

Reliabilitet i mätning av trädhöjd
En jämförelse mellan fjärranalysmetoder samt mätning i fält

Reliability of tree height measurement
A comparison of remote sensing methods and field measurement

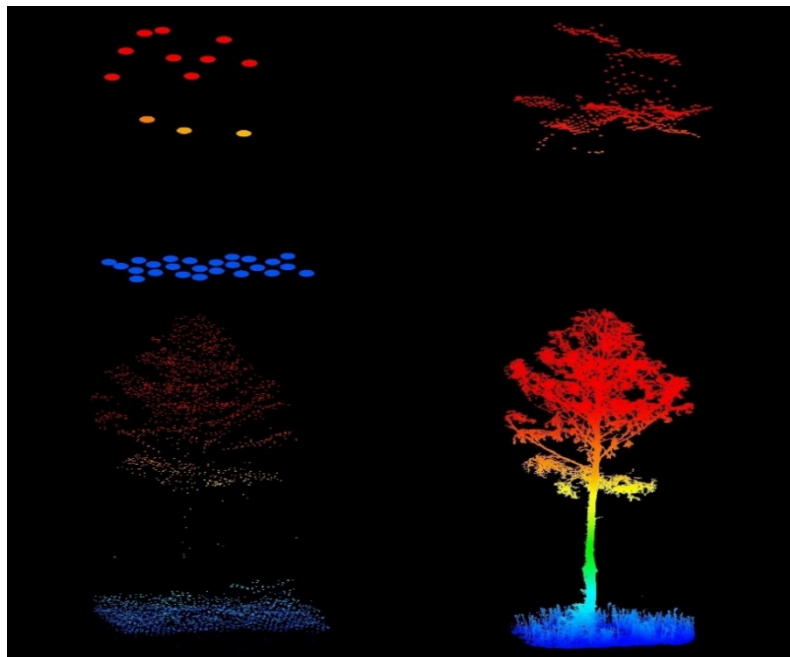


Foto: Robert Holmgren

Robert Holmgren



Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap,
Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet/Unit	Institutionen för skogens ekologi och skötsel Department of Forest Ecology and Management
Författare/Author	Robert Holmgren
Titel, Sv	Reliabilitet i mätning av trädhöjd: En jämförelse mellan fjärranalysmetoder samt mätning i fält
Titel, Eng	Reliability of tree height measurement: A comparison of remote sensing methods and field measurement
Nyckelord/ Keywords	<i>Fjärranalys, ALS, TLS, fotogrammetri / Remote sensing, photogrammetry, ALS, TLS</i>
Handledare/Supervisor	Mattias Nyström Institutionen för skoglig resurshushållning; avdelningen för skoglig fjärranalys / Department of Forest Resource Management; Division of Forest Remote Sensing
Examinator/Examiner	Tommy Mörling Institutionen för skogens ekologi och skötsel/ Department of Forest Ecology and Management
Kurstitel/Course	Kandidatarbete i skogsvetenskap Bachelor Degree in Forest Science
Kurskod	EX0911
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet/	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2019
Serie	Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

FÖRORD

Detta arbete är resultatet av kursen Självständigt kandidatarbete i skogsvetenskap 15 hp, skrivet i Umeå våren 2019. Jag vill tacka min handledare Mattias Nyström för hjälp med såväl program som bollande av idéer om de problem som dykt upp, Jonas Bohlin för hjälp med rapportskrivandet samt Ljungbergsfonden som finansierat det datorlabb som finns tillgängligt för oss studenter.

SAMMANFATTNING

Syftet med arbetet var undersöka mätnoggrannhet för olika metoder av höjdmätning av enskilda träd. Idag används och anses fältmätt höjd som den mest ackurata vid skoglig taxering, men med ny teknik kan andra metoder användas. Denna studie undersöker reliabilitet med TLS som referens fältmätt höjd med Vertex IV, tät laserskanning, gles laserskanning och fotogrammetri. Resultaten indikerar att mätning med tät laserskanning är mest ackurat, (RMSE=0,496 m; medelbias=-0,12 m; $\beta=0,960$). Gles laserskanning presterar något sämre, (RMSE=0,908 m; medelbias=-1.18 m; $\beta=0,920$). Fotogrammetri anses likvärdig Vertex IV (RMSE=0,852 m; medelbias=-1.35 m; $\beta=0,933$). Vertex IV är den sämre av de metoder som undersökts, (RMSE=0,994 m; medelbias=0,14 m; $\beta=0,911$). Att använda sig av täta laserskanningar kan vara dyrt och tidskrävande vilket gör fotogrammetri till en attraktiv metod som erbjuder aktuella data. Enligt resultaten blir mätningarna minst lika bra som fältmätt höjd och tekniker för att segmentera och extrahera data för enskilda träd finns. Vid fältinventeringar är det framförallt klavning av träd som utförs men mätning av höjd på ett fåtal provträd ingår också. Med någon av de metoder som tas upp i detta arbete kan tid sparas då man inte behöver mäta höjden i fält samt att man får fler träd att använda sig av i beräkningar. För detta arbete användes homogena provytor med trädhöjder över 15 m. Man bör göra liknande studier i flera olika typer av skog för att säkerställa att resonemanget håller i skogar med andra egenskaper än de som ingår i studien.

Nyckelord:

ALS, TLS, fotogrammetri, laserskanning, fjärranalys

SUMMARY

The purpose of this study was to investigate the reliability of different methods of measuring height of individual trees. Today field measurements is used and regarded as the most accurate method when assessing forests. Advances in technology offers new methods of measuring tree height, and therefore we should reevaluate current standards and ways to assess forests. The study investigates field measurement with Vertex IV, dense laserscanning, sparse laserscanning and photogrammetry to assess height of individual trees. The results shows that a dense laserscanning is the most accurate method, (RMSE=0,496 m; mean bias=-0.12 m; β -koefficient=0,960). Sparse laserscanning has is slightly less accurate, (RMSE=0,908 m; mean bias=-1.18 m; β -koefficient=0,920). Photogrammetry is considered equal to Vertex IV (RMSE=0,852 m; mean bias=-1.35 m; β -koefficient=0,933). Vertex IV is the least accurate method examined (RMSE=0,994 m; mean bias=0.14 m; β -koefficient=0,911). Dense laserscanning could prove to be expensive, therefore photogrammetry is an attractive alternative that allows the use of up to date data. According to the results this method is at least as accurate as field measurements, and technics for segmentation and extracting data from individual trees already exists. In fieldwork diameter is the most interesting variable, however some trees are used to measure height. Using any of the remote sensing methods of this study could save time when this is not a necessity in fieldwork, and assessment of variables where tree height is involved could get better as more trees are measured.

Keywords: TLS, Laserscanning, Photogrammetry

INLEDNING

Bakgrund

Utgångspunkten vid skoglig planering är det aktuella skogstillståndet. Detta används för att skatta skogliga variabler vilka sedan ligger till grund för de beslut och åtgärder som krävs för att nå sin målbild, oavsett om målet är maximerat virkesuttag eller höga naturvärden. Trädens höjd är viktig då den är ett stöd i skattningar av variabler utifrån diameter. Inom skogsbruket har flera metoder för höjdskattningar använts, allt ifrån så enkelt som syftning med en pinne till mer avancerade lösningar med hjälp av laser.

Traditionellt mäts trädens höjd i fält med en så kallad höjdmätare, men med ny teknik har nya sensorer och plattformar tagits fram för att effektivisera och förbättra metoder för höjdmätningar. Light detection and ranging, LiDAR, mäter tiden mellan sändningen av en ljuspuls och dess retur från marken eller vegetationen vilket sedan räknas om till avstånd, ofta kallat laserskanning. För varje retur registreras x, y, z koordinater, där z är höjden för den enskilda punkten. Alla punkter bildar ett punktmoln som kan senare visualiseras med lämplig programvara. LiDAR används huvudsakligen från flygplan där lasern sveps över marken men kan även monteras på andra plattformar tex helikopter och drönare, då kallat airborne laser scanning (ALS). Teknologin kan även användas från marken och benämns terrestrial laser scanning (TLS). TLS ger data av väldigt hög kvalitet med högt antal mätpunkter per kvadratmeter (Ågren et al. 2017).

Höjd kan även mätas med hjälp av fotogrammetri. Genom att titta på bilder i stereo erhålls en tredimensionell modell av terrängen, denna kan även visualiseras som punktmoln i lämpligt datorprogram. Oftast använder man sig av speciella bildskärmar som skickar ut polariserat ljus och operatören har speciella glasögon med olika polariserande filter för varje öga. Dock finns det automatiserade tekniker som utför detta. (Ågren et al. 2017).

Lantmäteriet ansvarar för ett antal datainsamlingar med hjälp av dessa metoder. År 2009 påbörjades en laserskanning med hjälp av ALS. Målet var att ta fram en ny nationell höjdmoln (DTM), utöver denna kunde data över marknivån användas för skattningar av skogliga grunddata. Tekniken som användes medgav en upplösning på 0.5 – 1 utsända pulser per kvadratmeter. Idag har en ny skanning påbörjats med en något högre upplösning, 1 - 2 pulser per kvadratmeter jämfört med den tidigare skanningen (Lantmäteriet 2019a). De utför även de så kallade omdrevsfotograferingarna. Sveriges yta fotograferas i genomsnitt vart tredje år, intervallet varierar dock mellan olika delar av landet (Lantmäteriet 2019b). Vissa av dessa data är fria att ladda ner för användning, vilket gör dem till viktiga hjälpmedel i den skogliga planeringen.

Fördelen med fotogrammetri som metod är tillgången till aktuella data och kostnadseffektivitet. Omdrevsfotograferingarna ger tillgång till relativt nytagna flygbilder. Med likartad precision som ALS kan data extraheras till en bråkdel av kostnaden (Bohlin et al. 2012). Det kan vara svårt att mäta höjden på enskilda träd då det är svårt att hitta marknivån intill och i regel används lantmäteriets DTM för normalisering, det vill säga lägga

in en marknivå så resterande punkter får en höjd över marken istället för över havet. Upplösningen på bilderna är också väldigt viktiga då en låg upplösning gör det svårt att urskilja individuella trädtoppar. Då ALS även ger punkter i marknivå i täta bestånd undviker man de svårigheter som höjdmätning med fotogrammetri ger, särskilt med den påbörjade tätare skanningen, Laserdata skog (Lantmäteriet 2019a). Tillgången till aktuella data är dock sämre då dessa laserskanningar genomförs mer sällan med en planerad omdrevstid om åtta år.

Användandet av fjärranalys motiveras av flertalet anledningar, kostnadseffektivitet, datakvalité och objektiv analys är några viktiga punkter. En arbetsrapport visar att prestationen hos planläggare kan öka med 50 – 60 %, detta med hjälp av laserdata och flygfoton (Sonesson, Hofsten 2012). Att fortsätta denna utveckling ligger i allas intressen då tid och pengar kan sparas.

Syfte

För enskilda träd anses höjdmätningar i fält utförda med höjdmätare vara närmast sanningen och används till att förbättra skattningar av skogliga variabler grundat på diameter. Denna studie jämför data insamlat med olika fjärranalysmetoder som på sikt skulle kunna ersätta den traditionella höjdmätningen. Fördelen med fjärranalysdata är att den kan samlas in över stora områden på relativt kort tid och ge höjdmätningar på varje enskilt träd. Detta skulle både spara tid i fält då höjdmätningar inte behöver genomföras samt att skattningarna av de skogliga variablerna förbättras när trädhöjd finns för varje träd.

Att med TLS som referens undersöka följande metoders reliabilitet för höjdmätningar av enskilda träd: (1) Höjd mätt med Vertex höjdmätare (Vertex); (2) tät laserskanning (ALS_{tät}); (3) gles laserskanning (ALS_{gles}) samt (4) fotogrammetri.

MATERIAL OCH METODER

Studieområde

Datainsamlingen gjordes på en skogsfastighet vid Remningstorp i sydvästra Sverige (lat. 58° 28' N; long. 13° 37' E). Fastigheten på 1200 ha täcks av semi-boreal produktionsskog som domineras av Gran (*Picea abies* L), Tall (*Pinus sylvestris* L) samt björk (*Betula* spp L). De 7 Provytorna med radien 40 m är utvalda för att ge så homogena bestånd som möjligt. Varje provyta domineras starkt av ett trädslag och är enskiktat med relativt små höjdskillnader mellan olika träd.

Referensdata

Marklaserskanningen är utförd med en Trimble TX8 laserskanner (Trimble TX8). Instrumentet gör 1 miljon 3D-skanningar i sekunden och gav därmed väldigt högupplösta data (tabell 1), 3mm mellan punkterna vid avståndet 10 m. Varje provyta delades upp i 16 delprovytor som laserskannades var för sig. Dessa kopplades sedan ihop med en noggrannhet på 2–4 mm fel genom att vita sfärer placerades ut på nästkommande delprovytecentrum. På detta sätt kunde skanningarna positioneras relativt varandra. Trädens position bestämdes med hjälp av ultraljudsmätning från POSTEX-systemet (Postex® Laser) som ger koordinater för träden relativt provytecentrum. GPS användes för att i ett första steg bestämma koordinater för provytecentrum, därefter matchades TLS data med ALS data för att ytterligare förbättra positioneringen. Efter matchningen kan man nu visa data från TLS med samma koordinatsystem som ALS. Detta dataset är ej normaliserat för att fungera som referens.



Figur 1: Punktmoln från TLS-data
©rslab.se

Fältdata

Höjdmätning med Vertex IV (Vertex IV) utfördes under hösten 2014 enligt årets gällande instruktioner från riksskogstaxeringen (SLU 2019).

Fjärranalys

En tät laserskanning utförd på uppdrag av SLU med helikopter 2014-09-14 (ALS_{tät}), medan träden ej ännu släppt sina löv. Skannern som användes var en Riegl LMS Q680i, denna skanner sänder ut 400 000 pulser per sekund. Den glesa laserskanningen utfördes av

Lantmäteriet 2011-04-21 (ALS_{gles}) utan löv. Uppgifter om vilket instrument som användes har ej kunnat hittas. För all data inhämtad med ALS har överlappningar tagits bort, isolerade punkter och grupper av punkter i luften filtrerats bort samt klassificerats. Datat är normaliserat, mätpunkternas höjd baseras på dess höjd över markklassade punkter. Flygbilderna är tagna av Lantmäteriet 2014 med kameran Leica RCD 30. Flygningen utfördes så överlappning av bilderna uppgick till minst 60 % i flygriktningen och 30 % tvärs flygriktningen. Data inhämtat med fotogrammetri är normaliserat med hjälp av punktmolnet från ALS_{gles}.

Tabell 1: Medeltal av metodernas punktdensitet
 Table 1: Average point density of different methods

Metod	Radie (meter)	Antal pulser per m ²	Punkter per m ²
ALS _{tät}	40	32,4	66,5
ALS _{gles}	40	0,78	1,1
Fotogrammetri	40		29,9
TLS	40		2925567

Metod

Först gjordes en besiktning av de .las filer som användes, totala antalet punkter samt första returerna noterades. Med denna information beräknades sedan medelvärden för totalt antal punkter, antal pulser per kvadratmeter och antal punkter per kvadratmeter. Databehandlingen för alla mätmetoder och provytor förutom TLS gjordes enligt samma schema. Punktmoln från provytan öppnades i ett program utformat för redigering och visualisering av 3D punktmoln (Quick Terrain Modeler), därefter importerades markörer för enskilda träd baserat på dess koordinater. För att förhindra mätfel klipptes provträden manuellt ut med hjälp av programmets klippningsverktyg. Den punkt som antogs representera provträdets toppskott markerades och undersöktes med hjälp av programmets informationsverktyg, z-värdet för punkten avlästes och tabellfördes (Excel). Metoden upprepades för alla dataset så samtliga provträd erhölet z-värden för varje mätmetod, exkluderat TLS. För TLS 2014 klipptes provträden ut med hjälp av datorprogram (LAStools), runt dess koordinater klipptes en cirkelyta med 3 meters radie till en egen fil. Detta för att minska datamängden och därmed laddningstider. Då dessa filer ej var normaliserade, z-värdet motsvarar höjd över havet istället för över marken måste två mätningar göras, vid både topp och rot. Toppskottet undersöktes enligt tidigare nämnd metod, höjden vid trädets gröningspunkt undersöktes genom att hitta den punkt som motsvarar denna. Genom att subtrahera höjden för gröningspunkten från dess höjd erhölet trädets verkliga höjd.

Statistisk analys

För att möjliggöra jämförelser mellan den glesa laserskanningen från 2011 (ALS_{gles}) med TLS, behövde TLS 2014 räknas tillbaka till 2011. Detta gjordes genom att mäta varje provträds höjd vid två tillfällen, med hjälp av ytterligare en tät laserskanning som samlats in av SLU den 2010-08-29 samt ALS_{tät} som samlades in 2014-09-14. Skillnaden mellan dessa mätningar dividerades med antal växtsäsonger mellan skanningarna, 4 stycken, och på så vis

kunde en genomsnittlig årlig tillväxt för varje enskilt träd räknas ut. Denna tillväxt subtraherades med en faktor av växtsäsonger från aktuella träd i referensen, TLS 2014. Med ovanstående behandling erhöles ett nytt dataset skannat med TLS jämförbart med den glesa laserskanningen utförd 2011-04-21. Outliers (0.5% av materialet) undersöktes och togs bort i de fall en uppenbar förklaring till de stora residualerna kunde hittas, felinmatning, undertryckta mindre träd, ej hela träd på provytan.

För att hitta eventuella skillnader och dess storlek jämfördes data från respektive mätningssmetod i ett statistikprogram (Minitab), med TLS som referensdata, gold standard (Versi 1992). Aktuella variabler är kontinuerliga och efter visuell inspektion av histogram approximativt normalfördelade. För att undersöka reliabilitet samt överensstämmelse mellan de olika höjdmätningssmetoderna och gold standard, jämfördes först data med hjälp av enkel linjär regression. Därefter analyseras data inhämtade med respektive metod genom Bland-Altman (Bland, Altman 1986). Root mean square error (RMSE) räknades ut för att kunna jämföra resultaten med äldre och framtida studier som behandlar samma ämne. Metoderna jämfördes med TLS som referens enligt fyra modeller, (1) TLS mot Vertex; (2) TLS mot ALS_{tät}; (3) TLS mot ALS_{gles} och (4) TLS mot fotogrammetri.

RESULTAT

Samtliga modeller var statistiskt signifikanta ($p < 0,001$). Betakoefficienten är viktig då den beskriver lutningen av regressionslinjen, hur mycket ökar y om x ökar med 1. I detta fall ska denna siffra vara så nära 1 som möjligt för att på bästa sätt överensstämja med referensen. ALS_{tät} ligger närmast 1 och därefter fotogrammetri. Vertex och ALS_{gles} ger liknande siffror. RMSE är ett mått på den genomsnittliga absoluta residualen, ett lågt värde är att föredra då det indikerar att regressionslinjen står nära våra referensvärden, små residualer. Lågst RMSE ges av ALS_{tät} och därefter fotogrammetri, Vertex och ALS_{gles} ger liknande värden (Tabell 2).

Tabell 2: Prediktion av trädhöjder (n=159) i meter enligt TLS med 4 olika metoder för mätning av trädhöjd (modell 1-4)

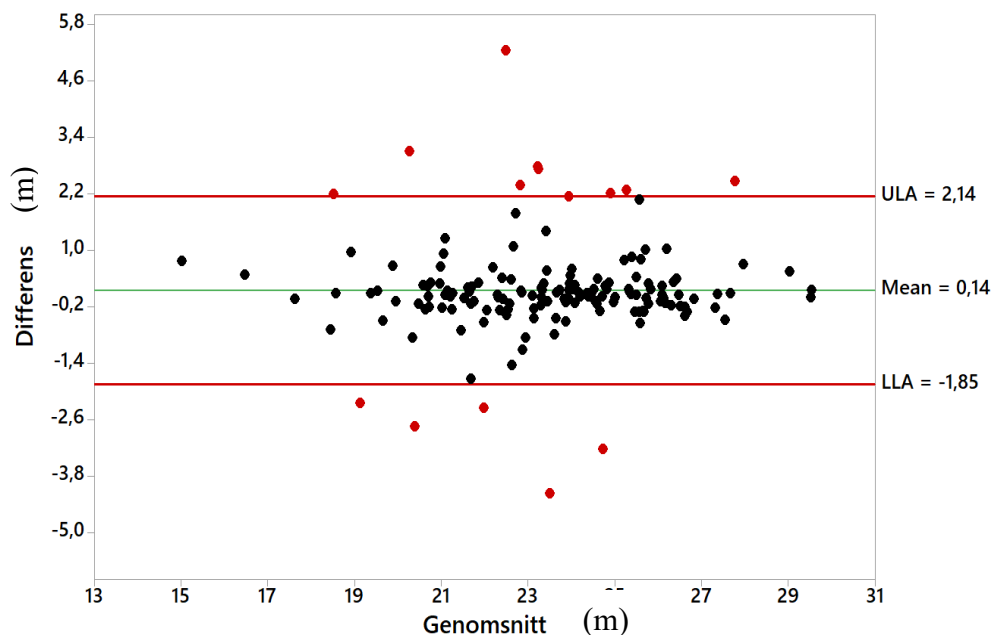
Table 2: Prediction of tree height (n=159) in meters according to TLS with 4 different methods of measuring tree height (model 1-4)

	β^b	p	F	df	p	AR ^{2c}	RMSE (m)
Modell 1							
Fullständig modell			883,72	157	<,001	85%	0,994
Vertex höjdmätning (meter)	0,911	<0,001					
Modell 2							
Fullständig modell			4013,0	157	<,001	96%	0,496
ALS _{tät} (meter)	0,960	<0,001					
Modell 3^a							
Fullständig modell			927,40	157	<,001	85%	0,908
ALS _{gles} (meter)	0,920	<0,001					
Modell 4							
Fullständig modell			1258,9	157	<,001	89%	0,852
Fotogrammetri (meter)	0,933	<0,001					

^a I modell 3 användes en tillbakaräknad höjd för TLS, ^b Ostandardiserad betakoefficient via enkel linjär regression, ^c Justerad förklaringsgrad

TLS=Terrestrial laser scanning, ALS=airborne laser scanning, RMSE=Root mean standard error, df=degrees of freedom

Analyserna gjorda med Bland-Altman bekräftar föregående resultat, en tät flygburen laserskanning ger minst bias och konfidensintervall och därmed bäst överensstämmelse med referensen (Figur 3, tabell 3). Modell 1 ger ett storleksmässigt liknande bias, dock är konfidensintervallet betydligt större vilket indikerar en sämre reliabilitet. (Figur 2, tabell 3). Modell 3 visar stort bias men något mindre konfidensintervall än modell 1 (Figur 4, tabell 3). Modell 4 ger störst bias men mindre konfidensintervall än modell 1 (Figur 5, tabell 3) och kan på så sätt ses som jämförbar med gles laserskanning.

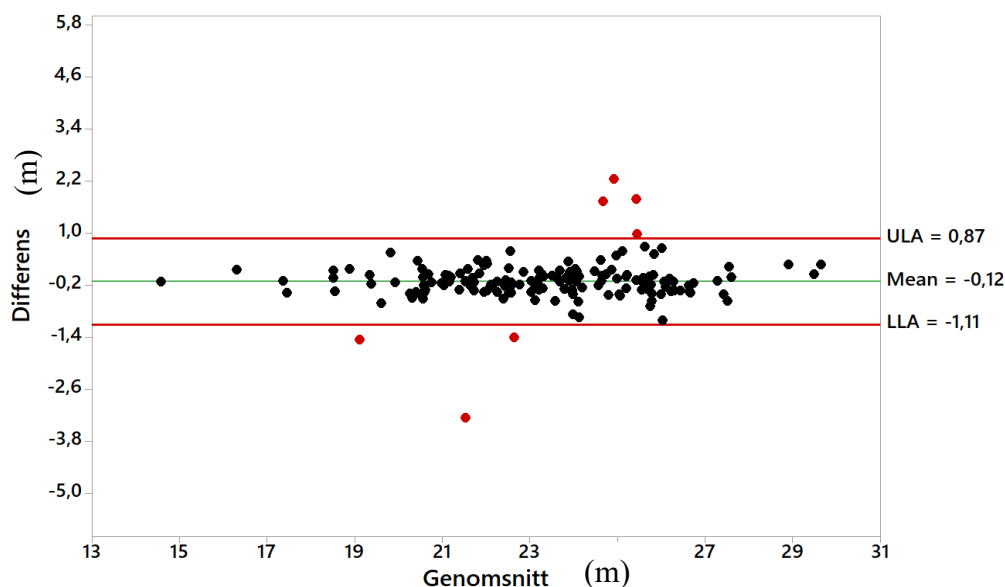


Figur 2: Bland-Altman diagram, TLS mot Vertex höjdmätning. Skillnad mellan mätningar på y-axel, medelvärde av samma mätning på x-axel, röda linjer motsvarar 95 % CI

Figure 2: Bland-Altman plot, TLS vs Vertex measuring. Difference between measurements on y-axis, average of measurements on x-axis, red lines corresponds to a 95 % CI

TLS=Terrestrial laser scanning, CI=konfidensintervall

ULA=Upper Limit of Agreement, LLA=Lower Limit of Agreement

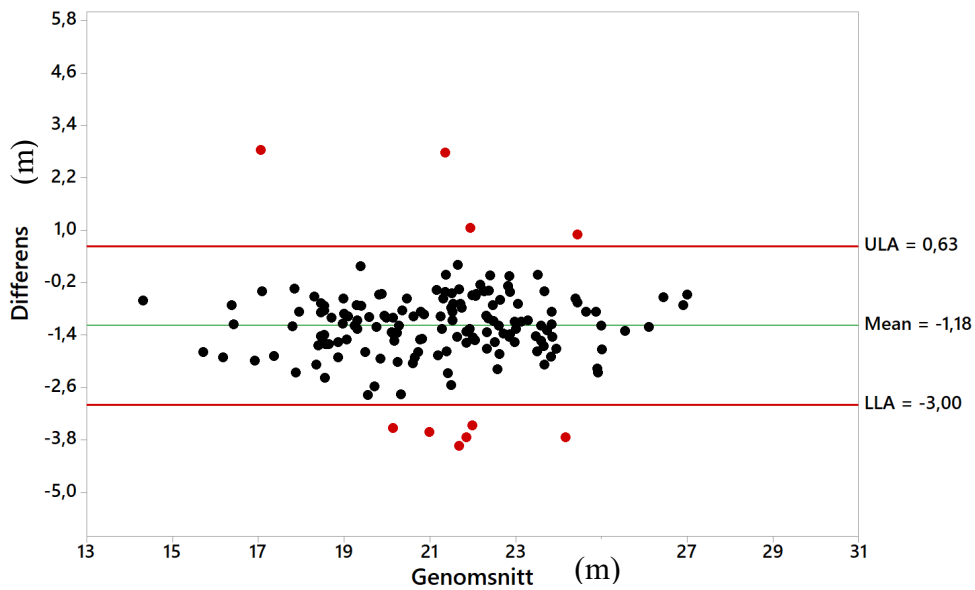


Figur 3: Bland-Altman diagram, TLS mot ALS_{tät}. Skillnad mellan mätningar på y-axel, medelvärde av samma mätning på x-axel, röda linjer motsvarar 95 % CI

Figure 3: Bland-Altman plot, TLS vs ALS_{dense}. Difference between measurements on y-axis, average of measurements on x-axis, red lines corresponds to a 95 % CI

TLS=Terrestrial laser scanning, ALS=Airborne laser scanning, CI=konfidensintervall

ULA=Upper Limit of Agreement, LLA=Lower Limit of Agreement

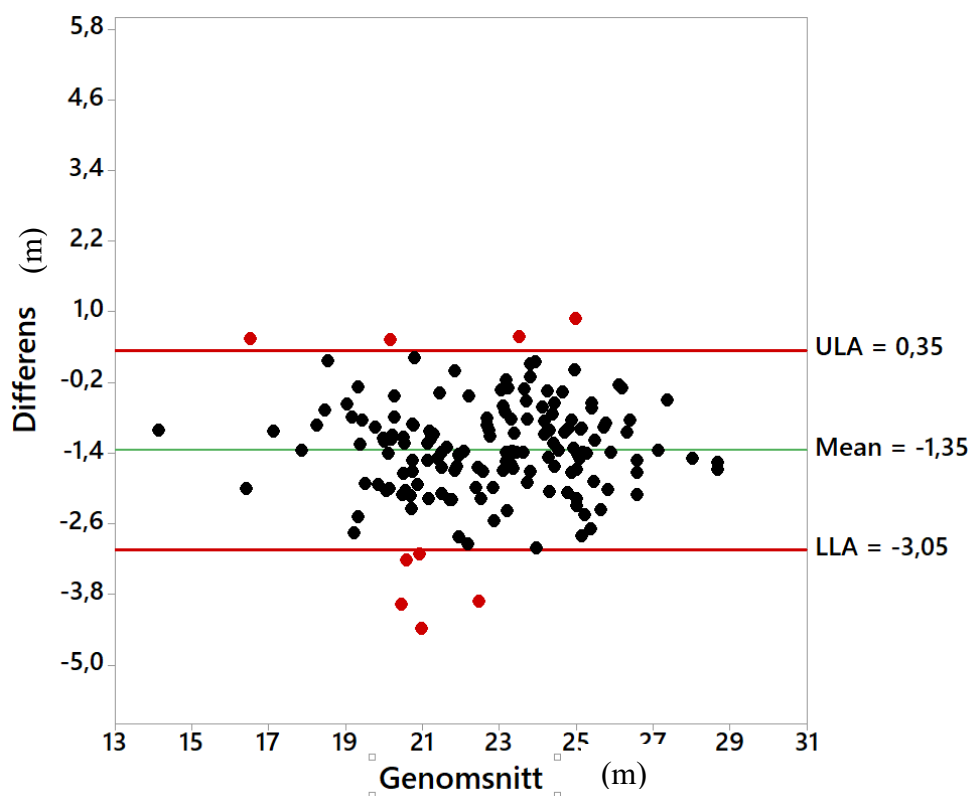


Figur 4: Bland-Altman diagram, Tillbakaräknad TLS mot ALS_{gles}. Skillnad mellan mätningar på y-axel, medelvärde av samma mätning på x-axel, röda linjer motsvarar 95 % CI

Figure 4: Bland-Altman plot, TLS vs ALS_{sparse}. Difference between measurements on y-axis, average of measurements on x-axis, red lines corresponds to a 95 % CI

TLS=Terrestrial laser scanning, ALS=Airborne laser scanning, CI=konfidensintervall

ULA=Upper Limit of Agreement, LLA=Lower Limit of Agreement



Figur 5: Bland-Altman diagram, TLS mot Fotogrammetri. Skillnad mellan mätningar på y-axel, medelvärde av samma mätning på x-axel

Figure 5: Bland-Altman plot, TLS vs photogrammetry. Difference between measurements on y-axis, average of measurements on x-axis

TLS=Terrestrial laser scanning, CI=konfidensintervall

ULA=Upper Limit of Agreement, LLA=Lower Limit of Agreement

Tabell 3: Mätningar av trädhöjder (i meter) undersökta med Bland-Altman enligt TLS med 4 olika metoder för mätning av trädhöjd (modell 1-4)

Table 3: Tree height measurements (in meters) studied with Bland-Altman plots according to TLS with 4 different methods of measuring tree height (modell 1-4)

	n	Bias medelvärde (m)	Bias Sd (m)	LLA 95% CI (m)	ULA 95% CI (m)
Modell 1: Vertex mot TLS	159	0,14	1,02	-1,85	2,14
Modell 2: ALS _{tät} mot TLS	159	-0,12	0,51	-1,11	0,87
Modell 3: ALS _{gles} mot TLS ^a	159	-1,18	0,93	-3,0	0,63
Modell 4: Fotogrammetri mot TLS	159	-1,35	0,87	-3,05	0,35

^aI modell 3 användes en tillbakaräknad TLS

TLS=Terrestrial laser scanning, ALS=airborne laser scanning, ULA=Upper Limit of Agreement, LLA=Lower Limit of Agreement, sd=standardavvikelse, CI=konfidensintervall

DISKUSSION

Syftet med studien var att undersöka reliabilitet hos olika metoder för mätning av trädhöjd. Resultaten indikerar att av de undersökta metoderna ger en tät flygburen laserskanning den bästa skattningen av det enskilda trädet. Av de metoder som studien tar upp är fältmätt höjd den metod som visar störst RMSE samt standardavvikelse från medelvärdet av bias. Slutsatsen blir att de fjärranalysmetoder som undersökts är åtminstone lika bra som en traditionell höjdmätning (tabell 2, tabell 3). Metoder för att segmentera och extrahera höjd från fjärranalysdata finns (Erikson 2004; Holmgren & Söderman 2005), med dessa kan höjd för i princip alla träd inom aktuellt bestånd kunna bestämmas i förväg och på så sätt förbättra skattningar av skogliga variabler och spara den tid det tar att mäta höjd i fält. Vilken som man använder sig av styrs av kostnader och tillgång på data. Täta laserskanningar är troligtvis för kostsamma för enskilda företag att finansiera och Lantmäteriets datainsamling blir med åren inaktuell. Fotogrammetri kan med fördel användas istället som ett kostnadseffektivt alternativ. Flygbilder kan användas för detta men i framtiden kan förmodligen även bilder tagna från drönare fungera. Fältmätt höjd med Vertex IV ger ett lågt medelvärde av bias baserat på 159 stycken provträd. Ett lågt medelvärde av bias indikerar hög reliabilitet, dock är standardavvikelsen av detta medelvärde relativt högt. Det kan alltså ses som lite vanskligt att använda sig av denna metod vid inventeringar då man inte väljer ut särskilt många provträd.

Tillbakaräkandet av TLS data medför en osäkerhet som är svår att hantera. Genom att istället räkna fram data från 2011 skulle studien möjligtvis bli bättre då osäkerheten ej hamnar hos vårt referensdata samt att alla metoder jämförs mot exakt samma referens. Med använd metod erhöles en negativ tillväxt för ett fåtal träd, detta hade kunnat avhjälpas med att bygga en regressionsmodell baserad på trädslag, diameter, kronans höjd och omkrets. Dessa variabler var dock inte tillgängliga.

RMSE och korrelation får ses som de allmänt vedertagna metoderna för jämförelser mellan fjärranalysmetoder, men kanske är de inte bästa måtten. Korrelationen mäter styrkan på sambandet mellan två variabler, nog vore det konstigt om inte olika höjdmätningmetoder var starkt korrelerade med varandra. Den tar ej heller hänsyn till bias, ena metoden kan systematiskt ge halva höjden men ändå ge en hög korrelationskoefficient om de har samma lutning (Bland, Altman 1986). RMSE ger en genomsnittlig bild av hur nära jämfört data ligger referensen, men kan inte visa vart bias finns. Tolkning av RMSE har även visat sig vara problematiskt för skogsanställda att förstå och omsätta i skoglig planering (Terja et al. 2011). Det är dock viktigt att endera är med för jämförelser med tidigare eller senare studier.

Alla provtytor bestod av enskiktad skog där trädhöjden var över 16 m. Man ska vara försiktig med att applicera ovanstående slutsatser på skog av annan karaktär. Flerskiktad skog och blandskog ger förmodligen inte samma resultat som återfinns i denna uppsats, och bör därför utvärderas innan slutsatser kan göras på den typen av skog. Det är dock positivt då vi med homogena bestånd eliminerat brus, ger renare data för våra analyser. I och med detta vet vi att de mätfel som kunde hittas inte beror på en jämn trädslagsfördelning eller flera skikt på skogens höjd.

Förmodligen finns det naturligt nog ett samband mellan RMSE, β -koefficient, bias och tätheten i punktmolnen. Denna punktdensitet beror på vilken utrustning och teknik som används, ett tätare punktmoln som tagits fram med ALS är förmodligen dyrare än det glesare. Därför bör detta samband undersökas vidare för att hitta den täthet som behövs för tillfredställande resultat, till en rimlig kostnad per punkt.

De nya tekniker som appliceras på skogsbruket anpassas ofta till de arbetssätt och modeller som redan är framtagna. Men man bör också våga omvärdera dessa för att söka nya möjligheter med den nya tekniken. Att istället anpassa arbetsmetoder och modeller utifrån de många nya innovationer som finns tillgängliga för skogsbruket.

REFERENSER

Bland JM., Altman DG. (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, vol. 327

Bohlin, J., Wallerman, J., Fransson, J.E.S., Olsson, H. (2012). Species-specific forest variable estimation using non-parametric modeling of multi-spectral photogrammetric point cloud data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXIX-B8, 2012XXII ISPRS

Erikson, M. (2004) *Segmentation and Classification of Individual Tree Crowns*. Diss Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.

Excel.

Haglöf (2019). *Postex® Laser*. Tillgänglig: <http://www.haglofsweden.com/index.php/se/products-2/instruments/height/439-postex-2> [2019-04-16]

Haglöf (2019). *Vertex IV*. Tillgänglig: <http://www.haglofsweden.com/index.php/se/products-2/instruments/height/440-vertex-iv-2> [2019-04-16]

Holmgren, J., Söderman, U. (2002). Detecting and Measuring Individual Trees Using an Airborne Laser Scanner. *Photogrammetric Engineering & remote sensing*, vol. 68

Lantmäteriet (2019a). *Laserdata Skog*. Tillgänglig: <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/geodataprodukter/laserdata-skog/> [2019-04-16]

Lantmäteriet (2019b) *Ytmodell från flygbilder*. Tillgänglig: <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/geodataprodukter/ytmodell-fran-flygbilder/> [2019-04-15]

Rapidlasso (2019) *LASTools* [Datorprogram] Tillgänglig: <https://rapidlasso.com/lastools/>

Minitab (2019) *Minitab* Ver. 18 [Datorprogram] Tillgänglig: <https://www.minitab.com/en-us/>

Applied Imagery *Quick Terrain Modeler* Ver. 8 [Datorprogram] Tillgänglig: <http://appliedimagery.com/download/>

Sonesson, J., Hofsten, H. (2012). *Effektivare faltarbete med nya datakällor för skogsbruksplanering*. Uppsala: Skogforsk (Skogforsk rapport 787-2013)

Sveriges lantbruksuniversitet (2019). *Fältinstruktioner*. Tillgänglig: <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/riksskogstaxeringen/om-riksskogstaxeringen1/om-inventeringen/faltinstruktioner/> [2019-04-17]

Terja, W., Risto, L., Jussi, P., Lauri, M., Annika, K. (2011). Analysing the Agreement Between an Airborne Laser Scanning Based Forest Inventory and a Control Inventory – a Case Study in the State Owned Forests in Finland. *Silva Fennica*, vol. 46(1)

Trimble (2019). *Trimble TX8*. Tillgänglig <https://www.trimble.com/3d-laser-scanning/tx8>

Versi, E. (1992). "Gold standard" is an appropriate term. *BMJ*, vol 305

Ågren, J. Eklundh, L. Olsson, H. Harrie, L. Klang, D. (2017). Insamling av geografiska data. I: Författarna och Studentlitteratur. *Geografisk Informationsbehandling*. Uppl 6. Lund: Författarna och Studentlitteratur, ss. 126