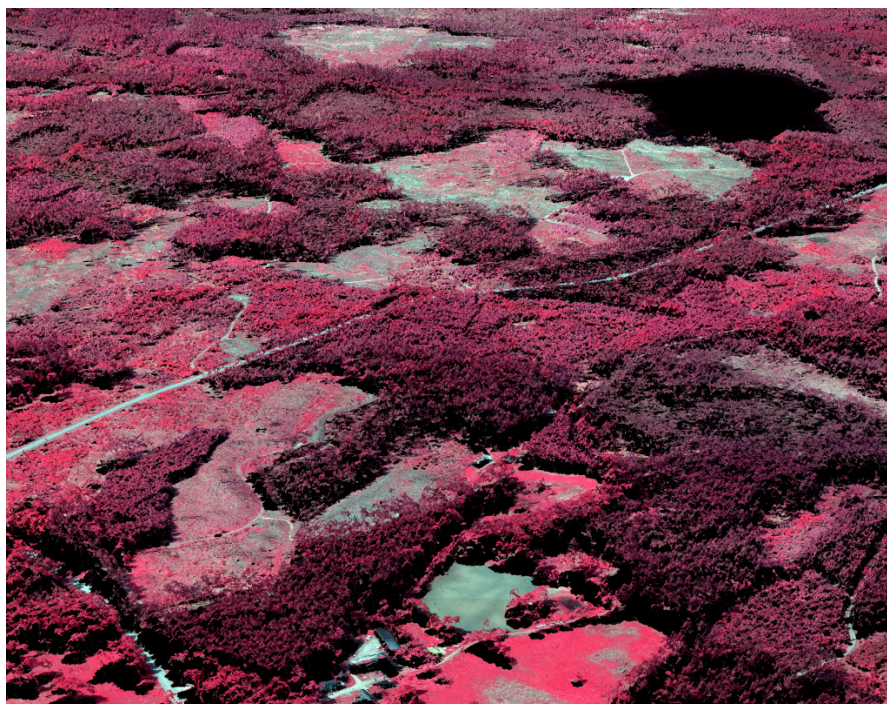


# Uppdatering av Södras skogsbruksplaner med hjälp av stereomatchning av flygbilder i kombination med den nya nationella höjdmodellen och Riksskogstaxeringens provytor

*Update of forest management plans from Södra using stereo matching of aerial images, the national terrain model and data from the National Forest Inventory*



**Johanna Blombäck**

**Arbetsrapport 436 2015**  
**Examensarbete 30hp A2E**  
**Jägmästarprogrammet**

**Handledare:**  
**Jörgen Wallerman**



# Uppdatering av Södras skogsbruksplaner med hjälp av stereomatchning av flygbilder i kombination med den nya nationella höjdmodellen och Riksskogstaxeringens provytor

*Update of forest management plans from Södra using stereo matching of aerial images, the national terrain model and data from the National Forest Inventory*

**Johanna Blombäck**

**Nyckelord:** fotogrammetri, punktmoln, 3D data, areabaserad metod, skogliga skattningar

Examensarbete i Skogshushållning vid institutionen för skoglig resurshushållning, 30 hp  
EX0768, A2E

Handledare: Jörgen Wallerman, SLU, institutionen för skoglig resurshushållning, fjärranalys

Biträdande handledare: Jonas Bohlin & Heather Reese, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, fjärranalys

Extern handledare: Mats Johansson, Södra

Examinator: Håkan Olsson, SLU, Inst för skoglig resurshushållning, Fjärranalys

## Förord

Detta examensarbete ingår som en del i Jägmästarprogrammet, 300 hp, vid SLU i Umeå. Arbetet är gjort i samarbete med och för skogsägarföreningen Södra.

För arbetet har jag nyttjat utrustningen i Ljungberglaboratoriet, SLU Umeå, som finansierats av Ljungbergsfonden. Detta har varit ovärderligt och möjliggjort genomförandet av detta arbete och därför vill jag rikta ett stort tack till både Ljungberglaboratoriet och Ljungbergsfonden.

Under arbetets gång har ett flertal personer hjälpt och stöttat mig på olika sätt, både med ämneskunskap, uppmuntrande ord och tankepauser. Jag tänker inte nämna alla, eftersom det finns risk att jag glömmer någon, vilket vore olyckligt. Det finns ändå några som jag särskilt vill lyfta fram. Jag vill främst tacka min handledare Jörgen Wallerman på fjärranalysavdelningen på institutionen för skoglig resurshushållning, SLU Umeå, som med sina värdefulla ämneskunskaper och sitt outtröttliga engagemang och tro på mig handlett mig genom detta arbete. Vidare vill jag även tacka Mats och Markus på Södra som bistått mig med återkoppling och praktisk hjälp under arbetets gång. Jag vill även tacka Jonas Bohlin och Heather Reese, båda SLU Umeå, som i olika stadier av arbetet bidragit med handledning. Även övriga inblandade på fjärranalysavdelningen och Riksskogstaxeringen ska ha tack för den hjälp ni bistått med under detta arbete. Utan er alla hade detta examensarbete inte varit möjligt.

Tack!

Umeå, Februari 2015

Johanna Blombäck

## Sammanfattning

Inom skogsbruket i Sverige framställs årligen ett stort antal Skogsbruksplaner (SBPL) där subjektiva fältmätningar vanligtvis används för skattningen av de skogliga variablerna. Denna studie syftade till att undersöka möjligheterna att uppdatera Södras befintliga SBPL med hjälp av den nya nationella höjdmodellen och punktmoln med 3D data genererat genom automatisk stereomatchning av Lantmäteriets flygbilder. Skattningarna gjordes på avdelningsnivå med hjälp av en areabaserad metod. För detta användes Riksskogstaxeringens provytedata som referensdata vid framtagningen av skattningsfunktioner i form av regressionsmodeller. Sambandet mellan provytedatat och metriker beräknade från 3D punktmolnet användes för att utveckla regressionsmodellerna. Dessa tillämpades sedan på hela området av intresse för att få avdelningsvisa skattningar. Skattningarna utvärderades mot inventeringsdata från Södras kombinerade kontrolltaxering och kvalitetsuppföljning från fyra fastigheter belägna i Kronobergs län. Avdelningarna på fastigheterna dominerades främst av gran, men även tall- och lövdominerade avdelningar förekom. I övrigt hade avdelningarna huggningsklass (hkl) G1–G2 samt S1–S2 och ett åldersspann mellan 42–61 år för gran och 74–105 år för tall. De avdelningsvisa skattningarna gav ett relativt medelfel om 11,8% för grundytavägd medelhöjd, 18,9% för grundytavägd medeldiameter, 21,8% för volym och 18,6% för grundyta. I ett andra steg stratifierades utvärderingsdatat med avseende på trädslag, ålder och ståndortsindex genom att använda uppgifterna från de befintliga SBPL. Vid stratifieringen med avseende på trädslag erhöles något lägre medelfel, främst vid skattningarna för grundytavägd medeldiameter och volym, vilket indikerar att regressionsmodellerna fungerar olika på olika typer av skog. Resultaten visar att 3D punktmoln genererade genom stereomatchning av flygbilder har stor potential att användas för skogliga skattningar.

**Nyckelord:** fotogrammetri, punktmoln, 3D data, areabaserad metod, skogliga skattningar

## Summary

In Swedish forestry, a large number of forest management plans (SBPL) are produced annually where subjective field measurements are typically used for estimation of forest variables. This study aimed to investigate the possibility to update Södra's existing SBPL using the new national elevation model and 3D point clouds generated by automatic stereo matching of aerial images from the Swedish Land Survey (Lantmäteriet). The estimates were made at stand level using an area-based approach. The estimates were made with regression models where data from the National Forest Inventory's (NFI) sample plots served as reference data in the development of the regression models. The relationship between data from NFIs sample plots and metrics derived from the 3D point cloud was used to develop the regressions models. These were then applied to the entire area of interest to obtain stand level estimates. The estimates were evaluated against inventory data from Södra's combined control assessment and quality assurance from four properties located in Kronoberg's County in southern Sweden. The stands in the evaluation data were mainly dominated by spruce, but pine and broadleaved stands were also present. The stands were in maturity class (hkl) G1–G2 and S1–S2 and had an age that ranged between 42–61 years for spruce and 74–105 years for pine. The stand estimates gave a relative RMSE of 11.8% for basal area weighted mean height, 18.9% for basal area weighted mean diameter, 21.8% for volume and 18.6% for basal area. In a second stage the evaluation data was stratified with respect to tree species, age and site index, using data from the existing SBPL. By stratifying the data with respect to tree species a slightly lower RMSE could be obtained, at least for the diameter and volume estimations. That indicates that the regression models operate differently on different types of forest. The results imply that 3D point clouds from stereo matching of aerial images have a great potential to be used for forest estimations.

**Keywords:** photogrammetry, point cloud, 3D data, area-based approach, forest estimations

## Innehållsförteckning

Förord .....	2
Sammanfattning.....	3
Summary.....	4
1. Bakgrund .....	6
1.1 Introduktion .....	6
1.2 Kort om Södra skogsägarna .....	9
2. Mål .....	11
3. Material och metod.....	12
3.1 Studieområde .....	12
3.2 Inventeringsdata från Södra .....	13
3.3 Kompletterande inventeringsdata och fältinventering.....	14
3.4 Data från Riksskogstaxeringens provytor.....	15
3.5 Flygbilder.....	16
3.6 Nya nationella höjdmodellen .....	16
3.7 Skogsbruksplaner.....	16
3.8 Arbetsgång för skattning av skogliga variabler .....	17
3.9 Bildbearbetning.....	17
3.10 Metriker från 3D data .....	19
3.11 Regressionsmodeller .....	20
4. Resultat.....	23
5. Diskussion .....	28
5.1 Material och metod .....	28
5.2 Resultat .....	29
5.3 Praktisk tillämpning inom skogsbruket .....	31
5.4 Framtiden .....	31
5.5 Slutsatser.....	32
Referenser.....	33

# 1. Bakgrund

## 1.1 Introduktion

Inom skogsbruket i Sverige framställs idag ett stort antal skogsbruksplaner (SBPL) varje år. Skogsbruksplanen består av en karta över fastigheten där skogen är uppdelad i olika avdelningar. Skogens nuvarande tillstånd beskrivs avdelningsvis utifrån bedömningar och mätningar av olika variabler såsom grundtyevägd medelhöjd (HGV) och medeldiameter (DGV), virkesförråd (VOL), grundyta (GY), trädslagsblandning och så vidare. Dessa bedömningar och mätningar ger en tillståndsbeskrivning av fastigheten i stort, men ligger även i kombination med skogsägarens mål med fastigheten, till grund för olika skötselåtgärder för varje avdelning. På så sätt är skogsbruksplanen ett bra hjälpmedel vid planeringen av skogsbruket på den enskilda fastigheten, men ger även en uppfattning om vilka investeringar som behöver göras samt vilka inkomstmöjligheter som finns under olika perioder (Skogsstyrelsen, 2014a).

Vid skogsbruksplanering används vanligtvis ortofoton för att framställa en karta med avdelningsindelning. För skattningar av de olika skogsvariablerna kan en kombination av manuell flygbildstolkning i stereo och subjektiva stödmätningar i fält användas (Ståhl, 1992; Magnusson et al., 2007). Kombinationen ger skattningar med ett medelfel på 10% för HGV och 10–13% för DGV. För VOL ligger medelfelet på 10–15% och 15–18% för GY. För enbart subjektiva fältmätningar ligger medelfelet på ungefär 9% för HGV och 6–8% för DGV. För VOL ligger medelfelet kring 15–20% och 12–15% för GY (Ståhl, 1992).

I och med att utvecklingen går framåt och både samhället och skogsbruket digitaliseras allt mer, finns idag nya datakällor och metoder tillgängliga för skattningar av skogliga variabler. Flera av de nya metoderna ger skattningar med högre noggrannhet än de som traditionellt använts. De nya metoderna kan även leda till resursbesparingar eftersom de täcker stora områden på kortare tid och medför att möjligheterna att ersätta en del av de subjektiva fältinventeringarna är stora. Ett led i utvecklingen är de senaste 15–20 årens forskning kring inventering av skog med hjälp av flygburen laserskanning, även benämnt som ALS (Airborne Laser Scanning), som pågått i bland annat de nordiska länderna. ALS har blivit en väletablerad metod för datafångst inom skogsbruket och datat från den kan användas till att generera tredimensionella (3D) punktmoln med bra återgivning av skogens struktur samt noggrant 3D data med både markytans och krontakets höjd över havet. Den noggranna informationen om positionen för varje punkt i punktmolnet ger bra möjligheter att, i kombination med fältdata, göra heltäckande skattningar av exempelvis HGV och VOL. I bland annat Norge används ALS storskaligt för att samla in data på avdelningsnivå och marknadsförs som ekonomiskt försvarbar för inventering av stora områden (Næsset et al., 2004; McRoberts et al., 2010). I försök som gjorts i de nordiska boreala skogarna för att skatta skogliga variabler med en areabaserad metod, ligger noggrannheten på avdelningsnivå vanligtvis på 2,5–13,6% för HGV, 5,9–15,8% för DGV, 9,3–16,6% för VOL och 8,6–13,2% för GY (Næsset et al., 2004).

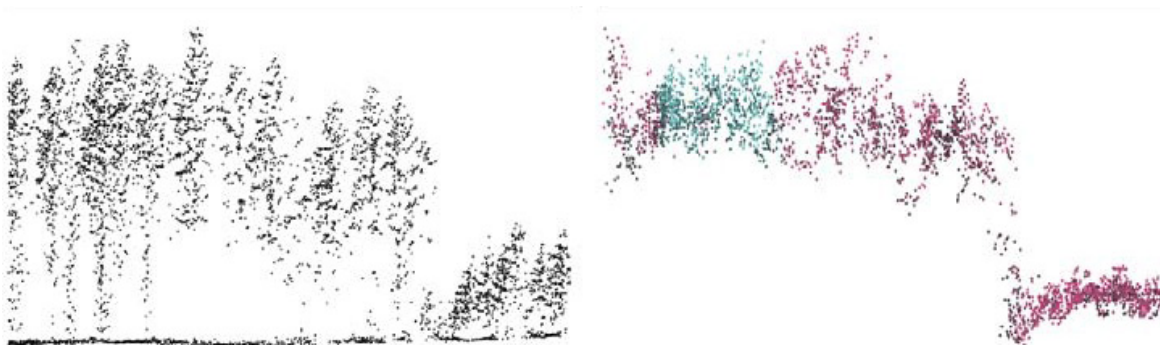
I Sverige har Lantmäteriet genomfört en flygburen laserskanning av hela landet mellan åren 2009 och 2015, för att framställa en ny nationell höjdmodell med hög noggrannhet (Lantmäteriet, 2014). Arbetet med att framställa höjdmodellen är ett regeringsuppdrag som uppkom efter ett betänkande från Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU 2007:60). De



ansåg i sin utredning att en ny, gemensam, förtätad och noggrannare höjdmmodell är nödvändig i arbetet med anpassningar till ett förändrat klimat. Den nya höjdmmodellen är en viktig informationskälla inom många samhällssektorer och kan användas för bland annat riskanalys och planering av exempelvis en höjning av havsvattennivån, översvämningsområden och vägdragningar.

Det punktmoln som genereras vid den nationella laserskanningen tillhandahåller även 3D data om vegetationens struktur och under åren 2013–2015 pågår ett projekt i samarbete mellan Skogsstyrelsen och SLU på uppdrag av regeringen, för att ta fram rikstäckande skogliga grunddata (Skogsstyrelsen, 2014b). Det skogliga grunddatat skattas med hjälp av en areabaserad metod (Næsset et al., 2002), där 3D datat kombineras med Riksskogstaxeringens provytedata (Fridman et al., 2014). Den areabaserade metoden bygger på att sambandet mellan variabler i de två datakällorna på provytenivå används för att ta fram regressionsmodeller. Dessa tillämpas sedan på hela det laserskannade området för att få heltäckande skattningar (Skogsstyrelsen, 2014c). Resultatet av skattningarna redovisas i digitala kartor med information om HGV, DGV, VOL, GY och trädbiomassa som finns tillgängliga för alla via Skogsstyrelsens karttjänster på internet (Skogsstyrelsen, 2014b).

I dagsläget framhålls den rikstäckande laserskanningen dock som en engångsaktivitet utan några officiella planer på återupprepning i samma omfattning (Lysell, 2012), vilket innebär att de skogliga data som den tillhandahåller så småningom blir föråldrat. Som alternativ till laserdata finns idag möjligheter att generera punktmoln med 3D data genom automatisk stereomatchning av flygbilder, även känt som digital fotogrammetri som här syftar till samma sak. Punktmolnet återger krontakets yta och ger vertikal information liknande den från ALS data (Bohlin, Wallerman & Fransson, 2012; St-Onge et al., 2008). Skillnaden mellan ett 3D punktmoln genererat från ALS data och ett från stereomatchning av flygbilder, är att det senare inte tillhandahåller samma information om markytan och trädskiktets vertikala struktur (Fig. 1). Detta eftersom kameran som används vid fotograferingen inte ”ser igenom” trädkronorna som laser gör och ger därför inte heller någon information om markytan. Däremot innehåller 3D punktmolnet bra information om krontakets höjd angiven i meter över havet och genom att subtrahera till exempel den nya nationella höjdmmodellen från punktmolnet, erhålls istället trädens höjd över marken, framöver benämnt som kronhöjdsmodell (Bohlin, Wallerman & Fransson, 2012; White et al., 2013). Denna möjlighet till kombination av datakällor innebär att den nya nationella höjdmmodellen kan komma till nytta under en lång tid framöver, även då 3D datat om vegetationen som laserskanningen tillhandahåller blir inaktuellt.



**Figur 1.** Profil av skog med 3D data från laser (vänster) och 3D data från automatisk stereomatchning av flygbilder (höger) (Bild: Jonas Bohlin, SLU).

**Figure 2.** Profile of the forest with 3D data from laser (left) and automatic stereo matching of aerial images (right) (Image by Jonas Bohlin, SLU).

Studier där jämförelser mellan kronhöjdsmodeller genererade med hjälp av fotogrammetri och ALS har gjorts, visar att noggrannheten är lika eller till och med något högre för kronhöjdsmodeller genererade med hjälp av fotogrammetri då samma flyghöjd mellan 400–1000 meter använts (Baltas, 1999). I en studie av St-Onge et al. (2008) jämfördes kronhöjdsmodeller genererade från ALS data och fotogrammetri för två olika områden, där fotomaterialet bestod av skannade flygbilder med en upplösning på 0,24 m. I båda fallen bestämdes markytan med hjälp av ALS data. Kronhöjdsmodellerna hade som bäst korrelationen 0,89 och korrelationen mellan höjpercentil 95 i de båda kronhöjdsmodellerna var som bäst 0,95. Resultaten var beroende av skillnader i solinstrålnings- och betraktningssvinkel mellan flygbildsparen. Gehrke et al. (2010) jämförde också en kronhöjdsmodell genererad från ALS data med en genererad via stereomatchning av flygbilder. Även de fann att kronhöjdsmodeller genererade med hjälp av stereomatchning av flygbilder kan vara ett effektivt alternativ till kronhöjdsmodeller genererade från ALS data.

I en studie av Bohlin, Wallerman & Fransson (2012) kombinerades en höjdmodell, genererad från ALS data, med ett 3D punktmoln genererat från automatisk stereomatchning av flygbilder tagna på olika flyghöjder och med olika överlapp. Vid undersökningen av 3D data från flygbilder tagna på flyghöjden 4 800 m och överlappet 60% i flygstråkets riktning samt 30% mellan flygstråken, erhöles medelfel om 8,8% för HGV, 13,1% för VOL och 14,9% för GY på avdelningsnivå. Straub et al. (2013) använde sig också av 3D data genererat genom automatisk stereomatchning av flygbilder, som normaliserats med hjälp av en höjdmodell framtagen med ALS data. På provytanivå erhöles medelfel om 41,3% för VOL och 38,7% för GY. De fann dock att skattningarna kunde förbättras något då provytorna stratifierades utifrån om de var barr- eller lövdominerade. Medelfelet för skattningarna minskade med drygt 3% vid stratifieringen.

Flygbilder som datakälla för att generera 3D punktmoln genom automatisk stereomatchning finns tillgängliga hos Lantmäteriet som bedriver ett nationellt bildförsörjningsprogram. Det innebär att de utför regelbundna flygfotograferingar av hela Sverige, där en långsiktig rikstäckande flygfotoplan specificerar tidsintervallet för flygfotograferingarna för olika delar av landet. Idag ligger tidsintervallet på två år för södra Sverige och Norrlandskusten jämfört med fyra till sex år för Norrlands inland och sex till tio år för fjällområdena. Flygfotograferingen startar tidigt under våren i södra Sverige och

fortsätter norrut i takt med att snösmältningen fortskrider. Det innebär att stora delar av områdena flygfotograferas innan eller kring lövsprickningen. För att täcka upp behovet av flygbilder efter lövsprickningen sker flygfotograferingen omväxlande tidigt och sent på säsongen för dessa områden och dessutom med tätare tidsintervall (Lantmäteriet 2013).

I och med att den nya nationella höjdmodellen blir tillgänglig för hela Sverige kommer det att finnas goda möjligheter att använda redan befintliga datakällor för att göra skogliga skattningar framöver. Förutom den nya nationella höjdmodellen och flygfoton från Lantmäteriet gör dessutom Riksskogstaxeringen årliga inventeringar i hela Sverige för att beskriva tillstånd och förändringar i de svenska skogarna. Inventeringarna genererar en stor mängd fältmätta data som skulle kunna användas som referensdata vid framtagningen av modeller för skattning av skogliga variabler. Idag finns få studier gjorda i Sverige där just Riksskogstaxeringens inventeringsdata har använts i kombination med 3D punktmoln, framtagna genom automatisk stereomatchning av Lantmäteriets flygbilder, för att göra skogliga skattningar.

På uppdrag av Södra skogsägarna (Södra) syftar denna studie till att undersöka om en kombination av de ovan nämnda datakällorna samt data från befintliga SBPL är möjliga att använda för att göra avdelningsvisa skattningar på samma vis som Skogsstyrelsens rikstäckande skogliga grunddata är skattat. Det innebär att Riksskogstaxeringens provytedata användes som referensdata för att ta fram regressionsmodeller som sedan användes för att göra heltäckande skattningar på avdelningsnivå. Södras inventeringsdata från ett antal utvalda fastigheter samt data från kompletterande inventeringar gjorda för detta arbete, användes som utvärderingsdata. Främsta intresset för Södras del, ligger i att kunna använda skattningarna för att uppdatera befintliga SBPL och då framförallt HGV, DGV, VOL och GY. Om skattningarna med hjälp av de ovan nämnda datakällorna skulle visa sig vara tillräckligt noggranna skulle detta kunna innebära en möjlighet till ett helt nytt arbetssätt inom den dagliga verksamheten på Södra. Det skulle även kunna innebära en hel del resursbesparingar eftersom tiden för fältarbete skulle kunna reduceras, men även för att en del av skattningarna skulle kunna göras med hjälp av datakällor som redan finns tillgängliga och dessutom uppdateras kontinuerligt.

## ***1.2 Kort om Södra skogsägarna***

Södra är en ekonomisk förening med ca 50 000 medlemmar, som tillsammans äger mer än hälften av den privatägda skogen i södra Sverige (Södra, 2012). Den typiska fastigheten är ca 50 ha stor och typavdelningen för fastigheterna inom Södras verksamhetsområde ligger på ca 2 ha (Johansson, 2014, pers. komm.).

Södras huvuduppgift är att trygga avsättningen för medlemmarnas skogsråvara samt att utveckla och förädla den (Södra, 2013a). Den skogsråvara som anskaffas från medlemmarna hanteras inom de tre affärsområdena Skog, Wood och Cell, som verksamheten är organiserad i (Södra, 2014a). I dagsläget har Södra tre massabruk som tillverkar pappersmassa för avsalu, med en sammanlagd årsproduktion på ca 1,6 milj ton (Södra, 2014b). Södra har även elva sågverk som tillsammans har en planerad produktion på ca 1,9 milj m<sup>3</sup> sågad trävara under år 2014 (Södra, 2014c). Södras industrier efterfrågar tillsammans totalt ca 15 milj m<sup>3</sup> sk där Södra skog är det affärsområde som ansvarar för att anskaffa det efterfrågade virket (Södra, 2013a).

Varje år upprättar Södra skog ungefär 2 500 skogsbruksplaner (SBPL) på totalt cirka 180 000 ha (Södra, 2013a). I dagsläget har mer än hälften av Södras medlemmar en SBPL (Johansson, 2014, pers.komm). De flesta är så kallade Gröna skogsbruksplaner, vilket innebär att minst 5% av fastighetsarealen föreslås till målklasserna NS (Naturvård Skötselkrävande) eller NO (Naturvård Orört) i frivilliga avsättningar för att skogen ska bli certifierad enligt PEFC och FSC (Södra, 2013b). Certifieringen medför i sin tur att skogsägaren får en premie för virket vid en försäljning av det (Södra, 2013a).

Den övergripande arbetsgången vid upprättandet av en SBPL hos Södra är förarbete, fältarbete och efterarbete. Vid förarbetet gör planläggaren en förtolkning av fastigheten med hjälp av olika bakgrundsinformation i form av ortofoton, fastighetskarta, hänsynsskikt och eventuellt äldre SBPL. Förtolkningen resulterar i en preliminär avdelningsindelning av fastigheten (Södra, 2013b). Efter att den nationella laserskanningen genomfördes har även data från denna använts för att förfina avdelningsindelningen (Steen, 2014, pers. komm.). Fältarbetet inleds med en kontakt med markägaren för att stämma av dennes mål med fastigheten, grad av självverksamhet samt andra intressen som bör påverka åtgärdsförslagen så att en anpassning av SBPL kan göras utifrån detta. Efter detta sker avdelningsvisa besök för att kunna göra en slutgiltig avdelningsindelning, målklassning och naturvärdesbeskrivning samt samla in skogliga data. Det senare görs genom subjektiva bedömningar samt stödmätningar på subjektivt valda ställen i varje avdelning (Södra, 2013b).

## **2. Mål**

Målet med detta arbete var att undersöka möjligheterna att uppdatera skogliga skattningar i befintliga skogsbruksplaner genom att kombinera 3D data framtaget genom automatisk stereomatchning av Lantmäteriets flygbilder med den nya nationella höjdmodellen samt data från Riksskogstaxeringens provytor. Målet var vidare att utveckla en första metod för att utnyttja data i befintliga skogsbruksplaner för att undersöka hur väl skattningarna fungerar i olika typer av skog.

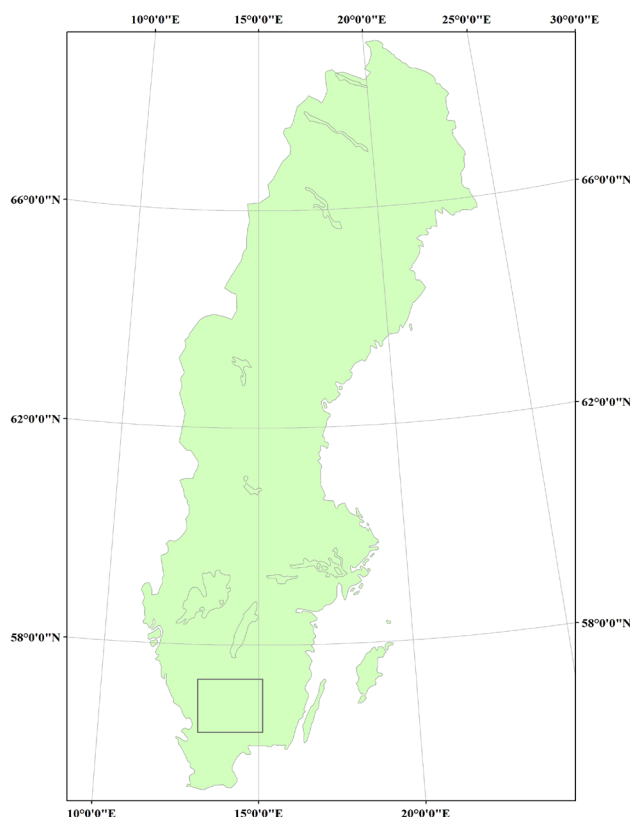
### 3. Material och metod

#### 3.1 Studieområde

Under sommaren 2014 utförde Södra kombinerade kontrolltaxeringar och kvalitetsuppföljningar på 32 fastigheter med nyupprättade SBPL fördelade på de tre regionerna Syd, Öst och Väst. Detta för att kunna ge återkoppling till planläggarna, men även för att ha ett underlag till förbättringar för rutiner, instruktioner och utbildningar.

Urvalet av fastigheter till denna studie gjordes bland de 32 fastigheter som var föremål för den kombinerade kontrolltaxeringen och kvalitetsuppföljningen. Det slutliga urvalet var beroende av om det fanns tillgängliga flygbilder från år 2013 över fastigheterna. Samtliga fastigheter som hade flygfotograferats med en upplösning på 0,25 m under den lövade perioden under år 2013 togs med i studien, vilket resulterade i att totalt fyra fastigheter ingick i studien.

De fyra fastigheterna var privatägda och huvudsakligen skötta för produktionsändamål. De låg belägna i Alvesta, Växjö och Älmhult kommun i Kronobergs län (Fig. 2) på en altitud mellan 150 m och 175 m över havet. Terrängen var relativt flack på samtliga fastigheter. Storleken för fastigheterna varierade mellan 35,5–108,3 ha och storleken för avdelningarna varierade mellan 0,1–13,9 ha, med en medelstorlek på 1,5 ha. Trädslagsblandningen på de fyra fastigheterna var 16% tall (*Pinus sylvestris*), 56% gran (*Picea abies*), 26% björk (*Betula* spp.) och 2% ädellöv.



**Figur 2.** Studieområdets geografiska läge i Sverige. © Lantmäteriet, i2012/901.

**Figure 2.** The study area's location in Sweden. © Lantmäteriet, i2012/901.

### **3.2 Inventeringsdata från Södra**

Inventeringsdata från Södras kombinerade kontrolltaxering och kvalitetsuppföljning av de fyra fastigheterna användes som utvärderingsdata i denna studie. Utvärderingen genomfördes för att kontrollera kvaliteten på de avdelningsvisa skattningarna som gjordes med hjälp av regressionsmodeller framtagna för denna studie.

Inventeringen för kontrolltaxeringen och kvalitetsuppföljningen utfördes enligt Södras egen instruktion med hjälp av en helhetslösning från Haglöfs Sweden AB. Systemet som användes vid inventeringen bestod av dataklaven Digitech Professional v1.05 med applikationen Estimate Södra och datorprogramvaran HMS (Haglöfs Management Systems) med modulen HMS Södra. HMS Södra innehöll funktioner för att göra olika inventeringsförberedelser, beräkningar och sammanställningar av inventeringsdatat.

Södra valde ut fastigheterna för kontrolltaxeringen och kvalitetsuppföljningen genom ett objektivi urval bland SBPL upprättade av 16 olika planläggare under senare delen av år 2013 och tidigare delen av år 2014. För varje planläggare valdes sedan ungefär tio avdelningar ut, fördelade på två fastigheter, genom ett objektivi urval. Urvalet av fastigheter till denna studie medförde att totalt 19 av de kontrolltaxerade avdelningarna ingick.

Kriterierna för att en avdelning skulle ingå i urvalsgruppen för kontrolltaxeringen och kvalitetsuppföljningen, var att den skulle ha målklass PG (Produktion Generell hänsyn), vara minst 0,8 ha stora, ha en ålder av minst 30 år och huggningsklass (hkl) G1–G2 eller S1–S2. Avdelningar som var skadade eller där någon åtgärd utförts efter att SBPL upprättats inventerades inte. Inventeringen utfördes i form av en objektivi cirkelyteinventering där fem avdelningar per fastighet inventerades med mellan tre till tolv provtytor per avdelning beroende på avdelningarnas storlek och homogenitet. Provytorna lades ut med hjälp av HMS Södra och laddades in tillsammans med rutter i dataklaven innan fältbesöken. Vidare koordinatsattes provytorna med GPS och hade en radie av 5, 7, 8 eller 10 m, beroende på skogens utvecklingsstadium i avdelningarna. Provytestorleken hölls dock konstant inom varje avdelning. Vid inventeringen tillämpades spegling för ytor som helt eller delvis föll utanför avdelningens gränser.

Vid cirkelyteinventeringen klavades samtliga träd med en brösthöjdsdiameter på minst 8 cm med linjalen riktad mot ytcentrum. Träd som lutade mer än 30% räknades som döda och döda träd klavades som torra. Ålder, övre höjd (ÖH) och ståndortsindex (SI) registrerades för tre till fem träd per avdelning inom en radie av 7 m, oavsett vilken radie som föll ut för klavning av avdelningen. Ålder och ÖH skattades från de grövsta träden för det bonitetsvisande trädslagen i de avdelningar där kriterierna för övrehöjdsbonitering enligt Skogshögskolans boniteringssystem uppfylldes. Annars skattades grundtyvägd medelålder samt HGV. SI skattades utifrån ålder och ÖH med hjälp av Skogsstyrelsens höjduitvecklingskurvor där kriterierna för detta uppfylldes, annars gjordes detta utifrån ståndortsvariabler. Även två provträd per provyta togs ut objektivi i form av det första trädet i norr och det första i söder. För dessa träd registrerades ÖH och brösthöjdsdiameter. Provträden ingick som parametrar i volymfunktionen och fick inte vara toppbrutna eller kraftigt undertryckta. Utifrån höjdmätningen och klavningen på provytorna beräknades sedan ÖH, DGV, VOL (m<sup>3</sup>sk/ha), GY, trädslagsblandning, ålder samt SI med hjälp av HMS Södra.

### 3.3 Kompletterande inventeringsdata och fältinventering

Inom ramen för denna studie utfördes även kompletterande fältinventeringar på de fyra fastigheterna för att säkerställa att utvärderingsdatat innehöll en representativ variation av skogstyper med avseende på bland annat trädslag och ålder. Variationen var önskvärd för att kunna stratifiera utvärderingsdatat med avseende på skogstyp utifrån trädslag samt olika ålderklasser och SI. Detta för att kunna se hur kvaliteten på skattningarna blev för olika typer av skog.

De avdelningar som valdes ut till Södras kombinerade kontrolltaxering och kvalitetsuppföljning utgjordes till största del av grandominerade avdelningar med hkl G1–G2 och ett ålderspann mellan 42–61 år. De tallavdelningar som ingick i urvalet var äldre, mellan 74–105 år, i hkl S2. Endast en lövdominerad avdelning kom med vid urvalet. Till den kompletterande fältinventeringen låg fokus därför på att hitta äldre granavdelningar, det vill säga avdelningar i hkl S1–S2 samt yngre tallavdelningar i hkl G1–G2 samt lövdominerade avdelningar.

Inventeringarna utfördes enligt Södras instruktion som redovistats under avsnitt 3.2. Detta för att datainsamlingen och datakvaliteten från de båda inventeringarna skulle vara likvärdiga. Dock förekom en skillnad och det var att restriktionen för minsta areal om 0,8 ha ignorerades. Detta för att överhuvudtaget kunna få med en större variation av avdelningar och även för att modellerna kommer att tillämpas på avdelningar mindre än 0,8 ha om de i framtiden ska användas för att uppdatera befintliga SBPL. Utöver det sattes en gräns för minsta antal provytor per avdelning till fem.

Vid den kompletterande inventeringen inventerades 15 avdelningar, varav nio slutligen användes i denna studie. Tre inventerade avdelningar föll bort på grund av att de gallrats helt eller delvis efter att flygbilderna tagits. Två föll bort till följd av tekniska problem, vilket medförde att datat för dem inte kunde sammanställas. Inventeringsdata från en sista avdelning togs bort eftersom det hade bristande kvalitet till följd av yttre störningsmoment under inventeringen. Med den kompletterande inventeringen ingick totalt 28 avdelningar i utvärderingsdatat (Tabell 1 & 2).

**Tabell 1.** En sammanfattning av de 28 avdelningarna som ingick som utvärderingsdata i studien  
*Table 1. A summary of the 28 stands that were included as evaluation data in the study*

	<b>N</b>	<b>Min</b>	<b>Medel</b>	<b>Max</b>
<b>Areal (ha)</b>	28	0,3	1,5	4,7
<b>ÖH (m)</b>	28	11,6	19,7	28,1
<b>DGV (cm)</b>	28	13	23,1	38
<b>VOL (m<sup>3</sup>/ha)</b>	28	91	220	434
<b>GY (m<sup>2</sup>/ha)</b>	28	12,6	26,3	42,7

**Tabell 2.** Trädslagsblandningen för utvärderingsdatat i studien  
*Table 2. Tree species distribution for the evaluation data in the study*

	<b>Tall</b>	<b>Gran</b>	<b>Löv</b>	<b>Ädellöv</b>
<b>Andel (%)</b>	27	60	13	0



### **3.4 Data från Riksskogstaxeringens provytor**

Till denna studie tillhandahöll Riksskogstaxeringen data och positioner för 297 provytor, både permanenta och tillfälliga, i ägoslagskategorin skogsmark. Provytorna användes som referensdata för att utveckla och anpassa de regressionsmodeller som användes till att skatta skogliga variabler på avdelningsnivå.

Riksskogstaxeringen inventerar både tillfälliga och permanenta provytor med 7 m respektive 10 m radie, eftersom det anses ge bäst möjlighet att följa tillstånd och förändringar i de svenska skogarna (Fridman et al., 2014). Vid inventeringarna sker bedömningar av vissa variabler, såsom medelhöjd, GY och ålder, genom stödmätningar med provyteradien utökad till 20 m (Anon, 2014). Detta eftersom det är avdelningsuppgifter som är av intresse och provytor med 7 m och 10 m radie är för små för bedömningar av vissa variabler (Fridman, 2015, pers. komm.). I denna studie användes inventeringsdata om provytornas medelhöjd, DGV, total GY, GY per träslag, VOL, ålder och SI.

Vid inventeringen mäts medelhöjden som aritmetisk medelhöjd då medelhöjden är under 7 m och som HGV då medelhöjden är över 7 m. Genom totalklavning av levande träd med en brösthöjdsdiameter  $\geq 4$  cm på provytan med radien 7 m eller 10 m bestäms DGV. För GY sker en sammanvägning av inklavningen på provytan med radien 7 m eller 10 m och relaskopmätningar om medeldiametern är 30 cm eller klenare, annars gäller enbart relaskopmätningen. Vad gäller VOL skattas den på provytan med radien 7 m eller 10 m. SI beräknas utifrån ståndortsegenskaper (Anon, 2014; Fridman, 2015, pers. komm.). Trädslagsblandningen beräknades som grundyteandel med hjälp av den trädslagsvisa och totala GY. Utöver dessa variabler användes information om radien för respektive provyta vid framtagningen av 3D punktmoln för dem.

Urvalet av provytor från Riksskogstaxeringen baserades på geografiskt läge och inventeringsår. De provytor som ingick i denna studie var belägna i samma geografiska område som de fyra fastigheterna som utgjorde studieområde. Detta för att de var flygfotograferade samma år som fastigheterna och för att växtförhållandena antogs vara liknande för provytorna som för fastigheterna. Vad gäller inventeringsår, valdes provytor inventerade år 2012 och 2013 eftersom det var önskvärt med så fås data som möjligt samt att flygbilderna över studieområdet var från 2013. En diskussion fördes kring att skriva fram inventeringsdatat från år 2012 till år 2013. Beslutet blev att inte göra någon framskrivning eftersom en del av flygbilderna var tagna i början på vegetationsperioden år 2013 och många av provytorna från 2012 kunde vara inventerade under slutet av dess vegetationsperiod. Det scenariot innebar att någon större tillväxt inte skett mellan inventeringen och flygfotograferingen och en framskrivning skulle i de fallen innebära att inventeringsdatat blivit mer felaktigt.

Av de 297 tillhandahållna provytorna ingick till slut 235, varav 137 var permanenta och 98 var tillfälliga. Några provytor föll bort till följd av att ett flygbildsblock inte gick att stereomatcha. Ytterligare ett antal provytor rensades bort efter en okulär jämförelse mellan inventeringsdatat och 3D punktmolnen för provytorna. De provytor där det var synligt att medelhöjden inte stämde överens med 3D datat togs bort. Sedan granskades enbart inventeringsdatat och då upptäcktes orimliga samband mellan brösthöjdsdiameter och HGV på ett antal provytor. Provytor där till exempel brösthöjdsdiametern var 39 cm och

medelhöjden 0,9 m rensades bort, eftersom de bedömdes ge upphov till felaktiga samband vid regressionsmodelleringen. Detta så kallade orimliga samband kan bero på fröträd eller hänsynsträd som står på föryngringsytor eller i ungskog.

### **3.5 Flygbilder**

I denna studie användes 183 stycken av Lantmäteriets flygbilder över de områden där fastigheterna och Riksskogstaxeringens provytor var belägna. Samtliga flygbilder var tagna efter lövsprickningen under perioden juni till augusti år 2013, med den digitala kameran UltraCam Eagle (UCE) (Gruber et al., 2012). Flygbilderna var tagna på en flyghöjd av 3700 meter och med ett överlapp på 60% i flygstråkets riktning och 30% mellan flygstråken. De flygbilder som användes i denna studie hade en pixelstorlek på 0,25 m. Tillsammans med flygbilderna levererades orienteringsdata i PATB-format. Orienteringsdatat består av en textfil med filändelsen .ori, som innehåller information om flygbildernas identitetsnummer, exponeringspunktens tredimensionella koordinat i referenssystemet SWEREF99 TM samt en rotationsmatris som beskriver flygbildernas förhållande till marken. Orienteringsdatat behövs för att kunna orientera in flygbilderna i ett koordinatsystem (Lantmäteriet, 2013).

### **3.6 Nya nationella höjddmodellen**

Den nya nationella höjddmodellen, som går under produktnamnet GSD-höjddata grid 2+, användes till att få fram en kronhöjdsmodell genom att subtrahera höjddmodellen från 3D punktmolnet som genererats genom den automatiska stereomatchningen av Lantmäteriets flygbilder. Studieområdet ligger i ett av de produktionsområden som prioriterades för laserskanning under icke vegetationsperiod under vårarna 2010 och 2011. Samtliga av dessa laserskanningar utfördes på en flyghöjd som varierade mellan 1700–2300 m, med en skanningsvinkel på  $\pm 20^\circ$  samt ett stråköverlapp på 20%. Punkttätheten vid laserskanningen var 0,5–1 punkter per kvadratmeter och träffytan på marken var 0,5–0,7 m (Lantmäteriet, 2014). Den nyproducerade höjddmodellen utgörs av ett rutnät med 2 m upplösning, där laserdatat automatiskt klassats som mark, vatten eller övrigt (Lantmäteriet, 2014). Höjdnoggrannheten i 2 x 2 m rutorna hade ett medelfel på 0,2 m i en studie av Lundgren och Owemyr (2010).

### **3.7 Skogsbruksplaner**

Data från de befintliga SBPL, upprättade under den senare delen av år 2013 och tidigare delen av år 2014, för de fyra fastigheterna som ingick i studien användes för att utveckla regressionsmodellerna. De data som användes var trädslagsblandning, ålder och SI för att kunna stratifiera utvärderingsdatat med avseende på dessa variabler. Detta gjordes för att undersöka ifall kvaliteten på skattningarna kunde förbättras och i så fall ge indikationer på om olika modeller bör tillämpas på olika typer av skog med avseende på trädslagsblandning, ålder och SI. I SBPL var trädslagsblandningen baserad på volymandelar och åldern avsåg grundtyevägd medelålder för skog i hkl G och S. Ståndortsindex var bestämt enligt Skogshögskolans boniteringssystem, där övrehöjdsbonitering tillämpats på de avdelningar som uppfyllde kriterierna. På övriga avdelningar bestämdes SI utifrån ståndortsfaktorer. Utöver detta användes shape-filerna (.shp) med avdelningsgränserna vid skattningarna.

### **3.8 Arbetsgång för skattning av skogliga variabler**

I denna studie användes en areabaserad metod för att skatta skogliga variabler på avdelningsnivå (Næsset, 2002). Metoden används vanligtvis för att göra skattningar med hjälp av laserdata, men kan även tillämpas på 3D data genererat från stereomatchning av flygbilder (Bohlin, Wallerman & Fransson, 2012). Målet med den areabaserade metoden är att kartlägga skattade värden för olika skogliga variabler för större områden som har delats in i rasterceller med en bestämd ytstorlek. Med hjälp av 3D punktmolnet för området kan så kallade metriker beräknas för varje rastercell. Metrikerna antas beskriva skogens struktur, främst vad gäller höjd och kopplas samman med fältmätt data för att beräkna skattningsfunktioner i form av till exempel regressionsmodeller. Skattningsfunktionerna används sedan till att göra heltäckande rasterskattningar för området som är av intresse. Avdelningsvisa skattningar av olika skogliga variabler fås fram genom att beräkna medelvärdet av skattningarna för rastercellerna inom de givna avdelningsgränserna (Næsset, 2002).

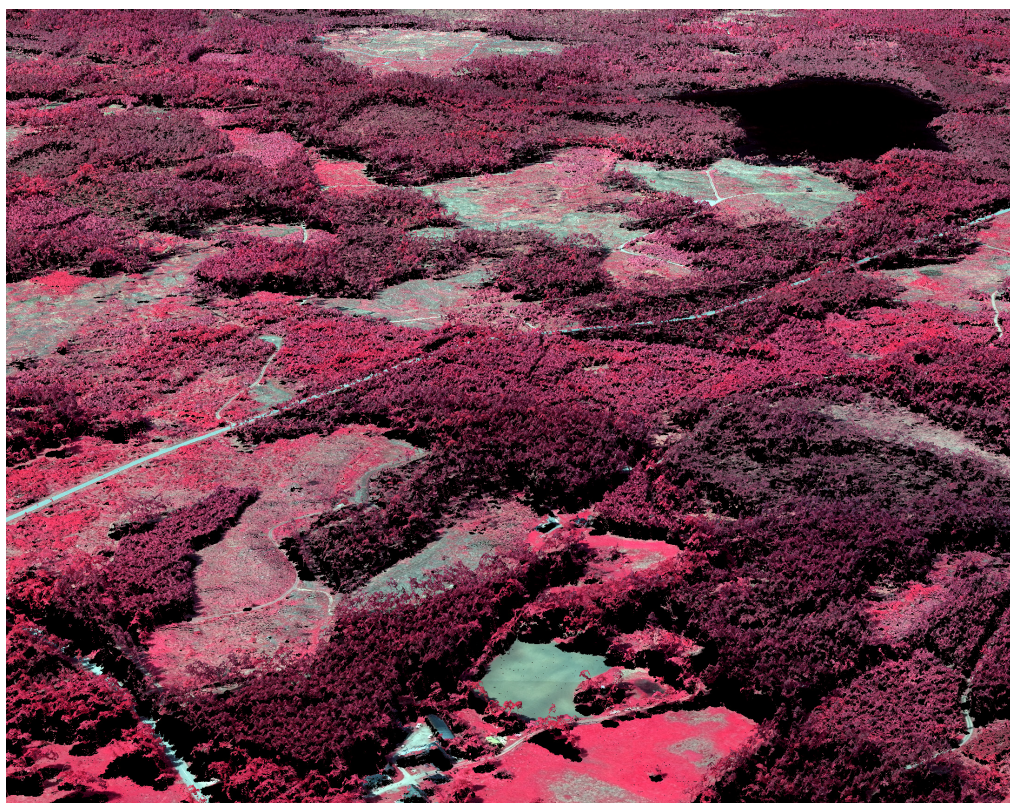
Tillämpningen av den areabaserade metoden genomförs vanligtvis i två steg (Næsset, 2002), vilket även var fallet i denna studie. I det första steget användes Lantmäteriets flygbilder över hela studieområdet till att generera punktmoln med 3D data genom en semiglobal matchningsmetod (SGM). Den nationella höjdmodellen användes till att normalisera punktmolnet för att få trädens höjd över marken. Sedan extraherades Riksskogstaxeringens provytor från det normaliserade punktmolnet och metriker, såsom höjdpercentiler, beräknades med hjälp av programvaran FUSION (McGaughey, 2012). Riksskogstaxeringens fältmätta data användes tillsammans med de beräknade metrikerna till att utveckla regressionsmodeller, där HGV, DGV, VOL samt GY från Riksskogstaxeringsdatat fungerade som responsvariabler. De olika metrikerna som beräknades från 3D datat användes som förklarande variabler.

I det andra steget tillämpades regressionsmodellerna på hela det område som var av intresse för skattning av skogliga variabler, i detta fall de inventerade avdelningarna på de fyra utvalda fastigheterna. I detta steg beräknades samma metriker för avdelningarna på de fyra fastigheterna som för provytorna i första steget. Metrikerna representerades av enskilda raster för varje beräknad metrik, med rasterceller motsvarande provytornas storlek. Eftersom både tillfälliga och permanenta provytor, med 154 m<sup>2</sup> respektive 314 m<sup>2</sup> area, ingick som referensdata användes en rasterstorlek på 15 x 15 m (225 m<sup>2</sup>) för att få en area mittemellan dessa två. Regressionsmodellerna användes slutligen för att göra skattningar av responsvariablerna i varje rastercell. Skattningarna resulterade i raster för varje responsvariabel, där ett medelvärde av rastercellerna inom gränserna för varje avdelning beräknades.

### **3.9 Bildbearbetning**

Den automatiska stereomatchningen av flygbilderna från Lantmäteriet, utfördes med programvaran Photogrammetric Surface Reconstruction from Imagery (SURE), som kan generera täta punktmoln med 3D data (Rothermel, 2012). Matchningsprocessen från individuella bilder till 3D modeller är uppdelad, huvudsakligen i fyra verktygsmoduler. I den första modulen (Initialization module) som är ett förbehandlingssteg, sätts lämpliga bildblock, så kallade stereomodeller, ihop med hjälp av orienteringsdata för respektive bild. Detta steg utfördes i denna studie med programvaran Match-T från Inpho/Trimble

(Anon, 2013). I den andra modulen (Rectification module) justeras bilderna i stereomodellerna i förhållande till varandra så att motsvarande pixlar i bilderna ligger i samma rad och kolumn. Detta medför att bildmatchningen blir effektivare, vilket är önskvärt, särskilt för stora bilddataset (Rothermel, 2012; Wenzel, 2013). I den tredje modulen (Matching module) utförs stereomatchning av de justerade bilderna i stereomodellerna med hjälp av SGM (Hirschmüller, 2008). Det är en pixelvis matchningsmetod som använder sig av en global kostnadsfunktion vilken bygger på antagandet att matchningen med lägst kostnad är den optimala. I SURE används en modifiering av Hirschmüllers (2008) ursprungliga algoritmen. Den söker, tack vare den justering av bilderna som gjordes i den andra modulen, matchande pixlar i varje rad av bilderna istället för bland alla pixlar. Detta gör att matchningen kräver mindre minneskapacitet samt att den blir mindre tidskrävande. Resultatet från denna modul är ett raster (Rothermel, 2012). I den fjärde och sista modulen (Triangulation module) beräknades höjden för varje pixel i rastret från den tredje modulen genom triangulering. Resultatet blir ett punktmoln med 3D data över de stereomatchade områdena (Fig. 3) (Rothermel, 2012).



**Figur 3.** Resultatet av stereomatchningen i SURE; ett punktmoln där 3D data registrerade i nära infrarött (NIR), rött (R) och grönt (G) visas som rött, grönt och blått i bilden.

*Figure 3.* The result from the stereo matching in SURE; a point cloud where 3D data registered in the near infrared (NIR), red (R) and green (G) are displayed as red, green and blue in the image.

Vid den automatiska stereomatchningen i SURE användes projektfilen (.prj), som skapades i Match-T, med bild- och orienteringsinformation som indata. I denna studie användes SUREs grundinställningar för stereomatchningen, med ett tillägg i form av en så kallad flagga för scenario. I den angavs att bilderna var flygbilder med överlappen 60% respektive 30% (AERIAL6030).

### 3.10 Metriker från 3D data

Efter stereomatchningen normaliserades 3D punktmolnet med hjälp av den nya nationella höjdmodellen för att få höjd över markytan istället för höjd över havet. Punktmolnen för Riksskogstaxeringens provytor extraherades med hjälp av centrumkoordinaten för provytorna samt deras respektive radie, medan punktmolnen för de inventerade avdelningarna extraherades med hjälp av shape-filerna (.shp) för dem. Extraheringarna utfördes med funktionen lasclip i mjukvaran LAStools (Isenburg, 2014). Därefter beräknades metriker för punktmolnen från Riksskogstaxeringens provytor med hjälp av funktionen CloudMetrics i programpaketet FUSION (McGaughey, 2012). Vid inställningarna för beräkningen sattes minimihöjden till två meter för de 3D punkter som skulle ingå. Detta tröskelvärde introducerades av Nilsson (1996) och används ofta vid beräkning av höjdmått för att undvika att markpunkter och låg vegetation påverkar. För beräkningen av metriker för de inventerade avdelningarna användes funktionen GridMetrics. Även här sattes tröskelvärdet till två meter för minimihöjden. Rastercellernas storlek angavs till 15 x 15 m för att de skulle få en area som låg mittemellan arean för Riksskogstaxeringens tillfälliga och permanenta provytor.

De metriker som beräknades utifrån 3D datats vertikala struktur var olika höjdpercentiler ( $p10, p20, \dots, p100$ ) som användes till att beskriva trädens och krontakets höjd i denna studie. Med höjdpercentil menas den höjd under vilken en viss andel av 3D punkterna återfinns. Höjdpercentil  $p10$  anger den höjd under vilken 10% av 3D punkterna återfinns,  $p20$  den höjd under vilken 20% av 3D punkterna återfinns och så vidare ända upp till 100% (Nordkvist et al., 2013).

Förutom höjdpercentiler beräknas vanligtvis även krondensitetsmått för laserdata för att göra skattningar av skogliga variabler. Densitetsmått beräknas utifrån antalet så kallade returerna från vegetationen på olika höjd delat med totala antalet returerna (Næsset, 2002). Detta blir svårt för 3D data från flygbilder, eftersom de saknar 3D punkter (returer) under trädkronorna. Men Bohlin, Wallerman och Fransson (2012) fann att ett liknande densitetsmått ändå kunde användas och bidra till ett lägre medelfel för skattningarna. De undersökte tröskelvärden mellan 2–5 m och fann att högre tröskelvärden gav lägre medelfel. Därför beräknades och användes ett densitetsmått ( $d5$ ) med tröskelvärdet 5 m i denna studie (Formel 1).

$$d5 = \frac{n_{veg}}{n_{tot}} \quad (1)$$

där:

$n_{veg}$  = antalet returerna från vegetationen över tröskelvärdet (5m)

$n_{tot}$  = totala antalet returerna

### 3.11 Regressionsmodeller

I denna studie användes regressionsmodeller för att göra skattningarna med den areabaserade metoden. Detta eftersom det har visat sig vara användbart både för ALS data och 3D data genererat från flygbilder (Næsset, 2002; Bohlin, Wallerman & Fransson, 2012). En regressionsfunktion togs fram för varje skoglig variabel (responsvariabel) som var av intresse att skatta och de olika metrikerna som beräknades från 3D punktmolnet användes som förklarande variabler.

I regressionsanalys finns några antaganden om förhållandet mellan responsvariabeln (Y) och förklarande variabeln (X) som måste uppfyllas. Det första är att regressionsmodellen ska vara linjär (Formel 2). I övrigt ska felen vara normalfördelade, oberoende, ha konstant men okänd variation och ha medelvärdet 0 (Chatterjee & Hadi, 2006).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

där  $Y_i$  är responsvariabel,  $X_i$  är förklarande variabel och  $\varepsilon_i$  är slumpvariabel.

Målet med regressionsmodellerna var att hålla dem så enkla som möjligt, det vill säga använda så få förklarande variabler som möjligt. Detta eftersom för många variabler kan leda till en överanpassning av modellerna där det blir problem med att de förklarande variablerna är korrelerade med varandra. Endast förklarande variabler med en signifikansnivå  $p < 0,05$  inkluderades i regressionsmodellerna (Chatterjee & Hadi, 2006).

Responsvariabeln VOL hade ett exponentiellt samband med de förklarande variablerna, vilket går emot antagandet om att regressionsmodellen ska vara linjär. För att lösa det transformerades den förklarande variabeln  $p70$ , som ingick i modellen för VOL, genom kvadrering. Det bidrog till att sambandet blev något mer linjärt och att residualspridningen blev mindre heteroskedastisk. Vid kvadreringen av en förklarande variabel gjordes tillägget *.quad* efter namnet, till exempel  $p70.quad$ .

Valet av variabler till regressionsmodellerna utgick ifrån hur stark korrelationen var mellan de enskilda förklarande variablerna och respektive responsvariabel. Olika regressionsstatistik användes för att utvärdera vilka variabler som skulle ingå, bland annat kontrollerades signifikansnivån för de förklarande variablerna samt regressionsmodellernas förklaringsgrad (adjusted  $R^2$ ). Dessutom beräknades  $q$ -värdet för modellerna för att kontrollera att de inte var överanpassade (Weisberg, 1985). Noggrannheten för de avdelningsvisa skattningarna, som gjordes med de framtagna regressionsmodellerna, utvärderades med hjälp av absolut och relativt medelfel (RMSE) (Formel 3 & 4) samt bias (Formel 5 & 6).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$RMSE (\%) = \frac{RMSE}{\bar{y}} \times 100 \quad (4)$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (5)$$

$$Bias (\%) = \frac{Bias}{\bar{y}} \times 100 \quad (6)$$

där:

$\hat{y}_i$  = skattat värde

$y_i$  = fältmätt värde

$\bar{y}$  = medelvärde för fältmätta värden

$n$  = totalt antal avdelningar I utvärderingsdatat

Till att börja med utvecklades regressionsmodeller där enbart metriker beräknade från 3D punktmolnet ingick som förklarande variabler, framöver kallade basmodeller. Med dessa skattades HGV, DGV, VOL och GY. Sedan användes uppgifter från SBPL för att stratifiera utvärderingsdatat med avseende på trädslag, ålder och SI. Stratifieringen gjordes med så kallade dummyvariabler ( $D_x$ ) som kan anta värdet 1 eller 0 beroende på om villkoren för dem är sant eller falskt. Dummyvariablerna lades till i basmodellerna för att undersöka ifall skattningarna kunde förbättras med hjälp av dem.

En dummyvariabel ( $D_G$ ) skapades för att skilja ut granskog, där definitionen för granskog var att trädslagsblandningen skulle utgöras av minst 70% gran (Formel 7). En likadan skapades för tall ( $D_T$ ) med samma gränsvärde för andelen tall. Dummyvariabler skapades även för att skilja ut avdelningar med olika åldrar till exempel > 80 år ( $D_{80}$ ) (Formel 8). Dessutom skapades dummyvariabler för att skilja ut granskog med låg respektive hög bonitet ( $D_{G_L}$  och  $D_{G_H}$ ) och tallskog med låg respektive hög bonitet ( $D_{T_L}$  och  $D_{T_H}$ ) (Formel 9). Gränsen för låg bonitet i granskog sattes till SI < G26 och för hög sattes den till SI > G28. I tallskog sattes gränsen för låg bonitet till SI < T22 och för hög bonitet till SI > T24. Valet av gränsvärden baserades på hur fördelningen av SI såg ut på alla avdelningar på fastigheterna.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 D_{Gi} + \beta_3 D_{Gi} X_i + \varepsilon_i \quad (7)$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_3 D_{80} + \beta_3 D_{80} X_i + \varepsilon_i \quad (8)$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 D_{G_Hi} + \beta_3 D_{G_Hi} X_i + \varepsilon_i \quad (9)$$

där:

$Y_i$  = responsvariabeln för HGV, DGV, VOL eller GY

$X_i$  = förklarande variabel

$D_G = 1$  om granandel > 70%, annars 0

$D_{80} = 1$  om ålder > 80 år, annars 0

$D_{G_H} = 1$  om granandel > 70% och SI > 28, annars 0

Utvecklingen av regressionsmodeller för att skatta HGV, DGV, VOL respektive GY utfördes i fem steg. I det första utvecklades basmodellerna med enbart metriker som förklarande variabler. I samtliga basmodeller ingick två förklarande variabler. I det andra steget lades dummyvariabler, som stratifierade utvärderingsdatat med avseende på trädslag, till basmodellerna. I det tredje steget lades dummyvariabler, som stratifierade utvärderingsdatat med avseende på ålder, till basmodellerna. I det fjärde steget testades tillägg av dummyvariabler för både trädslag och ålder. I ett femte och sista steg lades dummyvariabler som stratifierade utvärderingsdatat med avseende på trädslag och SI till basmodellerna. I samtliga steg både adderades dummyvariablerna till basmodellerna och multiplicerades med den ena eller båda förklarande variablerna i basmodellerna (Formel 7–9).



## 4. Resultat

Resultatet av de avdelningsvisa skattningarna av HGV, DGV, VOL och GY gjorda med regressionsmodeller baserade på enbart metriker presenteras i tabell 3. Samtliga fyra variabler skattades genom multipel linjär regression där regressionsmodellerna för var och en hade två förklarande variabler. Samtliga förklarande variabler hade en signifikansnivå  $p < 0,01$ . För de avdelningsvisa skattningarna redovisas absolut och relativt medelfel och bias. Det redovisade  $q$ -värdet visar att de framtagna regressionsmodellerna inte är överanpassade ( $q \leq 1,05$ ).

**Tabell 3.** Resultatet för regressionsmodellerna baserade på enbart metriker (förklarande variabler) och regressionsmodellernas förklaringsgrad ( $R^2$  adj) och  $q$ -värde, tillsammans med skattningsnoggrannheten (medelfel och bias) på avdelningsnivå för grundytvägd medelhöjd (HGV), grundytvägd medeldiameter (DGV), volym (VOL) och grundyta (GY)

*Table 3. Regression model statistics (independent variables, adjusted  $R^2$  and  $q$ -value) and stand level accuracy (RMSE (medelfel) and bias) for estimation of basal area weighted mean height (HGV) and basal area weighted mean diameter (DGV), volume (VOL) and basal area (GY) using only metrics derived from aerial images*

Responsvariabel	Förklarande variabler	Värde	$R^2$ -adj	Medelfel (absolut)	Medelfel (%)	Bias	Bias (%)	$q$
HGV (m)	Intercept	0,06	0,96	2,3	11,8	-1,1	-5,6	1,01
	P95***	1,25						
	P95.quad***	-0,01						
DGV (cm)	Intercept	0,09	0,91	4,4	18,9	-1,6	-7,0	1,02
	P95***	1,42						
	d5***	-3,36						
VOL (m <sup>3</sup> /ha)	Intercept	6,46	0,84	48,0	21,8	-11,1	-5,1	1,02
	P70.quad***	0,73						
	d5***	52,45						
GY (m <sup>2</sup> /ha)	Intercept	1,03	0,78	4,9	18,6	-0,3	-1,2	1,01
	P70***	1,35						
	d5**	7,16						

Signifikanskoder:  $p \leq 0,001$  '\*\*\*',  $0,001 < p \leq 0,01$  '\*\*',  $0,01 < p \leq 0,05$  '\*'

Resultatet från skattningarna av HGV och DGV där data från SBPL använts för att stratifiera utvärderingsdatat med avseende på trädslag och ålder eller både trädslag och ålder, samt SI presenteras i tabell 4. De regressionsmodeller som presenteras är de där olika dummyvariabler var signifikanta och bidrog till en förändring av förklaringsgrad och medelfel genom addition eller multiplikation med de förklarande variablerna i basmodellerna. För HGV och DGV kunde en stratifiering med avseende på trädslag, ålder samt trädslag och ålder ge en förändring av skattningarna.

**Tabell 4.** Resultatet för regressionsmodellerna baserade på både metriker och data från skogsbruksplanerna (förklarande variabler), förklaringsgrad ( $R^2$  adj) och q-värde tillsammans med skattningsnoggrannheten på avdelningsnivå (medelfel och bias) för grundtyevägd medelhöjd (HGV) och grundtyevägd medeldiameter (DGV). De regressionsmodeller som gav lägst relativt medelfel för varje förklarande variabel är markerad i fet stil.

*Table 4. Regression model statistics (independent variables, adjusted  $R^2$  and q-value) and stand level accuracy (RMSE (medelfel) and bias) for estimation of basal area weighted mean height (HGV) and basal area weighted mean diameter (DGV), using both metrics derived from stereo matched aerial images and data from forest management plans. The best performing regressions models for each of the independent variables are marked in bold.*

Responsvariabel	Förklarande variabler	Värde	$R^2$ -adj	Medelfel (absolut)	Medelfel (%)	Bias	Bias (%)	q
<b>HGV (m)</b>	Intercept	0,02	<b>0,96</b>	<b>2,2</b>	<b>11,6</b>	<b>-1,0</b>	<b>-5,4</b>	<b>1,02</b>
	P95***	1,24						
	P95.quad***	-0,01						
	D <sub>G</sub> *	0,51						
	Intercept	0,07	0,97	2,3	12,1	-1,2	-6,3	1,02
	P95***	1,25						
	P95.quad***	-0,01						
	D <sub>60</sub> ***	1,05						
	Intercept	0,01	0,97	2,3	11,9	-1,2	-6,1	1,02
	P95***	1,23						
	P95.quad***	-0,01						
	D <sub>G</sub> ***	1,32						
D <sub>60</sub> ***	0,81							
<b>DGV (cm)</b>	Intercept	-0,19	0,92	4,0	17,5	-1,6	-6,8	1,03
	P95***	1,45						
	d5***	-3,73						
	D <sub>T</sub> ***	6,05						
	P95×D <sub>T</sub> *	-0,27						
	Intercept	0,02	0,93	4,2	18,2	-1,9	-8,0	1,03
	P95***	1,39						
	d5***	-3,75						
	D <sub>60</sub> ***	7,75						
	P95×D <sub>60</sub> **	-0,30						
	Intercept	-0,13	<b>0,93</b>	<b>4,0</b>	<b>17,3</b>	<b>-1,84</b>	<b>-7,97</b>	<b>1,04</b>
	P95***	1,4						
	d5***	-3,81						
	D <sub>T</sub> **	4,95						
	D <sub>60</sub> ***	6,38						
P95×D <sub>T</sub> *	-0,24							
P95×D <sub>60</sub> *	-0,22							

Signifikanskoder:  $p \leq 0,001$  '\*\*\*',  $0,001 < p \leq 0,01$  '\*\*',  $0,01 < p \leq 0,05$  '\*'

I tabell 5 presenteras resultatet från skattningarna för VOL och GY, där data från SBPL använts för att stratifiera utvärderingsdatat med avseende på trädslag och ålder eller både trädslag och ålder samt SI. De regressionsmodeller som presenteras är de där olika dummyvariabler var signifikanta och bidrog till en förändring av förklaringsgrad och medelfel genom addition eller multiplikation med de förklarande variabelerna i basmodellerna. För VOL bidrog stratifieringarna med avseende på trädslag, ålder, trädslag och ålder samt SI till ett lägre medelfel. För GY var det endast dummyvariabeln för ålder >

90 år som var signifikant. Regressionsmodellerna där övriga dummyvariabler inkluderades i basmodellen för GY presenteras därför inte.

**Tabell 5.** Resultatet för regressionsmodellerna baserade på både metriker och data från skogsbruksplanerna (förklarande variabler) och regressionsmodellernas förklaringsgrad ( $R^2$  adj) och q-värde tillsammans med skattningsnoggrannheten på avdelningsnivå (medelfel och bias) för volym (VOL) och grundyta (GY). De regressionsmodeller som gav lägst relativt medelfel för varje förklarande variabel är markerad i fet stil.

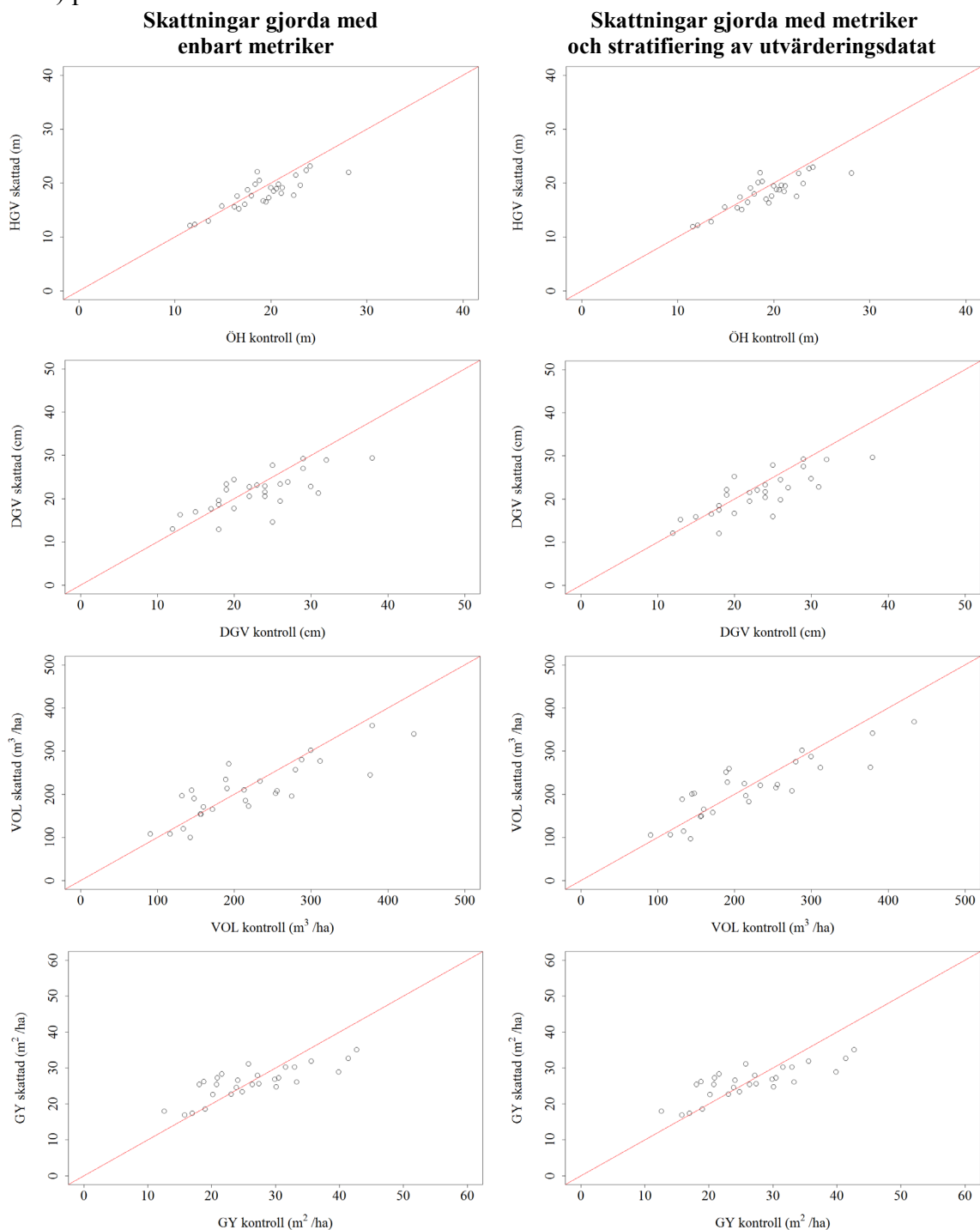
*Table 5. Regression model statistics (independent variables, adjusted  $R^2$  and q-value) and stand level accuracy (RMSE (medelfel) and bias) for estimation of volume (VOL) and basal area (GY,) using both metrics derived from aerial images and data from forest management plans. The best performing regressions models for each of the independent variables are marked in bold.*

Responsvariabel	Förklarande variabler	Värde	$R^2$ -adj	Medelfel (absolut)	Medelfel (%)	Bias	Bias (%)	q
VOL (m <sup>3</sup> /ha)	Intercept	7,30	<b>0,84</b>	<b>43,5</b>	<b>19,8</b>	<b>-8,1</b>	<b>-3,7</b>	1,04
	P70.quad***	0,68						
	d5***	54,17						
	D <sub>G</sub>	-4,68						
	P70.quad×D <sub>G</sub> *	0,13						
	Intercept	7,18	0,84	47,0	21,3	-12,3	-5,6	1,03
	P70.quad***	0,78						
	d5***	47,61						
	D <sub>80</sub> **	-32,43						
	Intercept	8,04	0,85	44,0	20,0	-9,6	-4,4	1,05
	P70.quad***	0,73						
	d5***	50,72						
	D <sub>G</sub>	-24,64						
	D <sub>80</sub> *	-5,98						
	P70.quad×D <sub>G</sub> .	0,11						
	Intercept	6,49	0,84	46,4	21,1	-13,3	-6,1	1,04
P70.quad***	0,69							
d5***	59,64							
DG_H**	58,34							
GY (m <sup>2</sup> /ha)	Intercept	0,89	<b>0,79</b>	<b>4,9</b>	<b>18,8</b>	<b>-0,15</b>	<b>-0,56</b>	<b>1,02</b>
	P70***	1,49						
	d5**	5,84						
	D <sub>90</sub> *	-3,35						

Signifikanskoder:  $p \leq 0,001$  '\*\*\*'  $0,001 < p \leq 0,01$  '\*\*'  $0,01 < p \leq 0,05$  '\*'

Genom att stratifiera utvärderingsdatat med avseende på trädslag kunde medelfelet minskas för HGV med 0,2% och för DGV med 1,6%. För VOL kunde medelfelet minskas med 2% då utvärderingsdatat stratifierades med avseende på trädslag. Förbättringar av medelfelen erhöles även då dummyvariabler för ålder, trädslag och ålder samt SI lades till i basmodellerna för VOL. Förbättringarna var dock inte lika bra som när utvärderingsdatat enbart stratifierades med avseende på trädslag. För GY gav stratifiering med avseende på ålder ingen förbättring jämfört med basmodellen. Gemensamt för samtliga regressionsmodeller som innehöll dummyvariabler var att förklaringsgraden inte ökade mer än marginellt i förhållande till basmodellernas förklaringsgrad.

Värden för HGV, DGV, VOL och GY i utvärderingsdatat plottades mot de skattade värdena (Fig. 4). Både skattningar gjorda med enbart metriker (Tabell 3) samt skattningar med lägst medelfel gjorda genom en kombination av metriker och data från SBPL (Tabell 4 & 5) presenteras.



**Figure 4.** Spridningsdiagram med värden för grundtyevägd medelhöjd (HGV), grundtyevägd medeldiameter (DGV), volym (VOL) och grundyta (GY) från utvärderingsdatat (kontroll) plottade mot skattade värden.

**Figure 4.** Scatterplots of surveyed values of basal area weighted mean height (HGV), basal area weighted mean diameter (DGV), volume (VOL) and basal area (GY) plotted against estimated values. Estimations done only with metrics (left) and with addition of data from forest management plans (right).

För HGV sker inte någon större förändring i förhållandet mellan det skattade värdet och det fältmätta kontrollvärdet då utvärderingsdatat stratifieras med avseende på trädslag. HGV verkar mestadels underskattas oavsett. För DGV sker dock en viss förbättring av sambandet mellan skattat och fältmätt värde då utvärderingsdatat stratifieras med avseende på trädslag. DGV < 20 cm verkar överskattas något, medan DGV > 20 cm tenderar att underskattas. Även om medelfelet minskade med 2% för VOL då utvärderingsdatat stratifierades med avseende på trädslag ser sambandet mellan skattat och fältmätt värde ut på liknande sätt som vid skattningarna med basmodellen. I båda fallen verkar avdelningar med VOL > 250 m<sup>3</sup>/ha underskattas. Även GY visar samma tendens att över- respektive underskattas vid en viss gräns, i det här fallet < 30 m<sup>2</sup>/ha respektive > 30 m<sup>2</sup>/ha.

## 5. Diskussion

### 5.1 Material och metod

Syftet med denna studie var att undersöka möjligheterna att uppdatera skogliga skattningar i Södras befintliga SBPL med hjälp av en areabaserad metod där punktmoln med 3D data från automatisk stereomatchning av Lantmäteriets flygbilder användes tillsammans med Riksskogstaxeringens provytedata. Studien visar att detta är ett välfungerande tillvägagångssätt som ger skattningar med klart användbara resultat.

Det utvärderingsdata som användes i denna studie hade en medelstorlek på avdelningarna som motsvarar medelstorleken för avdelningarna på de fyra fastigheterna samt på fastigheterna inom hela Södras verksamhetsområde. Vad gäller utvärderingsdatat i övrigt finns det vissa osäkerheter i det, särskilt i de data som insamlades vid de kompletterande inventeringarna. Där kan osäkerheterna bero på ovana både vad gäller inventeringsmetoden samt utrustningen. Dessutom hade bättre utvärderingsmaterial kunnat erhållas om fler provytor hade använts på varje avdelning genom hela inventeringen. Önskvärt hade också varit att skatta HGV istället för ÖH på avdelningarna. Men genom att använda en del av inventeringsdatat från Södras kombinerade kontrolltaxering och kvalitetsuppföljning kunde ett större utvärderingsdata erhållas vilket var av stor betydelse. Datamängden för de 28 avdelningarna hade inte kunnat insamlas inom tidsramen för denna studie, så en avvägning gjordes mellan att helt kunna styra upplägget av datainsamlingen eller få en större mängd utvärderingsdata.

I studien har Riksskogstaxeringens provytedata visat sig vara användbart som referensdata vid framtagningen av skattningsfunktioner, i detta fall regressionsmodeller, för heltäckande skattningar. En fördel med provytedatat är att det är rikstäckande och täcker upp en stor variation av skogstillstånd och ger bra möjligheter till stratifieringar av olika slag för att utveckla regressionsmodeller för olika skogstyper. En sak som kan påverka sambanden mellan olika skogliga variabler och metriker negativt är att vissa data som använts egentligen gäller för ytor med 20 m radie. Datat kan då misstämman med hur punktmolnet för provytan ser ut eftersom det är radien om 7 m eller 10 m som använts för att extrahera 3D punktmolnen för provytorna. Detta ger upphov till felaktiga samband mellan exempelvis DGV och medelhöjd, likt de som återfanns i referensdatat för denna studie och som rensades bort för att inte ge upphov till felaktiga regressionsmodeller. Vid sådana tillfällen hade det varit önskvärt att veta hur provytorna ser ut i verkligheten. Detta för att bättre kunna veta hur förhållandena på dem kan påverka regressionsmodellerna som används för skattningarna och eventuellt rensa bort sådana provytor från referensdatat där sambandet mellan olika variabler påverkar regressionsmodellerna negativt. Samtidigt är ju en del av syftet med att använda Riksskogstaxeringens provytedata att det är färdiginsamlat och man slipper lägga resurser i form av både tid och pengar på att samla in eget referensdata.

Vad gäller skattningen av DGV bör man ta i beaktande att Riksskogstaxeringen klavar in levande träd med en brösthöjdsdiameter  $\geq 4$  cm, medan gränsen gick vid  $\geq 8$  cm för utvärderingsdatat från Södra. Sambandet mellan DGV och de olika höjdpentilerna kan därför se annorlunda ut på Riksskogstaxeringens ytor jämfört med hur det ser ut på avdelningarna som ingår i utvärderingsdatat. Det kan göra att regressionsmodellerna fungerar något annorlunda när de tillämpas på utvärderingsdatat.

## 5.2 Resultat

På avdelningsnivå erhöles medelfel för skattningarna om 11,8% för HGV, 18,9% för DGV, 21,8% för VOL och 18,6% för GY då enbart metriker beräknade från 3D datat i den framtagna kronhöjdsmodellen användes i regressionsmodellerna. Detta resultat för HGV och VOL ligger i nivå med de medelfel som erhålls vid subjektiva inventeringar, vilka traditionellt används vid skogsbruksplanläggning (Ståhl, 1992).

I jämförelse med ALS (Næsset, 2004) ligger medelfelet för HGV inom samma intervall, medan skattningarna för de övriga variablerna har ett något högre medelfel. Det här visar att höjdnoggrannheten är bra i 3D datat från de stereomatchade flygbilderna. Här bör dock tilläggas att medelfelet för HGV i realiteten är något lägre eftersom det skattade HGV i många fall utvärderas mot ÖH i utvärderingsdatat. Enligt inventeringsinstruktionen ska ÖH mätas där kriterierna för detta uppfylls, annars skattas HGV, men på vilka avdelningar vad angivits är oklart. Detta medför att differensen mellan skattade HGV och fältmätt ÖH blir högre och är anledningen till att HGV systematiskt underskattas i denna studie, vilket även bias indikerar (Figur 4).

Jämfört med Bohlin, Wallerman och Fransson (2012) ligger medelfelen för samtliga responsvariabler något högre i denna studie. De påpekade i sin studie att deras studieområde utgjordes av välskött produktionskog och att deras metod behövde testas i mer varierande kog. Avdelningarna i denna studie hade en mer varierande karaktär vad gäller bland annat skötsel, vilket kan bidra till att medelfelen ligger något högre i denna studie. De använde även ett tillägg av ett texturmått som beskrev den horisontella variationen, vilket visade sig bidra till ett lägre medelfel. Sedan har ju olika matchningsmetoder använts i de båda studierna vilket också kan påverka.

Resultaten i denna studie kan även jämföras med andra studier som också använt sig av 3D punktmoln genererade genom digital stereomatchning av flygbilder. Jämfört med resultaten i en studie av Järnstedt et al. (2012) ligger medelfelen i denna studie lägre. På provytanivå erhöles de medelfel för skattningarna om 28,2% för HGV, 33,7% för DGV, 40,4% för VOL och 36,2% för GY. Nurminen et al. (2013) gjorde skogliga skattningar med hjälp av digital stereomatchning av flygbilder med överlappet 60%. I studien erhöles de medelfel om 7,6% för HGV, 12,2% för DGV och 22,8% för VOL på provytanivå. Skillnaderna i resultat mellan denna studie och de två studierna ovan, kan bero på att olika skattningsmetoder använts. Järnstedt et al. (2012) använde sig av kNN-metoden (k Nearest Neighbor) medan Nurminen et al. (2013) använde sig av Random forest. De sistnämnda hade dessutom en pixelstorlek på 0,15 m på flygbilderna, vilket också kan ha betydelse för resultaten.

Vad gäller bland annat DGV och VOL har de visat sig kunna skattas bättre då någon form av densitetsmått för krontaket inkluderas i regressionsmodellerna (Naesset, 2002). Detta gjordes även i denna studie i form av densitetsmättet  $d5$ , eftersom det visade sig ge ett något lägre medelfel vid skattningarna (Bohlin, Wallerman och Fransson, 2012). Densitetsmättet förväntades dock inte förklara lika mycket av variationen för VOL som motsvarigheten för ALS data, detta eftersom punktmolnet bara representerar 3D punkter (returer) från krontakets yta till skillnad från ALS data som även ger returer under krontakets yta. Problemet är alltså att densitetsmättet baseras på antaganden att vissa 3D punkter är markpunkter eller 3D punkter från undervegetationen, fast dessa i de flesta fall

saknas på grund av att kameran inte ”ser igenom” krontaket. Det medför att densitetsmättet inte återspeglar verkligheten lika bra som för ALS data. I denna studie bidrog densitetsmättet främst till att stabilisera spridningen av residualerna för de skattade värdena något, men gav även en liten minskning av medelfelet för skattningarna.

Anledningen till att DGV och VOL underskattas då de är  $> 20$  cm respektive  $> 250$  m<sup>3</sup>/ha har rent fysikaliska förklaringar också. Från 3D punktmolnet för de stereomatchade flygbilderna är det främst höjdpercentiler som kan beräknas och som kan användas i skattningarna av olika variabler. Men sambandet mellan olika höjdpercentiler, i det här fallet *p95* och *p70.quad*, och DGV respektive VOL har bara ett linjärt samband till en viss medelhöjd. Vid högre medelhöjder, som ligger nära den maximala höjd skogen kan uppnå beroende på avdelningens SI, kan bland annat VOL variera mycket för en och samma höjd på avdelningar med olika bonitet. Detta är en bidragande orsak till varför skattningarna kan bli lägre för högre VOL. Här hade det som sagt varit önskvärt att kunna beräkna bättre densitetsmått för att få noggrannare skattningar av bland annat VOL. Förhoppningar fanns också om att data om SI kunde bidra till bättre skattningar av VOL. Men där gäller samma sak att VOL inte nödvändigtvis ökar med ökat SI för varje avdelning. Detta eftersom det beror på i vilket utvecklingsstadium avdelningen är i. En ungskog med låg VOL kan fortfarande ha ett högt SI. Det är först i mogen skog som en stratifiering med avseende på SI hade varit användbar, alltså då skogen är i samma utvecklingsstadium som till exempel hkl S1-S2.

Genom att stratifiera utvärderingsdatat med hjälp av data om trädslagsblandningen från de befintliga SBPL, kunde medelfelet för DGV och VOL förbättras, vilket även Straub et al. (2013) fann i sin studie. Förbättringen av medelfelet blev 1,4% för DGV och 2% för VOL jämfört med Straub (2013) som erhöll en förbättring av medelfelet på ca 3% då materialet stratifierades med avseende på barr- eller lövdominerad skog. I denna studie gjordes stratifieringen med hjälp av dummyvariabler för gran respektive tall och inte för barr respektive löv. Detta eftersom så få lövdominerade avdelningar förekom på fastigheterna och därmed även i utvärderingsdatat. Det medför att resultaten inte kan jämföras rakt av, men även resultaten från denna studie indikerar att det finns anledning att stratifiera materialet med avseende på framförallt trädslag för att erhålla bättre resultat för skattningarna, framförallt för DGV och VOL.

En fördel i denna studie är att data om trädslagsblandningen redan finns tillgänglig i SBPL och är därmed klart att användas för skattningarna jämfört med Straub (2013) som genomförde stratifieringen genom en semiautomatisk metod, definierad som en ”supervised” klassificering. I den klassificeringen användes träningsområden för att med regressionsmodeller bestämma samband mellan olika trädslag och olika spektral information. När de sambanden var bestämda kunde en automatisk stratifiering göras med hjälp av de framtagna regressionsmodellerna. Genom att data om trädslagsblandningen redan finns tillgänglig i befintliga SBPL, blir den praktiska tillämpningen av metoden mycket effektivare jämfört med om operatören först ska sitta och tala om för datorn vad som är barr och löv, innan den själv kan söka ut det.



### **5.3 Praktisk tillämpning inom skogsbruket**

Denna skattningsmetod som kan genomföras med hjälp av Riksskogstaxeringens provytedata och stereomatchade flygbilder från Lantmäteriet har stor potential att tillämpas praktiskt inom skogsbruket för att uppdatera skogliga skattningar i befintliga SBPL. Till viss del kan det även användas som effektivt stöd vid upprättandet av nya SBPL, åtminstone vad gäller vissa skogliga variabler såsom HGV och VOL. Detta baserat på en jämförelse mellan medelfelen som erhöles i denna studie och de medelfel som erhålls vid subjektiva fältmätningar.

Det tillvägagångssätt som använts i denna studie är även gångbart vid en praktisk tillämpning. Vissa moment är mer tidskrävande än andra, men inga avsevärda förändringar kan göras inom ramen för de programvaror och funktioner som använts i denna studie. En effektivisering skulle kunna göras kring arbetet med att sortera bort provytor från Riksskogstaxeringen som har orimliga samband mellan variabler. Detta moment skulle kunna effektiviseras genom att ställa upp villkor för storleken på differensen mellan till exempel HGV och DGV. De provytor som har en högre differens och därmed inte uppfyller villkoret rensas bort. Detta villkor skulle nog även rensa bort de flesta ytorna som i denna studie rensades bort efter den okulära jämförelsen mellan 3D datat och Riksskogstaxeringens provytedata.

En osäkerhet kring metoden finns ännu kring hur Riksskogstaxeringens provytor ska kunna hanteras av externa användare, då de permanenta provytornas koordinater är hemliga för att skydda statistiken för dem från manipulering. Alternativet kan vara att enbart delge information från tillfälliga ytor eller erbjuda färdigbearbetat material till de externa användarna. Ett tänkbart alternativ till Riksskogstaxeringens provytor är att Södras egna provytor från till exempel kontrolltaxeringarna används för att ta fram skattningsmodeller. Då bör inventeringen av provytor till kontrolltaxeringen planeras in efter flygfotograferingen.

### **5.4 Framtiden**

Till följd av den begränsade tiden för detta arbete har enbart fyra variabler, HGV, DGV, VOL och GY, varit objekt för skattning i denna studie. Utöver dessa finns fler variabler som är av intresse att skatta vid en uppdatering eller nyproduktion av SBPL. I SBPL har trädslagsblandningen en central roll och det vore av intresse att kunna skatta den. Studier har gjorts där den spektrala informationen i flygbilder använts tillsammans med ALS data för att skatta bland annat trädslagsvisa volymer (Packalén, Suvanto & Maltamo, 2009). Det hade varit intressant att utnyttja färginformationen för skattningar även i denna studie.

På fastigheterna som är föremål för skogsbruksplanläggning finns även en hel del avdelningar med ungskog i hkl R1-R2, inte minst i Södras verksamhetsområde som till stora delar drabbades hårt av stormen Gudrun år 2005. Det vore därför intressant att göra skogliga skattningar även på denna typ av avdelningar. För dessa är det, förutom medelhöjd och diameter, framförallt stamantal/ha som är av störst intresse att skatta istället för VOL. Studier har gjorts där stamantal skattats i ungskog med hjälp av ALS data (Næsset & Bjercknes, 2001) och det vore intressant att göra skattningar av stamantal med 3D data framtaget genom stereomatchning av flygbilder.

Denna studie fokuserade främst på att använda metriker tillsammans med viss information från SBPL för att se hur dessa kunde bidra till skattningarna. Ett tillägg av till exempel de texturmått (Haralick et al., 1973) som Bohlin, Wallerman och Fransson (2012) använde i sin studie hade kunnat adderas till modellerna i denna studie för att undersöka hur skattningarna påverkas.

Ytterligare en sak som vore intressant att undersöka är om 3D datat från en tidsserie av stereomatchade flygbilder skulle kunna användas för att skatta tillväxten i skogen från år till år. Detta borde då indirekt kunna användas till att skatta SI på avdelningarna.

Det vore vidare intressant att göra en tidsstudie där uppdateringen gjord med denna metod jämfördes med uppdateringar gjorda med de metoder som vanligtvis används för skogsbruksplanläggning på Södra idag. Detta för att se hur mycket resurser det finns att spara på denna typ av arbetssätt. Om metoden vore helautomatisk skulle förstås mer resurser i form av både tid och pengar kunna sparas, men för att få ett helautomatiserat produktionssystem för denna metod krävs ytterligare utveckling. I framtiden skulle en helautomation även kunna innebära möjligheter att införa en applikation i fältdatorn som kunde användas vid till exempel virkesköp för att kunna ge skogsägaren precisare uppskattningar av bland annat volym och därmed intäkt för virkesförsäljningen.

## ***5.5 Slutsatser***

Att använda stereomatchade flygbilder från Lantmäteriet i kombination med den nya nationella höjdmodellen och Riksskogstaxeringens provytedata för att göra skogliga skattningar är ett potentiellt alternativ till laserdata. Medelfelen för skattningarna av HGV och VOL ligger på samma nivå som vid subjektiva mätningar. I jämförelse med ALS ger metoden skattningar med medelfel som ligger på samma nivå eller strax över de medelfel som kan erhållas vid skattningar med hjälp av ALS data. Fördelen med stereomatchade flygbilder, jämfört med ALS data, är att det finns en ständig tillgång till dem genom Lantmäteriets bildförsörjningsprogram som säkerställer att fotomaterialet uppdateras kontinuerligt. Därför behöver inga egna flygfotograferingar beställas utan befintligt fotomaterial kan användas. Tillägg av data från befintliga SBPL för att kunna stratifiera utvärderingsdatat med bland annat avseende på trädslag visade sig vara användbart, även om det bara ökade noggrannheten i skattningarna något.

## Referenser

- Anon. (2013). *MATCH-T DSM 5.6 - Reference Manual*. Trimble, Germany.
- Anon. (2014). *Fältinstruktion 2014 RIS – Riksinventeringen av skog*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning och Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö.
- Baltsavias, E.P. (1999). A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54 (1999), ss. 83-94.
- Bohlin, J., Wallerman, J. & Fransson, J.E.S. (2012). Forest variable estimation using photogrammetric matching of digital aerial images in combination with a high-resolution DEM. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27(7), ss. 692-699.
- Chatterjee, S. & Hadi, A.S. (2006). *Regression analysis by example (4<sup>th</sup> ed.)*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Fridman, J., Holm, S., Nilsson, M., Nilsson, P., Hedström Ringvall, A. & Ståhl, G. (2014). Adapting National Forest Inventories to changing requirements – the case of the Swedish National Forest Inventory at the turn of the 20<sup>th</sup> century. *Silva fennica*, 48(3).
- Fridman, J. (2015). Programchef, Riksskogstaxeringen.
- Gehrke, S., Morin, K., Downey, M., Bohrer, T. & Fuchs, T. (2010). Semi-global matching: An alternative to LiDAR for DSM generation?. *Canadian Geomatics Conference and Symposium of Commission I, ISPRS WG I/2*. Calgary, Canada 15-18 Juni 2010. Tillgänglig: [http://www.isprs.org/proceedings/xxxviii/part1/11/11\\_01\\_Paper\\_121.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/xxxviii/part1/11/11_01_Paper_121.pdf) [2015-01-10].
- Gruber, M., Ponticelli, M., Lasdtädter, R. & Wiechert, A. (2012). Ultracam eagle, details and insight. *XXII ISPRS Congress, Commission I/2*, 25 aug – 01 sept 2012, Melbourne, Australia. Tillgänglig: <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXIX-B1/15/2012/isprsarchives-XXXIX-B1-15-2012.pdf> [2015-01-13].
- Haralick, R.M., Shanmugam, K. & Dinstein, I. (1973). Textural features for image classification. *IEEE transactions on systems Man and cybernetics*, 3(6), ss. 610-621.
- Hirschmüller, (2008). Stereo processing by semiglobal matching and mutual information. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 40(2), ss. 328-341.
- Isenburg, M. (2014). *LAStools: award winning software for rapid LiDAR processing*. <http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/> [2015-02-13].
- Johansson, M. (2014). Planchef, Södra.
- Järnstedt, J., Pekkarinen, A., Tuominen, S., Ginzler, C., Holopainen, M. & Viitala, R. (2012). Forest variable estimation using high-resolution digital surface model. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 74 (2012), ss. 78-84.

Klimat och sårbarhetsutredningen (2007). *Sverige inför klimatförändringarna - hot och möjligheter*. SOU 2007:60. Stockholm: Miljödepartementet. [online] (2014-04-24). Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/sb/d/8704/a/89334> [2014-04-24].

Lantmäteriet. (2013). *Produktöversikt – Digitala flygbilder*. Tillgänglig: [https://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/flyg--och-satellitbilder/produktbeskrivningar/dig\\_flygb.pdf](https://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/flyg--och-satellitbilder/produktbeskrivningar/dig_flygb.pdf) [2015-03-09].

Lantmäteriet. (2014). *Produktbeskrivning: GSD-Höjddata, grid 2+*. (Lantmäteriet 2014:1). Tillgänglig: [http://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/hojddata/produktbeskrivningar/hojd2\\_plus.pdf](http://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/hojddata/produktbeskrivningar/hojd2_plus.pdf) [2015-01-07, kl. 09:07].

Lundgren, J., & Owemyr, P. (2010). *Noggrannhetskontroll av laserdata för ny nationell höjdmodell*. Högskolan i Gävle. Geomatikprogrammet (Examensarbete 2010).

Lysell, G. (2012). Ny nationell höjdmodell i Sverige - 450 000 km laserskanning för ökad samhällsnytta. *Kart og plan*, 72, ss. 176–180.

Magnusson, M., Fransson, J.E.S. & Olsson, H. (2007). Aerial photo-interpretation using Z/I DMC images for estimation of forest variables. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 22(3), ss.254-266.

McGaughey, R.J. (2012). FUSION/LDV: Software for LiDAR data analysis and analysis. FUSION version 3.42. Seattle: University of Washington, United States Department of Agriculture, Forest service.

McRoberts, R.E., Cohen, W.B., Næsset, E., Stehman, S.V. & Tomppo, E.O. (2010). Using remotely sensed data to construct and assess forest attribute maps and related spatial products. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25(4), ss. 340-367.

Næsset, E. & Bjerknes, K-O. (2001). Estimating tree heights and number of stems in young forest stands using airborne laser scanner data. *Remote Sensing of Environment*, 78(2001),ss. 328 – 340.

Næsset, E. (2002). Predicting forest stand characteristics with airborne scanning laser using a practical two-stage procedure and field data. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), ss.88– 99.

Næsset, E., Gobakken, T., Holmgren, J., Hyypä, H., Hyypä, J., Maltamo, M., Nilsson, M., Olsson, H., Persson, Å. & Söderman, U. (2004). Laser scanning of forest resources: The Nordic experience. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19(6), ss. 482-499.

Nilsson, M. (1996). Estimation of tree heights and stand volume using an airborne lidar system. *Remote Sensing of Environment* 56, ss. 1–7.

Nordkvist, K., Sandström, E., Reese, H. & Olsson, H. (2013). *Laserskanning och digital fotogrammetri i skogsbruket*. Arbetsrapport 407:2013. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning.

- Nurminen, K., Karjalainen, M., Yu, X., Hyyppä, J. & Honkavaara, E. (2013). Performance of dense digital surface models based on image matching in the estimation of plot-level forest variables. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 83 (2013), ss. 104-115.
- Packalén, P., Suvanto, A. & Maltamo, M. (2009). A two stage method to estimate species-specific growing stock. *Photogrammetric engineering & remote sensing*, 75(12), ss. 1451-1460.
- Rothermel, M., Wenzel, K., Fritsch, D. & Haala, N. (2012). SURE: Photogrammetric surface reconstruction from imagery. *Proceedings LC3D Workshop*, Berlin, December 2012. Tillgänglig: [http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/2012/Rothermel\\_etal\\_lc3d.pdf](http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/2012/Rothermel_etal_lc3d.pdf) [2015-01-10].
- Skogsstyrelsen. (2014a). Skogsbruksplan. Hemsida. [online] (2014-05-19). Tillgänglig: <http://www.skogsstyrelsen.se/Aga-och-bruka/Skogsbruk/Aga-skog/Skogsbruksplan/> [2014-05-19].
- Skogsstyrelsen. (2014b). Kartor med skogliga grunddata. Hemsida. [online] (2014-09-16). <http://www.skogsstyrelsen.se/Aga-och-bruka/Skogsbruk/Karttjanster/Laserskanning/> [2014-09-16].
- Skogsstyrelsen. (2014c). Mer information om laserskanning och skogliga grunddata. Hemsida. [online] (2015-01-05). <http://www.skogsstyrelsen.se/Aga-och-bruka/Skogsbruk/Karttjanster/Laserskanning/Fordjupad-information/> [2015-01-05].
- Steen, M. (2014). Utvecklare Södra Planer, Södra.
- St-Onge, B., Vega, C., Fournier, R.A. & Hu, Y. (2008). Mapping canopy height using a combination of digital stereo-photogrammetry and lidar. *International Journal of Remote Sensing*, 25(11), ss. 3343-3364.
- Straub, C., Stepper, C., Seitz, R. & Waser, L.T. (2013). Potential of UltraCamX stereo images for estimating timber volume and basal area at the plot level in mixed European forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 43(8), ss. 731-741.
- Ståhl, G. (1992). *En studie av kvalitet i skogliga avdelningsdata som insamlats med subjektiva inventeringsmetoder*. Rapport 24. Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet, avdelningen för skogsuppskattning och skogsindelning.
- Södra. (2012). *En ekonomisk förening med långsiktig tillväxt*. Tillgänglig: <http://www.sodra.com/sv/Om-Sodra/En-ekonomisk-forening/> [2014-04-25].
- Södra. (2013a). *Södras årsredovisning 2013*. Tillgänglig: <http://www.sodra.com/Documents/PDF/Finansiellt/arsredovisningar/%C3%85rs%C3%B6versikt%202013.pdf> [2014-04-25].
- Södra. (2013b). *Södras skogsbruksplaner – fältinstruktion 2013 (Version 3-13)*. Södra.

Södra. (2014a). *Våra affärsområden*. Tillgänglig: <http://www.sodra.com/sv/Om-Sodra/Vara-affarsomraden/> [2014-10-15].

Södra. (2014b). *Södra massaprodukter*. Tillgänglig: <http://www.sodra.com/sv/Massa/Vara-massaprodukter/> [2014-10-15].

Södra. (2014c). *Om Södra Timber*. Tillgänglig: <http://www.sodra.com/sv/SodraTimberSE/Om-Sodra-Timber/> [2014-10-15].

Weisberg, S. (1985). *Applied linear regression (2nd ed.)*. New York: John Wiley & Sons.

Wenzel, K., Rothermel, M., Haala, N. & Fritsch, D. (2013). SURE – The ifp Software for Dense Image Matching. *Photogrammetric Week '13, Ed. D. Fritsch, Wichmann, Berlin/Offenbach*, ss. 59-70. Tillgänglig: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo13/080Wenzel.pdf> [2015-01-12].

White, J.C., Wulder, M.A., Vastaranta, M., Coops, N.C., Pitt, D. & Woods, M. (2013). The utility of image-based point clouds for forest inventory: A comparison with airborne laser scanning. *Forests*, 2013 (4), ss. 518-536.