

Demonstration av mobilt mät-system för insamling av träddata

– ARBETSRAPPORT FÖR NORRSKOGS- OCH SÖDRAS FORSKNINGSTIFTELSE

Demonstrations of mobile laser scanning for tree mapping

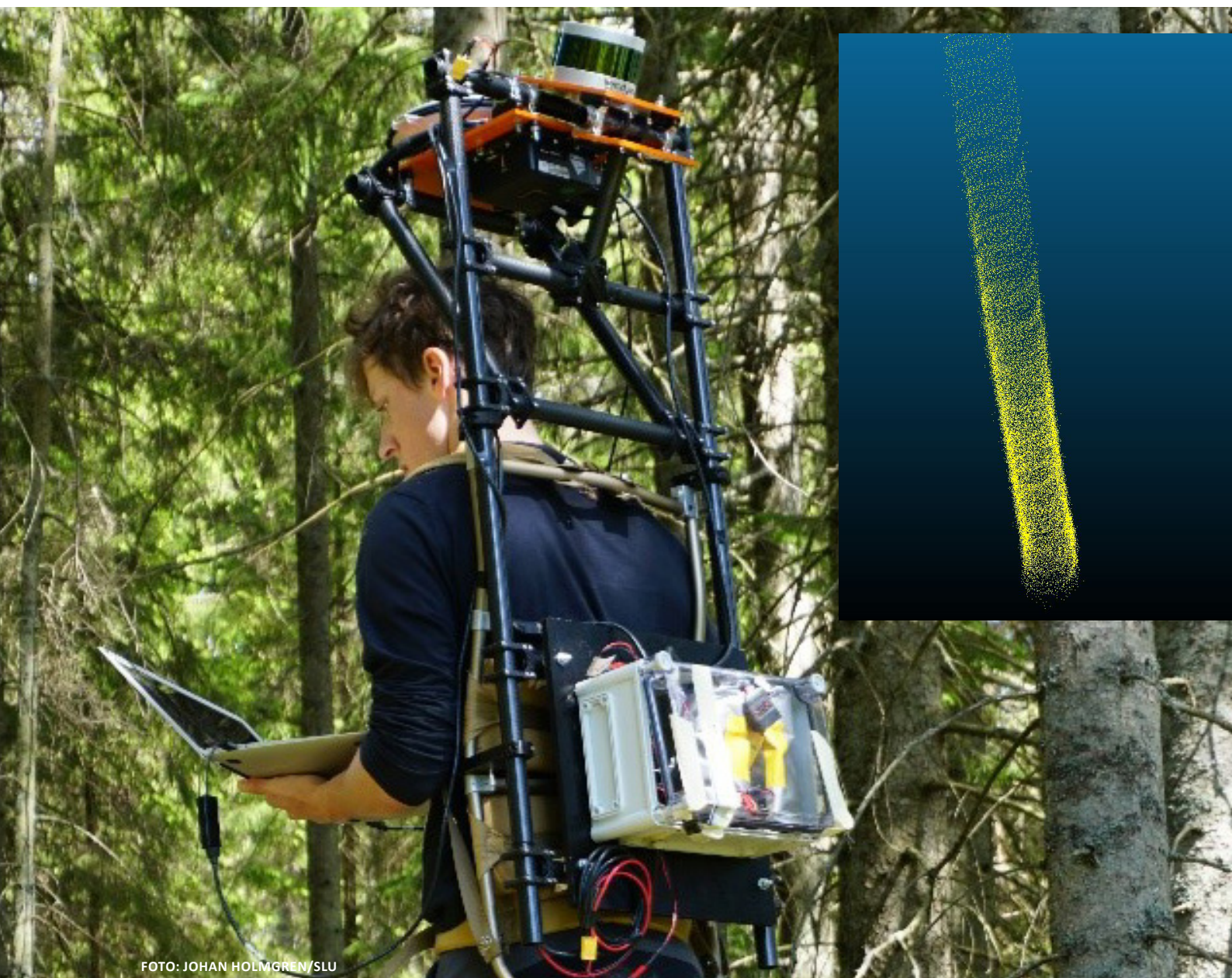


FOTO: JOHAN HOLMGREN/SLU

Summary

The use of mobile data collection technology is growing rapidly in society. Mobile laser scanners are fitted in vehicles to detect obstacles or as a semi-automation component. There is also great potential for measuring forest characteristics with laser scanners. A national airborne laser scanning has been carried out over Sweden, but laser scanning can also help improve ground-based measurements. The advantages of ground-based laser scanners are the measurement precision and less dependence on light conditions, which can vary in dense forest and at different times of the year.

The aim of this project was to demonstrate and evaluate a mobile measurement system for automatic data collection in 3D when used for the detection and measurement of tree stems.

The measurement system comprised a laser scanner and components for determining position, both GNSS systems and inertial navigation systems (INS) to manage various motion paths without contact with GNSS satellites. The measurements were taken in final-felling forests in Östergötland and Västerbotten, and were compared with harvester data after felling.

The results show that mobile laser scanning measures mean stem diameter with a RMSE of 0.7-1.4 cm, which must be regarded as a good result. Smaller stems were more difficult to measure, which caused great differences in, primarily, the northern test area, but when the measurements were focused on slightly thicker trees, bias and RMSE were clearly less.

Conclusions:

- Comprehensive processing of the point cloud generates tree data, so the system is currently not a real-time system for mounting, for example, on a harvester.
- The results open new areas of application, including decision support for logging.
- Future research needs include how the data is to be collected (movement pattern), efficient data processing, and development of decision support.



Förord

Denna arbetsrapport sammanfattar två parallella projekt med finansiering från Norrskogs och Södras forskningsstiftelse. Projekten har ett identiskt upplägg med demonstration av ett mobilt mätsystem och det som skiljer dem åt är var demonstrationen ägt rum. I södra Sverige hölls demonstrationerna i Östergötland och i norra Sverige i Västerbotten. Forskningen med mobila mätsystem fortsätter i pågående projekt med finansiering från Brattås forskningsstiftelse och FORMAS med redovisning åren 2018 och 2019.

Vi vill tacka de skogsföretag som bidragit med avverkningsobjekt och skördardata; Sveaskog, Södra och Holmen Skog. Speciellt tack till Nordmalings Skogsmaskiner AB som genomförde avverkningar anpassade för vår utvärdering. Vi vill även passa på och tacka de organisationer, däribland Norrskog och Skogssällskapet, som bidragit till att uppmärksamma projekten vilket har medfört god publicitet både i form av tidningsartiklar och framträdande under Föreningen Skogens Höstexkursion 2016.

Författarna i juli 2018

Erik Willén & Jon Söderberg - Skogforsk

Johan Holmgren – Sveriges Lantbruksuniversitet

Michael Tulldahl, Jonas Nordlöf, Joakim Rydell & Johan Öhgren

– Totalförsvarets forskningsinstitut

Innehåll

Summary.....	2
Förord	3
Sammanfattning.....	5
Bakgrund och syfte	6
Material och metoder	8
Studieområden.....	8
Mätssystem.....	9
Utvärderingsdata	11
Resultat	12
Södra studieområdet	12
Norra studieområdet	14
Diskussion och slutsats	18
Slutsatser.....	20
Referenser.....	21

Sammanfattning

Användandet av mobil insamlingsteknik utvecklas snabbt i samhället idag. Mobila laserskanners monteras in i fordon för att upptäcka hinder eller bidra till delautomation. Det finns även en stor potential att mäta skog med laserskanners. En nationell flygburen laserskanning är genomförd över Sverige, men den detaljerade mättekniken kan också bidra med bättre markbaserade mätningar. Fördelen med markburna laserskanners är den höga mätnoggrannheten och att de är mer oberoende av ljusförhållanden, som kan variera i täta skogar och mellan årstiderna.

Syftet med detta projekt är att demonstrera och utvärdera ett mobilt mätsystem som genom automatisk datainsamling i 3D detekterar och mäter trädstammar.

Det mätsystem som konstruerades bestod av en laserskanner och komponenter för positionsbestämning i form av GNSS¹ och tröghetsnavigering. Med tröghetsnavigeringen kunde systemet hantera olika rörelsebanor även utan kontakt med GNSS-satelliter.

Mätningar gjordes i slutavverkningsskogar i Östergötland och Västerbotten och jämfördes mot skördardata efter avverkning.

Resultaten visar att mätsystemet mäter grundtyevägd medeldiameter med ett RMSE på 0,7–1,4 cm. Det får betecknas som ett gott resultat. Mindre stammar var svårare att mäta, vilket orsakade stora skillnader främst i norra testområdet. När mätningarna fokuserades på lite grövre träd sjönk bias och RMSE tydligt.

Några av slutsatserna var att:

1. Bearbetningen av det punktmoln som genereras för att skapa träddata är omfattande, vilket gör att det i nuläget inte är ett realtidssystem att montera på exempelvis en skördare.
2. Resultaten öppnar upp för nya tillämpningsområden, bland annat som beslutsstöd för drivning.
3. Fortsatt forskningsbehov finns i hur data ska insamlas (gångmönster), effektiv databearbetning och utveckling av beslutsstöd.

¹ Global Navigation Satellite Systems – GNSS – är ett samlingsnamn för satellitbaserade navigations- och positionsbestämningssystem.

Bakgrund och syfte

Insamling av skogliga data sker traditionellt med fältbaserade metoder tillsammans med tolkning av ortofoton. De senaste åren har användandet av fjärranalys ökat kraftigt med till exempel introduktionen av flygburen laserskanning. Fortfarande använder *skogsbruket kartor med data för bestånd som efter en ganska kort tid blir gamla och måste uppdateras. Ett viktigt forskningsområde växer därför nu fram, där olika datakällor används tillsammans för kontinuerlig ajourhållning av våra skogsresurser.

Mobila sensorer används brett i samhället idag för både inmätning vid planering av infrastruktur och konstruktionsarbete. Ett stort användningsområde finns också bland olika typer av fordon. Många bilar har mobila sensorer inbyggda för att bland annat upptäcka faror eller för att köra bilen automatiskt. En annan mobil sensor är den digitala kamera som finns i våra mobiltelefoner, som kan användas för att skapa tredimensionella (3D) data och mäta exempelvis stamantal och medeldiameter. Laserskannern är en mer avancerad mobil sensor och det är en sådan som användes i detta projekt. Fördelen med laserskanner är den höga mätnoggrannheten och att den är mer oberoende av ljusförhållanden, vilka kan variera i täta skogar.

3D-data kan användas för ajourhållning av skogen med mobila sensorer monterade på skördare, fyrhjulingar eller handhållna system. Mätdata kan användas för att:

1. Positionera och skanna av trädstammar och ge möjlighet till bättre aptering genom att den nedre delen av stammen mäts.
2. Ge skördarföraren bättre återkoppling på avverkad och stående grundyta, vilken används som täthetsmått under drivningen.
3. Öppna möjligheter till ökad automation i drivningen genom den förbättrade positioneringen på träden.
4. Kalibrera andra fjärranalysskattningar som flygburen laserskanning, vilket leder till bättre estimat av exempelvis virkesvolym över stora arealer.

För att komma till störst nytta inom den skogliga planeringen bedöms ett personburet mätsystem mest lämpat. Då samlas data in tidigt i planeringsprocessen och kommer till nytta i flera olika moment inom drivning och skogsvård.

Tidigare studier för det svenska skogsbruket visade potentialen för enklare laserskanners som mäter i ett plan (nivå), monterade på skördare eller andra terrängfordon. Resultaten visade på utmaningar att montera ett mätsystem i den tuffa miljö som finns under avverkningsarbete (Barth. m.fl 2012 a,b), men relativt goda resultat för skanning av stamantal och grundyta med 9 respektive 8 % i relativ avvikelse mot klavade värden (Willén. m.fl. 2014). Mer avancerade laserskanners mäter i flera plan och avbildar den nedre delen av träden bättre och ger högre mätnoggrannhet av stammarna. Norska studier visar även på svårigheten att mäta från enbart en punkt. Uppemot en tredjedel av träden syns inte då de skymms av andra stammar (Brunner, 2014). Genom att montera dem på en ryggsäck eller fyrhjuling går det att samla in data överallt i skogen. Inom detta område finns många internationella forskningsresultat. Finska studier (ex. Liang, 2014) med en laserskanner monterad på en terränggående fyrhjuling visar på motsvarande skattningsresultat som tidigare svenska studier från ett mätsystem monterat på en jeep.

Belgiska studier av ett personburet mätsystem (laserskanner) i grövre lövskog visar på mycket låga medelfel (1,1 cm) för medeldiameter och noterar att mätningarna med ett mobilt system blir mer noggranna än om en laserskanner med fler mätpunkter används från ett ställe (Bauwens, mfl 2016). Skogen beskrivs bättre om stammen mäts från olika håll.

I det genomförda projektet har vi utnyttjat den snabba utvecklingen av sensorer för mobila applikationer tillsammans med erfarenheter från tidigare projekt för att demonstrera ett portabelt mätsystem för skoglig planering. Skogen mäts samtidigt som inventeraren rör sig. Utvärderingen har gjorts av en prototyp till framtida system med generella användningsområden. Liknande system kan även i framtiden placeras på skördare eller andra terrängfordon.

Syftet med detta projekt är att demonstrera och utvärdera ett mobilt mätsystem för automatisk datainsamling i 3D för automatisk detektering och mätning av trädstammar.

Material och metoder

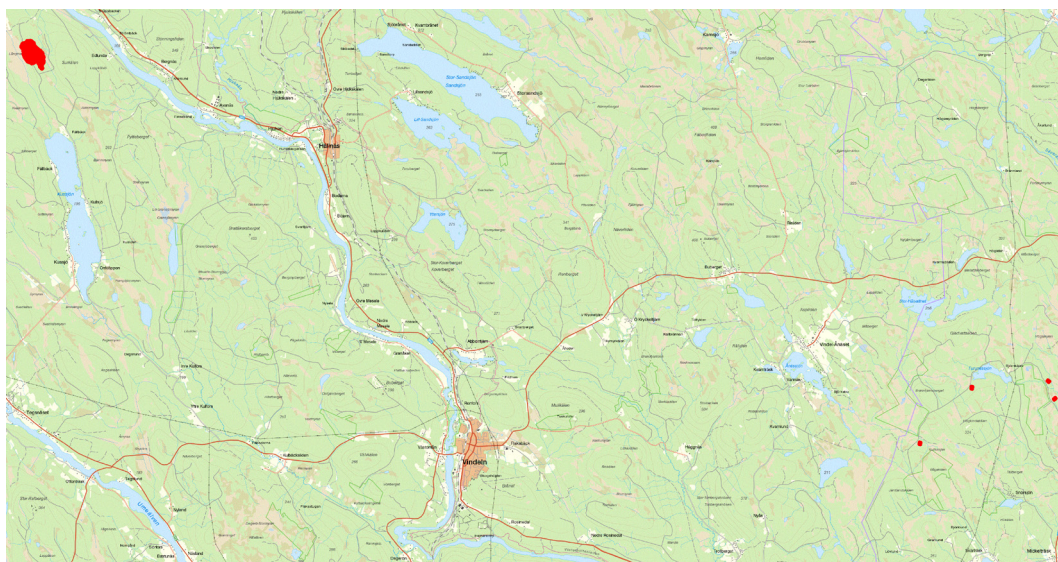
STUDIEOMRÅDEN

Det södra studieområdet var ett antal slutavverkningsbestånd hos privata markägare i Östergötland, figur 1. Totalt mättes sju delbestånd in. Flertalet var grandominerade.

I norra Sverige mättes sex delbestånd in i närheten av Vindeln i Västerbotten, figur 2. Olika produktionsskogar mättes för att visa på den variation som ofta återfinns bland olika skogsägare. Bestånden var grandominerade.



Figur 1. Röda punkter visar utvärderingsbestånd i Östergötland. © Lantmäteriet.



Figur 2. Röda punkter visar utvärderingsbestånd i Västerbotten. © Lantmäteriet

Figur 3 visar ett foto från den skog som mättes in i det norra studieområdet. I detta område fanns normala slutavverkningsskogar. Skogarna var relativt täta med grenar långt ner.



Figur 3. Fältfoto från ett av delbestånden i norra Sverige. Foto: Johan Holmgren, SLU.

MÄTSYSTEM

Mätsystemet består av tre komponenter:

1. Laserskanner
2. Positioneringssystem
3. Dator för kontroll av systemet samt lagring av insamlade data

Laserskannern är en Velodyne VLP16, figur 4, som sänder ut cirka 300 000 pulser per sekund i 16 olika linjer som roterar 360 grader. I och med att skannern använder 16 olika linjer kan både marken och stammen mätas samtidigt upp till cirka 5–10 meters höjd.



Figur 4. Velodyne VLP 16 laserskanner.
©Velodyne Foto: Johan Holmgren, SLU.

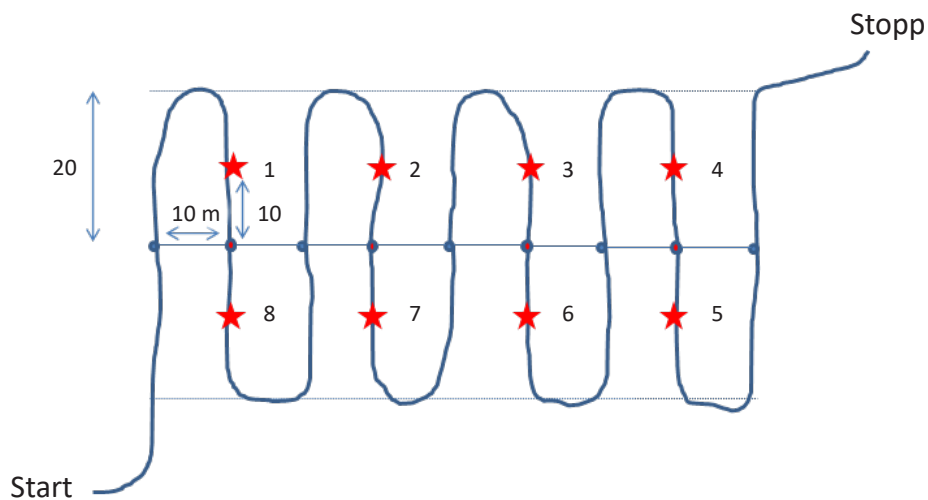
Som positioneringssystem används vanligen ett GNSS. I täta skogar måste det kombineras med en tröghetsnavigering som hjälper till med positioneringen när GNSS-kontakten är svag. GNSS-antennen som användes var en GPS-702-GG och tröghetsnavigeringen SPAN-IGM-S1, bägge från NovAtel.

Mätsystemet monterades på en ryggsäck, figur 5, och styrdes från en bärbar dator. Konstruktionen av mätsystemet är utförd och dokumenterad i ett exjobb från Umeå universitet (Tjernqvist, 2017). Elektronik, algoritmer och mjukvara i systemet baseras på flera tidigare och pågående arbeten (Tulldahl m.fl. 2014, 2015, Holmgren m.fl. 2017).



Figur 5. Det mobila mätsystemet som användes i studien. Foto: Johan Holmgren, SLU

Mätningarna gjordes i ett förbestämt gångmönster, figur 6, för att fånga trädstammarna från olika håll och för att knyta ihop mätningarna med tröghetsnavigeringen. Gångmönstret snitslades precis innan mätningen. Stjärnorna i bilden avser mätningar med stationär laserskanner som gjordes för ett annat utvecklingsprojekt.



Figur 6. Gångmönster i delbestånden för mätsystemet.

Mätdata och laserpunktmoln bearbetades sedan genom en dynamisk kalibrering som syftar till att få ihop mätningarna till mark och stammar och kompensera för den drift av data som sker under rörelse. Trädstammarna skapades sedan genom att kartera cirklar i respektive lasersvep (linje) som sedan byggs ihop till hela stammar. På detta sätt blir stammarna jämnare i formen och drift i positionen minimeras. Stammarna kan sedan presenteras som en trädkarta med positioner och attribut som exempelvis brösthöjdsdiameter. En mer detaljerad metodbeskrivning återfinns i ett accepterat konferensbidrag (Holmgren, m.fl. 2017).

I en yta +/- 5 meter från gångmönstret bedömdes mätningarna vara tillförlitliga och denna yta sammanfattade mätsystemets arealbaserade mätvärden per delbestånd.

UTVÄRDERINGSDATA

För utvärdering av mätsystemet användes planerade slutavverkningar. Traktdirektiv samlades in och delbestånden inventerades genom objektiva provytor före avverkning.

Efter avverkning samlades skördardata in. För utvärderingen i södra Sverige avgränsades delbestånden i skördardata genom bedömningar utifrån skördarens position i relation till delbestånden. I norra Sverige kunde delbestånden snitslas i förväg och registreras separat i skördardata. Trakterna var lite större och mätta delbestånd avverkades separat efter avverkning av övriga delar av trakten i norra Sverige.

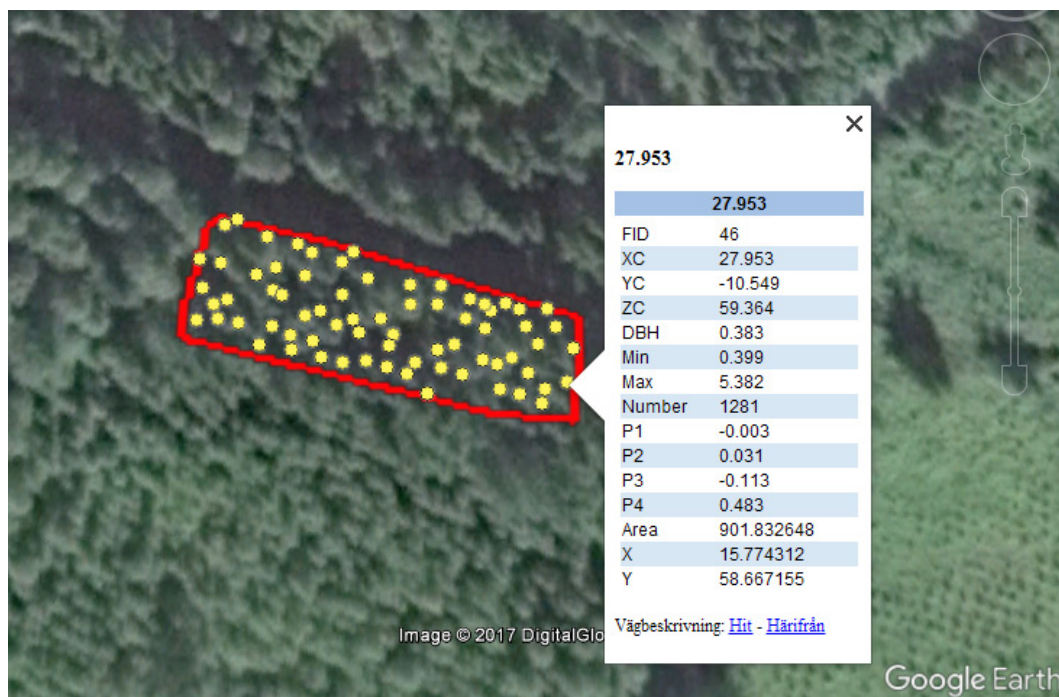
Skördardata bearbetades sedan med det av Skogforsk utvecklade verktyget HprCM för att sammanfatta skogsdata per delbestånd.

För respektive delbestånd sammanfattades mätningarna från mätsystemet och skördardata och räknades om till hektarnivå.

Resultat

SÖDRA STUDIEOMRÅDET

Figur 7 illustrerar hur mätningarna kan presenteras. Den röda linjen begränsar mätningarna och gula prickar är stammar. För respektive stam finns information om position och brösthöjdsdiameter.



Figur 7. Resultat från mätningarna i det södra studieområdet.

Tabell 1 redovisar mätta värden från mätsystemet och skördardata för alla delbestånd. Den grundtyevägda medeldiametern (dgv) fångas väl, vilket även märks med en låg bias i tabell 3.

Tabell 1. Resultat från mätningarna i södra Sverige.

	Area (ha) Mätsystem/ skördardata	Medeldiameter Mätsystem/ skördardata (cm)	Differens (cm)	dgv Mätsystem/ skördardata (cm)	Differens (cm)
Delbestånd 1	0,18/0,24	29,4/29,2	0,2	34,5/34,9	-0,4
Delbestånd 2	0,15/0,21	27,4/27,0	0,4	31,0/30,4	0,6
Delbestånd 3	0,20/0,34	25,2/24,0	1,2	31,0/32,1	-1,1
Delbestånd 4	0,16/0,22	26,0/27,0	-1,0	32,1/32,6	-0,5
Delbestånd 5	0,12/0,20	26,1/24,8	1,3	31,3/30,3	1,0
Delbestånd 6	0,14/0,27	31,3/27,6	3,7	38,9/37,3	1,6
Delbestånd 7	0,23/0,43	32,2/28,5	3,7	39,5/36,8	2,7

För de variabler som beskrivs på hektarnivå introduceras även ett sampelfel när en inmätt areal räknas upp på hektarnivå, tabell 2. I tabell 1 finns inmätta arealer och mätvärdena skalas upp med en faktor 5–9, vilket påverkar utvärderingens resultat. Att använda skördardata för att validera små arealer är en utmaning, då skördaren har låg precision för registrering av trädpositioner. Den GPS-mottagare som används är placerad på maskinen, medan träden avverkas med en ca 8 m lång kranarm. En annan felkälla kan vara att vissa träd lämnas kvar vid avverkningen. Det märks tydligast i delbestånd 1 och 5 där det blir svårt att jämföra med skördardata.

I många delbestånd är differensen låg, men med några större avvikelser ges en relativt hög bias, framförallt på grundyta, tabell 3. Den i särklass största avvikelsen mellan grundyta/ha från skördarmätningar och mätsystemet observerades för delbestånd 5 (tabell 2). Denna enskilda observation får stor inverkan på slutresultatet. Om delbestånd 5 utesluts från utvärderingen blir relativt RMSE (medelfel) 12 % för grundyta/ha, alltså mindre än hälften jämfört med om detta enskilda delbestånd är med i utvärderingen (tabell 3).

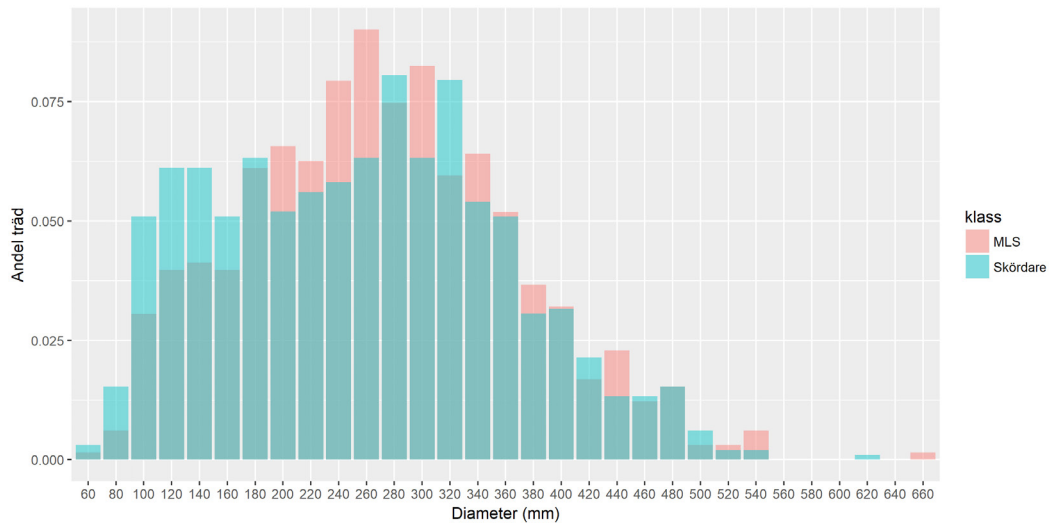
Tabell 2. Arealskattningar baserat på MLS-mätningarnas yta.

	Grundyta/ha Mätsystem/ skördardata	Differens	Stamantal/ha Mätsystem/ skördardata	Differens
Delbestånd 1	48,8/41,1	7,7	657/556	111
Delbestånd 2	41,6/40,3	1,3	661/673	-12
Delbestånd 3	26,7/23,9	2,8	480/437	43
Delbestånd 4	28,7/28,1	0,6	480/460	20
Delbestånd 5	54,6/35,2	19,4	917/657	260
Delbestånd 6	33,7/35,0	-1,3	386/518	-150
Delbestånd 7	38,0/32,6	5,4	417/464	-47

Tabell 3. Summering av utvärdering över delbestånden i Södra testområdet.

Variabel	MLS mot skördardata					
	SD	SD %	RMSE	RMSE %	bias	bias %
Stamantal/ha	105.2	20.1	130.6	24.9	87.0	16.6
Grundyta/ha	8.1	24,3	10.3	30.9	7.1	21.1
DGV (cm)	1.5	4.5	1.4	4.2	0.0	0.1
Medeldiameter (cm)	1.5	5.6	1.6	5,8	0.7	2.7

När den relativa diameterfördelningen för samtliga delbestånd jämförs med skördardata, figur 8, är överlappet stort. Skördardatan innehåller en något högre andel klenare stammar än MLS-mätningarna, men med tanke på delbeståndens storlek och variation är resultatet lovande. Notera att det är 2-centimetersklasser vilket gör att det kan hoppa mellan två olika klasser som trots allt har liknande mätvärden. En relativ fördelning användes för att belysa var det finns skillnader i diameterfördelningarna.



Figur 8. Diameterfördelning (relativ) mellan MLS och skördardata för studieområdet.

NORRA STUDIEOMRÅDET

Tabell 4 visar resultatet per delbestånd. Ett bestånd saknade skördardata (nummer 2) beroende på att de inte var kompletta för ytan. Stamantalet i klavdata var konsekvent högre än andra mätvärden, vilket berodde på att även klenare träd inmättes. Delbestånden var täta skogar med undervegetation, vilket märks genom att medeldiametern för klavdata var betydligt lägre än för övriga mätdata. Mätssystemet har hittat fler grövre träd än skördardata, vilket märks när medeldiameter och dgv jämförs. Sammantaget, tabell 5, noteras ett RMSE på 1,0 cm för dgv vilket inte är mycket, men bias rörande stamantal och medeldiameter är stora. Det förklaras med att mätssystemet inte hittade alla klenare stammar. Tabell 6 visar en sammanställning av klavdata mot skördardata, vilket kan anses vara det traditionella alternativet till en mobil sensor. Klavdata ger högre fel sannolikt beroende av att färre träd mäts.

Figur 9 jämför diameterfördelningar där det är tydligt att mätssystemet har en betydligt lägre andel klenare stammar. Jämfört med det södra studieområdet är det betydligt fler klenare stammar, ner mot 40 mm, och det är svårare för mätssystemet att koppla ihop flera olika svep från skannern med små stammar.

Tabell 4. Sammanställning av inmätta delbestånd i norra studieområdet.

YTA	Stamantal/ha	Grundyta	DGV (m)	Mdeldiameter (cm)	METOD
1	478	29.66	31.4	26.9	MLS
1	524	25.8	30.2	22.8	Skördare
1	663	34.4	32	23.2	Klavning
2	463	24.71	27.7	25.5	MLS
2	744	31.9	29.5	21.2	Klavning
3	620	28.62	27.8	22.9	MLS
3	711	29.28	27.9	21.1	Skördare
3	736	31	29.2	21	Klavning
4	830	26.62	23.1	19.2	MLS
4	1022	25.42	21.7	16.5	Skördare
4	898	31.7	27.6	19.8	Klavning
5	943	32.41	23.8	19.9	MLS
5	1082	31.73	22.8	18.2	Skördare
5	970	32.2	26.6	19.4	Klavning
6	548	32	29.3	26.5	MLS
6	488	26.95	28.8	25.7	Skördare
6	913	30.1	27	19.6	Klavning

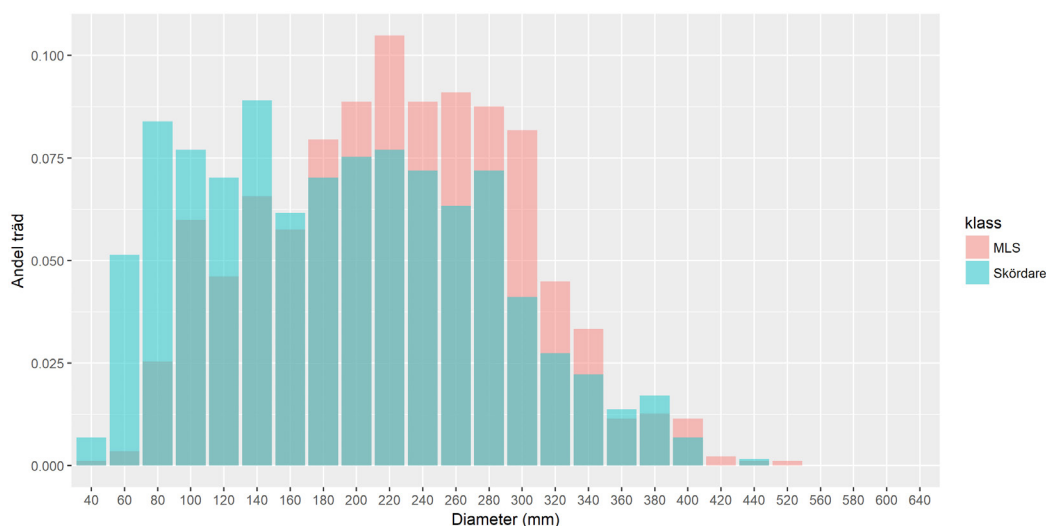
Tabell 5. Summering av utvärdering över delbestånden i norra testområdet för mls-skattningar jämfört med skördardata.

MLS mot skördardata

Variabel	SD	SD %	RMSE	RMSE %	bias	bias %
Stamantal/ha	96.0	12.5	118.5	15.5	-81.6	-10.7
Grundyta/ha	2.4	8.5	2.5	10.5	2.0	7.3
DGV (cm)	0.6	2.3	2.3	3.7	0.8	3.0
Medeldiameter (cm)	1.2	6.0	6.0	11.9	2.2	10.6

Tabell 6. sammanställning av utvärdering för klavade provtytor jämfört med skördardata över delbestånden i norra testområdet.

Variabel	SD	SD %	RMSE	RMSE %	bias	bias %
Stamantal/ha	225.6	29.5	213.8	27.9	70.6	9.2
Grundyta/ha	3.3	11.9	5.2	18.6	4.2	15.2
DGV (cm)	2.9	11.0	3.4	12.9	2.2	8.4
Medeldiameter (cm)	3.5	16.8	3.2	15.1	-0.3	-1.2



Figur 9. Diameterfördelning (relativ) över norra studieområdet.

För att undersöka hur väl grövre stammar, diameter större än 10 cm, gjordes motsvarande sammanställning som tidigare, Tabell 7. Även då noteras fler stammar i klavdata, men med betydligt mindre skillnad mot övriga mätningar. Mätssystemet har fortfarande något större medeldiameter och dgv, men när delbestånden summeras, tabell 8, märks en klart lägre RMSE och bias för stamantal och medeldiameter. RMSE för dgv och medeldiameter blir 0,7 och 1,3 cm eller 2,8 respektive 5,6 % vilket är bättre jämfört med andra studier. Tabell 9 visar jämförelsen mellan klavdata och skördardata.

Tabell 7. Sammanställning av inmätta delbestånd i norra studieområdet, diameter över 10 cm.

YTA	N_HA	GY_HA	DGV	MDIA	METOD
1	464	29.6	31.5	31.5	MLS
1	428	25.4	30.6	26.3	Skördare
1	469	33.8	32.5	29.4	Klavning
2	460	29.6	27.7	25.6	MLS
2	506	31.2	30.1	27.3	Klavning
3	601	28.5	27.9	23.4	MLS
3	661	28.9	28.1	22	Skördare
3	547	30.4	29.8	25.6	Klavning
4	773	26.3	23.3	20	MLS
4	828	24.3	22.3	18.4	Skördare
4	667	30.7	28.2	24.2	Klavning
5	907	32.2	23.9	20.4	MLS
5	949	30.9	23.2	19.4	Skördare
5	757	31.3	27.2	23.1	Klavning
6	543	32	29.4	26.7	MLS
6	488	27	28.8	25.7	Skördare
6	706	30.3	27.6	23.7	Klavning

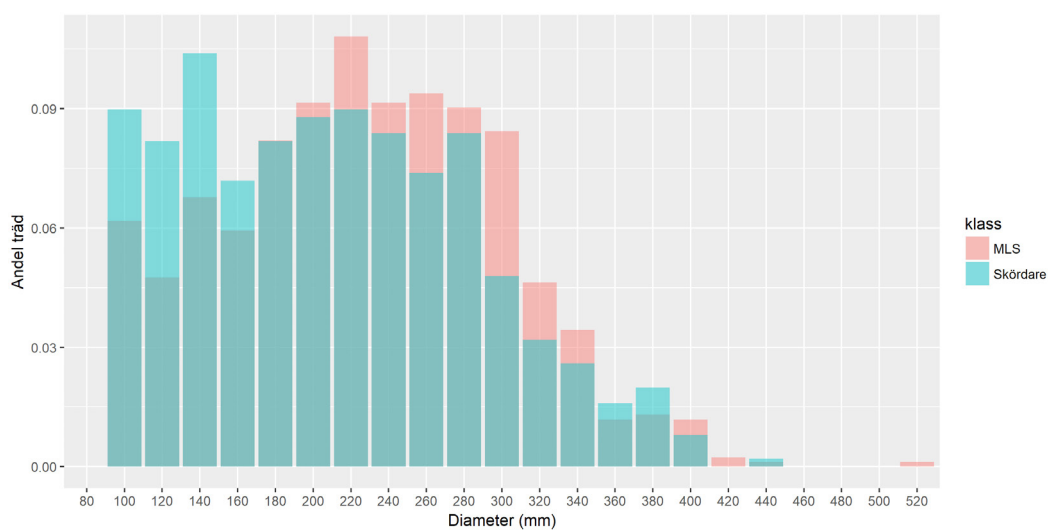
Tabell 8. Summering av utvärdering av MLS mot skördare över delbestånden i norra testområdet endast för träd med diameter över 10 cm.

Variabel	SD	SD %	RMSE	RMSE %	bias	bias %
Stamantal/ha	54.4	8.1	50.4	7.5	-13.2	-2.0
Grundyta/ha	2.2	8.1	3.1	11.5	2.4	8.9
DGV (cm)	0.5	1.8	0.7	2.8	0.6	2.3
Medeldiameter (cm)	0.3	1.2	1.3	5.6	1.2	5.5

Tabell 9. Summering av resultat för klavade provytor mot skördare över delbestånden i norra testområdet endast för träd med diameter över 10 cm.

Variabel	SD	SD %	RMSE	RMSE %	bias	bias %
Stamantal/ha	170.5	25.4	158.1	23.6	-41.6	-6.2
Grundyta/ha	2.4	12.3	5.0	18.4	4.0	14.8
DGV (cm)	2.7	10.0	3.4	12.9	2.5	9.2
Medeldiameter (cm)	2.9	13.0	3.8	17.2	2.8	12.7

Figur 10 redovisar diameterfördelningen och även i det norra området har mät-systemet en högre andel grövre stammar.



Figur 10. Diameterfördelning (relativ) för alla delbestånd, för träd med en diameter över 10 cm.

Diskussion och slutsats

Mätningarna i demonstrationen är utförda i vanliga produktionsskogar och är inte på något sätt tillrättalagda utan det var tvärtom relativt mycket underväxt och varierande grandominerade skogstyper. Resultaten visar att mätsystemet mäter dgV med ett RMSE på 0,7- 1,4 cm vilket får betecknas vara ett gott resultat. Mindre stammar var svårare att mäta vilket orsakade stora skillnader främst i norra testområdet, men när mätningarna fokuserades på lite grövre träd sjönk bias och RMSE tydligt. Bearbetningen av punktmolnet från mätsystemet bygger på att olika skanningssvep kopplas samman och det blir betydligt svårare för klena träd.

Mätningarna ger lovande resultat för en första demonstration, men samplingsfelet måste studeras vidare för att kunna minskas. Utformningen av ett gångmönster som bättre fångar variationen i beståndet är ett centralt utvecklingsområde. Det blir tydligt även när klavdata jämförs med skördardata då felet blir högre beroende av att färre träd mäts än med den mobila sensorn. Samtidigt visar det också att en mobil sensor har goda möjligheter att ersätta traditionella metoder på sikt.

Mätsystemet har olika komponenter nödvändiga för att mäta inne i skogen. Det räcker inte med enbart laserskanner och ett GNSS-system utan en tröghetsnavigering är nödvändig. Det gör systemet mer komplicerat, men fungerar då även tillräckligt väl utan GNSS-kontakt. Tröghetsnavigeringen orsakar en drift i positioneringen över tid varför mättiden, utan GNSS-kontakt, inte får bli för lång. Det lär dock i praktiken inte vara något stort problem då GNSS-kontakt oftast kommer i glesare partier i tätare skogar.

Efterbearbetningen av punktmolnet till trädldata var omfattande under projektet. En mätning på 20 minuter tog upp till 24 timmar att bearbeta. Här finns stora möjligheter till att korta tiden, men någon reelltidsbearbetning är inte aktuell för mätsystemet. Det är tiden att gå från laserpunktmoln till trädldata som är mest krävande. Det finns även mer att utveckla rörande hur punktmolnet bearbetas till trädldata. Vår teknik bygger på en cirkelanpassning av punkter som representerar trädstammar. I några fall kan andra naturliga föremål se ut som stammar och registreras fel, några exempel med stenar noterades som kunde filtreras bort i slutresultatet. Det går även att utveckla momenten i bearbetningen för att undvika andra felaktigheter som exempelvis stammar som registreras två gånger.

Kostnaderna för mätsystemet uppgick till drygt 200 000 kronor och det är tröghetsnavigeringen som är dyrast. Komponenterna blir allt vanligare i operationella tillämpningar vilket kommer leda till både billigare och bättre mätsystem. Några finns redan på marknaden med ett betydligt högre pris, men med lägre priser är det inte en orimlig investering för skoglig inventering eller köpverksamhet på sikt. Mätsystemet är monterat på en ryggsäck och fungerar i fält även om de kan upplevas som något klumpiga. En fortsatt produktifiering kan bidra till än mer fältmässiga lösningar. Montering på skördare kan vara ett alternativ då det redan finns färdiga stativ för fordonsmontering. Den bygger dock på en datainsamling längs vägarna som bearbetas i efterhand vilket knappast passar i dagens skogliga planering och drivning. Tiden för efterbearbetning gör att det i dagsläget inte är ett reelltidssystem och då inte i första hand lämpar sig för skördarmontering när trädldata ska extraheras.

När det gäller användningen av skördardata som referens finns några utmaningar. Kvarlämnade träd registreras inte vilket kan förklara att mätsystemet ibland finner fler träd än vad som skördaren registrerat. Under denna demonstration pågick avverkningarna in i september 2017 och inget återbesök gjordes. Samtidigt skulle 1-2 lämnade träd i delbestånden bara motsvara 5-20 stammar på hektarsnivå och avvikelserna var betydligt högre. En annan svårighet som var tydligast i södra studieområdet är positioneringen av maskinen. Det är förarhytten som representeras i positionen och inte enskilda träd. När det summeras kan det orsaka fel i form av träd som då inte står i delbeståndet trots att förarhytten gör det. Detta försöktes avhjälpas genom att se till att använda sammanfattande hektarssiffror och försäkra sig om en rimlig fördelning av maskinpositioner över delbeståndet. I de större bestånden i norra Sverige kunde detta avhjälpas genom separat avverkning av delbestånd. Där blev skördardata att betrakta som en totalklavning. I de mindre delbestånden i södra Sverige var inte detta möjligt. Tiden mellan planering och avverkning var betydligt kortare.

När det gäller praktisk nytta av mätsystemet är det flera tillämpningar som ligger nära:

1. Objektiv insamling av träddata för planerare och virkesköpare

Genom användning av insamlade träddata ges mer objektiva träddata vilket kan nyttjas vidare i logistikkedjan till industri. I ett pågående forskningsprojekt karteras även trädslag i mätsystemet vilket också kommer att kunna samlas in.

2. Nyttjande av trädens position i delautomatisering

Redan under 2017 inleds arbete med att föra in trädpositioner från skannade områden i Skogforsks simulator för avverkning och skotning. Detta öppnar upp för att utvärdera hur delautomation med trädpositioner kan byggas in i framtida maskinsystem.

3. Träddata för beslutsstöd

Genom att träddata finns med position öppnas även möjligheterna att ta fram beslutsstöd som visar på vilka träd som ska tas bort i gallring eller slutavverkning baserat på diameter och position. Tydliga förarstöd bidrar till effektivisering i avverkningsarbetet. I ett samarbete med KTH har några konceptidéer illustrerats (figur 11).



Figur 11. Beslutsstöd i skördarens head-up display med trädpositioner till vänster som kan peka på vilka stammar som ska avverkas. Foto: Staffan Till & Anders Nordlie.

SLUTSATSER

1. Mätssystemet ger lovande resultat för diametermätning av gagnvirke vilket även märks vid jämförelser av diameterfördelning. Jämfört med skördardata överskattas dg i mätsystemet med ett RMSE på cirka 0,7 -1,4 cm.
2. Demonstrationen har visat ett användbart personburet mätsystem som även finns produktifierat och används i andra branscher.
3. Det är en omfattande bearbetning av det punktmoln som genereras för att skapa träddata vilket gör att det i nuläget inte är ett realtidssystem att montera exempelvis på en skördare.
4. Resultaten öppnar upp för nya tillämpningsområden, bland annat som beslutsstöd för drivning.
5. Fortsatt forskningsbehov finns i hur data ska insamlas (gångmönster), skapandet av träddata från punktmolnen, effektiv databearbetning och utveckling av beslutsstöd.
6. Utvecklingen av mätsystem är ett område som utvecklas snabbt och kommer ge än fler möjligheter till effektiv datainsamling på sikt. Det är fortsatt ett viktigt område att följa utvecklingen inom.

Referenser

- Barth, A., Sonesson, J., Larsson, H., Engström, P., Rydell, J., Holmgren, J., Olofsson, K., Forsman, M. & Thor, M. 2012a. Beståndsmätning med mobila sensorer i skogsbruket. Arbetsrapport 773, Skogforsk.
- Barth, A., Sonesson, J., Thor, M., Larsson, H., Engström, P., & Holmgren, J. 2012b. Sensorteknik på skördare ger data om skogen. Resultat 8-2012, Skogforsk.
- Bauwens, S., Bartholomeus, H., Calders, K., Lejeune, P. 2016. Forest inventory with terrestrial lidar. A comparison of static and hand-held mobile laser scanning. *Forests* 2016, 7, 127; doi:10.3390/f7060127.
- Brunner, A., Gizachew, B. 2014. Rapid detection of stand density, tree positions, and tree diameter with a 2D terrestrial laser scanner. *European Journal of Forest Research*, 133:819–831.
- Holmgren, J., Tuldahl, M., Nordlöf, J., Nyström, M., Olofsson, K., Rydell, J., Willén, E. 2017. Estimation of tree position and stem diameter using simultaneous localization and mapping with data from a backpack-mounted laser scanner. Abstract to ISPRS conference *Frontiers in Spectral imaging and 3D Technologies for Geospatial Solutions in Jyväskylä* in October 2017.
- Tjernqvist, M. 2017. Back-pack based inertial navigation and lidar mapping in forest environments. Master thesis in Engineering physics. Umeå Universitet.
- Tuldahl, H. M., and Larsson, H., "Lidar on small UAV for 3D mapping," in *Security + Defence, Electro-Optical Remote Sensing, Proc. SPIE 9250*, 2014, pp. 925009–1–14.
- Tuldahl, H. M., Bissmarck, F., Larsson, H., Grönwall, C., and Tolt, G., "Accuracy evaluation of 3D lidar data from small UAV," in *Security + Defence, Electro-Optical Remote Sensing, Proc. SPIE 9649*, 2015, pp. 964903–1–11.
- Willén, E., Fridh, L., Barth, A., Holmgren, J., Olofsson, K., Bilock, E., Engström, P., Larsson, H., Rydell, J. 2014. Mobilt mätsystem för insamling av träd- och beståndsdata. 2014. Arbetsrapport 855, Skogforsk.
- Liang, X., Hyyppä, J., Kukko, A., Kaartinen, H., Jaakkola, A. and Yu, X., 2014. The use of a mobile laser scanning system for mapping large forest plots. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 11(9), pp. 1504–1508.