



# Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 773-2012

## Beståndsmätning med mobila sensorer i skogsbruket

Use of mobile sensors in forestry to measure stand properties

---

Andreas Barth Skogforsk, Johan Sonesson Skogforsk, Håkan Larsson FOI, Philip Engström FOI, Joakim Rydell FOI, Johan Holmgren SLU, Kenneth Olofsson SLU, Mona Forsman SLU & Magnus Thor Skogforsk

---



**SKOGFORSK**

# Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 773-2012

I Arbetsrapporter redovisar Skogforsk resultat och slutsatser från aktuella projekt. Här hittar du bakgrundsmaterial, preliminära resultat, slutsatser och färdiga analyser från vår forskning.

## Titel:

Beståndsmätning med mobila sensorer i skogsbruket.  
Use of mobile sensors in forestry to measure stand properties.

## Bildtext:

Bild från fälttester i skogsmiljö av de olika sensorerna.  
Foto: Andreas Barth.

## Ämnesord:

Gallringsuppföljning, beståndsvariabler, mobila lasersensorer, mätteknik, skördare.  
Monitoring, thinning, stand register data, mobile laser sensors, harvester, measurement technology.

## Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2012

ISSN 1404-305X



**SKOGFORSK**

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala

Tel: 018-18 85 00 Fax: 018-18 86 00

skogforsk@skogforsk.se

skogforsk.se



**Andreas Barth, SkogD.** Anställd på Skogforsk sedan 2007. Forskare inom inventering och planering i skogsbruket.

andreas.barth@skogforsk.se

Tel: 018-18 85 37

## Medförfattare:

**Johan Sonesson, SkogD.** Anställd på Skogforsk sedan 1995.

Forskare inom planering och skogsskötsel.

**Håkan Larsson, Förste forskningsingenjör, FOI.** Anställd sedan 2001. Håkans expertområden omfattar laserbaserade sensorsystem främst med inriktning mot 3D.

**Philip Engström, Forskningsingenjör, FOI.** Anställd på FOI sedan 2010. Forskar inom signal och bildbehandling med tyngdpunkt på laserbaserade och bildalstrande sensorer.

**Joakim Rydell, Förste forskare, FOI.** Anställd på FOI sedan 2007. Arbetar med metodutveckling inom automatisk bildanalys, med huvudsakligt fokus på kamera-baserade positioneringssystem. **Johan Sonesson, SkogD.** Anställd på Skogforsk sedan 1995. Forskare inom planering och skogsskötsel.

**Johan Holmgren, SkogD, SLU.** Anställd vid SLU sedan 1999. Forskare inom skoglig fjärranalys.

**Kenneth Olofsson, Teknologie doktor 1994 Luleå Tekniska Högskola.** Anställd vid SLU sedan 2001. Forskare inom skoglig fjärranalys.

**Mona Forsman, Civilingenjör Teknisk fysik, SLU.** Doktorand på SLU sedan 2011. Arbetar med att utveckla metoder för skogsinventering med en kombination av mark-baserade och flygburna sensorer.

**Magnus Thor, SkogD.** Anställd sedan Skogforsk sedan 1992. Programledare för forskningsprogrammet Teknik.

## Förord

Denna rapport sammanfattar resultaten från studien ”Mätning av beståndsdata med ny sensorteknik på gallringsskördare”. Projektet har finansierats med medel från Brattåsstiftelsen. Projektet har genomförts av Skogforsk tillsammans med Försvarets forskningsinstitut (FOI) och Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). Syftet har varit att kartlägga befintlig teknik, test av sensorer i skogsmiljö, specificera krav på datakvalitet för skogliga tillämpningar och kvantifiera potentialer för skogsbruket.

Flera personer har varit involverade i projektet. På Skogforsk har ett internt seminarium legat som grund för analyser av de ekonomiska potentialerna med mobila sensorer på skördare. Deltagare på seminariet har varit Magnus Thor, Staffan Jacobson och Johan J. Möller. Även Anders Mörk, Björn Hannrup och Lars Wilhelmsson har bidragit med värdefulla idéer och synpunkter till arbetet. Jan Persson på Häradskog AB i Linköping har ställt upp med vedprover för spektralanalyser och varit markvärd för de tester som utförts i fält. Ett stort tack till samtliga som bidragit till studiens genomförande.

Uppsala 2012-04-22

Andreas Barth

# Innehåll

Förord.....	1
Summary .....	3
Sammanfattning.....	4
Syfte .....	5
Datainsamling med mobila sensorer .....	6
Stirrande korthållslaser.....	7
Pulserande linjelaser .....	8
Distribuerat ljus.....	10
Passiv stereovision.....	12
Automatisk detektering och diameterbestämning.....	13
Metod för detektering av trädstammar.....	13
Metod för att anpassa cirklar .....	15
Egenskaper och krav på datakvalitet .....	17
Nyttor i skogsbruket.....	19
Ajourhållning av avdelningsregister.....	19
Uppföljning av åtgärder.....	21
Referensdata till fjärranalys .....	23
Beslutstöd i skördare.....	25
Optimalt gallringsuttag.....	25
Prognos av stam innan aptering.....	26
Rätt stickvägsavstånd .....	27
Andra icke kvantifierade nyttor.....	27
Diametermätning vid flerträdshantering.....	27
Mätning av kontrollstammar.....	28
Diskussion och slutsatser .....	28
Förslag på framtida system.....	28
Krav på anpassning av befintliga metoder.....	29
Störst ekonomisk potential.....	29
Framtida utvecklingsinsatser.....	29
Referenser .....	30

## Summary

Development of new sensor technology provides new ways of measuring standing trees around a harvester in a thinning operation. Integrated in a mobile system, these technologies have the potential to provide forestry with data on stem diameter and tree position. These data can be used to estimate valuable information such as stand density, stem diameter distributions and width of strip roads. Collecting forest stand data using mobile sensors on a thinning harvester can provide many benefits, for example updating of forest stand registers, monitoring of thinning operations, assessment of reference data for remote sensing applications, and serve as a decision support system for the harvester operator.

The main aim of the project was to quantify the potential of such a system in Swedish forestry and to perform initial tests of a number of sensors on a moving vehicle in a forest environment. The total economic potential identified in the study was SEK 360 million. The greatest economic potential is when the system is used for monitoring thinning and decision support to optimise the intensity of thinning. The latter would also serve as a measure of quality in the thinning operation. Four different sensor technologies were tested on a moving vehicle in a forest environment.

Together with the Swedish Defence Research Agency (FOI) and the Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Skogforsk has reviewed mobile sensors that can be fitted and used on a moving vehicle in a forest environment. In the project, a number of different technologies were tested on a passenger car. The technology that has come furthest in development is the pulsed line scanner, which proved to be very successful in measuring stem diameters at distances of up to 12 metres. For 18 trees, all measurements lay within 24 mm of the reference and no less than 15 trees were within 13 mm. In the future, short range flash can be developed into interesting technology. There are currently limitations in terms of light sensitivity and imprecision in distance measurement that need to be improved.

Much more research and development is needed before sensor technology can reach practical application. A system needs to be developed and then tested at a larger scale under realistic conditions. The system also needs to position the harvester sufficiently accurately. The system should also be able to calculate properties such as basal area and thinning intensity in real time.

## Sammanfattning

Att samla in beståndsdata med hjälp av sensorteknik på en gallrings-skördare kan tillgodose många nyttor i skogsbruket. Sensorerna som kan mäta in trädens antal- och diameter, kan ge värdefull information för ajourhållning av avdelningsregister, uppföljning av gallringsåtgärder, insamling av referensdata till fjärranalys samt som beslutsstöd för skördarförare vid gallring. Den totala ekonomiska potentialen som identifierats i studien ligger på 360 miljoner kronor varav den största ekonomiska nyttan sannolikt är vid gallringsuppföljning och som beslutsstöd för att optimera gallringsuttaget.

Skogforsk har tillsammans med Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI) och Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) kartlagt mobila sensorer som kan monteras på ett rörligt fordon i skogsmiljö. I projektet har ett antal olika tekniker testats på en vanlig personbil i skogsmiljö. Den teknik som kommit längst är pulserande linjelaser som visade sig fungera bra för att mäta in stamdiameter på upp till 12 meters avstånd. Av 18 träd ligger alla mätningar inom 24 mm från referensen och hela 15 träd inom 13 mm. På sikt kan även störrande korthållslaser utvecklas till en intressant teknik. Här finns i dag brister vad gäller ljuskänslighet och oklarheter med avståndsmätningen som behöver utvecklas.

För att nå praktisk tillämpning återstår fortfarande en hel del forskning och utveckling. Ett system behöver utvecklas och sedan utvärderas i större skala under realistiska förutsättningar. Systemet måste också ge tillräcklig hög noggrannhet för positionering av skördaren. Systemet bör också kunna räkna ut egenskaper som grundyta och gallringsstyrka i realtid.

## Inledning

Under de senaste decennierna har nya tekniker- och metoder utvecklats för att samla in information som beskriver skogens egenskaper. Flygburen laserskanning har exempelvis fått ett stort genomslag inom skogsbruket och beskriver skogen med hög upplösning och bra noggrannhet (Holmgren m.fl., 2004; Barth m.fl., 2008). Med högupplöst laserdata kan enskilda träd identifieras, och baserat på trädets inmätta höjd- och trädkronans storlek, skattas trädets diameter och volym. Dessa inventeringar täcker ofta in områden av 100 000-tals hektar skogsmark och ett rimligt antagande är att data kan ajourhållas med ett intervall av ca 5–10 år. Under senare år har även sensorer utvecklats för markbaserad inventering. Genom det irländska företaget Treemetrics har markbaserad laserskanning utvecklats, och används i dag kommersiellt i exempelvis Storbritannien och Australien. De lasersensorer som används för dessa tillämpningar är statiska laserskannrar. Inventeringen med markbaserad laserskanning, sker typiskt på ett stickprov av träden innan beståndet skall slutavverkas, och ger då ett detaljerat underlag för utbytesberäkningar.

Trots teknisk utveckling när det gäller skoglig inventering, sker i dag en hel del arbete manuellt och med tidskrävande metoder. För ajourhållning av skogliga register efter utförda åtgärder används ofta manuella mätningar i fält som baseras på traditionella metoder. Här är man inom skogsbruket främst intresserad av trädets grundyta, stamantal och diameterfördelning efter utförd åtgärd. Skogforsk har i ett parallellt projekt till detta, tagit fram ett system där beståndsvariabler beräknas för det kvarvarande beståndet efter gallring, baserat på skör-

ardata (Möller m.fl., 2011). Resultatet från en utvärdering visade att beräknad grundyta, volym, trädslagssammansättning och övre höjd överensstämde väl med motsvarande beståndsuppgifter från manuell referensmätning (Hannrup m.fl., 2011). Störst avvikelse mellan beräknad och referensmätt värde noterades för stamantal- och areal för mindre objekt. Efter en utförd åtgärd är det också intressant att utvärdera gallringsuttag, skador och stickvägsareal, vilket också kräver att data samlas in efter utförd åtgärd (Bylund, 2008). Även fjärr-analysbaserade inventeringsmetoder som exempelvis flygburen laserskanning kräver insamling av data från provytor i fält.

En teknisk utveckling av mobila lasersensorer öppnar upp för att automatisera många av dessa fältinventeringar. Med mobila sensorer avser teknik som gör det möjligt att samla in 3D-data från fordon som är i rörelse. Utvecklingen under senare år har lett till att vi fått se exempel på flera mobila system och tillämpningar. Här finns koncept som har vidareutvecklats från de statiska laserskannrarna tillsammans med tekniken från flygburen laserskanning till mobila system innehållande lasersensorer som arbetar ihop med tröghetsnavigering och GPS. Kostnaden för dessa system ligger på flera miljoner kronor men redan i dag finns det också betydligt billigare system som kan användas mobilt och samtidigt ge värdefull information om skogen. Ännu har dessa tekniker bara testats i begränsad omfattning för skogliga tillämpningar.

Skogforsk har tillsammans med Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI) och Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) kartlagt mobila sensorer som kan monteras på ett rörligt fordon i skogsmiljö. I projektet har ett antal olika tekniker testats på rörligt fordon i skogsmiljö samtidigt som nyttan för skogsbruket att implementera teknik har identifierat och kvantifierats.

## Syfte

Syftet med denna rapport är att redovisa de övergripande resultaten från projektet. En mer detaljerat rapport kring kartläggning av befintlig teknik- och tester finns publicerad av Larsson m.fl. (2012). Projektets syfte har varit att:

- Kartlägga och utvärdera tillgänglig teknik för automatisk mätning av beståndet från gallringskördare.
- Utföra inledande tester av ett antal sensorer på rörligt fordon i skogsmiljö och utvärdera dessa som indata för skogliga tillämpningar.
- Specificera krav på datakvalitet som ställs av tänkta skogliga applikationer.
- Kvantifiera potential i termer av ökad kvalitet, prestation och markägareflytande som ett tänkt system kan ge upphov till.



## DATAINSAMLING MED MOBILA SENSORER

En genomgång av olika typer av sensorer som finns på marknaden i dag och som kan vara intressanta att montera på en skördare, finns i detalj beskrivet i Larsson m.fl. (2012). Fyra sensorer som var och en representerar olika typer av tekniker valdes ut och har testats inom projektet. Tre av sensorerna baseras på laserteknik medan den fjärde är stereovision som baseras på vanlig digital-kamerateknik. Eftersom dagens sensorer inte har ansetts tillräckligt robusta för att monteras på en skördare har testerna genomförts monterade på en vanlig personbil. Vid mättillfällena har personbilen framförts i skogen med låg hastighet.



Figur 1.  
Bild från lövbeståndet i Tinnerö (t.v.) och granbeståndet i Älvan (t.h.).

Mätningarna har utförts i två olika bestånd strax utanför Linköping (Figur 1). Det första beståndet, Tinnerö, är lövskog som domineras av björk och asp. Här är undervegetationen riklig och hög. En viktig fördel med området är att det löper en jämn och rak grusväg genom beståndet, vilket har gjort mätningarna och framför allt processen av data enklare.

Det andra beståndet, Älvan, är en mer typiskt gallringsskog som domineras helt av gran. Även detta objekt får anses vara ett enkelt fall med uppdragna träd-kronor och begränsad markvegetation. En fördel med beståndet var möjligheten att köra vanlig personbil på den befintliga basvägen. Basvägen var betydligt mer ojämn och gav upphov till en mer ryckig färd. Här kunde också mätning ske samtidigt som personbilen körde i en cirkelbana, vilket betyder att samma träd kunde mätas in från flera olika håll. Detta ställer dock större krav på positioneringen av fordonet och process av data.



Mätningar har genomförts vid flera tillfällen under försommaren och hösten 2011. För att kunna utvärdera diametermätningarna med olika sensorer samlades det in högupplösta punktmoln med en statisk markbaserad lasersensor, med betydligt högre upplösning än de som ingick i testet. De jämförelser som redovisas i denna rapport har en Riegl VZ-400 används som referens. För 20 av träden i Tinnerö mättes även stammarnas omkrets och diameter manuellt i brösthöjd.

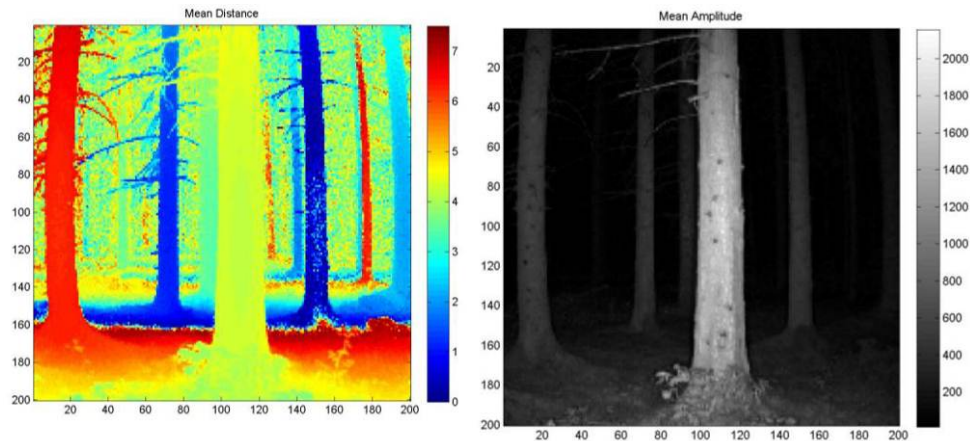
## STIRRANDE KORTHÅLLSLASER

Sensorer för stirrande korthållslaser (eng. Short Range Flash) baseras på CCD/CMOS-teknik och mäter både avstånd och intensitet i varje pixel. Dessa typer av sensorer används bland annat som backsensorer på bilar och för att styra dataspel. Typiskt för dessa sensorer är att mätobjektet belyses med laser och att mätning kan ske utan externa referenspunkter. Kameran registrerar föremålen med ett antal bilder per sekund på liknande sätt som en videokamera. Mätningen är beroende av att rätt mängd ljus släpps in, vilket kontrolleras genom en integrationstid. En felaktig integrationstid påverkar mätningens noggrannhet negativt. En begränsning med dagens sensorer är känslighet för dagsljus, vilket är något som förhoppningsvis kan förbättras på sikt.



Figur 2.  
Sensorn Camcube från PMDTec monterad på biltak.

Det finns flera olika system från olika tillverkare, exempelvis Mesa Imaging, Fotonic och Panasonic. FOI äger sedan tidigare en Camcube från tyska PMDTec, vilket ingick i projektets testmätningar (Figur 2). Den mäter på 0,3 till 7,5 meters avstånd och har en upplösning på  $204 \times 204$  pixlar. En begränsning med den relativt låga upplösningen är att noggrannheten drastiskt minskar med ökat avstånd, redan på 5 meters håll är upplösning nere på 2 cm per pixel.



Figur 3.

Exempel på data från CamCube, bilden till vänster visar i varje pixel avståndet till objektet och bilden till höger visas amplitud.

Testerna visar att när Camcube används statiskt, och i dunkla ljusförhållanden fungerar sensorn med acceptabel noggrannhet (Figur 3). Standardavvikelsen för avståndsmätningen ökar med ökat avstånd, vid 7 meter är standardavvikelsen nära en decimeter vid molnigt dagsljus. När sensorn kommer i rörelse ökar dock bruset och stammarnas kanter blir diffusa. Detta beror på en lång integrationstid, vilket är nödvändigt för att få objekten rätt belysta. På grund av den dåliga kvaliteten har det inte varit möjligt att gå vidare med att sätta samman bilderna till ett 3D-punktmoln på skogen. Tekniken är ännu inte mogen för noggranna 3D-mätningar, vilket heller inte varit syftet när sensorerna har konstruerats. På sikt kan tekniken utvecklas och vara ett intressant alternativ för 3D-mätningar i skog.

## PULSERANDE LINJELASER

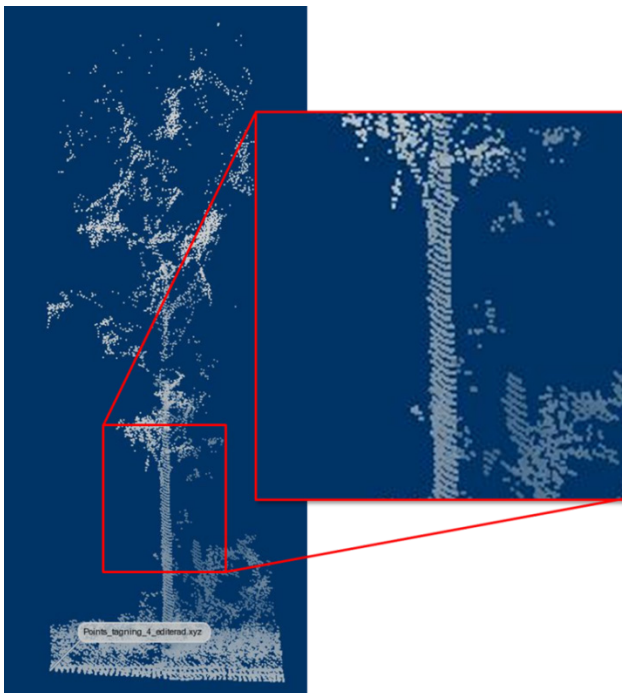
Pulserande laser (eng. 2D laser scanners) skickar iväg tusentals laserpulser per sekund samtidigt som den roterar 360 grader. Sensorn är monterad på en rörlig plattform och integrerad med sensorer för att hålla koll på plattformens orientering- och positionering. Även om sensorn själv bara mäter in i 2D, gör plattformens rörelse det möjligt att mäta in omgivningen i 3D. Systemet är starkt beroende av att ha kontroll på plattformens rörelse.

På marknaden i dag finns det många tillverkare av sensorer med pulserande linjelaser. Där är Optech, Riegl, Velodyne och MDL exempel på några av tillverkarna. Kostnaden för många av dessa system ligger på flera miljoner kronor och inkluderar då också exakta system för positionering.



Figur 4.  
SICK LMS-511 monterad på biltak.

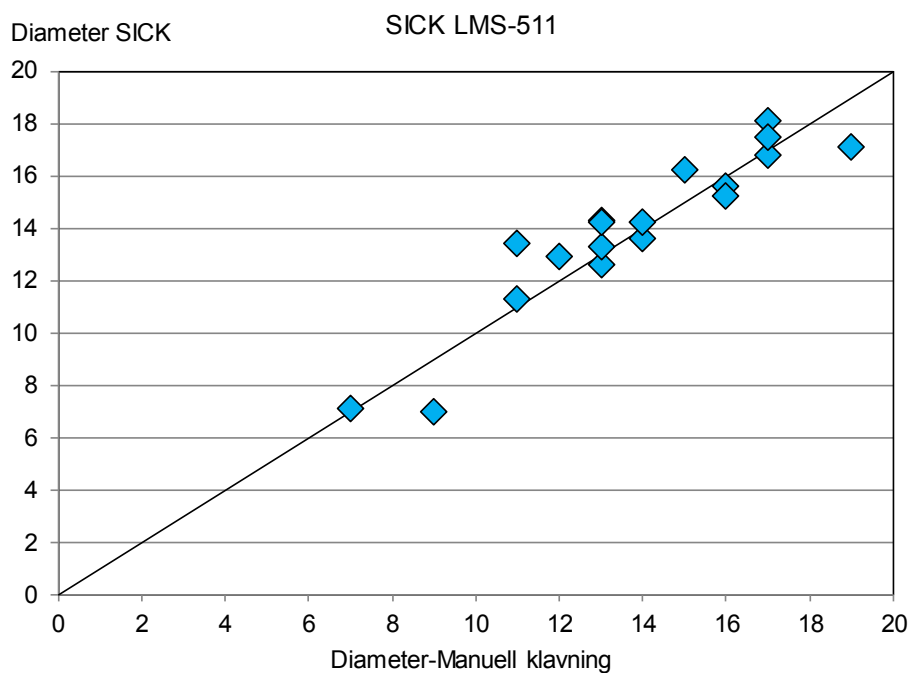
Inom projektet har vi testat en betydligt billigare sensor, LMS-511 från SICK (Figur 4). Kostnaden för sensorn är ca 60 000 SEK, vilket kompletterades med ett billigare navigeringssystem (tröghetsnavigering och GPS) för ca 35 000 SEK. Med tröghetsnavigering beräknas positionen fram baserat på plattformens rörelse. Det billigare navigeringssystemet har också jämförts med ett betydligt bättre och noggrannare system. SICK-sensorn har ett synfält på 190 grader och skickar ut en pulsad linje 25 gånger per sekund med en täthet om 1 140 pulser per linje, vilket motsvarar 6 punkter per grad. Sex punkter per grad motsvarar knappt 3 cm i spatial upplösning och ligger på 10 meters avstånd.



Figur 5.  
Exempel på punktmoln från SICK LMS-511 för ett enskilt träd.

Jämförelse mellan diametermätningar på träd baserade på data från SICK LMS-511 med vår referensskanner, Riegl VZ-400, visar på bra diameterskattning. Baserat på laserdata har stammar valts ut på 1,2 till 1,4 meters höjd. En automatisk cylinderanpassning till respektive stam har gjorts och cylinderdiametern (stamdiametern) har lästs av. Utvärderingen är baserad på 17 lövträd där alla skattade diametrar är inom 30 mm från referens och endast två träd har en skattad diameter sämre än 22 mm. Jämförelsen är gjort i lövbeståndet där förutsättningarna för att positionera personbilen varit som mest gynnsamma men visar på en stor potential med tekniken.

Klavning av träden i samma riktning som laserskannern har mätt in träden ifrån ger ännu bättre resultat. Här, totalt 18 träd, ligger alla mätningar med SICK-sensorn inom 24 mm och 15 av stammarna inom 13 mm (Se Figur 6).



Figur 6. Jämförelse mellan diametern på klavade stammar och diametern baserat på punktmolnet från SICK LMS-511.

## DISTRIBUERAT LJUS

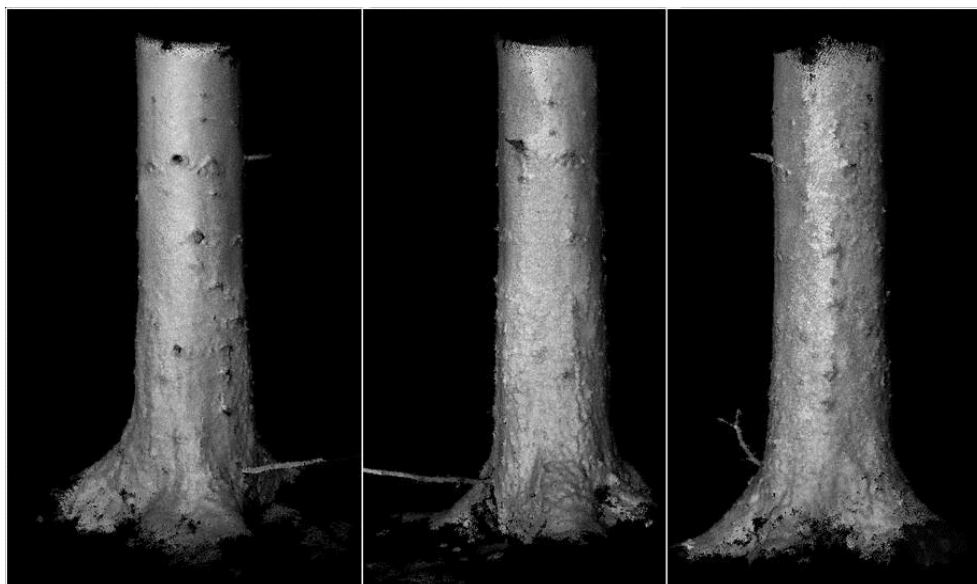
Företaget Mantis-Vision har utvecklat en sensor, F5 (Figur 7), som projicerar ett mönster på det objekt som skall mätas in. Mönstret rekonstrueras utifrån en monokrom video, och med hjälp av mönstret kan objektet registreras i 3D. En begränsning med denna typ av sensor är att det i dagsläget bara är möjligt att på avstånd mäta upp till 4,5 meter. Sensorn är därför inte mogen att monteras på en skördare, tekniken är dock intressant och företaget utvecklar fortfarande tekniken. För att testa tekniken i projektet och möjligheten till att mäta in träd, testades sensorn manuellt.





Figur 7.  
Mantis-Vision F5.

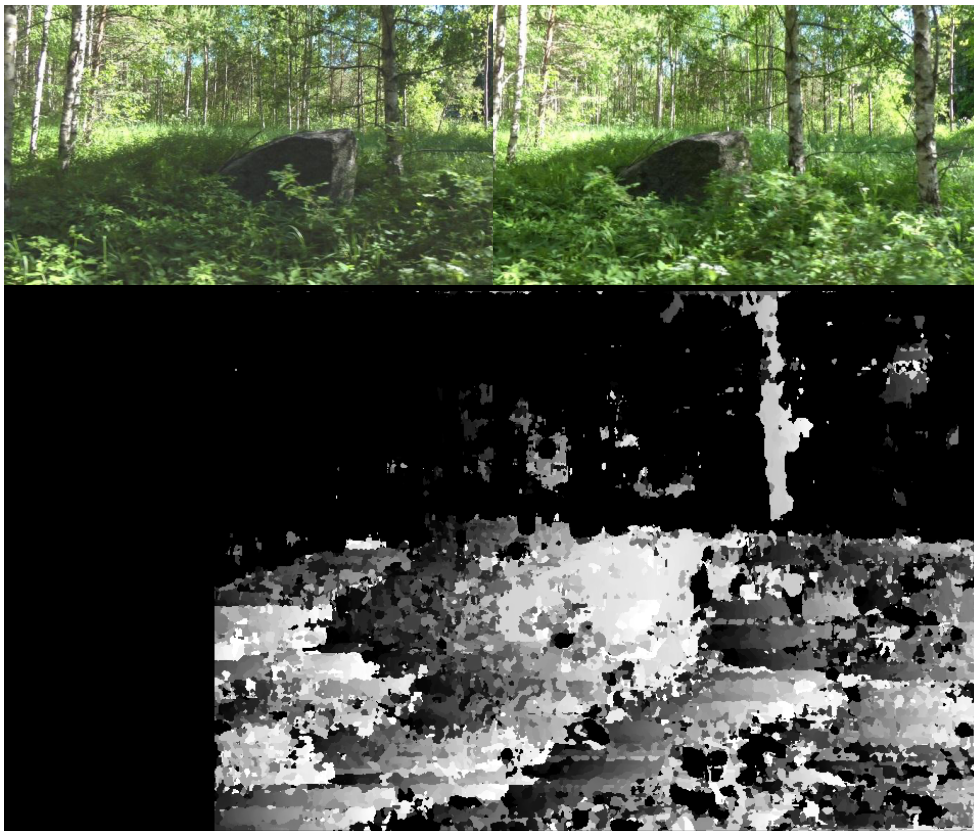
Resultaten visar att Mantis-Vision F5 är en mogen teknik för att med stor noggrannhet mäta in enskilda träd (Figur 8). Sensorn ger en detaljerad bild av grenar och krökar. Inom ett par år räknar företaget med att ha ett system som fungerar helt i realtid för omkring 100 000 SEK.



Figur 8.  
Exempel på data från Mantis-Vision F5. Samma gran sett från olika väderstreck.

## PASSIV STEREOVISION

Stereovision har på samma sätt som de testade laserbaserade system möjlighet att beskriva omgivningen i 3D. Tekniken baseras på två vanliga digitalkameror. Genom att identifiera samma objekt i två bilder kan avståndet till objektet räknas fram, trädens diameter beräknas sedan med antalet pixlar. Högre upplösning i kameran och ett minskat synfält ger en ökad noggrannhet.



Figur 9.  
Exempel på data från Stereovision, två övre bilderna är från respektive kamera i kameraparet. Den nedre bilden visar skillnaden (disparity) mellan de båda bilderna där den ljusa färgen indikerar likheter i de båda bilderna.

I projektet testades två HD-kameror från Panasonic med en horisontal upplösning på 1 920 pixlar. I Figur 9 visas en bild som identifierade likheter, stenen och trädstammen är det som överensstämmer bäst. Avståndet är här 5,5 meter till stenen och 6,5 meter till trädet, vilket stämmer väl med manuell mätning. En fördel med Stereovision är att det också kan användas tillsammans med s.k. SLAM-algoritmer. SLAM står för ”Simultaneous localization and mapping”, genom att identifiera plattformens position i förhållande till identifierbara objekt går det att hålla reda på hur plattformen rör sig i relation till objekten runt omkring.



## Automatisk detektering och diameterbestämning

Baserat på laserdata från de mobila sensorerna att automatiskt kunna processa data, är ett viktigt moment för att identifiera trädstammar och bestämma trädens diameter. För laserdata från statsiska laserskannrar finns redan i dag automatiska metoder. Som en del i projektet testades dessa metoder på laserdata från beståndet i Tinnerö. Laserdata var insamlat med SICK LMS-511.

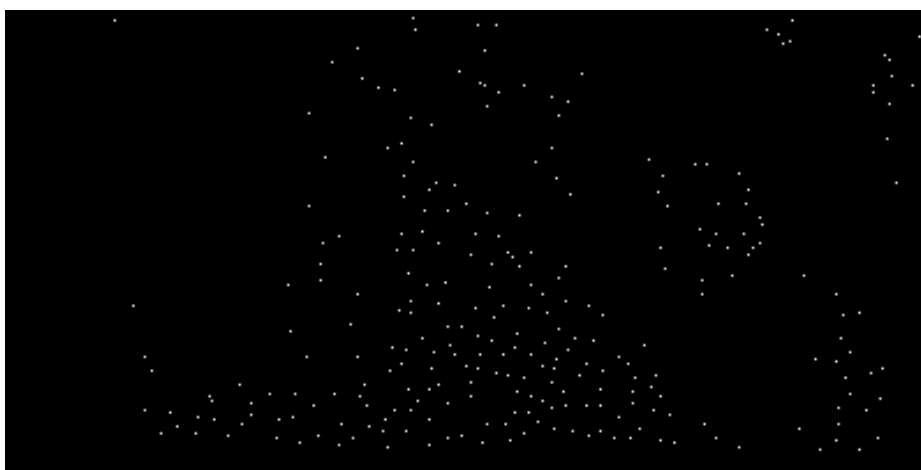
### METOD FÖR DETEKTERING AV TRÄDSTAMMAR

Två raster skapades med 0,25 m stora rasterceller. Storleken på rastercellerna valdes så att de skulle innehålla många träffar utefter en trädstam. En höjdmodell för marken skapades för området och avståndet till marknivån beräknades för samtliga laserreturer (mätpunkt). Varje mätpunkt med ett avstånd till marknivån inom ett intervall mellan 1 och 2 m användes vid beräkningarna. Det valda höjdiintervallet delades in i 32 delnivåer för att kunna beskriva hur datapunkterna är fördelade i höjddled. Varje mätpunkt inom ett delhöjdiintervall summeras och ökar det totala cellvärdet med 1. Ett delhöjdiintervall som har minst ett mätvärde registreras som fylld. Ett tvådimensionellt raster skapas genom att summera antalet fyllda delhöjdiintervall (Raster R) och ett annat raster skapas genom att summera totala antalet mätpunkter inom samtliga delhöjdiintervall (Raster S).

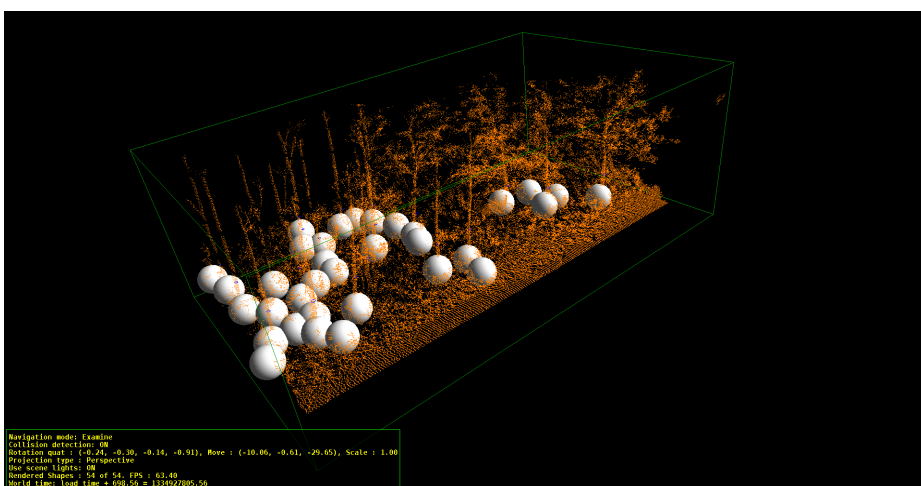
Det antagande som används är att en trädstam har kontinuerligt med mätpunkter i höjddled medan grenar har luckor på vissa ställen. För att kunna använda algoritmen för data med olika täthet normaliseras (Raster S) innan användning. Först skalas rastret om så att högsta värdet blir 255. Eftersom punkttätheten blir glesare med ett ökat avstånd från sensorn, skalas dessutom data om efter avståndet från sensorn. För (Raster R) skalas cell-värdena om så att de ligger mellan 0 och 1. Varje rastercell i (Raster R) multipliceras med motsvarande rastercell i (Raster S), vilket ger höga värden för kontinuerligt data med många mätpunkter och ett nytt raster (Raster T) skapas på detta sätt. Sedan sätts cell-värden i (Raster T) till 0 om de är lägre än 25 % av maxvärdet inom samma raster. (Raster T) består nu av klungor av rasterceller som troligen ligger samlade runt en trädstam omgiven av ofyllda rasterceller (Figur 10). Det högsta värdet i varje klunga av rasterceller sparas som en trolig stamposition. Ifall två stampositioner skulle ligga inom 2 pixlars avstånd från varandra antas att de är kandidater till samma position och därför sparas endast den position som har högst värde. Kvar är de positioner som algoritmen estimerar som trädstammar (Figur 11). De estimerade stampositionerna visas i tre dimensioner tillsammans med SICK data i Figur 12.



Figur 10.  
Bild som har höga värden för områden som har en hög kontinuerlighet i höjded. Ett högt värde indikerar en stam eftersom det utefter en stam finns många mätvärden kontinuerligt i höjded.



Figur 11.  
Bild som visar stampositioner beräknade baserat på mått av kontinuerlighet i höjded.



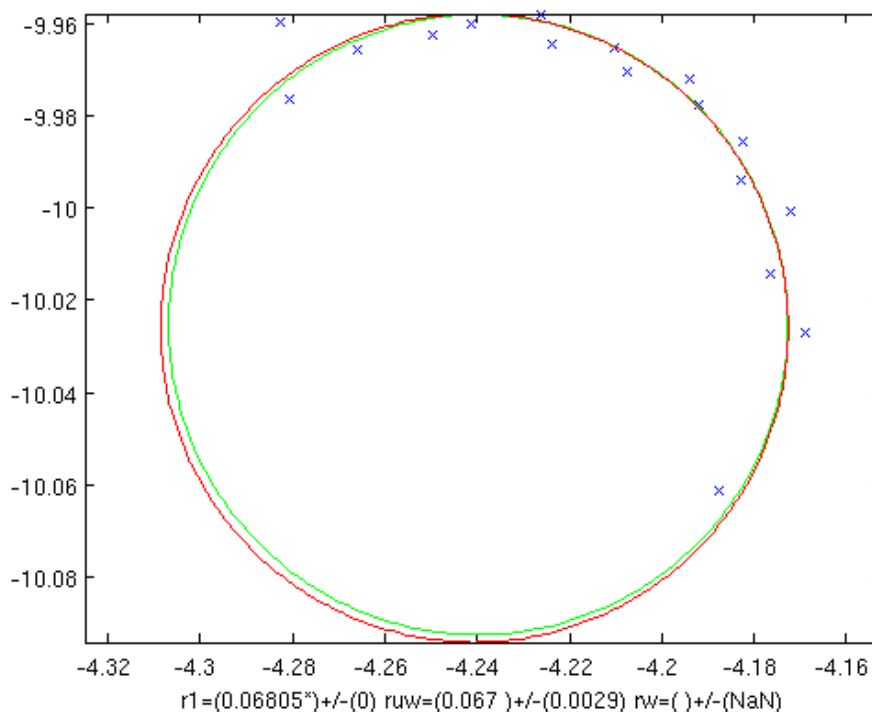
Figur 12.  
Bild som visar beräknade stampositioner symboliserade som bollar tillsammans med lasermätningar (punkter) från SICK-data.

## METOD FÖR ATT ANPASSA CIRKLAR

Punkterna projicerades i det horisontella planet för området mellan 1,25 och 1,35 meter ovanför marknivån. En ungefärlig skattning av stamposition och stamradie gjordes genom att anpassa en cirkel med RANSAC-algoritmen (Fisher & Bolles, 1981), sedan gjordes en mer exakt bestämning av cirkelns radie genom att använda den algebraiska anpassningsmetoden av Gander (1994), eller en geometrisk anpassning med Gauss-Newton (Gander et al., 1994; Nocedal & Wright, 2006). Figur 13 visar en bra anpassning med många punkter på stammen inom det 10 cm stora höjdivervallet. Cirkelanpassning visas för de två metoderna, (r1) (Gander) och ruw (geometrisk Gauss-Newton).

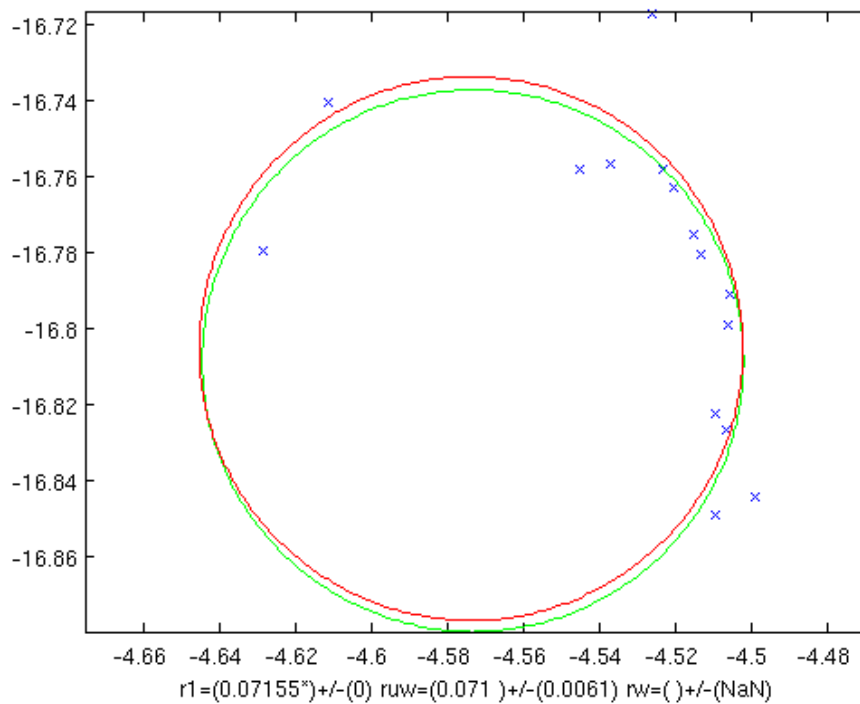
Figur 14 visar en anpassning till punkterna där det finns mycket grenar eller buskar nära stammen. Skillnaden mellan cirkelanpassningar och diametrar uppmätta i fält visas för 20 träd i Tabell 1. Anpassningen är bra för de flesta träden fast ett stort fel kunde observeras för två av träden, beroende på ett stort antal mätpunkter på grenar, jämfört med antal mätpunkter på stammen inom det valda höjdivervallet. För tre av träden med fältmätningar saknades det punkter. För dessa träd fanns det för få punkter inom det valda höjdivervallet, eller så fanns det för många träffar på grenar eller sly.

Anpassning av cirklar har tidigare gjorts till data med högre punkttäthet baserad på exempelvis statiska laserskannrar. Data från SICK-sensorn hade lägre täthet, vilket innebär ett mycket litet antal punkter inom ett 10 cm höjdivervalld och därför blir anpassningen känslig för mätpunkter på intilliggande grenar och sly. Eftersom stammarna lutar kan inte ett större höjdivervalld väljas. En lösning på detta problem kan vara att i stället anpassa cylindrar.



Figur 13.

Exempel på en bra anpassning av data till stammen (träd 17, fel = 0.2 cm). Röd cirkel är anpassning med metod R1 och grön cirkel med metod RUW.



Figur 14.  
Exempel på en dålig anpassning av data till stammen (träd 6, fel = 25 cm). Röd cirkel är anpassning med metod R1 och grön cirkel med metod RUW.

Tabell 1.  
Cirkelanpassning för intervallet från 1,25 till 1,35 m ovanför marknivå med två metoder, Gander (R1) och Gauss Newton (RUW). Skillnaden visas mellan skattad och uppmätt diameter för respektive metod (D-R1 och D-RUW).

ID	Facit(cm)	R1 (cm)	RUW(cm)	D-R1 (cm)	D-RUW (cm)	Kommentar
1	6,68	29,74	28,00	-23,06	-21,32	Många grenar/sly
2	10,82	10,48	10,00	0,34	0,82	Lite grenar
3	11,14	11,46	11,00	-0,32	0,14	Lite grenar
5	12,73	8,46	12,00	4,27	0,73	Många grenar/sly
6	15,92	41,34	42,00	-25,42	-26,08	Många grenar/sly
7	14,32	0,00	0,00	0,00	0,00	Inga punkter
8	9,87	12,82	12,00	-2,95	-2,13	Lite grenar
9	9,55	12,10	12,20	-2,55	-2,65	Lite grenar
10	12,41	11,36	11,40	1,05	1,01	Många grenar/sly
11	16,23	16,62	18,00	-0,39	-1,77	Många grenar/sly
12	11,78	13,08	13,00	-1,30	-1,22	Lite grenar
13	12,41	14,54	14,00	-2,13	-1,59	Lite grenar
14	12,41	31,90	30,60	-19,49	-18,19	Många grenar/sly
15	16,23	0,00	0,00	0,00	0,00	Inga punkter
16	15,28	17,38	18,00	-2,10	-2,72	Många grenar/sly
17	14,01	14,20	13,80	-0,19	0,21	Lite grenar
18	17,83	0,00	0,00	0,00	0,00	Inga punkter
19	16,23	14,28	14,00	1,95	2,23	Många grenar/sly
20	20,69	24,94	26,00	-4,25	-5,31	Många grenar/sly

## Egenskaper och krav på datakvalitet

Potentialen med mobila sensorer i skogsbruket baseras främst på möjligheten att bestämma två av skogens egenskaper. Det första steget är att identifiera och positionera enskilda träd och det andra är att beräkna trädstammens diameter. För att bestämma trädets diameter är det också viktigt att identifiera marken och hur högt upp på stammen som bestämningen avser. Trädets position och stamdiameter kan sedan ligga som grund för att beräkna och skatta ytterligare ett antal intressanta egenskaper. En överblick av de egenskaper som identifierats och som anses möjligt att bestämma med hjälp av mobila sensorer finns i Tabell 2.

Tabell 2.

Egenskaper som kan bestämmas med mobila lasersensorer och skördardata. Vissa egenskaper bestäms direkt med data från lasersensorn medan andra kan beräknas med befintliga funktioner eller med hjälp av kompletterade information från skördaren.

Egenskap	Data	Kommentar
Antal stammar	Position	
Areal	Position	
Stickvägsbredd	Position	
Diameter	Stam	Precisering av höjd över marken.
Stamform	Stam	Flera diametermätningar på samma stam.
Krök	Stam	
Nedre krongräns	Stam	
Trädhöjd	Stam	Trädslag, stamform och höjd till sista diametermätning kan användas för att beräkna höjd (Kiljunen, 2002).
Trädslag	Skördare	Information från avverkade träd kan användas för prognos på kvarlämnade träd (Hannrup m.fl., 2011).
Stamvolym	Stam	Stamform och höjd.
Beståndsvolym	Stam, Position	Stamvolym, stamantal, areal.
Grundyta	Stam, Position	Diameter, stamantal och areal.
Medeldiameter	Stam	Olika varianter av medeldiameter.
Medelhöjd	Stam	
Övre höjd	Stam	

Identifiering- och positionering av enskilda träd är nödvändig för att kvantifiera beståndets täthet och geografisk utbredning. Detta är nödvändigt för att beräkna områdets areal och stickvägarnas bredd. Beståndets areal är också en viktig parameter för att beräkna hela beståndets volym och grundyta.

Positionen för varje träd är också unik, vilket kan användas för att kombinera olika datakällor. Exempelvis kan data från flygburen laserskanning kombineras med data från mätningar från den mobila sensorn. Om skördaren har möjlighet att positionera de avverkade träden, kan information från skördaren effektivt kombineras med data från mätningar med den mobila sensorn. För positionering av enskilda träd är kravet som störst med avseende på trädets relativa position. Den relativa positionen är kritisk för att kunna beräkna sticksbredd, bestämma beståndsmedelvärden och att matcha ihop data från olika källor. Vår bedömning är att det relativa felet inte bör överstiga 0,5 meter. Det absoluta

felet kan däremot avvika med upp till 5 meter. Här är det möjligt att använda andra datakällor som exempelvis flygburen laser, för att placera in beståndet rätt i geografin (Olofsson m.fl., 2008). Den absoluta positioneringen av skördaren kan emellertid vara viktig av andra orsaker, som exempelvis hitta beståndsgränser- och kulturminnen.

Stammens diameter används tillsammans med arealen för att beräkna beståndets grundyta. Möjligheten att beräkna diameter på i stort sett samtliga träd ger också möjligheter att beskriva beståndets diameterfördelning. Tekniken ger också möjlighet till diametermätning högre upp i träden, vilket ger data om trädens stamform, krökar och grenar. Med fler diametermätningar högre upp i trädet skapas förutsättningar att använda funktioner för att prognostisera trädens höjd (Kiljunen, 2002). Datakraven på ett tänkt system varierar stort beroende av vilka nyttor som värderas högst. För de genomförda testerna och kartläggningen av olika sensorer på marknaden har målet varit, att uppnå en noggrannhet för stamdiameterskattningar med en standardavvikelse inom 2 cm och med ett lågt systematiskt fel. Detta motsvarar den noggrannhet vi i dag kan förvänta oss hos statiska laserskannrar. En jämförelse mellan skördarmätta stammar och stammar inmätta med markbaserad laserskanner, ger en standardavvikelse på mellan 1,5 – 2,0 cm. Standardavvikelsen hos skördare ligger på ca 0,5 cm (Möller m.fl., 2008). En viktig orsak till en stor variation av diametermätningar härrör från att stammen inte alltid är helt cirkelformad utan oval. Störst krav på bra noggrannhet är för tillämpningar som baseras på trädens diameterfördelning, medan kravet är lägre för tillämpningar som baseras på medelvärden.

För vissa mer detaljerade egenskaper som beskriver den individuella trädstammen finns en viss osäkerhet i hur bra de mobila sensorerna kan beskrivas. Det är möjligt att detta ställer högre krav på upplösning. En viktig egenskap som troligen är svår att bestämma med dessa lågupplösta sensorer är trädslagsklassificering. Här kan skördaren vara till hjälp, för alla träd som skördaren avverkar, registreras trädslag tillsammans med en mängd diametermätningar efter stammen. Baserat på skördarens diametermätningar borde det vara möjligt att ta fram funktioner för att skatta trädslagsfördelning och höjder på kvarvarande träd (jfr. Möller m.fl., 2011).

#### **Krav på datakvalitet:**

- Stamdiameter, inom 2 cm med lågt systematiskt fel.
- Relativ position, inom 0,5 m.
- Absolut position, inom 5 m.



## Nyttor i skogsbruket

Det finns många nyttor med att samla in data om träden kring en skördare. Vissa nyttor är beroende av information om de kvarlämnade träden efter exempelvis en gallringsåtgärd medan andra nyttor är beroende av information om träden före avverkning. Vi har identifierat fyra grupper av nyttor för skogsbruket. För varje nytta har den ekonomiska potentialen kvantifierats. Syftet är främst att kunna identifiera vilka nyttor som har störst ekonomisk potential och skall inte ses som något exakt prognos. För några av nyttorna har vi också identifierat ett antal konkurrerande metoder för att samla in data. Dessa är i dag outnyttjade potentialer som kan erbjuda en mer kostnadseffektiv lösning. I Tabell 3 finns en överblick av de identifierade nyttorna och vilka egenskaper som är intressanta för bestämning.

Tabell 3.  
Nyttor och egenskaper som är av intresse för bestämning.

Nytta	Egenskaper	Upplösning
Ajourhållning av avdelningsregister.	Grundyta Stamantal Medelvolym Medeldiameter Medelhöjd Övre höjd	Per trädslag och avdelning.
	Karta	Avdelning
Uppföljning av åtgärder.	Grundyta Stamantal	Per trädslag och avdelning.
	Gallringstyrka Gallringskvot Karta	Avdelning eller del av avdelning.
	Stickvägsbredd	
Referensdata till fjärranalys.	Position Diameter Trädslag Höjd	Individuella träd.
Beslutsstöd i skördaren.	Grundyta Stamantal	Del av avdelning.
	Krök Krongräns Sprötkvist	Individuella träd.

## AJOURHÅLLNING AV AVDELNINGSREGISTER

I avdelningsregistret håller markägaren information om skogens egenskaper. Skogsinnehavet är geografiskt indelat i avdelningar och för varje avdelning finns data om exempelvis grundyta, stamantal, virkesvolym, medeldiameter och medelhöjd. Egenskaperna är oftast beskrivna fördelat på respektive trädslag som finns i avdelningen. Nya inventeringsmetoder som exempelvis flygburen laserskanning ger också möjlighet att beskriva skogens egenskaper med betydligt högre geografisk upplösning än vad som görs i avdelningar. Det vanliga är att avdelningsregistrets beskrivning av virkesförråd skrivs fram med hjälp av tillväxtmodeller. Efter ett antal år blir dock osäkerheten på datakvalitet för hög och nya data bör samlas in genom en ny inventering. Det är rimligt att beskrivningarna i avdelningsregistret ajourhålls med ett intervall av ca 10 år. För planering av skötsel i enskilda avdelningar är nyttan med en noggrann och exakt

beskrivning av träden som störst i samband med att nya beslut skall fattas om åtgärder i en avdelning. Efter åtgärd är det viktigt att följa upp det åtgärdade områdets utbredning, i både gallring och slutavverkning återrapporteras en karta av det åtgärdade områdets gränser och lämnad hänsyn i form av hänsynsytor och kvarlämnade träd.

I samband med åtgärder krävs att avdelningsregistret ajourhålls. I dag baseras ajourhållningen dels på den information som finns att tillgå från skördare, exempelvis genom skördarens loggspår från GPS men också genom fältbesök med utläggning av provytor vid exempelvis gallringar. Skogforsk har i ett nyligen avslutat projekt utvecklat metodik för att beräkna beståndsvariabler för det kvarvarande beståndet efter gallring baserat på skördardata (Möller m.fl., 2011). Resultatet från den utvärdering som gjorts i projektet visade att beräknad grundyta, volym, trädslagsfördelning och övre höjd överensstämde väl med motsvarande beståndsuppgifter från manuell referensmätning (Hannrup m.fl., 2011). Precisionen för de beräknade beståndsuppgifterna var i nivå med den precision som redovisas för bestämningar av motsvarande beståndsuppgifter baserade på flygburen laserskanning. Det är troligt att markägare med en bra beskrivning av beståndet innan åtgärden har bättre möjligheter för en säker prognos som är mindre känsliga för antaganden av gallringsuttaget. Skördarens möjligheter att bestämma åtgärdernas areal kan förbättras om skördaren har möjlighet att positionera de avverkade träden. I dagens skördare anges endast positionen på maskinens hytt och inte de avverkade träden. Arealberäkning blir kritisk för medelstora och små avverkningar. En viktig egenskap som är svår att bestämma enbart med data om de avverkade träden är stamantal (Hannrup m.fl., 2011).

Den ekonomiska nyttan av bättre kvalitet och upplösning av avdelningsregistrets data är kvantifierad av Sonesson m.fl. (2008). Skogsbrukets potentiella mervärden av bättre information om skogen uppskattas till över 1,5 miljarder kronor per år. Med bättre information avses i studien längd, diameter, trädslag och position av enskilda träd med god precision och hög noggrannhet. Även om en mobil sensor kan ge prognoser på virkesförrådet precis efter åtgärden är resultatet beroende av hur bra det tål framskrivning. Efter en gallringsåtgärd är det ytterligare något decennium innan nästa beslut skall fattas.

Nyttor med automatisk ajourhållning av avdelningsregister:

- Kontinuitet i uppföljningen av gallringsåtgärder höjer kvaliteten i avdelningsregistret.
- Bättre service till markägare som får ett ”kvitto” på det kvarlämnade beståndet.
- Bättre koll på åtgärdade områden minskar risken att samma område blir aktuellt igen för åtgärd.

### **Ekonomisk potential**

Den ekonomiska potentialen förutsätts att ungefär hälften av all gallrad skogsmark följs upp i fält med samma kvalitet som motsvarande en vanlig skogsbruksplan.

Enligt statistik baserat på Riksskogstaxeringen gallrades 356 000 hektar skogsmark under 2009 (Skogsstatistisk årsbok 2010). Medelareal för föryngringsavverkningar som anmälades till Skogsstyrelsen var samma år 4,2 hektar. Om vi antar att gallringarna var lika stora betyder det att det varje år finns 85 000 avverkningsobjekt att följa upp. Om en inventerare hinner följa upp 5 områden per dag och kostar 5 000 kronor per dagsverke, betyder det att den totala kostnaden uppgår till 85 miljoner kronor per år. Vi vet att alla gallringar inte följs upp med noggranna inventeringar utan räknar med att det bara uppgår till hälften, vilket motsvarar **42 miljoner kronor per år.**

### **Osäkerhetsfaktorer**

Det är en stor osäkerhet att bestämma den ekonomiska potentialen för ajourhållning av avdelningsregister. Detta beror på att vi kommer långt med att använda befintlig information från skördaren (Hannrup m.fl., 2011). Detta är ny kunskap och utgör en potential som i dag inte utnyttjas. Ett system baserat på en mobil sensor som sitter monterat på en gallrings-skördare, skulle ge en bättre geografisk upplösning med beskrivning av varje kvarlämnat träd. Även noggrannheten skulle troligtvis överträffa prognoser baserat på data från enbart skördare. Större nytta med en ökad geografisk upplösning och bättre säkerhet i prognoserna är inte självklar i närtid men kan finnas på längre sikt. Värdet av säker information om ett gallringsbestånd är som lägst strax efter en åtgärd. Detta eftersom det ofta dröjer länge innan det är dags att planera andra åtgärder. Om andra nyttor kan motivera ett nytt system är det dock troligt att informationen från mobila sensorer kommer att användas även för ajourhållning.

## **UPPFÖLJNING AV ÅTGÄRDER**

Uppföljning av gallringsåtgärder sker i dag till stor del av skördarförarna själva och syftet är främst att utvärdera det egna arbetet och fungerar som en viktig återkoppling till skördarförarna. En gallring rör dock många intressenter och en uppföljning är intressant för flera parter. Förutom skördarförarna finns också entreprenörer, skogsbolag och markägare. En partisk oberoende uppföljning har ett stort värde för att säkra kvaliteten och stärka de enskilda företagens konkurrenskraft.

Vid uppföljning är det främst egenskaper som gallringsstyrka och gallringskvot som är av intresse men också stickvägsnät, skador på kvarlämnade träd och mark intressanta att följa upp (Bylund, 2008). Uppföljningarna sker vanligtvis med ett antal stickprovsmätningar. För att följa upp gallringsuttaget finns det flera olika metoder, exempelvis kan ett antal provtytor läggas ut där både träd och stubbar klavas. Stickvägarnas bredd kan mätas med måttband och avstånd mellan stickvägarna kan analyseras med skördarens GPS-spår. Skador på kvarlämnade träd kan uppskattas genom att skotarföraren räknar antalet skadade

träd efter en viss sträcka på en basväg eller stickväg. Det finns också exempel på mer detaljerade uppföljningar, där flera provytor läggs ut efter att åtgärden är avslutad.

En mobil sensor på skördaren som mäter in de kvarlämnade träden är ett bra komplement till den information som skördaren samlar in om de avverkade träden. Med hjälp denna information kan gallringsuttag och gallringskvot räknas fram med en hög geografisk upplösning. Med positionering av de kvarlämnade trädens skapas en karta där det är möjligt att bestämma stickvägsbredd från stickvägens början till slut. Kartan kan också vara till nytta vid planering av senare gallringar. Skulle sensorn kunna hjälpa till att identifiera skador på kvarlämnade träd och körskadorna på mark skulle även detta tillföra uppföljningen intressanta data.

Den mobila sensorns möjlighet att mäta in de kvarlämnade träden kan också vara till nytta på skördare i slutavverkning. I dessa fall är det inte intressant att mäta in kvarlämnad naturvård i form av mindre trädgrupper, evighetsträd och högstubbar. Inmätning av fröträd och skärmställningar är värdefull inför kommande avverkning.

Förväntningen är att mobila sensorer kan ge en betydligt bättre uppföljning av gallringsåtgärden än motsvarande manuella metoder som används i dag. Dels blir uppföljningen partiskt oberoende, vilket ger den en större trovärdighet för såväl markägare som skogsbolag. Markägare och skogsbolag får ett kvitto på hur väl åtgärden stämmer överens med det mål som fanns för åtgärden. En oberoende uppföljning av gallring har ett stort värde för organisation som köper in virke. När gallringar kontrakteras med markägaren förekommer det ibland att gallringskvot och gallringsstyrka specificeras i avtalet och köparen lämnar garantier på att gallringen skall vara korrekt genomförd. En annan fördel är att tekniken kan erbjuda heltäckande utvärdering av åtgärden då den är geografiskt mer detaljerad. Skördarföraren får en geografiskt heltäckande utvärdering av sitt arbete och markägaren kan utvärdera resultatet av gallringen. I vissa sammanhang kan det vara intressant att hålla ett jämt gallringsuttag över hela avdelningen medan andra markägare kan önska ett jämt virkesförråd över hela avdelningen.

Nyttor med bättre uppföljning av gallring:

- Bättre service till markägaren och skogsbolag som får ett kvitto på åtgärdens kvalitet.
- Bättre arbetsmiljö för skördarföraren som får bra återkoppling till utfört arbete, ger trygghet.
- Tryggheten för skördarföraren ökar möjlighet att på sikt bli mer exakt i gallringsuttag, vilket ökar kvaliteten och produktiviten.

### **Ekonomisk potential**

Enligt Riksskogstaxeringen gallrades 356 000 hektar skogsmark under 2009 (Anon., 2010). Vi antar att uppföljning av gallring är obligatorisk på all den gallrade skogsmarken. Om varje skördarlag tar en provyta om dagen samtidigt som avverkningstakten motsvarar 1 hektar om dagen betyder det att det läggs ut ca 350 000 provytor per år. Om det tar 20 minuter av arbetstiden att mäta in en provyta blir kostnaden 200 kronor per provyta, vilket motsvarar 70 miljoner kronor per år.

### **Osäkerhetsfaktorer**

Vår bedömning är att denna potential är underskattad då bättre kvalitet och oberoende mätning skapar ytterligare nyttigheter som är svåra att kvantifiera. Det handlar om bättre möjligheter att styra och utvärdera olika gallringsstrategier, tryggare skördarförare och nöjdare markägare. Inga konkurrerande metoder har identifierats. Ett undantag kan vara när det finns bra beskrivning av skogen innan en gallringsåtgärd. I dessa fall är det möjligt att följa upp gallringskvot och gallringsuttag med skördarens produktionsfil. Insamling av data från mobil sensor på skördare kommer troligen erbjuda en större noggrannhet och upplösning. Dessutom kan sensorn tillföra bättre uppföljning av stickvägarna. Ett plus för sensorerna är också om det finns möjlighet att registrera körskador på kvarlämnade träd och mark.

## **REFERENSDATA TILL FJÄRRANALYS**

Dagens fjärranalysbaserade inventeringsmetoder ger tillräckligt hög upplösning- och kvalitet för att beskriva skogens egenskaper i markägarnas skogsbruksplaner och avdelningsregister (Barth m.fl., 2008). Flygbaserad laserskanning är den metod som i dag används kommersiellt. På sikt finns också förhoppningar om att digitala stereobilder tillsammans med Lantmäteriets nya nationella höjdmödel, kommer att ge motsvarande 3D-data om skogen (Wallerman m.fl., 2009). Baserat på stereobilder från Lantmäteriets ordinarie bildförsörjning blir billiga fjärranalysdata tillgängligt med en kontinuerlig uppdatering av avdelningsregistrets beskrivning av trädskiktet. Lantmäteriet samlar i dag in nya flygbilder över skogsmarken med ett intervall av 4–6 år beroende av vart i landet vi befinner oss.

Oavsett vilken fjärranalysmetod som kommer att användas i framtiden så kräver fjärranalysdata komplettering med mätningar från fält. Från luften kan vi mäta in trädens position, trädslag, höjd och kronbredd, men för att skatta trädstammarnas egenskaper som volym och diameterfördelningar, krävs kompletterade diametermätningar på trädstammar från marken. Fältinventeringen sker provytestvis där alla träd på provytan klavas in och positionsbestäms. Detta för att kunna koppla samman fältmätningarna med de data som samlas in från luften. För varje laserskanningsprojekt samlas hundratals provytor in i fält och utgör en betydande del av projektens totalkostnad. Dessutom är arbetet beroende av säsongsanställd personal som kan utföra inventeringar under barmarkssäsongen. I ett tidigare projekt har SLU och Skogforsk visat på möjligheterna att ersätta fältinventeringarna med mätningar från skördare

(Holmgren m.fl., 2010). Skördaren mäter in de avverkade trädens längd, diameter och registrerar trädslag något som sedan kan användas för att beskriva bestånd som kommer att avverkas. För ett sådant system skall fungera i praktiken krävs att skördaren kan positionera de avverkade träden men också möjlighet till att samla in data om kvarlämnade träd. I slutavverkningar är det viktigt att komplettera med information om exempelvis kvarlämnade naturvårds-träd och för att kunna få göra skattningar på gallringsskogar är det nödvändigt att komplettera med data om de kvarlämnade träden efter gallring. Här spelar utvecklingen av mobila sensorer på skördare en nyckelroll.

I dag samlas data för skogsbruksplaner och avdelningsregister inte bara in med hjälp av laserdata. Framför allt på små fastigheter samlas fortfarande större delen av data in i fältinventeringar. En utveckling mot mer automatiska insamlingsmetoder av fältdata, tillsammans med ajourhållna och högupplösta data från fjärranalys stärker trenden, där mer och mer information om skogen kan uppdateras med hjälp av fjärranalys.

### **Ekonomisk potential**

Antag att 15 miljoner hektar produktiv skogsmark har en skogsbruksplan som inte är äldre än 10 år. Det betyder att 1,5 miljoner hektar skogsmark inventeras årligen. Kostnaderna för att samla in data om avdelningarnas volym, diameter och höjd med fjärranalysbaserade metoder varierar stort beroende på områdets storlek. Oavsett områdets storlek är antalet provtytor relativt konstant. För ett område på knappt 15 000 ha kostar det 50 kronor per hektar att samla in och bearbeta data varav ca 20 kronor kommer från fältinventeringar. Mobila sensorer på skördaren skulle kunna sänka kostnaderna för datafångst med **30 miljoner kronor per år**.

Virkesköpande organisationer är intresserade av data på all skogsmark inom sitt verksamhetsområde. Flera virkesköpande organisationer konkurrerar om samma virke varför samma data bör vara möjligt att sälja till flera aktörer. Om kostnaden för datafångst kan minskas är ett troligt scenario att fjärranalysdata samlas in på nästan all produktiv skogsmark. Det skulle sänka den totala inventeringskostnaden med ytterligare **10 miljoner kronor per år**.

### **Osäkerhetsfaktorer**

Även om mobila sensorer kan användas för att sänka kostnaden för insamling av data återstår en stor kostnad för process av data. Är denna kostnad större än vad skogsbruket i dag lägger ner på datafångst är det möjligt att skogsbruket ser den ökade kostnaden som en stor risk. En utveckling mot billigare tekniker kan dock hjälpa till att undvika en sådan utveckling. I en rapport från Skogforsk (Sonesson m.fl., 2008) uppskattas skogsbrukets potentiella mervärden av bättre information om skogen till över 1,5 miljarder kronor per år. Kostnaden för inventering är initialt hög medan mervärdena fördelas över flera olika verksamhetsområden.



## BESLUTSTÖD I SKÖRDARE

En mobil sensor på skördaren som i realtid kan ge föraren information om det framförvarande beståndet och enskilda trädets egenskaper, har en mängd nyttor som kan effektivisera och höja kvaliteten på skördarförarens jobb. Intressanta egenskaper för dessa tillämpningar är främst grundyta, stamantal och trädets positioner. Men även mer detaljerade beskrivningar av enskilda stammars egenskaper är av värde.

### Optimalt gallringsuttag

Genom mätning av framförvarande bestånd kan skördarföraren få information om aktuell grundyta och stamantal för att kontinuerligt anpassa uttaget till variationen i beståndet. Målet med gallringar är olika och ibland eftersträvas exempelvis ett jämt gallringsuttag över hela beståndet medan målet i andra fall kan vara att uppnå en jämn grundyta över hela beståndet. En möjlighet är att i realtid följa gallringen på en dator med en digital gallringsmall (Jacobson m.fl., 2008). I ett sådant system mäter sensorn in beståndets grundyta och stamantal framför skördaren. Fördelarna med en uppföljning i realtid är skördarföraren snabbare kan fatta beslut om antal träd som skall avverkas.

För osäkra och framför allt oerfarna skördarförare skulle detta innebära en ökad produktivitet. Informationen är också viktig ur ett arbetsmiljöperspektiv då det ger ett omedelbart kvitto på hur nära rätt gallringsuttag som avverkningen ligger. Detta förbättrar arbetsmiljön och minskar stressen genom att minska osäkerhet i vilken kvalitet arbetet uppnått. En omedelbar återkoppling till skördarföraren ger även mer rutinerade och beslutssnabba förare möjlighet att kalibrera och kvalitetssäkra sitt arbete. Om en förare konsekvent tar ut ett träd för lite kan detta korrigeras över tid.

En bra utförd gallring har ett stort goodwillvärde genom en bättre service mot markägaren. Risken för misstag genom att göra ett för kraftigt uttag i någon del av beståndet minimeras, vilket minskar riskerna för skador och förlorad virkesproduktion. Dessa värden är svåra att kvantifiera. För att i dag vara säker på att nå rätt gallringsuttag krävs det att föraren går ut ur maskinen och mäter grundyta med ett antal relaskopytor.

### **Ekonomisk potential**

Troligen den största ekonomiska potentialen för ett beslutstöd för optimalt gallringsuttag, ligger i bättre kvalitet i utfört arbete, vilket i sin tur leder till bättre framtida virkesproduktion i beståndet och nöjdare markägare.

Beslut om lämpligt uttag i gallring baseras på att man försöker hitta en optimal balans mellan avverkningsnetto för gallringen och nuvärde av kvarvarande bestånd. I dag ligger denna optimala nivå ofta i intervallet 30–40 % av grundytan. Om föraren med stöd av mätning av beståndets grundyta före gallring hela tiden kan anpassa sitt uttag så att det ligger närmare den optimala uttaget innebär detta en ekonomisk vinst. Simuleringar i kalkylverktyget ”Runes snurra” (Rosvall et al., 2007) visar att en avvikelse med 5 % från optimalt grundyteuttag i förstagallring kostar mellan 1 000–2 000 kr/ha i minskat nuvärde och/eller avverkningsnetto, beroende på trädslag, ståndortsindex mm. Kalkylerna är gjorda med 2,5 % ränta. Med en årlig gallringsareal på 356 000 hektar och med ett antagande att man på 10 % av arealen avviker mer än 5 % från optimalt uttag, så är den ekonomiska potentialen **35–70 miljoner kronor per år**.

Kan ett system skapa en trygghet hos skördarföraren och öka produktiviteten hos osäkra och oerfarna förare, finns ytterligare en ekonomisk potential. Under 2009 avverkades 62 miljoner m<sup>3</sup>fub (Anon., 2010) varav ca 30 % togs ut i gallring och resten i slutavverkning. Om avverkningskostnaden är 170 kronor per m<sup>3</sup>fub i gallring (Brunberg, 2010) ligger den totala avverkningskostnaden för gallring på drygt 3 miljarder. En ökad produktivitet i gallring med 1 % innebär en ekonomisk potential av **32 miljoner kronor per år**.

### **Osäkerhetsfaktorer**

Det är svårt att uppskatta hur stor förbättringen är men exemplet visar vilken ekonomisk potential det finns genom relativt små effektiviseringar. Goodwill i form av bättre utförda gallringar och tryggare skördarförare är andra positiva effekter som inte har kunnat kvantifieras.

### **Prognos av stam innan aptering**

En del av de testade sensorerna kan ge föraren information om egenskaper på enskilda träd som är värdefull vid apteringen. Det kan vara egenskaper om stammens krök men också grenar. I dag gör skördaren en prognos av stammens avsmalning baserad på diametermätningar på stammens rotstock. Skördarens apteringsdator förslår sedan hur stammen bör apteras baserat på trädets avsmalning. Är stammen exempelvis krökt måste föraren avgöra hur långa stockar som skall produceras för att maximera utbytet. Några exempel på egenskaper som är av intresse för apteringen är avståndet mellan grenvarven, detektering av sprötkvist, antal grenar per grenvarv och grenarnas grovlek.

Om skördarföraren vet, vilket sortiment som rotstocken faller inom innan stammen apteras kan aggregatet vinklas i rätt riktning innan stammen upparbetas. Detta för att stocken skall hamna i rätt hög. Potentialen genom ökad produktivitet begränsas till dessa stammar som skördarföraren i dag på egen hand kan klassa i rätt sortiment.

### **Ekonomisk potential**

Den ekonomiska potentialen för prognos av stam innan aptering kan sättas i relation till skogsbrukets förädlingsvärde som 2004 låg enligt SCB på drygt 10 miljarder kronor. Ett ökat förädlingsvärde med 0,5 % innebär en ekonomisk potential av **54 miljoner kronor per år**.

### **Osäkerhetsfaktorer**

Det är svårt att uppskatta hur stor ökning av förädlingsvärdet som mobila sensorer kan bidra till. Exemplet visar dock att det finns mycket pengar att tjäna på små förbättringar som höjer förädlingsvärdet. Att skapa ett system som noggrant kan mäta in det enskilda trädet innan avverkning ställer än högre krav på tekniken än övriga nyttor som identifierats i rapporten.

### **Rätt stickvägsavstånd**

För effektiv avverkning krävs ett optimalt avstånd mellan stickvägarna både i gallring och i slutavverkning. Ligger stickvägarana för tätt kan inte skördaren utnyttja hela sin räckvidd utan måste köra extra sträckor genom beståndet. För stor andel stickvägar i gallring påverkar beståndets tillväxt under en hel omloppstid. Även i slutavverkning är det ineffektivt om stickvägarna hamnar för tätt.

### **Ekonomisk potential**

Under 2009 avverkades 62 miljoner m<sup>3</sup>fub (Anon., 2010) varav ca 30 % togs ut i gallring och resten i slutavverkning. Om avverkningskostanden är 170 kronor per m<sup>3</sup>fub (Brunberg, 2010) i gallring ligger den totala avverkningskostnaden för gallring på drygt 3 miljarder. För slutavverkning är avverkningskostnaden 90 kronor per m<sup>3</sup>fub (Brunberg, 2010), vilket motsvarar en årlig kostnad av nära 4 miljarder kronor. En ökad produktivitet i all avverkning med 1 % innebär en ekonomisk potential av **70 miljoner kronor per år**.

### **Osäkerhetsfaktorer**

Det är svårt att uppskatta hur stor förbättringen är men exemplet visar vilken ekonomisk potential det finns genom relativt små effektiviseringar.

## **ANDRA ICKE KVANTIFIERADE NYTTOR**

### **Diametermätning vid flerträdshantering**

En begränsning med flerträdshantering är att skördaren enbart klarar av att mäta in diameter på den första stammen som avverkas i varje bunt. För att beräkna stamvolymen för alla träd i buntens används antal stammar och första stammens diameter. Om skördarföraren exempelvis systematiskt väljer ut att avverka de klenaste stammarna först i buntens betyder att stamvolymen systematiskt underskattas. Ett sensorsystem som mäter diametern på alla träden i buntens kan således förbättra volymberäkningarna.

## Mätning av kontrollstammar

Testernas slutsatser av Mantis-Visions F5 är att tekniken inte lämpar sig att monteras på en skördare. Däremot har tekniken visat sig vara mogen för att användas manuellt för att mäta in enskilda träd. Sensorn har förutsättning att användas vid exempelvis klavning av kontrollträd. För att kalibrera skördarens längd- och diametermätning samlar skördarföraren vid ett eller flera tillfällen per dag in manuella diametermätningar på alla stockar från ett avverkat träd. Vid kalibreringen mäts stockarna längd samtidigt som diametern korsklavas med ett intervall av ca 1 meter. Om sensorn på ett snabbt och effektivt sätt kan mäta in stockarnas dimensioner kan det vara en intressant teknik för att mäta in kontrollträden. Ett exempel på problem med dagens manuella klavning är att mätningar skall göras på bark samtidigt som mätningar på ”svullnader” av stammen inte är tillåten. Kan detta skötas med automatiska algoritmer kan troligtvis kvaliteten öka.

Om tillverkaren inom ett par år har möjlighet att leverera enhet som kan processa data i realtid och som inte kostar mer än 100 000 SEK kan det vara ett intressant alternativ att följa upp. Om metoden visar sig vara tidseffektiv och kan ge bättre mätningar kan det vara ett alternativ till dagens metod som baseras på klave och måttband.

## Diskussion och slutsatser

### FÖRSLAG PÅ FRAMTIDA SYSTEM

Larsson m.fl. (2012) föreslår två olika system att arbeta vidare med, det första är stirrande korthållslaser, vilket är en intressant teknik på längre sikt. Här finns dock i dag brister vad gäller ljuskänslighet och oklarheter med avståndsmätningen som behöver utvecklas. Det andra alternativet är att använda pulserande linjelaser, vilket har visats fungera bra för att mäta in stamdiameter på upp till 12 meters avstånd. Troligt skulle det fungera på ytterligare några meters avstånd, vilket bör göra det möjligt att mäta in träd även mitt emellan stickvägar. Upplösningen försämrar på ökat avstånd från sensorn men detta kan kalibreras genom att komplettera med en vanlig kamera. Videokamerorna som var med i projektet ger nära 7 gånger så hög upplösning per grad (field of view).

Oavsett vilken teknik som används är det nödvändigt att med hög noggrannhet kunna följa plattformens position och riktning. I det enkla fallet när vi kör på en rak och jämn väg räcker det att använda en odometer som håller koll på fordonets rörelse genom att räkna hjulets varvantal. På skogsmark blir detta mer komplicerat och i detta fall räcker inte den enklare tröghetsnavigering och GPS som användes i studien. Möjligen att en kombination av odometern tillsammans med tröghetsnavigering och GPS kan bli fullt tillräckligt. Ett intressant alternativ för positionering är annars att använda kamerabilderna tillsammans med SLAM.

## **KRAV PÅ ANPASSNING AV BEFINTLIGA METODER**

Test av SICK med befintliga metoder för att detektera träd och bestämma diameter visar att detekteringen fungerar bra. Diameterbestämningen baseras i dag på mätdata från en cirkel (stammens genomskärning), dessa bör uppdateras för att hantera laserdata från hela cylindrar. Detta för att få tillräckligt många mätpunkter.

## **STÖRST EKONOMISK POTENTIAL**

Även om resultaten för den ekonomiska potentialen är osäker kan vi konstatera att det finns ett stort ekonomiskt utrymme för att utveckla mobila sensorer på skördare. Den totala potentialen uppgår till 360 miljoner kronor per år. Ett system för 100 000 kronor som kan monteras på de 350 skördare som säljs årligen i Sverige skulle uppgå till en kostnad av 35 miljoner kronor. Till detta tillkommer sedan en startkostnad för utveckling av system som integrerar informationen med den övriga verksamheten.

Det är dock många olika nyttor som är identifierade och olika nyttor ställer olika krav på ett färdigt system. Ett system som kan summera ihop alla identifierbara nyttor är så klart väldigt kostsamt och riskabelt att utveckla. En del nyttor baseras enbart på data om de kvarlämnade träden medan andra kräver information om träd innan avverkning. För att få information om träden före avverkning kräver att data samlas in för ett större område. Även upplösningen skiljer sig mellan olika tillämpningar, samtidigt som några också kräver att data processas i realtid.

En viktig fråga är hur mycket mer komplicerat ett system skulle vara som mäter in träden innan avverkning. Detta ger möjlighet att dra nytta av de flesta av de potentialer som identifierats. Om detta är kostsamt kan i stort sätt samma nytta uppnås genom att mäta träden efter maskinen. Ett förenklat system som nästan uppnår den fulla ekonomiska potentialen skulle kunna se ut på följande sett. Sensorerna på skördaren mäter in träden strax bakom skördaren och processar data i realtid. Här blir data om de avverkade träden en viktig källa för att beräkna hur skogen såg ut innan avverkning. Skördarföraren får en nästan omedelbar återkoppling av gallringsuttag och gallringskvot, vilket borde betyda att optimalt gallringsuttag bör kunna uppnås. Den potential som ett sådant system inte klarar av att hantera är information om egenskaper som är av intresse för apteringen.

## **FRAMTIDA UTVECKLINGSINSATSER**

Mycket utvecklingsarbete återstår innan tekniken kan användas i operativ drift. Några av de viktigaste insatserna blir att komplettera mätsystemet med en billigare teknik för positionering än det som används i dag. Ett komplett fungerande system måste sedan testas i olika typer av bestånd och slutligen monteras på skördare. I ett operativt system ingår även möjligheter för att automatiskt processa data för beräkning av skogens egenskaper.

## Referenser

- Anon. 2010. Skogsstatistisk årsbok. Skogsstyrelsen. Jönköping.
- Barth, A., Hannrup, B., Möller, J. & Wilhelmsson, L. 2008. Validering av FORAN SingleTree® Method. Arbetsrapport 666, Skogforsk.
- Brunberg, T. 2010. Skogsbrukets kostnader och intäkter 2009 – Ökade drivningskostnader och lägre virkespriser. Resultat 7–2010, Skogforsk.
- Bylund, A. 2008. En analys av SCA Skog AB:s metod för egenuppföljning av gallringar. Examensarbeten 2008:1, Institutionen för skogens ekologi och skötsel, SLU.
- Fischer, M. A. & Bolles, R. C., 1981. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Comm ACM* 24(6), pp. 381–395.
- Gander, W., Golub, G. H. & Strebel, R., 1994. Least squares fitting of circles and ellipses. *BIT* 34, pp. 558–578.
- Hannrup, B., Bhuiyan, N. & Möller, J. J. 2011. Utvärdering av ett system för beräkning och återföring av skördarbaserad information till skogliga register och planeringssystem. Arbetsrapport 757, Skogforsk.
- Holmgren, J., Barth, A., Larsson, H. & Olsson, H. 2010. Prediction of stem attributes by combining airborne laser scanning and measurements from harvesting machinery. *Silvilaser 2010, the 10th International Conference on LiDAR Applications for Assessing Forest Ecosystems*, September 14–17, 2010 in Freiburg, Germany.
- Holmgren, J., Nilsson, M., Olsson, H., Næset, E., Gobakken, T., Hyypä, H., Hyypä, J., Maltamo M., Persson, Å. & Söderman, U. 2004. Laser scanning of forest resources: the nordic experience. *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 19, nr 6 482–499.
- Jacobson, S., Pettersson, F., Sikström, U., Nyström, K. & Övergaard, B. 2008. INGVAR – gallringsmall och planeringsinstrument. Resultat 10–2008, Skogforsk.
- Kiljunen, N. 2002. Estimating dry mass of logging residues from final cutting using a harvester data management system. *International Journal of Forest Engineering* 13(1):17–25.
- Larsson, H., Engström, P. & Rydell, J. 2012. Measurement of tree population with new sensor technology at forest harvester – Study and test of existing laser imaging systems. Arbetsrapport FOI.
- Möller, J.J., Arlinger, J., Hannrup, B. & Jönsson, P. 2008. Virkesvärdestest 2006. Redogörelse Nr 5, Skogforsk.
- Möller, J. J., Arlinger, J., Barth, A., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2011. Ett system för beräkning och återföring av skördarbaserad information till skogliga register- och planeringssystem. Arbetsrapport 756, Skogforsk.
- Nocedal, J. & Wright, S. J., 2006. *Numerical Optimization*. 2 edn, Springer-Verlag.
- 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.
- Rosvall, O., Simonsen, R., Rytter, L., Jacobsson, S. & Elfving, B. 2007. Tillväxthöjande skogsskötselåtgärder för privatskogsbruket – underlag för lönsamhetsberäkningar. Arbetsrapport 640, Skogforsk.



- Sonesson, J., Arlinger, J., Barth, A., Eriksson, B., Frisk, M., Jönsson, P., Möller, J., Svensson, G., Thor, M. & Wilhelmsson, L. 2008. Analys av potentiella mervärden i kedjan skog-industri vid användning av pulsentensiv laser scanning. Arbetsrapport 654, Skogforsk.
- Wallerman, J., Bohlin, J., Fransson, J. & Lundberg K. 2009. Forest data capture using optical 3D digital surface models from the C3 Technologies system. ASPRS/MAPPS 2009 Specialty Conference, DIGITAL MAPPING – From Elevation to Information, San Antonio, Texas, USA, 16-19 November, 2009.



## Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2011

2011

- Nr 733 Rytter, L., Johansson, T. Karačić, A., Weih, M. m.fl. 2011. Orienterande studie om ett svenskt forskningsprogram för poppel. 210 s.
- Nr 734 Hannerz, M. & Fries, C. 2011. Användningen av webbtjänsterna Kunskap Direkt och Skogsskötselserien. – En enkätundersökning bland skogsbrukets fältpersonal. 48 s.
- Nr 735 Andersson, M. & Berglund, A. 2011. Test av pekskärmsmobiler. 22 s.
- Nr 736 Löfgren, B., Englund, M., Fogdestam, N., Jönsson, P., Lundström, L. & Wästerlund, I. 2011. Spårdjup och vibrationer för banddrivna skotare Lightlogg C och ProSilva. 32 s.
- Nr 737 Brunberg, T. 2011. Studie av flerträdshantering i slutavverkning med John Deere 1470D hos SCA Skog hösten 2010. 8 s.
- Nr 738 Fogdestam, N. & Lundström, H. 2011. Studier av Offset Crane Concept, OCC hos Kjellbergs Logistik & Teknik i Hällefors. 15. s.
- Nr 739 Enström, J. & Röhfors, G. 2011. Effektivare järnvägstransporter med större fordon – En förstudie. 28 s.
- Nr 740 Iwarsson Wide, M. & Fogdestam, N. 2011. Jämförande studie av olika uttagsmetoder av massaved och skogsbränsle i klen gallring. – Energived- och massavedsuttag med LOG MAX 4000B, Stora Enso Skog, Dalarna. 36 s.
- Nr 741 Brunberg, T. 2011. Uppföljning av utbildningseffekten hos maskinlag hos SCA Skog AB 2010. 8 s.
- Nr 742 Hannrup, B., Andersson, M., Bhuiyan, N., Wikgren, E., Simu, J. & Skog, J. 2011. Vinnova\_Slutrapport\_P34138-1\_101221. – Slutrapport för projekt ”Beröringsfri diametermätning i skördare – utveckling av mätsystem och tester i produktionsmiljö”. 84 s.
- Nr 743 Åström, H. 2011. Förbättring av arbetsförhållande i skördare. Improvement of working conditions in harvester. 126 s.
- Nr 744 Cheng, C. 2011. Modellering av åkkomforten i en skotare. Modeling the Ride Comfort a Forwarder. 93 s.
- Nr 745 Jonsson, J. 2011. Dynamisk däckmodellering och markinteraktion för skogsmaskiner. Dynamic tire modeling and soil interaction regarding forestry machines. 52 s.
- Nr 746 Grönqvist, D. 2011. Konzeptutveckling av hybriddrivlina för skogsmaskiner. Concept development of a hybrid powertrain for forest machines. 180 s.
- Nr 747 Bhuiyan, N., Arlinger, J. & Möller J.J. 2011. Utveckling och utvärdering av en standardiserad metod för volymbestämning och stamräkning vid avverkning med flerträd shanterande skördaraggregat. 34 s.
- Nr 748 Brunberg, T. & Hagos Lundström. 2011. Studier av TimBear Lightlogg C i gallring hos Stora Enso Skog våren 2011. 9 s.
- Nr 749 Eliasson, L., Granlund, P., Johannesson, T. & Nati, 2011. Prestation och bränsleförbrukning för tre flishuggar. 15 s.
- Nr 750 Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Hannrup, B. & Nordström, M. m.fl. 2011. D3.5-Methods and models for relating wood properties and storage conditions to process efficiency and product quality. 67 s.

- Nr 751 Mohtashami, S. 2011. Planning forest routes for silvicultural activities using GIS based techniques – A case study of Selesjö in Östergötland, Sweden. Bättre planering av avverkning vägar med GIS. 39 p.
- Nr 752 Bergkvist, I. & Fogdestam, N. 2011. Slutrapport – Teknik och metoder vid energiuttag i korridorer. 26 s.
- Nr 753 Westlund, K., Jönsson, P., Flisberg, P. & Rönnqvist, M. 2011. Skotningsplanering – SPORRE- och GROT-sporreprojektet. 23 s.
- Nr 754 Sjöström, L. 2011. Fuktighetsmätning av skogsbränsle – Genomgång av tekniska principer och översikt av marknadsförda utrustningar. 25 s.
- Nr 755 Eliasson, L. & Lundström, H. 2011. Skotning av färsk och hyggestorkad grot variabelt lastutrymme. 10 s.
- Nr 756 Möller, J. J., Arlinger, J., Barth, A., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2011. Ett system för beräkning och återföring av skördarbaserad information till skogliga register och planeringssystem. 56 s.
- Nr 757 Hannrup, B., Bhuiyan, N. & Möller, J.J. 2011. Utvärdering av ett system för beräkning och återföring av skördar baserad information till skogliga register och planeringssystem. 72 s.
- 2012**
- Nr 758 Löfroth, C. & Svenson, G. 2012. ETT – Modulsystem för skogstransporter – En trave Till (ETT) och Större Travar (ST). 151 s. ETT – Modular system for timber transport One More Stack (ETT) and Bigger Stacks (ST). p. 156.
- Nr 759 von Hofsten, H., Johannesson, T. & Aneryd, E. 2012. Effekter på stubbskördens produktivitet beroende på klippningsgraden. Impact of stump splitting on harvest productivity 22 s.
- Nr 760 Jönsson, P. & Englund, M. 2012. Air-Hawk-luftkudde. Ergonomiskt hjälpmedel för skogs- och jordbruksmaskiner. Airhawk Seat Cushion – Ergonomic aid for forestry and agricultural machinery. 24 s.
- Nr 761 Rosvall, O. & Lindgren, D. 2012. Inbreeding depression in seedling seed orchards. Under bearbetning.
- Nr 762 Hannrup, B. & Lundgren, C. 2012. Utvärdering av Skogforsks nya barkfunktioner för tall och gran – En uppföljande studie. – Evaluation of Skogforsk's new bark equations for Scots pine and Norway spruce 26 s.
- Nr 763 Englund, M. 2012. LED-ljus i aggregatet – En pilotstudie. LED lighting on harvester head. A pilot study. 6 s.
- Nr 764 Bhuiyan, N., Arlinger J. & Möller, J.J. 2012. Kartunderlag för effektivare grotskotning genom export av shapefiler. – Map support for forwarding of logging residues through export of shape files. 22 s.
- Nr 765 Brunberg, T. 2012. Studie av flerträdshantering i slutavverkning med John Deere 70E hos Holmen Skog vintern 2012. – Study of multiple tree handling in clear cutting with John Deere 1170E together with Holmen Skog in the winter of 2012. 7 s.
- Nr 766 Löfgren, B., Englund, M., Jönsson, P., Wästerlund, I. & Arvidsson, J. 2012. Spårdjup och marktryck för skotare med och utan band samt styrbar boggi. 15 s. – Rut depth and ground pressure for forwarder with and without tracks. 18 s.

- Nr 767 Eriksson, B. 2012. Utveckling i outsourcad skogsvård. Improving productivity and quality in out sourced silviculture 14 s.
- Nr 768 Fogdestam, N., Granlund, P. & Eliasson, L. 2012. Grovkrossning och sällning av stubbar på terminal. Coarse grinding of stumps and sieving of the produced hog fuel. 9 s.
- Nr 769 Hannerz, M. 2012. Vem besöker Kunskap Direkt och vad tycker de? – Who visits Knowledge Direct (Kunskap Direkt) and what do they think of it? 38 s.
- Nr 770 Iwarsson-Wide, M., Jönsson, P. 2012. Utvärdering av kranhängda vågsystem. Evaluation of crane-mounted weighing systems. 24 s.
- Nr 771 Skutin, S.-G. 2012. Lönsamhet för CTI på virkesfordon. Profitability for CTI on roundwood haulage vehicles. – Cost-benefit analysis of using CTI on roundwood haulage vehicles 25 s.
- Nr 772 Sonesson, J., Mohtashami, S., Bergkvist, I., Söderman, U., Barth, A., Jönsson, P., Mörk, A., Jonmeister, T. & Thor, M. 2012. Beslutsstöd och metod för att minimera markpåverkan vid drivning. – Slutrapport från projekt ID 0910/143-10.
- Nr 773 Barth, A., Sonesson, J., Larsson, H., Engström, P., Rydell, J., Holmgren, J., Olofsson, K., Forsman, M. & Thor, M. Beståndsmätning med mobila sensorer i skogsbruket. – Use of mobile sensors in forestry to measure stand properties. 32 s.

## SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

arbetar för ett lönsamt, uthålligt mångbruk av skogen. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiftelsen, gods, skogsmaskinföretagare, allmänningar m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

### FORSKNING OCH UTVECKLING

Två forskningsområden:

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

### UPPDRAG

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Det kan gälla utredningar eller anpassning av utarbetade metoder och rutiner.

### KUNSKAPSFÖRMEDLING

För en effektiv spridning av resultaten används flera olika kanaler: personliga kontakter, webb och interaktiva verktyg, konferenser, media samt egen förlagsverksamhet med produktion av trycksaker och filmer.

Från Skogforsk nr. 773-2012



[www.skogforsk.se](http://www.skogforsk.se)