



# FAKTA SKOG



En gran och stammen av en tall avbildade med tredimensionella punktmoln från markbaserad laserskanning.

## Markbaserad laserskanning – ger stammars form och läge

Kenneth Olofsson, Johan Holmgren, Eva Lindberg, Mattias Nyström och Håkan Olsson

En laserskanner som placeras på ett stativ kan **avbilda den omgivande skogen** genom att mäta tredimensionella koordinater för cirka en miljon punkter per sekund.

Inom fjärranalysforskningen utvecklas datorprogram som **automatiskt kan beräkna trädens position och form** från det laser-skannade punktmolnet.

**Stamdiametrar kan mätas automatiskt** längs nästan hela stammarnas längd med en noggrannhet om 11 mm.

**S**tationär markbaserad laserskanning, även kallad terrester laserskanning (TLS), är en teknik för att göra tredimensionella (3D) mätningar av de objekt som omger en fast uppställd laserskanner. Skannern skickar ut en laserstråle och mäter riktningen, och med hjälp av tiden även avståndet, till den punkt varifrån laserstrålen returneras. Mekanik i skannern ser till så att riktningen ändras något för varje ny laserpuls som skjuts iväg. Resultatet blir ett punktmoln med 3D-koordinater för de punkter i skannerns

omgivning som den utsända laserstrålen har returnerats ifrån. Tekniken används bl.a. för mätning av byggnader.

Sedan introduktionen i mitten av 1990-talet har TLS-tekniken utvecklats mycket snabbt. Idag kan många system göra en miljon 3D-mätningar per sekund, med en mättnoggrannhet på några få millimeter. Samtidigt som systemens kapacitet har ökat har de även blivit mindre och billigare. Intresset för att använda TLS även för att mäta skog har därmed ökat. Vid TLS-mätning avbildas stammarna från



Figur 1. Mattias Nyström testar den markbaserade laserskannern från Trimble som används vid SLUs forskning och undervisning. Foto: Johan Holmgren.

sidan, från en position inne i beståndet (Figur 1). Inom fjärranalysforskningen utvecklas datorprogram som, från det tredimensionella punktmolnet, automatiskt kan hitta stammarnas position och mäta stammarnas 3D-form. Skogliga variabler som stamdiameter, grunddyta, stamvolym och trädhöjd kan därmed beräknas direkt från mätdata.

Vid mobil laserskanning (MLS) förflyttas skannern medan skanningen pågår. Skannern kan vara monterad på ett fordon, vilket är vanligt vid 3D-kartering av städer. MLS har också en stor potential för mätning av skog, och skannern kan då också vara personburen, t.ex. monterad på en ryggsäck. Den begränsade GPS-noggrannheten under krontak ställer dock höga krav på de kompletterande system som behövs för att positionera skannersystemet. De system som används vid mobil skanning brukar också ha en något lägre mätnoggrannhet än de system som används vid stationär skanning.

### Mäta stamprofiler i TLS-data

Utdata från TLS-mätinstrument innehåller endast positioner och intensiteter/färger i 3D-rymden. Bearbetning av denna typ av punktmolnsdata för att automatiskt känna igen och mäta objekt är ett forskningsfält som är nära besläktat med bildanalys. Den komplexa miljön i skogen, med grenar, buskar och en varierande terräng, gör att det är en utmaning att automatiskt extrahera skogliga data från TLS-data. Vanligtvis används tekniker som först hittar de enskilda träderna och därefter mäter trädens geometrier. Om exempelvis en cylinder anpassas till de datapunkter som träffar stammarnas nedre del kan brösthöjdsdiameter och grunddyta beräknas. Om ett flertal cylindrar är anpassade längs trädets stam kan en stamprofil beräknas. Mängden träffar i gren- och bladverk kan användas till att skatta biomassa för dessa.

Olika algoritmer är olika förfinade, från enkla modeller av stamdiameter till avancerade modeller där nästan varje kvist finns

representerad. Det finns dock fyra delsteg som brukar finnas representerade i de flesta algoritmer:

1. extrahera en digital markmodell,
2. avgränsa datapunkterna för varje enskilt träd i den undersökta provytan,
3. klassificera datapunkterna för varje träd i olika kategorier såsom stam, grenar och blad/barr,
4. modellera de detekterade träderna genom att använda punkterna för de olika klasserna.

Ett sätt att klassificera och avgränsa stammar, kvistar och barr/löv är att datorprogrammet först undersöker hur punkterna inom små områden i punktmolnet förhåller sig till varandra. De kan t.ex. bilda sfäriska, platta eller linjära former. Platta områden i TLS-data kan antas vara delar av en trädstam eller en grov gren, medan linjära delar förmodligen är små kvistar. Genom att koppla ihop många platta delar till ytor går det att hitta punkter som tillhör trädstammar. När väl de mätpunkter som ligger på stammen är filtrerade går det att modellera stammen exempelvis med cylindrar (Figur 2).

Vid en undersökning utförd vid SLU's fjärranalysavdelning lokaliserades automatiskt i genomsnitt 87 % av alla stammar inom 10 m från enskilda skanneruppställningar (Olofsson et al. 2014). I en annan studie visades att stamdiametrarna längs nästan hela stammarna kan mätas automatiskt med ett kvadratisk medelvärde av felen (RMSE) om 11 mm jämfört med korsklavning (Figur 3, Olofsson & Holmgren 2016). Detta visar att punktmoln från terrester laserskanning kan ge mätresultat som är tillräckliga för operationell användning i skogsbruket. I tillägg så kan data som hittills inte brukat mätas med traditionella fältmetoder erhållas, t.ex. hela stammens 3D-form. Vi har även visat att trädbiomassan inklusive grenar och löv kan skattas med TLS-data, men inom detta område finns möjlighet till ytterligare utveckling. Den vidare utvecklingen innefattar också studier för att använda detekterade grenar som indikator för virkeskvalitet och trädslag

Vid markbaserad laserskanning, även kallad terrester laserskanning, används en laserskanner som är monterad på ett stativ som inte flyttas under skanningen. När skannern registrerar den omgivande skogen genererar den ca en miljon 3D-koordinater per sekund. En aktuell forskningsuppgift är att automatiskt

beräkna trädens position och form från dessa 3D-punktmoln. Med hjälp av referenspunkter i skogen kan punktmolnen från skanningar från olika positioner sättas samman. Denna metod (*multi-scan*) ger noggrannare resultat, men är mera tidskrävande än användning av enskilda uppställningar (*single-scan*).

Vid mobil laserskanning bärs skannern av en person eller ett fordon medan skogen registreras. På detta sätt kan större områden täckas, men mätnoggrannheten blir något sämre än vid stationär uppställning.

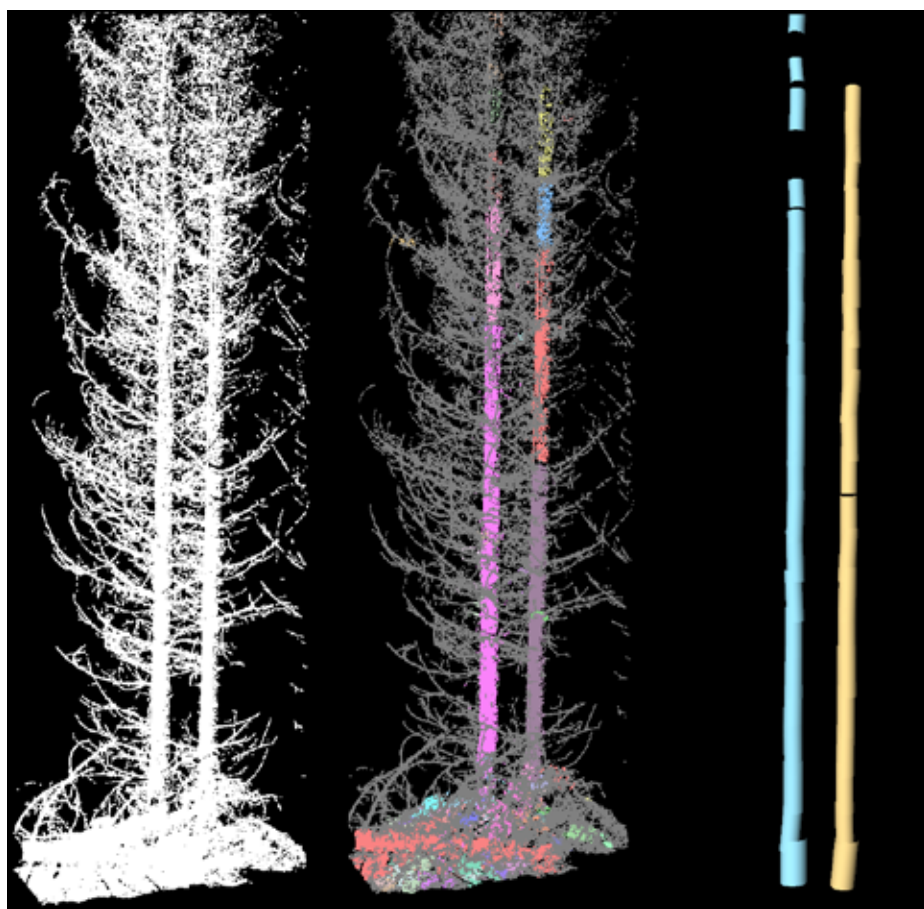
### Användningsområden i skogsbruket

Terrester laserskanning har ännu inte fått något stort genombrott i det praktiska skogsbruket. I Europa så är det främst det irländska företaget TreeMetrics som marknadsfört tekniken. Deras affärsidé har varit att erbjuda möjligheten till **beräkning av virkesutbyte, inklusive aptering, redan innan skogen är avverkad.**

Eftersom skanningen ger data som vanligen inte kan mätas med rimlig tidsåtgång, så kan TLS användas som en metod för att **mäta provträd.** Det gäller t.ex. stammars avsmalning och krokighet, samt mängden grenar, och även trädhöjden vilken dock brukar bli något underskattad.

TLS-skanning kan också vara en effektiv metod för att **mäta in provytor.** Särskilt vid inventering av stora provytor, där trädpositioner också ska mätas, har skanning med flera uppställningar (*multi-scan*) visat sig vara snabbare än manuell klavning och positionering av träden med t.ex. ultraljudstriangulering (Postex). Skanning med en uppställning (*single-scan*) kan göras på några minuter och kräver dessutom mindre efterbearbetning. Då en enda uppställning används erhålls dock endast mätdata för ena sidan av respektive trädstam, vilket ger något sämre skattningar av skogliga data. Ytterligare en nackdel vid endast en skanneruppställning är skuggzoner utan data som uppstår bakom de träd som skannern registrerar. Simuleringar har dock visat att områdena utan data kan kompenseras genom att använda kvoten mellan provytans yta och den synliga delen av provytan (Olofsson & Olsson 2017). Detta kan göras under förutsättning att stammarnas positioner är slumpmässigt fördelade, samt att ett objektivi kriterium som är oberoende av stamdiametern används för att bestämma om en stam ska räknas eller ej, t.ex. att dess vänstra kant syns.

TLS-skanning kan också vara en mycket effektiv metod för att **mäta in referensytor för fjärranalysbaserade skattningar** av skog. Med TLS-data erhålls bl.a. direkta mätdata för stamdiameter, grundyta och stamvolym, vilka kan användas för att skatta funktioner som översätter yttäckande fjärranalysdata från t.ex. flygburen laserskanning till skogliga dataskikt. Dessutom så erhålls trädstammarnas positioner från TLS-datat. Om fjärranalysdata har så hög upplösning att de flesta enskilda träd kan urskiljas, vilket t.ex. är fallet om tätskannade flygregistrerade laserdata finns tillgängliga, så kan trädmönstret, sett från



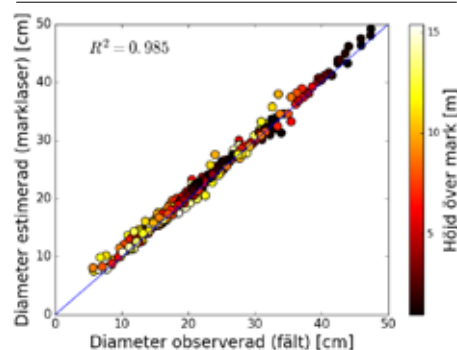
Figur 2. Genom matematiska signalanalysmetoder går det att automatiskt både detektera och modellera trädstammar ur marklasersdata. Punktdata från marklasers av två träd med täta kronor (t.v.). Signalanalysmetoder hittar de delar av laserdata som med hög sannolikhet tillhör en stam (mitten). Detekterade stammar modelleras exempelvis med hjälp av cylindrar (t.h.).

ovan, matchas geometriskt med motsvarande trädmönster mätt med TLS. På detta sätt minskas också behovet att använda en mycket noggrann GPS vid provyteinventeringen (Holmgren et al. 2015, Lindberg et al. 2012, Olofsson et al. 2008).

Med **mobil laserskanning** öppnar sig ytterligare möjligheter. Stora delar av ett bestånd kan snabbt mätas med en rygg-säcksmonterad utrustning, och träden kommer då också att mätas från flera olika vinklar (Holmgren et al. 2017). Det är även möjligt att montera laserskannrar på terränggående fordon (Forsman et al. 2016), samt på skördare. Mätinstrumenten ger då en 3D-bild av beståndet som även kan visa trädkronornas konkurrens etc. Denna bild kan även kombineras med data över beståndet som samlats in tidigare, t.ex. med flygburen laserskanning.

Forskningen har visat att markbaserad och mobil laserskanning kan användas för att mäta träd och bestånd så att fält-

inventering både kan bli snabbare och ge mer informationsrika data än med dagens manuella metoder. Utvecklingen fortsätter mot metoder som kan ge ännu mera information, t.ex. träslag och ytterligare



Figur 3. Detektering av stamprofiler med terrester laserskanning är fullt jämförbar med manuell fältmätning. Upp till femton meter över marken hittas de flesta stamdiametrar och de automatiska mätningarna ligger väldigt nära de manuellt framtagna (RMSE = 11 mm).

mått på virkeskvalitet, och mot bättre och snabbare algoritmer. Utvecklingen mot allt mindre, och allt mer fältmässiga, skannrar går snabbt. Tredimensionella punktmoln

kan även erhållas från sambearbetning av digitala bilder som tagits från olika positioner (Forsman et al. 2016). För att tekniker för att beräkna skogliga data från tredimen-

sionella punktmoln ska få ett operationellt genombrott i skogsbruket, måste även kommersiellt tillgängliga programvaror för skogliga analyser utvecklas ■

#### Tack

De studier som gav upphov till forskningsresultaten som är presenterade här var finansierade av stiftelsen ÅForsk, stiftelsen Nils och Dorthi Troëdssons forskningsfond och EU-projektet Advanced SAR. Fältdata och laserdata finansierades av Hildur och Sven Wingquist stiftelse för skogsvetenskaplig forskning. Den laserskanner som SLU äger har finansierats av Erik Johan Ljungbergs utbildningsfond och SLU. Optimering av parametrar togs fram med hjälp av resurserna på superdatorcentrum HPC2N vid Umeå Universitet.

This project has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme for research, technological development and demonstration under grant agreement no 606971.



#### Ämnesord

Terrester laserskanning, mobil laserskanning, fjärranalys, provytor, stamprofil, stamdiameter, stamkvalitet, trädhöjd.

#### Läs mer:

- ▶ **Forsman, M., Holmgren, J. & Olofsson, K. 2016.** Tree Stem Diameter Estimation from Mobile Laser Scanning Using Line-Wise Intensity-Based Clustering. *Forests* 7(9): 206.
- ▶ **Forsman, M., Börlin, N. & Holmgren, J. 2016.** Estimation of tree stem attributes using terrestrial photogrammetry with a camera rig. *Forests* 7(3), 61, doi: 10.3390/f7030061.
- ▶ **Holmgren, J. 2004.** Prediction of tree height, basal area and stem volume in forest stands using airborne laser scanning. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19: 543–553.

▶ **Holmgren, J., Olofsson, K., Nyström, M. & Olsson, H. 2015.** Estimation of tree stem attributes using ground based and airborne laser scanning. In *Proceedings of Silviler 2015*, La Grande Motte, France, September 28–30, pp 185–187, 2015.

▶ **Holmgren et al. 2017.** Mobil laserskanning. Manuskript konferensbidrag.

▶ **Lindberg, E., Holmgren, J., Olofsson, K. & Olsson, H. 2012.** Estimation of stem attributes using a combination of terrestrial and airborne laser scanning. *European Journal of Forest Research* 131:1917–1931.

▶ **Olofsson, K., Lindberg, E. & Holmgren, J. 2008.** A method for linking field-surveyed and aerial-detected single trees using cross correlation of position images and the optimization of weighted tree list graphs. *SilviLaser 2008*, Sept. 17–19, 2008 – Edinburgh, UK.

▶ **Olofsson, K., Holmgren, J. & Olsson, H. 2014.** Tree stem and height measurements using terrestrial laser scanning and the RANSAC algorithm. *Remote Sensing* 6(5):4323–4344.

▶ **Olofsson, K. & Holmgren, J. 2016.** Single Tree Stem Profile Detection Using Terrestrial Laser Scanner Data, Flatness Saliency Features and Curvature Properties. *Forests* 7(9): 207.

▶ **Olofsson, K. & Olsson, H. 2017.** Estimating tree stem density and diameter distribution in single scan terrestrial laser measurements of field plots: a simulation study. Manuskript under revision.

#### Författare:



**Kenneth Olofsson**  
Forskare FLK,  
institutionen för skoglig  
resurshushållning, SLU,  
901 83, Umeå  
090-786 84 84  
kenneth.olofsson@slu.se



**Johan Holmgren**  
Forskare FLK,  
institutionen för skoglig  
resurshushållning, SLU,  
901 83, Umeå  
090-786 86 02  
johan.holmgren@slu.se



**Eva Lindberg**  
Bitr. universitetslektor,  
institutionen för skoglig  
resurshushållning, SLU,  
901 83, Umeå  
090-786 85 36  
eva.lindberg@slu.se



**Mattias Nyström**  
Forskare,  
institutionen för skoglig  
resurshushållning, SLU,  
901 83, Umeå  
090-786 83 16  
mattias.nystrom@slu.se



**Håkan Olsson**  
Professor,  
institutionen för skoglig  
resurshushållning, SLU,  
901 83, Umeå  
090-786 83 76  
hakan.olsson@slu.se