skannersystem från tillverkarna Leica och Optech använts utan att göra skillnad på dem. Vidare har både lövade och olövade provytor använts i materialen för både regressionsanalys och kontroll. Anledningen var att hålla uppe antalet provytor som annars skulle blivit mycket mindre. I tillhandahållet data fanns inget datum angivet för skanning eller inventering annat än årtal.

Referenser

- Andersson, S.-O. (1954). "Funktioner och tabeller för kubering av småträd". I: *Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut* 44.12.
- Anon. (2012). *Field sampling for the Bergvik laser projects 2011–2012. A brief description*. Bergvik Skog AB.
- Anon. (2014). *Fältinstruktion 2014*. SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning och Institutionen för mark och miljö.
- Eriksson, H. (1973). *Volymfunktioner för stående träd av ask, asp, klibbal och contorta-tall*. Rapporter och uppsatser 26. Stockholm: Skogshögskolan, Institutionen för skogsproduktion.
- Hagberg, E. och Matérn, B. (1975). *Volymfunktioner för stående träd av ek och bok. Materialet och dess bearbetning*. Rapporter och uppsatser 15. Stockholm: Skogshögskolan, Institutionen för skoglig matematisk statistik.
- Holmgren, J. (2004). "Prediction of Tree Height, Basal Area and Stem Volume in Forest Stands Using Airborne Laser Scanning". I: *Scandinavian Journal of Forest Research* 19, s. 543–553.
- Iwarsson-Wide, M. et al. (2013). *Effektiv volymuppskattning av biomassa i vägkanter och ungskogar med laserdata*. Arbetsrapport 804-2013. Uppsala: Skogforsk.
- Landsbyggsdepartementet (2012). *Regleringsbrev för budgetåret 2013 avseende Skogsstyrelsen*. URL: <http://www.esv.se/Verktyg--stod/Statsliggaren/Regleringsbrev/?RBID=14847>.
- Lantmäteriet (2015). *Produktbeskrivning: Laserdata*. Version 2.0. Lantmäteriet. URL: <http://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/hojddata/produktbeskrivningar/laserdat.pdf>.
- Lindberg, E. och Holmgren, J. (2014). "Flygburen laserskanning för skogliga skattningar". I: *Fakta skog* 1.4.
- Lindgren, O. (1990). "Skattning av höjdkruvor för bestånd". Opublicerad rapport till Skogsstyrelsen.
- Magnusson, M. (2006). "Evaluation of Remote Sensing Techniques for Estimation of Forest Variables at Stand Level". Diss. Department of Forest Resource Management och Geomatics.
- Miljödepartementet (2008). *Regleringsbrev för budgetåret 2009 avseende Lantmäteriet*. URL: <http://www.esv.se/Verktyg--stod/Statsliggaren/Regleringsbrev/?RBID=11081>.
- Nilsson, M. och Olsson, H. (2008). *Arbetsrapport. Lägesbeskrivning och framtidsvisioner*. Rapporter och uppsatser 226 2008. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning.
- Nordkvist, K. (2014). *Projektet "Skogliga skattningar med laserdata"*. SLU.
- Näslund, M. (1941). "Funktioner och tabeller för kubering av stående träd. Tall, gran och björk i norra Sverige". I: *Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut* 32.4.
- Näslund, M. (1947). "Funktioner och tabeller för kubering av stående träd. Tall, gran och björk i södra Sverige samt i hela landet". I: *Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut* 36.3.
- Söderberg, U. (1992). *Funktioner för skogsindelning: höjd, formhöjd och barktjocklek för enskilda träd*. Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Åkesson, H. (2015). "Höjdfunktion". Opublicerad källkod.

Åkesson, H. och Westerlund, B. (2014). *Konstruktion, test och underhåll av simuleringsfunktioner i Riksskogstaxeringen*. Arbetsrapport 419 2014. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning.