



Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 867–2015

Automatisk skäppmätning av flis med laser – en förstudie

Automatic laser measurement of loose volume of chips
– a pilot study

Lars Fridh och Johan Öhgren, FOI

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 867-2015

I serien Arbetsrapport finns bakgrundsmaterial, metodbeskrivningar, resultat, analyser och slutsatser från både pågående och avslutad forskning.

Titel:

Automatisk skäppmätning av flis med laser – en förstudie.

Automatic laser measurement of loose volume of chips. – a pilot study.

Bildtext:

Flisbil lossar en skäppa med flis vid värmeverket.

Ämnesord:

Skogsbränsle, flis, mätning, fastvolym, sensorer,

Wood fuel, wood chips, measurement, solid volume, sensors.

Redigering och formgivning:

Inggerd Hallberg

© Skogforsk 2015

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



Lars Fridh, jägmästare, forskare inom skogsbränsleprogrammet på Skogforsk sedan 2011. Arbetar huvudsakligen med mätning av skogsbränslets kvantitet och kvalitet samt skogsbränslets produkttegenskaper och specifikation.



Johan Öhgren, fysiker, arbetar sedan 2001 som forskningsingenjör på FOI, Totalförsvarets forskningsinstitut, enheten Elektrooptiska system. Framträdande verksamhetsområden är skydd mot bländande och förstörande laser, fri optisk kommunikation och optisk mätverksamhet i allmänhet.

Abstract

Automatic measurement of chip volume in a container requires information about the surface profile of the chip load. A surface profile can be generated using electromagnetic radiation in the optical area, by measuring the distance to several points above the surface of the load. The length, width and height of the container are also needed – this data is obtained either by measuring or the container dimensions may already be known and recorded.

In this study, optical techniques were broadly grouped into: 1) pulsed line scanner, 2) 3D flash sensor, 3) laser triangulation sensor, 4) structured-light 3D scanner, and 5) stereoscopy. The two sensors using triangulation (3 & 4) can, in theory, measure the volume very accurately, but are not useful in practice because they can only measure objects up to about one metre in width. For a truck-load, this means several sensors are needed simultaneously, which is expensive and increases the time needed for measurement. Sensors with modulated lasers (1 & 2) have the potential to measure surface profiles and volume, but the truck must move forward under the sensor. A possible alternative to laser sensors is to use stereo cameras (5), which are relatively inexpensive.

Innehåll

Sammanfattning.....	2
Bakgrund	2
Syfte.....	2
Material och metoder.....	3
Resultat och diskussion	5
Mättekniska principer.....	5
Skannande modulerad laser	5
Modulerad laser med stirrande matrisdetektor	6
Triangulering med linjelaser.....	7
Triangulering med strukturerad laser	8
Stereoskopi.....	9
Elektromagnetisk strålning utanför det optiska området.....	9
Exempel på sensorer och deras operativa tillämpning.....	10
LMS 531/SICK (skannande modulerad laser).....	10
CamCube/PMDTec (modulerad laser meter stirrande matrisdetektor) ...	12
Vivid 910/Konica Minolta (triangulering med linjelaser)	14
F5/Mantis Vision (triangulering med strukturerad laser)	15
Bumblebee2/Point Grey (stereokamera).....	16
Sensoröversikt	17
Slutsatser.....	18
Litteratur.....	18

Sammanfattning

För att automatisera skäppmätningen (skrymvolym) för en container med flis behöver man känna ytprofilen på flislasten. En ytprofil kan skapas genom att med elektromagnetisk strålning i det optiska området, mäta avståndet till många olika punkter över lastens yta. Vidare behöver man känna till längd och bredd samt djup på containern, antingen genom att mäta dem varje gång eller genom att mätningarna finns registrerade som kända mått. I studien gjordes en grov gruppindelning av optiska tekniker i skannande modulerad laser, modulerad laser med stirrande matrisdetektor, triangulering med linjelaser, triangulering med strukturerad laser samt stereoskopi.

De två triangulerande sensorerna kan teoretiskt sett mäta volymen mycket noggrant men är inte praktiskt användbara, eftersom de enbart klarar av mätobjekt upp till cirka en meters storlek. För ett lastbilslass medför det att flera sensorer behövs samtidigt (hög kostnad) och mätningen skulle ta längre tid. Sensorer med modulerad laser har potentialen att kunna mäta upp ytprofiler och volymer, men kräver att lastbilen rör sig framåt under sensorn. Ett tänkbart alternativ till lasersensorer är att använda stereokamera, som har fördel av att de har ett lågt pris.

Bakgrund

Handelsmättet m^3 s används i dag inom handeln med skogsbränsle, framför allt som ersättning till skogsägare. Med nya Virkesmätningsslagen kommer nya krav på noggrannhet och systematisk kontroll vid mätningen. Användandet av laserskanner har då dykt upp som ett tänkbart alternativ. Laserskanner används redan i dag för mätning av rundvirke. På marknaden finns företag som utvecklat och säljer skannerutrustning direkt avsedd för att mäta flis i lastbil. Denna utrustning ansågs vara för dyr (1 miljon kronor år 2012) och var för avancerad för att kunna tillämpas på mindre terminaler och mätplatser.

Innan en vidareutveckling blir möjlig med att finna enklare lasertekniska lösningar, är det lämpligt att genomföra en marknadsundersökning för att höja kunskapen om, och förståelse för tekniken med att använda laserskanner vid skäppmätning av flisbilar. En framtida laserskanningsmetod bör vara applicerbar mot SDC, så att data kan hanteras utan dubbelkommando, samt att metoden är branschanpassad för köpare och leverantörer. Det är viktigt att utrustningen kan mäta flis av alla trädbränslen, d.v.s. primära skogsbränslen, biprodukter från industri och returträ.

Syfte

Syftet med förstudien var att genomföra en marknadsöversikt, för att öka kunskapen om laserskannerteknik för mätning av skäppa, samt för att kartlägga pris och prestanda. Syftet har även varit att skaffa en uppfattning om hur avancerad en anpassning till skäppmätning skulle vara med avseende på noggrannhet och tillämpbarhet. Dessa kunskaper kan sedan ligga till grund för ett fortsatt arbete med automatisk skäppmätning med laserskanner.

Material och metoder

En grov indelning av optiska tekniker i olika grupper gjordes enligt följande:

- Skannande modulerad laser.
- Modulerad laser med stirrande matrisdetektor.
- Triangulering med linjelaser.
- Triangulering med strukturerad laser.
- Stereoskopi.

För varje grupp av optiska tekniker sammanställdes en sammanfattande beskrivning av dess mättekniska principer, dvs. hur mätningen sker och med vilka förutsättningar och begränsningar.

För att analysera de olika principernas teoretiska noggrannhet vid en operativ tillämpning valdes en produktmodell ur respektive teknisk princip. Produktens tekniska specifikationer användes vid de teoretiska beräkningarna. Tekniska specifikationer, beskrivningar och prisuppgifter för produktmodellerna hämtades via tillverkarnas hemsidor på internet under våren-hösten 2014 enligt nedan:

Tabell 1.

Översikt över de produktmodeller ur respektive teknisk princip som användes för analys av teoretisk noggrannhet.

Teknisk princip	Tillverkare	Modell	Hemsida
Skannande modulerad laser	SICK	LMS 531	www.mysick.com
Modulerad laser med stirrande matrisdetektor	PMDTec	CamCube 3.0	www.pmdtec.com
Triangulering med linjelaser	Konica Minolta	Vivid 910	www.qubic.com.au
Triangulering med strukturerad laser	Mantis Vision	F5	www.bssrsa.com
Stereoskopi	Point Grey	Bumblebee2	www.ptgrey.com

Utgångspunkten för analysen av den operativa tillämpningen var att:

- Mätning sker vid själva tippplatsen, men kan ske på annan plats.
- Lastbilen inte behöver vara placerad på exakt samma sätt vid olika mättillfällen.
- Lastbil omfattar dragbil med en container och släp med två containrar.
- Containrar har måtten B x L x H på $6,00 \times 2,44 \times 2,69$ (m) ca 39 kubikmeter.

Analysen för den teoretiska noggrannheten vid mätning av skrymvolym (m^3 s) för ett lastbilslass med flis gjordes utifrån två olika scenario enligt:

Scenario 1

- Måtten på containern är kända.
- Sensorn mäter lastens ytprofil i förhållande till kanten på containern.
- Lastens volym kan beräknas direkt då containerns mått är kända.
- Mätning före och efter tippning kan behövas om flisrester finns kvar efter tippningen.

Scenario 2

- Måtten på containern behöver inte vara kända.
- Sensorn mäter lastens ytprofil i förhållande till kanten på containern.
- En mätning görs före tippning och en andra mätning efter tippning. Skillnaden mellan de två ytprofilerna ger tippad volym.

Prisuppgifterna som anges är riktpriiser för sensor med standardprogramvara. De ska därför endast ses som en jämförelse av olika optiska teknikers kostnadsnivå i förhållande till varandra. För att få ett operativt mätinstrument för mätning av lastbilslass tillkommer kostnader för:

- Utveckling och konstruktion av stativ/hållare för montering av sensor och kablage.
- Utveckling och konstruktion av programvara för mätmetod, algoritmer för korrigering av mätdata, gränssnitt för kommunikation och handhavande.
- Test, kalibrering och validering av mätare (stativ, sensor, programvara)
- Material till stativ, dator, kablage samt montering.

Kostnaderna för att utveckla en färdig mätare har inte undersökts i denna studie.

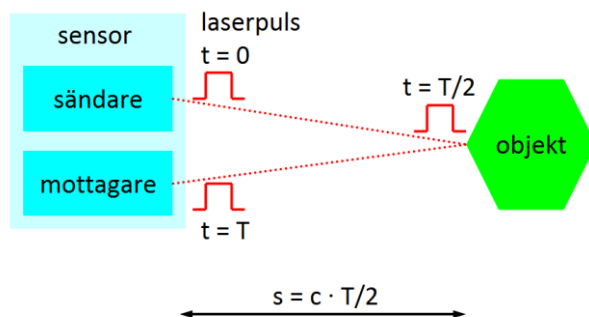
Resultat och diskussion

MÄTTEKNISKA PRINCIPER

En ytprofil för flislasten kan skapas genom att mätutrustningen mäter avståndet till många olika punkter över lastens yta. Detta kan göras med elektromagnetisk strålning i det optiska området (främst synligt ljus med våglängder i området 400–700 nm och infraröd strålning med våglängder över 700 nm) eller i andra områden av det elektromagnetiska spektrat. Aktiva metoder med laser (eller lysdioder) kan användas, eller passiva metoder med solen som naturlig strålkälla. Lasern kan moduleras för avståndsbestämningen, eller så används den för att skapa mönster som avläses med kameror. Det finns naturligtvis också en rad metoder för avståndsbestämning som inte alls använder sig av elektromagnetisk strålning.

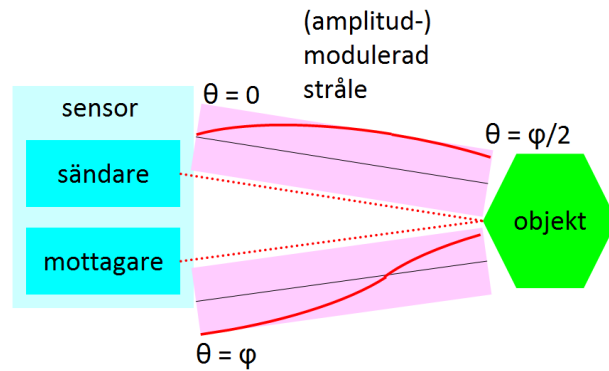
Skannande modulerad laser

Sensorer som arbetar med skannande modulerad laser kallas vanligen laser-skanner på svenska och *laser scanner* eller *pulsed line scanner* på engelska. Modulering av en laser innebär att man lägger en signal på laserstrålen som varierar i tiden. Efter reflektion mot objektet som man vill mäta avståndet till tas laserstrålen emot och genom att jämföra mottagen signal med den som skickas ut, kan man få information om hur långt laserstrålen färdats. En grundläggande form av modulering är att skicka ut laserpulser och sedan mäta tiden det tar för pulsen att färdas till objektet och åter till mottagaren.



Figur 1.
Den modulerade lasern skickar ut pulser och avståndet (s) bestäms genom tidmätning (t) och ljusets hastighet (c).

En annan vanlig modulering är att variera styrkan på en laserstråle i en vågform. Genom att mäta var på vågformen den utsända strålen ligger och var på vågformen den mottagna strålen samtidigt befinner sig får man information om sträcka som strålen färdats.



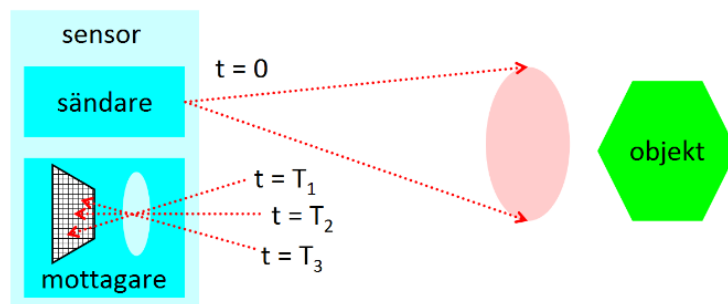
Figur 2.
Den modulerade lasern skickar ut en vågform och avståndet bestäms genom fasmätning.

Utöver dessa två metoder finns det ett antal mer avancerade metoder, till exempel frekvensmodulering.

En skannande sensor med modulerad laser arbetar efter en enkel princip: En modulerad laserstråle skickas ut från sensorn i en viss riktning och en mottagare i samma sensor mäter svaret från det objekt som träffas av strålen. Avståndet från sensorn till objektet, i känd riktning, kan beräknas. Eftersom man vill mäta avståndet till en hel yta låter sensorn strålen svepa (skanna) över ytan och avståndet till ett stort antal punkter på ytan mäts upp, vilket ger en så kallad ytprofil för ytan.

Modulerad laser med stirrande matrisdetektor

En modulerad laser med stirrande matrisdetektor kallas vanligen för stirrande sensor. På engelska kan man möta begreppen *(3D) flash sensor*, *(3D) flash lidar*, *short range flash* och *time-of-flight camera*.



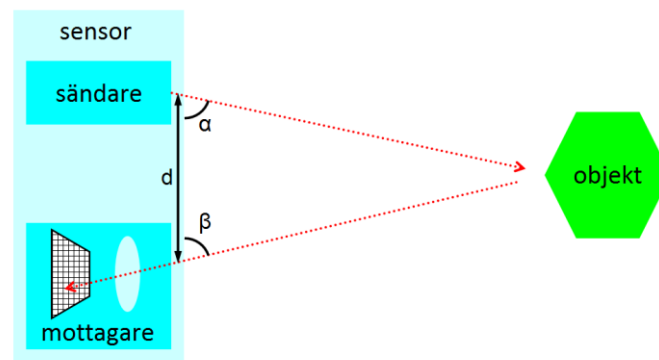
Figur 3.
Den modulerade lasern skickar ut laserstrålning som täcker hela objektet. En stirrande matrisdetektor bestämmer avståndet till olika punkter på objektet till exempel genom tidmätning.

Sensorn skickar ut en modulerad laserstråle men i stället för i en smal stråle går lasern ut brett och täcker hela den yta som man vill mäta upp. Sensorns mottagare liknar en vanlig digital kamera, fast bildsensorn är en matris av små laser-detektorer som mäter reflekterad laserstrålning individuellt. Varje detektorelement ser i en viss riktning och kan beräkna avståndet till objektets yta i den riktningen.

Resultatet blir en ytprofil av samma slag som från en skannande modulerad laser, med den skillnaden att hela ytprofilen skapas på en gång utan att laserstrålen behöver svepa över ytan. Matrisdetektorn behöver inte heller skannas, utan överblickar hela ytan på en gång; man säger att den ”stirrar” på ytan.

Triangulering med linjelaser

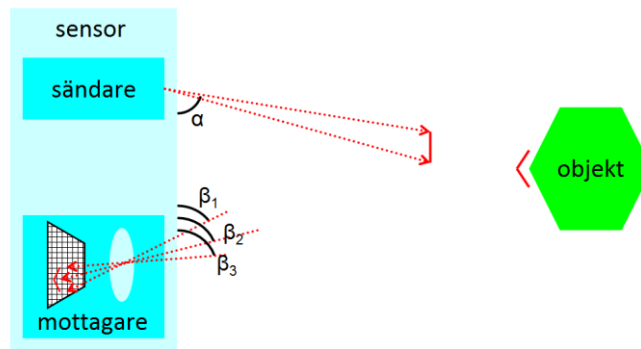
Sensorer som triangulerar med linjelaser kallas ofta laserskanner på svenska eller *(3D) laser scanner* på engelska. Olyckligtvis används samma beteckningar för sensorer som arbetar med skannande modulerad laser. På engelska används även den mer precisa beteckningen *laser triangulation sensor*.



Figur 4.

Mätning av avstånd till en punkt på objektet med hjälp av triangulering. Avståndet kan beräknas med hjälp av det kända avståndet d mellan sensorns lasersändare och mottagare, samt den kända utsändningsvinkeln α och den uppmätta mottagningsvinkeln β .

Att mäta avstånd med triangulering sker genom att en laserstråle skickas ut i känd riktning mot ett objekt. En kamera är placerad ett litet stycke vid sidan av lasern och mäter reflekterad laserstrålning från objektet samt mäter upp sin vinkel till laserpunkten på objektet. Med kännedom om denna vinkel och vinkeln för utsänd laser samt avståndet mellan lasersändare och kamera kan avståndet till objektet beräknas. I princip kan man mäta upp objektets yta genom att skanna med laserstrålen över den. Men vanligtvis går man ett steg längre och projicerar en hel linje över ytan. Kameran ser hela linjen – från sitt perspektiv – och med hjälp av triangulering beräknas avståndet till en stor mängd punkter i linjen. Laserlinjen sveps över ytan och avstånden till en mängd punkter på ytan mäts upp, vilket ger ytprofilen. Detta går betydligt fortare jämfört med att skanna en smal laserstråle över ytan.



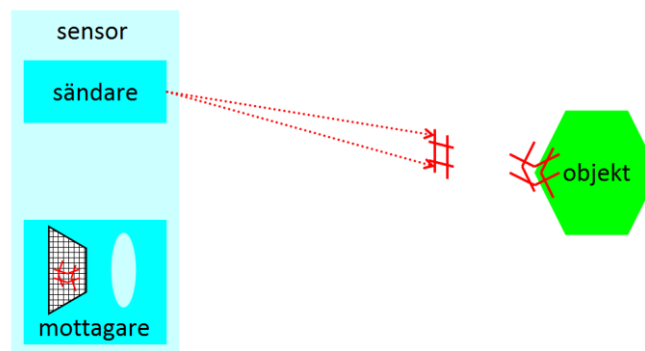
Figur 5.

Mätning av avstånd till en punkt på objektet med hjälp av triangulering. Avståndet kan beräknas med hjälp av det kända avståndet mellan sensorns lasersändare och mottagare, samt den kända utsändningsvinkeln α och den uppmätta mottagningsvinkeln β .

Triangulering med strukturerad laser

Sensorer som arbetar efter principen triangulering med strukturerad laser kallas ibland (3D) skannrar (med strukturerat ljus), förmodligen en direktöversättning av engelskans *structured-light (3D) scanner*.

Avståndsmätningen med triangulering fungerar på liknande sätt som för en linjelaser, men i stället för att svepa en laserlinje över ytan projiceras ett tätt rutnät av laserlinjer över hela ytan. Kameran är ”stirrande” och ser hela rutnätet på ytan och avståndet till hela ytan beräknas på en gång.



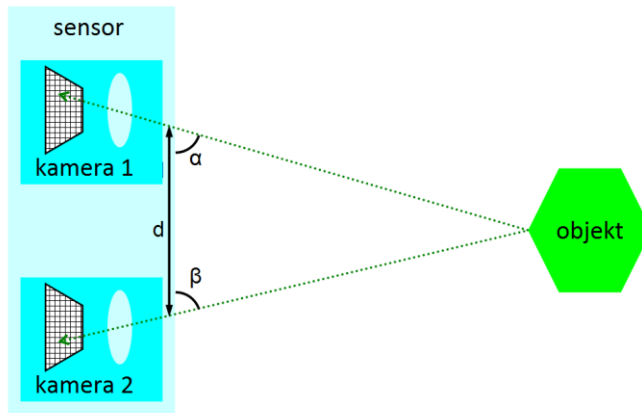
Figur 6.

Mätning av avstånd till en yta med hjälp av strukturerat ljus och triangulering. Ett känt mönster sänds mot objektet, vars yta kommer att ändra mönstrets form. Mottagaren ser det ändrade mönstret och beräknar avstånd till punkter över hela den belysta ytan.

Lasern sägs vara ”strukturerad” eftersom den lägger ut ett mönster med en viss struktur över hela ytan. Mönstret måste dock inte bestå av ett rutnät med laserlinjer, utan kan ha mer komplicerade former.

Stereoskopi

En stereokamera används för stereoskopi; på engelska kallas kameran för *stereo (vision) camera*.



Figur 7.

De två kamerorna i stereokameran identifierar en och samma punkt på objektets yta och beräknar avståndet till punkten med hjälp av triangulering.

Stereokameran består av två kameror, något åtskilda, som betraktar samma objekt från två olika vinklar. Den mäter avstånd till ett objekt på liknande sätt som människans två ögon. Bilderna i de två kamerorna kommer att skilja sig något åt, eftersom de betraktar objektet från olika vinklar. Strukturer som är lika i de två bilderna kan identifieras och beroende på var de syns i bilderna kan avståndet beräknas.

Stereokameratekniken är passiv i den bemärkelsen att ingen laser belyser objektet som ska mätas. Normalt utnyttjar stereokameran det naturliga ljuset från solen. Om ljusförhållandet är dåligt kan man dock tänka sig att lägga till en belysning, vanligtvis en lampa, snarare än en laser.

Elektromagnetisk strålning utanför det optiska området

Sensorer som arbetar vid längre våglängder än det visuella området, till exempel mikrovågor, kan också mäta upp avstånd och skapa en ytprofil. Med hjälp av så kallad interferometrisk syntetisk aperturradar (SAR) kan centimeternoggrannhet uppnås, vilket skulle kunna användas för volymmätning. Radar-mätutrustningar används i viss utsträckning i dag för övervakning av objekt i värmebehandlingsugnar, positionsbestämning av objekt på fordon och oförstörande provning av material i byggnadsverk.

Med kortare våglängder, framför allt röntgen, är det möjligt att göra tredimensionell avbildning med datortomografi (CT). Röntgenstrålningen går genom objektet. Det behövs därför en sändare på ena sidan av objektet och en mottagare på den andra. Dessutom är det nödvändigt att belysa mätobjektet varvet runt för att kunna rekonstruera en tredimensionell bild. Till detta kommer säkerhetsaspekten med den negativa påverkan som röntgenstrålning kan ha på människan.

En metod som inte är elektromagnetisk, men väl utnyttjar vågutbredning, är mätning med ultraljud genom luften. Det finns billiga sensorer som mäter avståndet till en punkt rakt fram. Men för att mäta över en yta skulle flera sensorer behöva sättas samman. Ultraljudssensorer fungerar bäst på korta avstånd.

Det finns också rent mekaniska metoder för att mäta avstånd och känna av ytan på ett objekt. Typiskt sker detta genom att en robotarm automatiskt rör sig över ytan och mäter upp avståndet till densamma. Noggrannheten är hög, i storleksordningen millimeter, men mätningen tar relativt lång tid och utrustningen blir stor och utrymmeskrävande. Ett specialfall är koordinatmätmaskinen som mäter ned till mikrometrar, men oftast på mindre objekt.

EXEMPEL PÅ SENSORER OCH DERAS OPERATIVA TILLÄMPNING

För att analysera de olika mättekniska principernas teoretiska noggrannhet och kapacitet i en operativ tillämpning valdes en sensor (produktmodell) ut per mätteknisk princip. Tillverkarnas specifikationer och produktbeskrivningar användes sedan för att beskriva operativa förutsättningar och begränsningar samt för beräkningar av den teoretiska noggrannheten vid skäppmätning (m^3s) av flis.

LMS 531/SICK (skannande modulerad laser)

Sensorn LMS 531 sveper en laserstråle i en vid vinkel över omgivningen flera gånger i sekunden och mäter avståndet till punkter på objekt som träffas. Punkterna ligger fördelade på en linje över objektet. LMS 531 är framtagen för användning utomhus, arbetar på avstånd upp till 80 meter och mäter över hela 190° .



Figur 8.
LMS 531 från SICK. (Bild från www.mysick.com).

För att mäta upp en ytprofil för ett objekt krävs att sensorn eller objektet rör sig relativt varandra, så att laserlinjen vandrar över objektets yta. För att mäta ytprofilen på en last med flis vore det enklast att montera LMS 531 på en mast eller båge och skanna med lasern riktad nedåt, samtidigt som lastbilen och containern passerar under sensorn. Installationshöjden kan väljas tämligen fritt med tanke på sensorns stora mätavstånd och mätvinkel. Men för att få god upplösning är det en fördel att vara nära lasten, kanske ett par meter över containern. Sensorn kommer att täcka lasten med ett stort antal laserlinjer, vilka tillsammans ger ytprofilen.

Men avståndet mellan laserlinjerna måste också bestämmas, och det beror på hur fort lastbilen färdas. Enklaste sättet att mäta lastbilens fart är med en separat hastighetssensor, som även den kan vara laserbaserad, eller använda någon annan teknik. Hastighetssensorn kan till exempel vara placerad på marken och mäta på lastbilens front eller akter. Det kan dock vara smidigare att ha hastighetssensorn placerad i bågen tillsammans med LMS 531 och mäta med viss vinkel mot lastbilen.

Ett alternativt sätt att mäta hastigheten är att placera två LMS 531-sensorer på ett kort men känt avstånd till varandra och låta dem skanna parallellt med samma vinkel. Genom att jämföra de uppmätta ytprofilerna med varandra och jämföra tidpunkten för när ett visst tvärsnitt i profilen syns i den ena eller andra sensorn, kan lastbilens fart beräknas. Det kan verka onödigt att ha två sensorer bara för att mäta lastbilens fart, men det kan lösa det eventuella problemet med att se skymda områden. Laserlinjen kan komma att skymmas av den främre eller bakre kanten på containern, om sensorn inte är riktad exakt rakt nedåt, eller om lastbilen inte färdas helt vågrätt. Formen på flislasten i det skymda området kan uppskattas genom den uppmätta ytprofilen beräkningsmässigt dras ut under den skymmande kanten. Har man två sensorer kan man helt undvika skymda områden: den ena sensorn skulle då vara vinklad något framåt i lastbilens färdriktning och den andra sensorn något bakåt. Den ena sensorn får ett skymt område bakom containerns framkant, men den andra ser hela området. Motsvarande gäller för containerns bakkant. I en sådan här uppställning med två sensorer kan de också användas för att räkna ut lastbilens fart utan att någon särskild hastighetssensor behövs.

LMS 531 kan användas både för absoluta mätningar enligt Scenario 1 och relativa mätningar enligt Scenario 2. Mätplatsen måste dock vara åtskild från tipp-latsen, eftersom lastbilen måste röra sig under sensorn. LMS 531 mäter med ett statistiskt fel på ± 6 millimeter och ett systematiskt fel på ± 25 millimeter. Mäter man absolut enligt Scenario 1 måste man räkna med det systematiska felet på ± 25 millimeter om det inte går att kalibrera bort det. Vid relativ mätning enligt scenario 2 kommer det systematiska felet att balanseras ut vid jämförelse av volym före och efter.

När lastbilen passerar under sensorn på mätplatsen kommer linjerna att hamna något snett över lasten. Det beror både på att lastbilens rörelseriktning inte går att styra exakt och även på att lastbilen har en viss fart, vilket gör att den sista punkten på laserlinjen hamnar längre bak än den första. Kantlinjerna på lastens ytprofil kommer därför att bli något skeva. För en relativ mätning (Scenario 2) har detta en ringa betydelse, eftersom rätt volym ändå kommer att beräknas. För en absolut mätning med jämförelse mot containerns mått (Scenario 1) kan en omräkning av ytprofilen göras för att passa ihop med containermåttet.

Problemet med sneda laserlinjer kan på detta sätt lösas beräkningsmässigt. Vill man lösa problemet redan i mätstadiet, gäller det att lastbilen kör i en väl bestämd riktning under sensorn och inte alltför fort. Säg att linjerna får avvika från den ideala vinkeln med 1 %. Då måste lastbilen hålla en riktning som inte får avvika mer än 1 centimeter i sidled vid färd 100 centimeter framåt, vilket är samma sak som 1 dm i sidled vid färd 10 meter framåt. Tiden det tar att svepa en laserlinje över en 2,44 meterbred container är högst 40 ms och om linjen inte får luta mer än 1 % får inte skillnaden i längdled mellan första och sista punkten vara större än 2,44 centimeter. Det motsvarar att fordonets hastighet inte får överstiga 0,6 m/s eller 2,2 km/h, en så låg hastighet att det handlar om krypkörning.

Den uppmätta flisvolymen får ett fel som i stor utsträckning beror på mätutrustningens onoggrannhet. Vid mätning enligt Scenario 1 har man att ta hänsyn till både systematiskt och statistiskt fel. Det systematiska felet kan vara 25 millimeter och det statistiska felet 6 millimeter. Om vi räknar med värsta fallet, att det statistiska felet är 6 millimeter åt samma håll i varje mätpunkt och samtidigt samverkar med det systematiska felet kan hela ytan mätas 31 millimeter fel i höjddled, och för en standardcontainer kan volymen mätas 0,45 m³ för stor eller liten.

Priset för sensorn LMS 531 är ungefär 65 000 kr.

CamCube/PMDTec (modulerad laser meter stirrande matrisdetektor)

CamCube 3.0 skickar ut modulerat laserljus i ett brett strålnippe och mäter avståndet till hela ytan på ett objekt på en gång med hjälp av en stirrande kamera, vars bildsensor är en matris med 200 × 200 detektorelement, vilka vart och ett mäter avstånd till ytan. Resultatet blir en ytprofil och CamCube 3.0 kan skapa 40 sådana bilder i sekunden. Kameran arbetar normalt på avstånd upp till 7,5 meter.



Figur 9.

CamCube från PMDTec. (Bild från Wikimedia commons, <http://commons.wikimedia.org>, förmedlad av Magnus Manske).

Eftersom CamCube 3.0 använder en stirrande matrisdetektor kan den ge en ytprofil för en stor del av flislastens yta (inte bara en linje) med ett enda laser-skott. Lastbilen kan antingen stå stilla eller vara i rörelse när ytprofilen mäts upp. Sensorn monteras med fördel i en mast eller båge så att den kan blicka ned i containern ovanifrån. Om ytprofilen skapas när sensorn befinner sig inom containerns väggar, kommer både lasten samt insidan av containerväggarna att avbildas. Inga skymda områden orsakade av containerväggarna uppstår.

Sensorn har dock en begränsning i synfältet på 40°, vilket innebär att inte hela lasten kan mätas upp i ett enda skott. För att täcka 1,5 containerbredder måste sensorn installeras 5,0 meter över containern.

En sensor av CamCubes typ men med något större synfält kan mäta hela flislasten i ett skott. Då kan även mätning ske på en stillastående lastbil och sensorn skulle kunna vara placerad på tiplplatsen. Det kan vara fördelaktigt, dels för att avbildningen gynnas av att lastbilen står still, dels för att det är smidigt att utföra mätningen vid tiplplatsen i stället för på en särskild mätplats.

Exakt hur CamCubes matrisdetektor läser av den reflekterade laserstrålningen från lastens yta är okänt. Det skulle kunna bli problem för mätningen om lastbilen rör sig och om utläsningen av detektorerna är fördelad över hela tidsrymden 25 ms mellan två på varandra följande bilder. För att mätfelet inte ska överstiga 1 % bör den 6 meter långa containern på lastbilen inte färdas längre än 6 centimeter under de 25 ms mellan två bilder. Det motsvarar en fart på 2,4 m/s eller 8,6 km/h.

Det statistiska felet för CamCube 3,0 är endast ± 3 millimeter. Det systematiska felet är okänt, men påverkar inte en relativ mätning enligt Scenario 2. För en absolut mätning enligt Scenario 1 kan en noggrann kalibrering behövas. I värsta fall skulle CamCube kunna mäta höjden 3 millimeter fel över hela flislasten, vilket motsvarar en volym på 0,043 m³.

Priset för CamCube 3.0 ligger runt 85 000 kr. PMDTec är i färd med att ersätta CamCube med nyare produkter.

Vivid 910/Konica Minolta (triangulering med linjelaser)

Vivid 910 sveper en laserlinje över ett objekt och en kamera mäter avståndet till objektets yta genom att se hur linjens form ändras av objektets yta.

Principen är enkel och skulle kunna passa för att mäta ytprofilen på flis i en container, om det inte vore för att det största objekt som kan mätas med den här sensorn är cirka 1 meter. Problemet att inte kunna mäta stora objekt gäller för i princip alla sensorer av detta slag på marknaden. Det beror bland annat på att de ofta är känsliga för omgivningsljus och att linjen breddas på större avstånd. Med tanke på teknikutvecklingen kan det ändå vara intressant att föreställa sig att sensorn klarar av att mäta över bredden på en container och se vad det för med sig när det gäller prestanda.



*Figur 10.
Vivid 910fw från Konica Minolta. (Bild från produktinformation på
Qubics webbsida, www.qubic.com.au.)*

För att täcka en yta som rymmer hela containern, säg 1,5 containerlängder, skulle Vivid 910 behöva vara placerad på 5,4 – 22,5 meters höjd över containern. Lämpligen använder man de lägre höjderna i intervallet.

Sensorn sveper laserlinjen över containerns yta och därmed behöver inte lastbilens röra sig för att hela ytan ska täckas. I själva verket är det att föredra att lastbilen står still under mätningen. För en mätning åtgår nämligen åtminstone 0,3 s och om vi antar att containern inte får röra sig framåt mer än 1 % av sin längd under denna tid, får vi en högsta passagehastighet för lastbilen på 0,2 m/s eller 0,72 km/h.

Andra linjelasrar kan ha sensorer som inte sveper laserlinjen över objektet. I det fallet måste man utnyttja lastbilens rörelse framåt, för att mäta upp ytprofilen för flislasten. Då uppstår liknande problem med att bestämma lastbilens fart och att undvika skymda områden som för skannande modularad laser, jämför sensorn SICK LMS 531 som beskrivits tidigare. Man kan lösa problemen på liknande sätt som för den sensorn.

Noggrannheten för Vivid 910 anges till $\pm 0,10$ millimeter i djupled. Om mätfelet är 0,10 millimeter över flisytan så skulle den felmätta volymen bli närmast försumbar, $0,0014 \text{ m}^3$. Men den angivna noggrannheten gäller för korta avstånd – vid mätning på en container skulle onoggrannheten $\pm$ förmodligen öka.

Priset för sensorn Vivid 910 ligger i intervallet 180 000–400 000 kr beroende på konfiguration.

F5/Mantis Vision (triangulering med strukturerad laser)

Sensorn F5 lägger ut ett lasermönster över mätobjektet i en vid vinkel och en kamera läser av ytprofilen för hela objektet på en gång. F5 är gjord för utomhusmiljöer och är dessutom inte större än att man hålla den i händerna när man skannar sitt objekt. Man kan flytta sig till nya delar av objektet och mätutrustningen för F5 fogar automatiskt ihop överlappande ytprofiler till en sammanlagd ytprofil.



Figur 11.
F5 från Mantis Vision. Visningsenhet till vänster och lasersensorn till höger.
(Bild från BSS Defence and security solutions webbsida, www.bssrsa.com).

En nackdel med F5 och andra sensorer som arbetar med strukturerad laser är att de i likhet med Vivid 910 och sensorer som triangulerar med linjelaser har ett begränsat mätavstånd. F5 skulle behöva installeras på 4,5 meters höjd över containern för att täcka 1,5 containerbredder. Men då kan den inte mäta i botten på containern. Låt oss ändå anta att den klarar av att mäta hela vägen ned i containern – teknikutvecklingen går ändå åt det hållet – och låt oss se vad det skulle medföra.

Med den föreslagna installationshöjden klarar F5 att mäta containerns bredd, men den klarar inte hela containerns längd. En lösning är att lastbilen stannar i två lägen för att hela containern ska täckas. En annan möjlighet är att utnyttja F5:s inbyggda förmåga till dynamisk avbildning av objekt som rör sig. Lastbilen kan alltså passera under sensorn medan mätutrustningen i hög takt sätter samman olika ytprofiler till en sammanlagd ytprofil. Uppgift saknas på hur snabbt lastbilen kan röra sig, men uppskattningsvis kan containern mätas upp på under 10 s, vilket motsvarar en fart på åtminstone $0,6 \text{ m/s}$ eller $2,1 \text{ km/h}$.

Noggrannheten för F5 är bättre än 0,5 millimeter på avstånd kortare än 1 m. Vid mätning på flis i en container skulle noggrannheten säkerligen försämrats, oklart hur mycket eftersom det inte är ett realistiskt användningsområde i dagsläget. Om onoggrannheten vore 0,5 millimeter även vid mätning av flisets ytprofil, skulle det motsvara en felmätt volym på endast 0,0073 m³.

Kostnaden för F5 från Mantis Vision ligger i intervallet 320 000– 430 000 kr.

Bumblebee2/Point Grey (stereokamera)

Bumblebee2 är en stereokamera med ett kamerahus som har två vanliga kameror på 12 centimeter avstånd från varandra. Kamerorna tar bilder av omgivningen i videotakt. Bilderna visar omgivningen från något olika perspektiv och genom att bestämma var en viss detalj syns i respektive bild, kan avståndet till detaljen beräknas.



Figur 12.
Bumblebee2 från Point Grey. (Bild från Point Greys webbsida, www.ptgrey.com).

Ytan på ett lass flis är tämligen likartad överallt, vilket kan göra det svårare för en stereokamera att hitta bestämda punkter och bestämma avståndet till dem.

Räckvidden för Bumblebee2 är i princip obegränsad, men med ökande avstånd minskar förmågan att ge ett korrekt värde på detsamma. På cirka 1 meters avstånd kan noggrannheten vara några millimeter, medan på 100 meters avstånd är inte noggrannheten bättre än någon meter. Korta avstånd är alltså fördelaktigt.

Om Bumblebee2 förses med en lins med synfältet 66° och installeras 2,8 meter över containern, kommer den att täcka 1,5 containerbredder. Men för att se containern i dess fulla längd måste lastbilen antingen stanna två gånger, eller passera långsamt under sensorn. Om bildhastigheten hos sensorn är 20 bilder per sekund och containern inte får röra sig mer än 1 % av sin längd mellan två fotograferingstidpunkter, motsvarar det att lastbilens fart inte får vara högre än 1,2 m/s eller 4,3 km/h.

På kortare avstånd är sensorns onoggrannhet i längsled ungefär 1 % av avståndet, vilket i botten av containern innebär 5,2 centimeter. Den felmätta volymen kan därmed uppskattas till 0,76 m³.

Bumblebee2 kan fås för 12 000–18 000 kr, betydligt lägre än för laserbaserade sensorer.

SENSORÖVERSIKT

Viktiga egenskaper för de olika lasersensorerna, om de ska kunna användas för att mäta volymen på flis i en container, är att sensorn kan monteras på ett fördelaktigt sätt. Mätningen får inte ta lång tid och noggrannhet i den uppmätta volymen måste vara god. Dessutom är det fördelaktigt om kostnaden för sensorn och mätutrustningen är låg. Dessa egenskaper för de olika typerna av sensorer sammanfattas i Tabell 2 nedan.

Tabell 2.

Jämförelse av egenskaper för fem sensorer som använder olika mättekniker.

Sensor	LMS 531	CamCube 3.0	Vivid 910 ³⁾	F5 ⁴⁾	Bumble-bee2
Mätteknik	Skannande modulerad laser.	Modulerad laser med stirrande matrisdetektor.	Triangulering med linjelaser.	Triangulering med strukturerad laser.	Stereo-kamera
Installations-höjd (m).	ca 2 ²⁾	5,0 m	5,4 ³⁾	4,5 ⁴⁾	2,8
Högsta passage-hastighet (km/h) ¹⁾ .	2,2 ¹⁾	8,6 ¹⁾	0,72 ^{1), 3)}	2,1 ^{1), 4)}	4,3 ¹⁾
Teoretiskt mätfel volym (m ³).	0,45	0,043	0,0014 ³⁾	0,0073 ⁴⁾	0,76
Pris (tkr).	~ 65	~ 85	180–400	320–430	12–18

Noter:

- 1) Högsta passagehastighet är beräknad för att ge ett längdfel på högst 1 %. Genom beräkningsmässig korrektion av skeva ytprofiler kan större hastigheter sannolikt tillåtas.
- 2) Höjden kan väljas tämligen fritt, men låg höjd ger bättre upplösning av ytprofilen.
- 3) Vivid 910 klarar bara objekt som är 1 meter stora. Värdena gäller en tänkt utrustning som skulle klara större objekt, men prestanda för en sådan utrustning skulle förmodligen inte vara lika goda som de här angivna värdena.
- 4) F5 har svårt att samtidigt mäta containerns bredd och nå ner i botten på containern. Värdena gäller en tänkt utrustning som skulle klara större objekt, men prestanda för en sådan utrustning skulle förmodligen inte vara lika goda som de här angivna värdena.

Slutsatser

Två typer av sensorer som teoretiskt sett kan mäta flisvolymen mycket noggrant är triangulerande sensorer, antingen med linjelaser (Vivid 920) eller med strukturerad laser (F5). I dagsläget är de dock inte praktiskt användbara för volymmätning, eftersom de enbart klarar av mätobjekt upp till cirka 1 meters storlek. Möjligt vore att mäta upp flera ytprofiler för lastens olika delar och lägga samman dem, men en sådan procedur kräver mer utrustning och mer tid. De två sensorerna Vivid 920 och F5, har också en hög kostnad, flera hundra tusen kronor. Det skulle räcka att mätavståndet kunde utökas ett par, tre gånger för dessa sensorer för att göra dem till ett tänkbart alternativ för volymmätning. Det kan därför vara intressant att följa den tekniska utvecklingen på området.

De två typerna av sensorer med modulerad laser, den skannande (LMS 531) och den med stirrande matrisdetektor (CamCube 3.0), har båda potentialen att kunna mäta upp ytprofiler och volymen för flis i en container. LMS 531 täcker containerbredden mycket väl, men kräver att lastbilen rör sig framåt under sensorn. På grund av ett begränsat synfält täcker inte CamCube hela containern och kräver också en förflyttning av lastbilen för mätningen. En annan sensor av samma typ som CamCube skulle emellertid kunna täcka hela containern och därmed även mäta på en stillastående lastbil. CamCube har fördelen gentemot LMS 531 att den felmäta volymen blir tio gånger mindre.

Lastbilen kan färdas med 2,2 km/h under LMS 531 eller 8,6 km/h under CamCube utan att den felmäta volymen påverkas mer än cirka 1 %. Detta gäller utan databehandling; om mätutrustningen är försedd med algoritmer för att korrigera mätfel, kan förmodligen betydligt högre hastigheter tillåtas. Priset för sensorerna LMS 531 och CamCube 3.0 ligger i båda fallen under etthundra tusen kronor.

Ett tänkbart alternativ till sensorerna med modulerad laser är att använda en stereokamera, till exempel Bumblebee2. Det kan dock vara svårt för en stereokamera att skapa en ytprofil för ett lass flis på grund av ytans struktur. Stereokamerans kapacitet behöver alltså undersökas närmre liksom hur stor noggrannheten blir. En nackdel med sensorn Bumblebee2 är att den felmäta volymen blir större jämfört med LMS 531 och CamCube 3.0. En fördel med Bumblebee2 och andra stereokameror är det låga priset, under tjugotusen kronor.

Litteratur

Holmvall, E. och Groth, M. 2007. PET-CT, en funktionell och anatomisk avbildningsteknik, Luleå tekniska universitet.

Nilsson, E. 2006. Sensor Platform for 3D Microwave Interferometry Imaging – Theory and Experiments, Chalmers tekniska högskola.

Schwengber, I. 2011. Evaluierung und Analyse von Objektivparametern hinsichtlich der Bewertung von Objektiven für lauffzeitmessende PMD-Kamerasysteme,, Institut für Medien- und Phototechnik på Fachhochschule Köln.

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2015

- | | | |
|----|-----|--|
| Nr | 856 | Widinghoff, J. 2015. Logistiklösning för delkvistat sortiment – Lätta skyddsplåtar på virkesbilar för transport av träddeklar och delkvistade sortiment. – Lightweight side-shields on timber trucks transporting partly delimbed energy wood. 15 s. |
| Nr | 857 | Hannrup B, Bhuiyan N. Möller J.J. 2015. Rikstäckande utvärdering av ett system för automatiserad gallringsuppföljning. – Nationwide evaluation of a system for automated follow-up of thinning. 56 s. |
| Nr | 858 | Frisk, M., Rönqvist, M. & Flisberg, P. 2015. Vägrust – Projektrapport. 2015. – Vägrust – Project Report. 48 s. |
| Nr | 859 | Asmoarp, V. & Jonsson, R. 2015. Fokusveckor 2014. Bränsleuppföljning för tre fordon inom ETT-projektet, ST-RME, ETT1 och ETT2. – Monitoring fuel consumption of three rigs in the ETT project: ST-RME, ETT1 and ETT2 42 s. |
| Nr | 860 | Johannesson, T. 2015. Ny teknik för askåterföring i skogsmark. – New technology for ash recycling on forest floor. 14 s. |
| Nr | 861 | Asmoarp, V., Nordström, M. & Westlund, K. 2015. Stämmer väglagervolymer? – En fallstudie inom projektet "Skogsbrukets digitala kedja". – "Are roadside stock volumes correct? – A case study in the Digital Chains in Forestry project. 17 s. |
| Nr | 862 | Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2015. Utveckling och test av beslutsstöd vid automatiserad gallringsuppföljning. – Development and test of decision-support tool for automated monitoring of thinning 38 s. |
| Nr | 863 | Jonsson, R. 2015. Prestation och kvalitet i blädning med skördare och skotare. – Performance and costs in selective harvesting with harvester and forwarder. 27 s. |
| Nr | 864 | Englund, M., Adolfsson, Niklas., Mörk, A., & Jönsson, P. 2015. Distribuerad arbetsbelysning – LED öppnar nya möjligheter för belysning hos arbetsmaskiner. – Distributed work lighting – LED lamps improve lighting on forest and agricultural machines. 20 s. |
| Nr | 865 | Hofsten von, H. & Funck, J. 2015. Utveckling av HCT-fordon i Sverige. – HCT, heavier vehicle, truck design, ST, ETT. 28 s. |
| Nr | 866 | Fridh, L. 2015. Utvärdering av fukthaltsmätare PREDIKTOR Spektron Biomass. – Evaluation of the Prediktor Spektron Biomass moisture content analyser. 10 s. |
| Nr | 867 | Fridh, L. & Öhgren, J. 2015. Automatisk skäppmätning av flis med laser – en förstudie. – Automatic laser measurement of loose volume of chips – a pilot study. 20 s. |
| Nr | 868 | Eriksson, A., Hofsten von, H. & Eliasson, L. 2015. Systemkostnader, logistik och kvalitetsaspekter för sju försörjningskedjor för stubbränslen. – System costs, logistics and quality aspects relating to seven supply chains for stump fuel. 29 s. |
| Nr | 869 | Englund, M., Lundström, H., Brunberg T. och Löfgren, B. Utvärdering av Head up-display för visning av apteringsinformation i slutavverkning. 15 s. |
| Nr | 870 | Löfroth, C. 2015. ETTaero – En förstudie av aerodynamisk utformning av skogsfordon. – A pilot study of aerodynamic design of forest vehicles 32 s. |
| Nr | 871 | Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Hjerpe, T. och Sonesson, J. 2015. Skadeförekomst efter tidig gallring. – Damage after early thinning. 14 s. |
| Nr | 872 | Fogdestam, N. & Löfroth, C. 2015 ETTdemo, demonstration av ETT- och ST-fordon. – ETTdemo, demonstration of ETT- and ST-vehicles. 34 s. |
| Nr | 873 | Fridh, L. 2015. Produkttegenskaper för skogsbränsle. – Förslag till indelning, struktur och definitioner. – Forest fuel product characteristics- proposal for categories, structure and definitions. 46 s. |

Nr	874	Enström, J. 2015. Möjligheter till inrikes sjötransporter av skogsbränsle. – Possibilities for coastal maritime transport of forest fuel in Sweden. 22 s.
Nr	875	Grönlund, Ö. & Iwarsson Wide, M. 2015. Uttag av skogsbränsle vid avveckling av låg skärmar av björk. – Harvest of forest fuel when birch shelterwoods are removed. 15 s.
Nr	876	Jacobson, S. 2015. Lågskärm av björk på granmark – Modellering av beståndsutveckling och ekonomisk analys. – The use of birch as a shelter in young Norway spruce stands – Modelling stand development and economic outcome. 39 s.
Nr	877	Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Englund, M. & Ekelund, F. 2015. Sektionsgallring en arbetmetod för täta klena gallringar. – Thinning in Sections – a work method for small-tree harvest. 17 s.
Nr	878	Eliasson, L. & Nilsson, B. 2015. Skotning av GROT direkt efter avverkning eller efter hyggeslagring. – Forwarding of logging residue immediately after felling or after stor age on the clear-cut. – Effects on nutrient extraction, needle shedding, and moisture content. 10 s.
Nr	879	Eriksson, B., Widinghoff, J., Norin K. & Eliasson, L. 2015. Processkartläggning – Ett verktyg för att förbättra försörjningskedjor. – Process mapping – a tool for improving supply chains. 46 s.
Nr	880	Möller, J.J., Nordström, M. & Arlinger, J. 2015. Förbättrade utbytesprognoser. – En förstudie genomförd hos SCA, Sveaskog och Södra. – Improved yield forecasts – a pilot study by SCA, Sveaskog and Södra. 14 s.
Nr	881	von Hofsten, H. 2015. Vägning med hjälp av inbyggda vågar i fjädringen på lastbilar. – Payload weighing using onboard scales connected to the air suspension of trucks. 10 s.
Nr	882	Rosvall, O., Kroon, J. & Mullin, T.J. 2015. Optimized breeding strategies at equivalent levels of population diversity. 61 s.
Nr	883	Högbom, L. & Rytter, R.-M. 2015. Markkemi och fastläggning av C och N i bestånd med snabbväxande trädslag - Etapp 2. – Slutrapport till Energimyndigheten 2015. – Soil chemistry and C and N sequestration in plantations with fast-growing tree species – Phase 2. – Final report to The Swedish Energy Agency 2015. 17 s.
Nr	884	Hannrup, B., Andersson, M., Henriksen, F., Högdahl, A., Jönsson, P. & Löfgren, B. 2015. Utvärdering av V-Cut – en innovation med potential att minska förekomsten av kapsprickor. – Evaluation of V-Cut – an innovative saw bar with potential to reduce the occurrence of bucking splits. 32 s.
Nr	885	Willén E. & Andersson, G. 2015. Drivningsplanering. En jämförelse mellan sju skogsföretag – A comparison of seven forest companies 2015. 31 s. + Bilaga 2-8.
Nr	886	Johansson, F. 2015. Kontinuerlig uppföljning av drivmedelsförbrukning och lastfyllnadsgrad för ETT- och ST-fordon 2014. – Continual monitoring of fuel consumption and load utilisation of ETT and ST vehicles 21 s.
Nr	887	Högberg, K.A. 2015. Selektionseffekter vid förökning av gran med somatisk embryogenes. – Selection effects of somatic embryogenesis in propagation of Norway spruce. 11 s.
Nr	888	Enström, J. & von Hofsten, H. 2015. ETT-Chips 74-tonne trucks – Three 74-tonne chip trucks monitored in operation over one year. 23 s.
Nr	889	Rytter, L., Stener, L.G. 2015. Gråal och hybrid alder.-En potential för ökad energiinriktad produktion i Sverige. – Grey alder and hybrid alder-Potentials for inscreased biomass production för energy in Sweden. 28 s.
Nr	890	Asmoarp, V. & Enström, J. 2015. Fokusveckor 2015-Bränsleuppföljning för ETT 74 tons flisfordon inom projektet ETT-Flis. – Focus Weeks 2015 Monitoring fuel consumption of a 74-tonne chip truck in the ETT project. 25 s.
Nr	891	Johannesson, T., Enström J. & Ohls, J. 2015. Test av paraffinolja för att motverka

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

arbetar för ett lönsamt, uthålligt mångbruk av skogen. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiften, 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. 867-2015



www.skogforsk.se