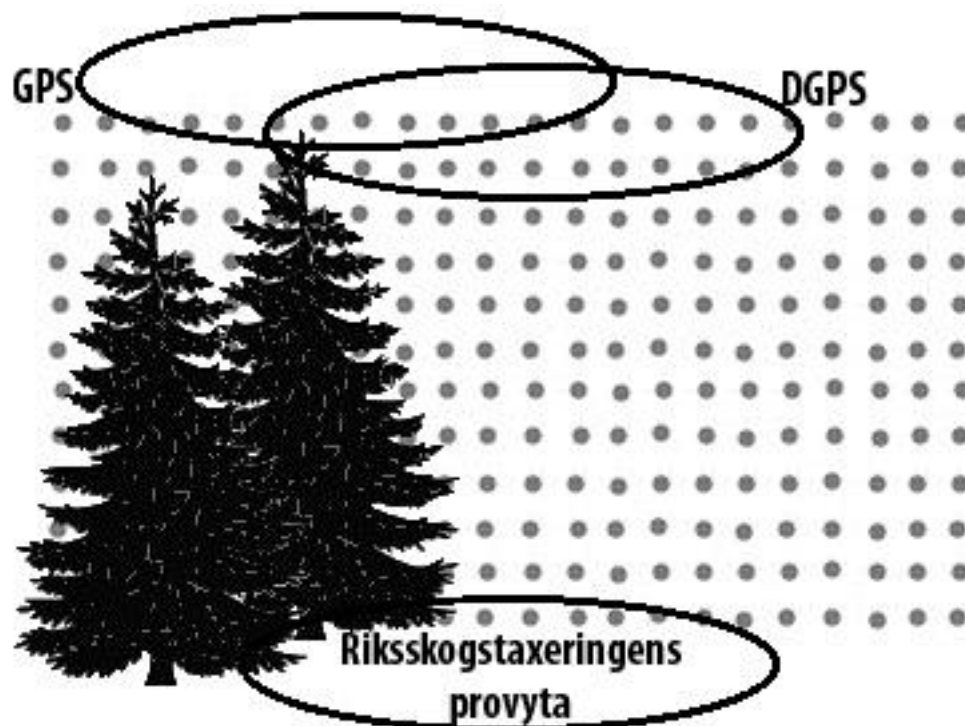


Effekten av provytors felpositionering vid skattning av skogliga variabler med luftburen laserscanning

*The effect of sample plot positioning errors for the estimation of forest
variables with airborne laser scanning*



André Wästlund & Edward Sjödin



Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap,
Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet/Unit	Institutionen för skogens ekologi och skötsel Department of Forest Ecology and Management
Författare/Author	André Wästlund & Edward Sjödin
Titel, Sv	Effekten av provytors felpositionering vid skattning av skogliga variabler med luftburen laserscanning.
Titel, Eng	The effect of sample plot positioning errors for the estimation of forest variables with airborne laser scanning
Nyckelord/ Keywords	Felpositionering, Lidar, Skogsinventering, GPS, Skogsstruktur Misplacing, Lidar, Forest inventory, GPS, forest canopy structure
Handledare/Supervisor	Torgny Lind, Institutionen för skoglig resurshushållning / Department of forest resource management
Examinator/Examiner	Tommy Mörling Institutionen för skogens ekologi och skötsel Department of Forest Ecology and Management
Kurstitel/Course	Kandidatarbete i skogsvetenskap Thesis in Forest Science with Bachelor Degree
Kurskod	EX0592
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet/	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2014

Förord

Frågeställningen som behandlas i detta arbete uppkom under ett projekt som Skogsstyrelsen och Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) drivit på begäran av regeringen. Projektets syfte är att ta fram bättre data om de Svenska skogarna, baserat på bearbetningar av laserdata från lantmäteriets laserscanning av Sverige.

Det här kandidatarbetet är gjort som en del i Jägmästarutbildningen vid SLU i Umeå. Vi vill passa på att tacka Torgny Lind som bistått med handledning i arbetet, samt Karin Nordkvist som bistått med material och teknisk vägledning.

Sammanfattning

Regeringen har givit Skogsstyrelsen i uppdrag att ta fram bättre data om det svenska skogarna baserat på laserdata. Den här studien behandlar betydelsen av referensytors positionering och effekt på skattning av skogliga variabler.

Riksskogstaxeringens (RT) provytor är positionerade med GPS, men under 2013 har ett antal av dessa ytor givits en förbättrad koordinat med DGPS. GPS och DGPS koordinatangivelserna har kopplats samman med motsvarande yta i laserdata från den nya nationella höjdmodellen. Med statistik från laserdata har regressionsmodeller använts för att skatta skogliga variabler genom att utnyttja RTs provytor som referensytor.

Medelfelet för skattningarna beräknades på regionnivå och fördelat på höjdklasser. Differensen mellan skattningarnas medelfel, baserade på skattningar med GPS och DGPS koordinaterna, beräknades. Den förbättrade koordinatangivelsen resulterade i förbättrade skattningar av de skogliga variablerna i det flesta fall. Förbättringen på regions nivå är i storleksordningen 0,06 till 0,83 procentenheter för höjdsfattningen, för grundytan -0,74 till 1,72 procentenheter, för diametern 0,38 till 1,25 procentenheter, för volymen -0,78 till 2,56 procentenheter och för biomassan -0,67 till 1,77 procentenheter.

Ett begränsat provyteunderlag i studien kan ha påverkat resultatet. Den viktigaste slutsatsen är att de förbättrade koordinaterna har förbättrat skattningarna i de flesta fall, om än ytterst lite. Med stöd av tidigare studier anser vi resultatet förväntat.

Nyckelord: Felpositionering, Lidar, Skogsinventering, GPS, Skogsstruktur

Summary

The government commissioned the Swedish Forest Agency to produce improved wall-to-wall data of the Swedish forests based on laser data. The objective of this study was to examine the effects on the estimations of forest variables due to the quality of the positioning of the reference sample plots.

The National Forest Inventory (NFI) sample plots are positioned with GPS. In 2013, a number of these plots coordinates were improved with DGPS measurements. The GPS and DGPS coordinates were linked together to the corresponding plots of the laser data from the new National Elevation Model. With statistics from laser data regression models has been used to estimate forest variables by exploiting NFIs plots as reference surfaces.

The mean error for the estimates were calculated at the regional level and divided into height classes. The difference between the estimations mean error, based on the old and the new coordinates were calculated. The DGPS coordinates resulted in improved estimates of forest variables in the majority of cases. The improvement in percentage at the regional level is in the range of 0.06 to 0.83 for height estimation, the basal area -0.74 to 1.72, the mean diameter of 0.38 to 1.25, for volume -0.78 to 2.56 and biomass -0.67 to 1.77.

A limited number of plots in Region 1 and 5 have influenced the results. The main conclusion is that the better-quality coordinates improves estimates in most cases. On the basis of previous studies, we consider the results expected.

Keywords: Misplacing, Lidar, Forest inventory, GPS, forest canopy structure, NFI

Inledning

Bakgrund

Teknikutvecklingen är på väg att föra skogsbruket in i en ny epok vad gäller möjligheter att hantera och styra skogsbruket. Näringsen har krav på sig att effektivisera produktionen, men även ta större hänsyn till skogens övriga värden. LIDAR (Light detection and ranging) är en teknik som av många anses ha stor potential i detta sammanhang (Rymdstyrelsen, 2011).

Skogsstyrelsen har fått ett uppdrag av regeringen att ta fram bättre skogliga skattningar av de svenska skogarna, med hjälp av laserdata (Landsbyggsdepartementet, 2013). Skattningar av skogliga variabler har även tidigare gjorts på nationell nivå (SLU), baserade på tolkning av satellitbilder med Riksskogstaxeringens (RTs) provytor som referensmaterial (Tomppo *m.fl.*, 2010; Granqvist Pahlén *m.fl.*, 2004). Till skillnad från tidigare skattningar använder sig nu SLU även av det laserdata som tagits fram för den nya nationella höjdmodellen (Lantmäteriet, 2014b; Lantmäteriet, 2012). Under 2009 påbörjades laserskanningen och beräknas vara klar 2015 (Lantmäteriet, 2014a). Skattningarna av de skogliga variablerna görs med RTs provytor som referensmaterial (SLU, 2013).

LIDAR- tekniken bygger på att en laserpuls skickas iväg för att sedan reflekteras tillbaka till scanningsenheten. Pulsen färdas i ljusets hastighet och genom att mäta den tid det tar för pulsen att reflekteras tillbaka till mätenheten kan avståndet beräknas. Enheten registrerar även i vilken riktning och från vilken position pulsen skickas iväg. Med hjälp av denna information kan reflektionspunktens koordinat i x, y och z led bestämmas. Vid skoglig tillämpning av tekniken sitter laserskannern på ett flygplan. Laser skannern registrerar kontinuerligt mätpunkter i ett stråk i flygplanets färdriktning. Den stråkbredd som registreras beror på den maximala skanningsvinkeln och flyghöjden. Hur många mätningar per ytenhet som görs (punkttätheten) beror av flyghöjden och enhetens pulsfrekvens. Resultatet av skanningen blir ett punktmoln som representerar fasta punkter på marken och i vegetationen. I detta skede beror potentialen i materialet av punkttätheten och punkternas noggrannhet i positionsangivelsen (Lantmäteriet, 2014b; Anon, 2013; Lim *m.fl.*, 2003).

För att skatta skogliga variabler ur ett punktmoln krävs referensytor med kända värden på skogliga variabler. Provytor läggs ut i det skannade området och mätvärden för variabler av intresse mäts in. Statistik från punktmolnen för provytor och mätvärden från referensytorna ligger sedan till grund för vidare skattning med regressionsmodeller (Naesset, 2004; Næsset, 2002).

Varje provytas centrumkoordinat registreras för att sedan matchas med samma område i punktmolnet. Fel i centrumkoordinatens positionering har i tidigare studier visat sig ha betydelse för skattningarnas kvalitet. Om inte den angivna centrumkoordinaten överensstämmer med den sanna koordinaten, representeras provytan av fel punktmoln (Frazer *m.fl.*, 2011; Gobakken & Næsset, 2009). Ett vanligt hjälpmedel för att ange positioner i sådana här sammanhang är GPS (Global Position System). GPS systemets positionsangivelse påverkas av omgivningen (Sigrist *m.fl.*, 1999), exempelvis kan träd på provytan störa signalen vilket gör att en exakt position är svårt att erhålla. För att förbättra precisionen kan en DGPS (Differential Global Position System) användas (Naesset & Jonmeister, 2002). Även provytans storlek har betydelse för skattningens kvalitet. I provytans ytterkant kan reflektionspunkter registreras som i själva verket tillhör träd som står utanför provytan. Dessa

kanteffekter medför, på samma sätt som ett förskjutet centrum, att skattningarna av beståndsvariablerna inte representerar ytan. Kanteffekterna blir också större med minskad provyteareal, lika så ökar effekten av en ytförskjutning med minskad provyteareal (Frazer *m.fl.*, 2011).

Syfte

Huvudsyftet med denna studie är att undersöka betydelsen av noggrannheten för provytans centrumkoordinat vid skattningar av skogliga variabler med laserdata. Effekten på skattningarna av de skogliga variablerna delas upp på regionnivå, men även hur skattningarna i olika höjdklasser påverkas. Frågeställningen uppkom i samband med Skogsstyrelsens uppdrag att ta fram bättre skogliga data om de svenska skogarna. Av denna anledning kommer arbetsflödet präglas av den arbetsmetodik som använts i projektet.

Material och metoder

Referensytor

I studien har 5144 av Riksskogstaxeringens (RT) provytor använts som referensytor. Bland dessa finns både permanenta (4939) och tillfälliga (205) ytor. De permanenta inventeras med 5 års intervall och har en provyteradie på 10 meter och de tillfälliga har en provyteradie på 7 meter. Ytorna är fördelade över hela landet på 5 regioner, se figur 1. Resultat beräknas enligt denna regionsuppdelning.



Figur 1 Riksskogstaxeringens regionsindelning.

Figure 1 The National Forest Inventory division on regions.

RTs variabler som använt är traktnummer, biomassavolym, grundyta, grundytavägd medeldiameter, grundytavägd medelhöjd och volym. Mätvärden för dessa benämns här som sanna värdena.

Provytorna har i ordinarie inventering positionerats med GPS (Garmin Map 60C_{sx}). När behovet av bättre koordinatangivelse uppstått har en DGPS (Topcon GMS-2) använts för att förbättra positioneringen på en delmängd av ytorna. De ytor som fram till nu fått denna förbättrade koordinat har använts i denna studie.

Laserskanningen av Sverige inleddes år 2009 och beräknas vara klar 2015. För att få bästa möjliga skattningsresultat är det viktigt att skanningen och inmätningen av provytorna sker så nära inpå varandra i tid som möjligt. För att minimera effekten av differens i tidpunkt, har de skogliga variablerna för provytorna skrivits fram eller tillbaka till tidpunkten för skanningen för den aktuella ytan med Heureka RegVis. I studien har endast ytor använts som inte skrivits fram eller tillbaka mer än 5 år. Ytor som erhållit negativt värde för en beståndsvariabel till följd av tillbakaskrivning har givits värdet 0 för variabeln i fråga.

För att förenkla regressionsanalysen har 356 ytor som innehåller överståndare exkluderats. För att en yta ska bedömas ha överståndare ska enligt RTs definition ytan hysa träd som är väsentligt äldre och vanligen högre än huvudbeståndet. Om flertalet träd på ytan har en diameter grövre än 10 cm ska överståndarna vara minst 50 % äldre än huvudbeståndet. För att träden ska klassas som överståndare ska dess slutenhet inte överstiga 0,3 (SLU, 2013)

Under arbetets gång observerades en problematik med provytor som enligt RT-data har höjden 0. Problematiken uppstod då höjdskattningarna från lasern resulterade i orealistiskt höga värden. Dessa värden bör rensas bort i indata (eliminering av s.k. uteliggare), men eftersom detta inte gjorts togs dessa bort manuellt. De ytor vars höjd på nittonde percentilen överstigit 1,5 m och som av RT givits höjden noll togs bort, i detta fall 135 ytor.

Laserdata

Laserdata som använts är framtaget av lantmäteriet och huvudsyftet med denna skanning var att producera en ny nationell höjdmodell (NNH). Lasermaterialet är insamlat med två olika typer av skannersystem, ett system från Lecia och ett system från Optec. Punkttätheten i lasermaterialet är 0,5-1 punkter per kvadratmeter vid en flyghöjd på 1700-2300 m, skanningsvinkel på $\pm 20^\circ$ och en stråkövertäckningen på 20 %. Noggrannheten i höjd är normalt bättre än 0,1m för varje punkt och noggrannheten för punktens koordinat är normalt runt 0,3 m.

Bearbetning punktmoln

Varje provyta kopplades samman med tillhörande reflektionspunkter. Provytan klipptes ut ur lasermaterialet och ett punktmoln för vardera provyta erhöles. Detta utfördes både för provytans GPS respektive DGPS koordinat. För varje punktmoln valdes de reflektionspunkter som kan anses tillhöra vegetationen. Höjden 1,5 m över beräknat markplan valdes eftersom denna höjd kan anses fri från störning av markrelaterade reflektionspunkter. Vi beräknade höjdpercentilernas höjddistribution (P30,P50,P80,P90,P95,P95,P99) och en täthetsfaktor som utgörs av den procentuella andelen av punkterna som befinner sig 1,5 meter över det skattade markplanet. Reflektionspunkter som befinner sig 1 meter under skattat markplan betraktades som felregistreringar.

Rensning av uteliggare

Rensning av uteliggare utfördes på regionnivå. Rensningen genomfördes genom att en robust regressionsmetod användes för att finna ett linjärt samband för volym- och höjdvariablerna. En robust regressionsmetod tar inte så stor hänsyn till uteliggare. Variansen för de olika variablerna beräknas och utifrån varianserna beräknade vi ytornas Mahalanobis avstånd (Lee & Kaltsikes, 1973). De 10 % av ytorna vars Mahalanobis avstånd var störst togs bort.

Skogliga variabler

För varje variabel och region har en regressionsmodell beräknats, med vilka de skogliga variablerna skattats. Detta upprepades både för GPS och DGPS koordinaterna.

Grundtyvägd höjd

För att skatta den grundtyvägda medelhöjden, användes en linjär regression mellan den sanna höjden och höjden av den nittionde percentilen (p90) av punktmolnet. I vårt fall satte vi den första percentilen på en höjd av 1,5 meter över den beräknade marknivån. Detta för att undvika påverkan från markrelaterade föremål så som stenar och ojämnheter.

Grundtyta

Vid skattning av grundtyta användes en höjdberoende och en täthetsberoende variabel. Höjden för den åttionde percentilen (p80) av punktmolnet multiplicerades med den procentuella andelen av punkterna som befinner sig över 1,5 meter (h80veg). Till denna produkt adderas sedan 10. Detta för att undvika problem till följd av logaritmering av värdet noll. Samma sak upprepades med den nittionde höjdpercentilen (h90veg). Dessa produkter logaritmerades för att uppnå linjära samband. De sanna värdena på provytornas grundtyta adderades med 1, för att sedan logaritmeras. Additionen utfördes även här för att undvika problematik med logaritmering av ytor med en grundtyta noll. En regressionsmodell för logaritmerna av de sanna värdena och de skattade värdena för grundtytan beräknades. Detta utfördes både för den skattade grundtytan som baserats på den åttionde percentilen och den som baserats på den nittionde. Den regressionsmodell som erhöll det högsta "adjusted r-squared" valdes för tillämpning. De logaritmerade värdena konverterades tillbaka och värdet för de sanna värdena subtraherades med 1. En korrektionsfaktor (q) beräknades genom att ta medlet av de sanna grundtytorna dividerat med de skattade värdena. Korrektionsfaktorn multiplicerades slutligen med de skattade värdena, för att korrigera eventuella över eller underskattningar.

$$q = \frac{\text{Medel}(\text{sant värde})}{\text{Medel}(\text{skattat värde})}$$

Därefter utförde vi en korsvalidering med en metod som kallas "leave one out" (Bro *m.fl.*, 2008)

Grundtyevägd diameter

På samma sätt som vid skattningen av grundytan skapades två variabler (h80veg och h90veg) som beror av höjd och täthet, detta genom att multiplicera åttionde samt nittionde percentilens höjd (p80 och p90) med den procentuella andelen punkter över 1,5 meter. Fyra skattade diametrar beräknades (p80 + h80veg, p90 + h90veg, p80 + h90veg och p90 + h80veg) och från dessa skattade värden beräknades fyra linjära samband med de sanna värdena. Den linjära modell som uppvisade högst ”adjusted r-squared” valdes för tillämpning. Därefter utfördes likadan korsvalidering som tidigare.

Volym

Två variabler beräknades, (h80veg och h90veg), som beror av höjd och täthet genom att multiplicera åttionde samt nittionde percentilens höjd (p80 och p90) med den procentuella andelen punkter över 1,5 meter. Fyra skattade volymer beräknades (p80 + h80veg, p90 + h90veg, p80 + h90veg och p90 + h80veg) från dessa skattade värden beräknades fyra linjära samband med roten ur de sanna värdena. Den linjära modell som uppvisade högst ”adjusted r-squared” valdes för tillämpning. Därefter utfördes likadan korsvalidering som tidigare. Volymen skattas och de skattade värdena upphöjs i 2.

Biomassa

De höjd och täthetsberoende variabler som nyttjas vid tidigare skattningar (h80veg och h90veg) används även här. Höjden för åttionde och nittionde percentilen (p80 och p90) multiplicerades med den procentuella andelen punkter som reflekterats över höjden 1,5 meter. Dessa två variabler (h80veg och h90veg) adderades med tio, varpå de logaritmerades (logh80veg och logh90veg). Höjden för åttionde (p80) och nittionde (p90) percentilen adderades med 1 och logaritmerades (logp80 och logp90). Även det sanna värdet för mängden biomassa adderades med 1, för att sedan logaritmeras (logBio). Linjära samband beräknades (logp80 + logh80veg, logp90 + logh90veg, logp80 + logh90veg och logp90 + logh80veg) och från dessa skattade värden beräknades fyra linjära samband med logaritmen av de sanna värdena. Den linjära modell som erhöll det högsta ”adjusted r-squared” valdes ut för tillämpning. Mängden biomassa skattades med vald regressionsmodell och konverterade tillbaka de logaritmerade värdena, samt adderade 1, för att erhålla den verkliga skattningen. En korrektionsfaktor (q) beräknades genom att dividera medeltalet av de sanna värdena och medeltalet av de skattade värdena. Det skattade värdet multiplicerades sedan med denna korrektionsfaktor. Därefter utfördes likadan korsvalidering som tidigare.

$$q = \frac{\text{Medel}(\text{sant värde})}{\text{Medel}(\text{skattat värde})}$$

Analys

Ett relativt medelfel (relativt RMSE) för de skattade värdena för varje region beräknades, både för GPS och DGPS koordinaterna.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\text{sant värde} - \text{skattat värde})^2}$$

$$\text{Relativ RMSE} = \frac{RMSE}{\text{Medel}(\text{sant värde})}$$

Efter analysen på regionnivå delades varje region upp i 6 höjdklasser (H1, H2, H3, H4, H5, H6). Varje höjdklass var i steg om 5 m (H1 $0 \leq 5$, H2 $5 \leq 10$, H3 $10 \leq 15$, H4 $15 \leq 20$, H5 $20 \leq 25$, H6 > 25). För varje höjdklass inom de fem regionerna räknades det fram ett nytt medelfel för varje variabel både för GPS och DGPS koordinaterna.

Resultat

Exaktare centrumkoordinaterna ger på regionnivå en förändring av medelfel (relativ RMSE) för de skattade variablerna. Förändringen av medelfel (relativ RMSE) mellan skattningar baserat på GPS respektive DGPS koordinaterna presenteras för varje region i tabell 3. Positiva värden innebär en förbättring av skattningarna med DGPS koordinaterna och negativa värden innebär en försämring. Antal och hur stor andel där exaktare koordinater för provytor finns presenteras i tabell 4. Totalt har 4164 st provytor använts vid jämförelserna av koordinaternas position, största andelen provytor kommer ifrån region 4 med 1841 st vilket utgör 44,2% av totalt antal provytor.

Regions nivå

Tabell 1. Medelfel för skattningarna baserade på GPS koordinater, procent

Table 1. Mean error for the estimates based on the GPS coordinates, percentages

Region	Höjd (HGV)	Grundyta (GY)	Diameter (DGV)	Volym (VOL)	Biomassa (BIO)
1	12,60	30,56	17,95	30,44	26,91
2	11,74	23,62	16,09	24,41	24,21
3	11,16	23,09	17,12	24,84	24,59
4	11,19	23,03	18,97	24,29	24,71
5	12,73	28,15	24,64	26,63	29,23

Tabell 2. Medelfel för skattningarna baserade på DGPS koordinater, procent.

Table 2. Mean error for the estimates based on the DGPS coordinates, percentage

Region	Höjd (HGV)	Grundyta (GY)	Diameter (DGV)	Volym (VOL)	Biomassa (BIO)
1	12,14	31,30	16,70	31,23	27,58
2	11,68	22,73	15,64	22,65	23,70
3	10,68	22,91	16,58	23,59	23,84
4	10,80	22,50	18,50	21,86	23,86
5	11,90	26,43	24,26	24,07	27,47

Tabell 3. Förändring av medelfel mellan GPS och DGPS koordinater för respektive variabel och region, procentenhet.

Table 3. Change in mean error between the GPS and DGPS coordinates for each variable and region, percentage unit.

	Höjd (HGV)	Grundyta (GY)	Diameter (DGV)	Volym (VOL)	Biomassa (BIO)
Region 1	0,47	-0,74	1,25	-0,78	-0,67
Region 2	0,06	0,89	0,45	1,76	0,51
Region 3	0,48	0,18	0,54	1,25	0,75
Region 4	0,39	0,52	0,47	2,44	0,85
Region 5	0,83	1,72	0,38	2,56	1,77

Förändringarna är överlag små, störst förändring ser vi i skattningarna av volym och biomassa. Skattningarna för alla variabler har med DGPS koordinaterna blivit bättre, med undantag för region 1. Med DGPS koordinaterna sker den största förbättringen i region 5.

Tabell 4. Antal och andel (%) provytor av totalt antal per region

Table 4. Number and share (%) of sample plots per region

Region	Antal	Andel
1	24	0,6
2	732	17,6
3	1063	25,5
4	1841	44,2
5	504	12,1
Totalt	4164	

Höjdklasser per region

Tabell 5. Förändring av medelfel mellan GPS och DGPS koordinater i region 1, procentenhet

Table 5. Change in mean error between the GPS and DGPS coordinates in region 1, percentage unit

Höjdklass	Höjd (HGV)	Grundyta (GY)	Diameter (DGV)	Volym (VOL)	Biomassa (BIO)
H1	-0,07	-0,59	1,69	-4,49	-11,49
H2	0,05	-0,17	1,21	-1,54	2,19
H3	0,56	-0,18	1,50	-1,43	-3,24
H4	0,81	-0,98	0,52	0,63	-0,27
H5	-	-	-	-	-
H6	-	-	-	-	-

Tabell 6. Antal och andel (%) provytor för GPS och DGPS koordinaterna uppdelat på höjdklasser i region 1
Table 6. Number and share (%) of sample plots for the GPS and DGPS coordinates are divided into height classes in Region 1

Höjdklass	GPS och DGPS	
	Antal	Andel
H1	3	12,5
H2	10	41,7
H3	7	29,2
H4	4	16,7
H5	0	0,0
H6	0	0,0
Total	24	

Tabell 7. Förändring av medelfel mellan GPS och DGPS koordinater i region 2, procentenhet
Table 7. Change in mean error between the GPS and DGPS coordinates in region 2, percentage unit

Höjdklass	Höjd (HGV)	Grundyta (GY)	Diameter (DGV)	Volym (VOL)	Biomassa (BIO)
H1	-0,03	3,82	-0,59	7,62	8,00
H2	0,05	0,75	0,19	1,23	0,47
H3	-0,03	1,71	0,46	2,31	1,15
H4	0,25	0,31	0,76	0,92	-0,41
H5	-0,12	2,29	-0,71	2,13	3,20
H6	-	-	-	-	-

Tabell 8. Antal och andel (%) provytor för GPS och DGPS koordinaterna uppdelat på höjdklasser i region 2
Table 8. Number and share (%) of sample plots for the GPS and DGPS coordinates are divided into height classes in Region 2

Höjdklass	GPS		DGPS	
	Antal	Andel	Antal	Andel
H1	73	10,0	75	10,2
H2	216	29,5	215	29,4
H3	277	37,8	276	37,7
H4	156	21,3	157	21,4
H5	10	1,4	9	1,2
H6	0	0,0	0	0,0
Total	732		732	

Tabell 9. Förändring av medelfel mellan GPS och DGPS koordinater i region 3, procentenhet
Table 9. Change in mean error between the GPS and DGPS coordinates in region 3, percentage unit

Höjdklass	Höjd (HGV)	Grundyta (GY)	Diameter (DGV)	Volym (VOL)	Biomassa (BIO)
H1	-1,23	-3,88	-3,18	0,10	-5,10
H2	0,54	-1,20	1,06	-0,98	-1,24
H3	0,46	0,26	0,53	0,68	0,63
H4	0,42	0,97	0,18	2,01	1,12
H5	0,76	0,29	1,00	0,66	0,83
H6	1,20	-3,70	3,67	-3,67	-1,86

Tabell 10. Antal och andel (%) provytor för GPS och DGPS koordinaterna uppdelat på höjdklasser i region 3.
Table 10. Number and share (%) of sample plots for the GPS and DGPS coordinates are divided into height classes in Region 3.

Höjdklass	GPS		DGPS	
	Antal	Andel	Antal	Andel
H1	88	8,3	89	8,4
H2	200	18,8	200	18,8
H3	341	32,1	344	32,4
H4	348	32,7	342	32,2
H5	81	7,6	82	7,7
H6	5	0,5	6	0,6
Total	1063		1063	

Tabell 11. Förändring av medelfel mellan GPS och DGPS koordinater i region 4, procentenhet
Table 11. Change in mean error between the GPS and DGPS coordinates in region 4, percentage unit

Höjdklass	Höjd (HGV)	Grundyta (GY)	Diameter (DGV)	Volym (VOL)	Biomassa (BIO)
H1	0,59	-1,57	-0,75	2,47	-1,21
H2	0,82	-0,34	0,68	-0,67	0,26
H3	0,46	0,89	0,34	2,28	0,67
H4	0,36	0,52	0,40	2,18	1,11
H5	0,29	0,37	0,47	2,34	0,69
H6	0,30	1,39	1,74	2,57	0,33

Tabell 12. Antal och andel (%) provytor för GPS och DGPS koordinaterna uppdelat på höjdklasser i region 4
Table 12. Number and share (%) of sample plots for the GPS and DGPS coordinates are divided into height classes in Region 4

Höjdklass	GPS		DGPS	
	Antal	Andel	Antal	Andel
H1	150	8,1	151	8,2
H2	262	14,2	266	14,4
H3	519	28,2	517	28,1
H4	568	30,9	568	30,9
H5	319	17,3	314	17,1
H6	23	1,2	25	1,4
Total	1841		1841	

Tabell 13. Förändring av medelfel mellan GPS och DGPS koordinater i region 5, procentenhet
Table 13. Change in mean error between the GPS and DGPS coordinates in region 5 percentage unit

Höjdklass	Höjd (HGV)	Grundyta (GY)	Diameter (DGV)	Volym (VOL)	Biomassa (BIO)
H1	3,05	4,05	1,14	-0,13	-2,50
H2	1,40	0,38	0,70	0,73	0,69
H3	1,45	1,72	0,67	4,65	2,62
H4	0,41	0,79	0,32	0,92	0,86
H5	0,58	1,04	-0,27	2,24	0,82
H6	0,35	3,52	1,40	4,34	4,13

Tabell 14. Antal och andel (%) provytor för GPS och DGPS koordinaterna uppdelat på höjdklasser i region 4.
Table 14. Number and share (%) of sample plots for the GPS and DGPS coordinates are divided into height classes in Region 5.

Höjdklass	GPS		DGPS	
	Antal	Andel	Antal	Andel
H1	23	4,6	23	4,6
H2	55	10,9	55	10,9
H3	162	32,1	159	31,5
H4	179	35,5	181	35,9
H5	62	12,3	65	12,9
H6	23	4,6	21	4,2
Total	504		504	

Störst förändring uppvisar höjdklass 1 och 2, förändringarna utgörs både av förbättringar och försämringar. Störst förändring ser vi vid skattningar av volym och biomassa.

Diskussion

I denna studie har inte hänsyn tagits till vilken skannerenhet som använts på respektive yta. En alternativ metod för att ta hänsyn till detta hade varit att dela upp ytorna och utfört regressionerna separat för vardera typ av skanner. Vid framställningen av skogskartan har SLU använt sig av en arbetsmetodik som tagit hänsyn till olikheter till följd av skanningsutrustningen. I detta arbete har det så långt det varit möjligt strävats efter att efterlikna vederbörandes tillvägagångssätt för att minimera effekten av skillnader i arbetsmetodik. I detta fall ansågs den negativa effekten av ett fragmenterat studiematerial vida överskrida påverkan av olika skanningsutrustning. I studien har inte heller hänsyn tagits till om provytan skannats under lövad eller olövad säsong, vilket man tar hänsyn till vid framställning av skogskartan. Vi anser inte att de ovan nämnda avstegen i arbetsmetodik påverkar resultatet nämnvärt. Med stor sannolikhet har de betydelse för skattningarnas kvalitet, men eftersom samma avsteg har gjorts både för GPS och DGPS koordinaterna, antar det inte påverka jämförelsen.

En faktor vars påverkan på studieresultatet är svårare att bedöma, är de sanna värdenas överensstämmande med verkligheten. De sanna värdena kommer från RT och kan anses vara korrekta, men inventeringen sker i 5 års cykler. Detta innebär att en provyta besöks vart femte år. Laserskanningen av Sverige inleddes 2009 och beräknas vara klart under 2015. Problematiken ligger i att en provyta inte alltid har inventerats samma år som den skannades. För att råda bot på detta har man valt att skriva fram eller tillbaka bestandsvariablerna med hjälp av programmet Heureka. Detta medför att de sanna värdena kan innehålla fel, men att avgöra hur vida detta har inverkat på studiens resultat är svårt att avgöra. Teoretiskt sett skulle systematiska fel vid korrigeringen av de sanna värdena kunnat påverka resultatet.

Några resultat kan ha påverkats negativt av ett litet dataunderlag. Skattningarna i region 1 baseras på endast 24 provytor. Detta är nog anledningen till att regionen uppvisar varierande värden utan någon tydlig trend. Samma mönster återfinns i enskilda höjdklasser i några av regionerna.

De skattningar som förbättrades mest som följd av förbättrade koordinater är volym och biomassa. Anledningen till att de förändrades mest tror vi beror på att de också har störst varians i skattningarna och att de är beroende av en täthetsvariabel.

Den uppmärksamme läsaren har noterat att en uteliggarrrensning har genomförts på materialet i två steg. Först utfördes en manuell rensning av ytor som registrerats ha en höjd 0 men som av lasern givits en höjd över 1,5 meter. Denna rensning omfattade 135 ytor. Det manuella ingreppet var ett avsteg från den ordinarie rensningen och utfördes på grund av att den ordinarie rensningen inte gav ett tillfredställande resultat. I arbetets slutskede observerades att ett fel vid den ordinarie rensningen av uteliggarna, vilket förklarade det bristfälliga uteliggarrrensningen. Felet korrigerades och ytterligare 466 ytor rensades bort. Den sammanlagda rensningen uppgick till 12,5 % av ytorna. Avsikten var att endast utföra uteliggarrrensningen med den ordinarie metoden och då ta bort de 10 % som avvek mest, men eftersom den ovan nämnda korrigeringen endast förändrade resultatet ytterst lite, valde vi att behålla det erhållna resultatet. Den ytterst lilla förändring som den förändrade uteliggarrrensningen innebar tror vi beror på att det sökta resultatet är en differens.

Det regionsuppdelade resultatet ger en bild av att landskapsbilden påverkar resultatet, mer variation i skogsstrukturen och skogstyp, i de södra delarna av landet medför att koordinaten för provytan har större betydelse.

Den viktigaste slutsatsen är att de förbättrade koordinaterna har förbättrat skattningarna i de flesta fall, om än ytterst lite. Är detta resultat vad man kan förvänta sig? Vi får då vända vår uppmärksamhet till frågeställningens kärna, nämligen förbättringen av provytans centrumkoordinat. Förbättringen av skattningarna är direkt beroende av hur stor förbättringen av koordinatangivelsen är. Noggrannheten hos en GPS är normalt 5-10 meter och för en DGPS är noggrannheten normalt 1-2 meter (Harrie & Eklundh, 2008). Vid inmätningen av koordinaten har GPS-enheten loggat positionen under en relativt lång tid, vilket medför att noggrannheten förbättras. Man kan därför anta att provytornas positionsnoggrannhet i de flesta fall är i den nedre delen av intervallet.

Gobakken och Naesset (Gobakken & Næsset, 2009) kom fram till att positioneringsfel mindre än 5 m har ytterst liten inverkan på skattningsresultatet. Störst inverkan fann de i medelålders skog och för små provytor. Vår studie består till största delen av provytor med en radie på 10 m, vilket anses vara en stor provyta i ovan nämnd studie. De fann också att skattningar av variablerna volym och grundyta påverkades mest av positioneringsfelen, vilket även denna studie påvisar. Resultatet vi fick i studien kan anses förväntat.

Referenser

- Anon (2013). Laserdata, luftburen insamling. *HMK - handbok i mät- och kartfrågor*.
- Bro, R., Kjeldahl, K., Smilde, A. & Kiers, H. (2008). Cross-validation of component models: A critical look at current methods. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 390(5), ss. 1241-1251.
- Frazer, G., Magnussen, S., Wulder, M. & Niemann, K. (2011). Simulated impact of sample plot size and co-registration error on the accuracy and uncertainty of LiDAR-derived estimates of forest stand biomass. *Remote Sensing of Environment*, 115(2), ss. 636-649.
- Gobakken, T. & Næsset, E. (2009). Assessing effects of positioning errors and sample plot size on biophysical stand properties derived from airborne laser scanner data. *Canadian journal of forest research*, 39(5), ss. 1036-1052.
- Granqvist Pahlén, T., Nilsson, M., Egberth, M., Hagner, O. & Olsson, H. (2004). Aktuella kartdata över skogsmarken.
- Harrie, L. & Eklundh, L. (2008). Introduktion till geografisk informationsbehandling. *Geografisk informationsbehandling: teori, metoder och tillämpningar*, s. 100.
- Landsbyggsdepartementet (2013). Regleringsbrev för budgetåret 2013 avseende Skogsstyrelsen.
- Lantmäteriet (2012). *Ny Nationell Höjdmodell, Infoblad Nr 13*.
http://www.lantmateriet.se/Global/Kartor%20och%20geografisk%20information/H%C3%B6jddata/Nyhetsbrev/2012/Ny_nationell_hojdmodell_info_blad-13%5B1%5D.pdf [140410].
- Lantmäteriet *Fakta om laserskanning*. <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/Hojddata/Fakta-om-laserskanning/> [140402].
- Lantmäteriet (2014b). Produktbeskrivning: Laserdata. *Dokumentversion 1.7 2014-01-01*.
- Lee, J. & Kaltsikes, P. (1973). The application of Mahalanobis's generalized distance to measure genetic divergence in durum wheat. *Euphytica*, 22(1), ss. 124-131.
- Lim, K., Treitz, P., Wulder, M., St-Onge, B. & Flood, M. (2003). LiDAR remote sensing of forest structure. *Progress in Physical Geography*, 27(1), ss. 88-106.
- 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.
- Naesset, E. (2004). Practical large-scale forest stand inventory using a small-footprint airborne scanning laser. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19(2), ss. 164-179.
- Naesset, E. & Jonmeister, T. (2002). Assessing point accuracy of DGPS under forest canopy before data acquisition, in the field and after postprocessing. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17(4), ss. 351-358.

Rymdstyrelsen (20110215). *Skogskartering med satellitdata och LIDAR*.
<http://www.snsb.se/sv/Mediebank/Fjarranalysanvandare/Projektkatalog/Anvandar delen-2011/Skogskartering-med-satellitdata-och-LIDAR/> [140402].

Sigrist, P., Coppin, P. & Hermy, M. (1999). Impact of forest canopy on quality and accuracy of GPS measurements. *International Journal of Remote Sensing*, 20(18), ss. 3595-3610.

SLU *SLU skogskarta*. www.skogskarta.slu.se [140409].

SLU (2013). Riksinventering av skog, Institutionen för skoglig resurshushållning

Tomppo, E., Gschwantner, M., Lawrence, M. & McRoberts, R.E. (2010). National Forest Inventories. *Pathways for Common Reporting*. *European Science Foundation*, ss. 541-553.