

ARBETSRAPPORT

FRÅN SKOGFORSK NR 664 2008



Bild av det skördaraggregat som användes som testrigg i projektet. Bokstäverna i bilden indikerar placering av givare för mätning av a) längd, b) diameter, c) stamkrök (ytterligare en enhet ingår vilken inte syns på bilden) samt d) fibervinkel.

Slutrapport för projekt "MÄTTEKNIK FÖR AVVERKNINGSMASKINER"

Mikael Andersson, Björn Hannrup, William Larsson & Lars Wilhelmsson, Skogforsk;
Anders Grönlund & Jan Nyström, LTU; Styrbjörn Johansson & Johan Oja, SP

Ämnesord: Virkesvärde, beröringsfri mätteknik, laser, mikrovågor.

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

Skogforsk skall tillföra svenskt skogsbruk tillämpbara kunskaper, tjänster och produkter som bidrar till ett lönsamt, hållbart bruk av skogen, så att näringsens konkurrenskraft stärks och viktiga samhällsmål uppnås. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiftens 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.

Förord

Denna rapport sammanfattar resultat från projektet ”Mätteknik för avverkningsmaskiner”. Projektet har finansierats av Kempestiftelserna, Stiftelsen Nils och Dorthi Troëdssons forskningsfond, Rundvirkestiftelsen samt med rammedel från de utförande organisationerna Luleå tekniska universitet, SP Träteknik och Skogforsk. Komatsu Forest har bidragit med ett skördaraggregat och med maskinresurser under de praktiska testerna.

Projektet har varit organiserat i fyra delprojekt med ansvariga forskare enligt nedanstående tabell.

Delprojekt	Ansvarig	Organisation
Längd	Johan Oja	SP Träteknik
Diameter	Mikael Andersson	Skogforsk
Stamkrök	Jan Nyström	LTU
Fibervinkel	Jan Nyström	LTU

Projektet har genomförts som ett utpräglat samarbetsprojekt mellan de utförande organisationerna och med aktiv medverkan från Komatsu Forest. En projektgrupp bestående av nedanstående personer har löpande följt arbetet och tagit beslut i projektövergripande ärenden.

Namn	Organisation
Anders Grönlund	LTU
Jan Nyström	LTU
Styrbjörn Johansson	SP Träteknik
Johan Oja	SP Träteknik
Mikael Andersson	Skogforsk
Björn Hannrup	Skogforsk
William Larsson	Skogforsk
Lars Wilhelmsson	Skogforsk
Per Hedström	Komatsu Forestry

Sigvard Nilsson, Byske, har gjort konstruktionsarbeten vid ombyggnaden av skördaraggregatet. Mats Mering, Skogforsk, körde skördaren under de praktiska testerna. Referensmätning av teststockar med 3D-mätarm gjordes vid Sävarsågen genom Johan Fredrikssons försorg. Björn Hannrup, Skogforsk, har varit projektledare.

Projektets resultat och slutsatser finns samlade i denna rapport.

Uppsala 2008-06-30

Anders Grönlund

Lars Wilhelmsson

Innehåll

Förord.....	1
Sammanfattning.....	3
Längdmätning.....	4
Diametermätning.....	4
Krökar.....	5
Fibervinkel.....	5
1. Inledning.....	7
1.1. Projektets avgränsningar och mål.....	8
1.2. Genomförande.....	9
2. Beröringsfri längdmätning.....	10
2.1. Mål.....	10
2.2. Teknikval.....	10
2.3. Mätupställning 1 – Laboratieförsök.....	11
2.4. Mätupställning 2 – Försök med längdmätare monterad i ett skördaraggregat.....	13
2.5. Slutsatser.....	19
3. Beröringsfri diametermätning.....	20
3.1. Teknikval.....	20
3.2. Mätprincip linjelaser.....	21
3.3. Material och metoder.....	23
3.3.1. Montage och inställningar.....	23
3.3.2. Kalibrering.....	24
3.3.3. Beräkning och analys av stockdiameter.....	26
3.4. Resultat och diskussion.....	27
3.4.1. Kalibrering av mätsystemet.....	27
3.4.2. Filtrering och modellering.....	29
3.4.3. Jämförelse med 3D-mätram.....	30
3.5. Sammanfattning.....	32
4. Krökmätning.....	33
4.1. Teknikval.....	33
4.2. Material och metoder.....	33
4.3. Resultat från fältförsök.....	33
4.4. Slutsatser.....	35
5. Fibervinkelmätning.....	36
5.1. Teknikval.....	36
5.2. Material och metoder.....	36
5.2.1. Barkning.....	37
5.3. Resultat från fältförsök.....	37
5.4. Slutsatser.....	39
6. Mätsystem gemensamt.....	41
6.1. Strömförsörjning.....	41
6.2. GigE-nätverk.....	43
6.3. Datainsamlingsenhet och signalanpassning.....	43
6.4. Mjukvara.....	43
7. Referenser.....	44
Bilaga 1.....	45

Sammanfattning

I dagens skogsbruk sker nästan all avverkning och tillredning med hjälp av skördare. Maskinerna fäller träden, kvistar stammarna och kapar dem till stockar med varierande dimensioner och kvaliteter. I skördaraggregaten mäts längd och diameter med berörande teknik och denna mätinformation, i kombination med maskinförarnas bedömningar, prisinformation och beräkningsprogram styr optimeringen av stammarnas sönderdelning till stockar. Att utrusta aggregaten med beröringsfria givare för en förbättrad och utökad mätning erbjuder en rad potentiella fördelar, vilka i skogsbruksledet kan sammanfattas i form av *höjd produktivitet, ökad mätprecision* samt *minskad råvaruåtgång*.

En övergång till beröringsfri mätteknik i skördare innehåller dock flera stora utmaningar och innan en utveckling i denna riktning kan förväntas ta fart måste ett antal grundläggande frågor belysas och besvaras. Tre centrala sådana frågor är:

- i.* Vilka är de lämpligaste givarteknikerna för beröringsfri mätning i skördaraggregat av ekonomiskt betydelsefulla egenskaper hos virket?
- ii.* Vilken mätprecision kan förväntas från mätsystem baserade på dessa givare under kontrollerade förhållanden?
- iii.* Är det möjligt att genom anpassad inbyggnad och aktiv renhållning av givare hantera den krävande miljön i skördaraggregat så att hög tillgänglighet och hög mätnoggrannhet erhålls från de beröringsfria mätsystemen under normala produktionsbetingelser?

I projektet ”Mätteknik för avverkningsmaskiner” har det övergripande syftet varit ”att utveckla och pröva beröringsfri teknik för mätning av stocklängd och diameter samt de kvalitetsbeskrivande egenskaperna stamkrök och fibervinkel”. Fokus har legat på de två förstnämnda frågorna ovan och projektet har varit avgränsat till att inte omfatta problematik kring nedsmutsning av givare.

Projektet har varit organiserat i fyra delprojekt: längd, diameter, krök och fibervinkel. Inledningsvis identifierades intressanta givartekniker inom respektive delprojekt och val av den mest lovande tekniken gjordes. Därefter monterades givare på det skördaraggregat som ställts till projektets förfogande. Detta aggregat har varit en värdefull resurs och arbetet med ombyggnad av aggregatet, montage av givare och sammankoppling av mätsystemen har utgjort en väsentlig del av de totala insatserna i projektet. Efter att aggregatet monterats på en basmaskin gjordes mätningar med de beröringsfria mätsystemen på kvistade stockar och stolpar som matades genom aggregatet. Utvärdering av mätningarna gjordes genom repeterbarhetstest d.v.s. analys av upprepade mätningar på samma stockar samt genom direkta jämförelser med referensmätningar. För krök- och diametermätning utgjordes dessa av mätningar från en 3D-mätram vid den närbelägna Sävarsågen.

För varje delprojekt beskrivs nedan vald mätprincip samt huvudresultat och slutsatser från mätningar på kvistade stockar.

LÄNGDMÄTNING

Den mätprincip som valdes för beröringsfri längdmätning var mikrovågsdopplermätning. Mätprincipen bygger på att mikrovågor skickas snett mot stammens mantelyta och att man sedan mäter hur den reflekterade signalen påverkas av stammens matningshastighet. Från detta erhålls ett mått på utmatad längd. Lab.-tester med en enkel försökstoppställning visade lovande resultat. Inom ramen för projektet utvecklades en givare som anpassades för montage i ”bröset” på aggregatet på den plats där längdmätningshjulet normalt sitter placerat. Tester med givaren monterad i skördaraggregatet genomfördes på kvistade stockar/stolpar som under varierande hastighet matades genom aggregatet.

Resultaten från testerna visar att den undersökta mikrovågstekniken är en lovande teknik för beröringsfri längdmätning i skördaraggregat, men även att mycket arbete återstår innan det är visat att tekniken ger tillräcklig noggrannhet och tillförlitlighet för praktisk drift. För att nå tillämpning krävs arbete med vidareutveckling av både sensor och algoritmer för signalanalys. Det bör dock understrykas att det inte uppstod några nya problem när tekniken testades i ett verkligt skördaraggregat. Detta innebär att nästa steg är att gå tillbaka till studier i laboratoriemiljö för att bättre förstå vad som orsakar huvudproblemen som varit varierande amplitud och fasförskjutningar i signalen.

Slutsatsen är att tekniken är tillräckligt lovande för att den skall vara mycket intressant att vidareutveckla. En sådan fortsättning bör inledas med fokus på att lösa problemen med varierande amplitud. Därefter kan man gå vidare med design av en ny sensor där man förutsätter att aggregatets utformning kan förändras inom rimliga gränser. I nästa steg kan arbetet koncentreras på vidareutveckling av signalbehandlingsalgoritmerna.

DIAMETERMÄTNING

Den mätprincip som valdes för diametermätningen var lasertriangulering. Mätprincipen bygger på att parallellt laserljus sänds ut, reflekteras diffust mot ett mätobjekt och bilden av laserlinjen på mätobjektet fångas på en bildsensor. Positionen där ljuset träffar detektorn är beroende av avståndet mellan givaren och mätobjektet. Det mätsystem som testades i aggregatet bestod av två mätenheter, placerade på ömse sidor om stammen. Montaget placerades mellan matarvalsarna och de övre kvistknivarna. Varje enhet var uppbyggd av en linjelasermodul i kombination med en kamera. Kamerorna registrerar avståndet längs laserlinjen för ett stort antal punkter på stammens mantelyta. Genom att foga samman avståndsinformationen från de två kamerorna erhålls mätinformation från en stor andel av stammens omkrets.

Tester gjordes där kvistade stockar mättes i aggregatet och därefter kontrollmättes i en 3D-mätram vid Sävarsågen. De två mätsystemens jämfördes genom statistisk analys av diameterskillnader på 26 stockar med omkring 150 mått per stock. Mätsystemens precision bestämdes i form av en beräknad standardavvikelse som blev 3,4 mm för aggregatet respektive 1,8 mm för mätramen. Med tanke på omständigheterna ansågs resultatet vara mycket lovande. De huvudsakliga kompromisser

som gjordes var: (i) en liten vinkel mellan kamera och laser (resulterade i halverad upplösning), (ii) att kamerorna satt extremt nära mätobjektet, (iii) att snö- och barkavskav från främre kvistknivarna inte hindrades från att falla framför kamerorna samt (iv) att kamerorna endast mätte var tredje centimeter. Den snö som fanns på stockarna bidrog också till en ökad standardavvikelse, både för mätrammen och för skördarmätningen, samt till ett visst kontrastproblem eftersom kamerorna var justerade för mätning på snöfri bark. Det finns med andra ord möjligheter att med relativt enkla åtgärder uppnå väsentliga förbättringar av mätprecisionen inom ramen för detta mätsystem. För att mätsystemet skall kunna användas under normala produktionsbetingelser vid avverkning krävs dock ytterligare anpassningar, framför allt när det gäller konstruktion av ett system som aktivt håller givarna rena.

KRÖKAR

Mätningarna av krök gjordes med ett kamerasystem. De två kamerorna var riktade mot den utmatade stamdelen och placerade med en inbördes vinkel om 90° så att kamerorna betraktade stammen uppifrån respektive från sidan. I kamerabilderna kan stockarnas konturer identifieras och kröken mätas.

Resultat från tester i skördaraggregatet indikerar att krökmätning enligt denna princip är möjlig och har potential att mäta krök med god överensstämmelse med resultatet från en mätram. Dock återstår ett antal problem, vilka kan vara mycket svåra att lösa. Till exempel har kamerorna i detta försök använts utan någon egen belysning, vilket gör att exponeringen blir starkt beroende av externa ljusförhållanden. Det går naturligtvis att använda automatik för att justera exponeringstid och bländare men detta kommer också att påverka skärpa och skärpedjup i bilderna. Vidare kräver en automatiserad mätning av stockkrök i bilderna en automatiserad bildbehandling och bildanalys för att hitta stockens profil. Detta är extremt svårt att göra då scenen har en väldig variation i såväl bakgrundens som stockens belysning, färg och textur. Det är i princip omöjligt att klara detta för alla förekommande fall. Därutöver har kamerorna, med den placering som använts i detta projekt, en väldigt utsatt placering. De riskerar att doppas i snön och kanske skadas av stenar etc. Slutsatsen är att andra lösningar t.ex. stöd för att underlätta manuell bedömning av krökar är mer närliggande för praktiska tillämpningar.

FIBERVINKEL

Den metod som valts för att mäta fibervinkel bygger på optisk mätteknik med en kamera och en punktlaser. Tråfibrer och i synnerhet barrträfibrer (trakeider) har en god förmåga att sprida ljus i fibrernas längsriktning men mindre bra tvärs fibrerna. Detta fenomen kallas trakeideffekten. Om man belyser en träyta med en fokuserad laserpunkt så sprids ljuset kring den infallande punkten i en elliptisk form där ellipsens stora axel sammanfaller med fiberriktningen. Denna ljusspridning kan betraktas med en digitalkamera kopplad till en dator och fiberriktningen kan beräknas med digital bildanalys.

Metoden bygger på att barken avlägsnas eftersom det är fiberriktningen i veden som ska mätas. I projektet togs barken bort med ett barkstål som tog upp en smal barkremsa. Stålet var monterat på den fasta kvistkniven. Repeterbarhetstest gjordes med mätsystemet då kvistade stockar matades flera gånger genom aggregatet. Resultaten indikerade en hög mätprecision och efter filtrering var standardavvikelsen mellan upprepade mätningar på samma stockar mellan 0,4 och 0,7°. Mätprecisionen är i samma nivå som den som tidigare konstaterats vid mätningar med samma metod i sågverksmiljö.

Utrustningar för att mäta fibervinkel i sågverksmiljö finns redan som kommersiella produkter och denna tillämpning av samma mätmetod i ett skördaraggregat har också goda förutsättningar att fungera. Den största skillnaden är att i skogen är det önskvärt att barken är kvar på stockarna och eftersom mätmetoden inte kan mäta genom barken måste barken tas bort där man vill mäta fibervinkeln. Alternativt inriktar man sig på att mäta i de punkter som har ett naturligt barkavskav. Den avbarkningsmekanism som har testats i detta projekt ställs in på ett fast barkningsdjup, vilket har sina uppenbara nackdelar. Det bör dock vara fullt möjligt att tillverka ett mekaniskt eller hydrauliskt fjädrande barkstål som bättre kan följa stockens form och varierande barktjocklekar.

Denna mätmetod lider också av problem med renhållningen, precis som all annan optisk mätteknik i smutsiga miljöer. Det får inte komma smuts och skräp i vägen som helt blockerar ljuset. I övrigt har metoden visat sig vara väldigt robust och okänslig för stockytans beskaffenhet. Det som kräver mer insatser för att fibervinkelmätning med den undersökta mätprincipen skall komma till praktisk tillämpning är framför allt utvecklande av utrustning för avbarkning och renhållning.

1. Inledning

I dagens skogsbruk sker nästan all avverkning och tillredning med hjälp av skördare. Maskinerna faller träden, kvistar stammarna och kapar dem till stockar med varierande dimensioner och kvaliteter. I skördaraggregaten mäts längd och diameter med berörande teknik och denna mätinformation, i kombination med maskinförarnas bedömningar, prisinformation och beräkningsprogram styr optimeringen av stammarnas sönderdelning till stockar. Att utrusta aggregaten med beröringsfria givare för en förbättrad och utökad mätning erbjuder en rad potentiella fördelar, vilka i skogsbruksledet kan sammanfattas i form av *höjd produktivitet, ökad mätprecision* samt *minskad råvaruåtgång*.

Beröringsfria tekniker har potential att *höja skördarnas produktivitet* genom en ökad genomsnittlig matningshastighet, en minskad tidsåtgång för kalibrering (Hannrup m.fl., 2007) samt en automatisering av manuella bedömningsmoment. I flertalet skördare används i dag kvistknivarna för att kvista stammarna och samtidigt mäta diametern. Med beröringsfri diametermätning kan mätningen göras oberoende av kvistningen, knivarnas klämtryck kan sänkas och en högre genomsnittlig matningshastighet erhållas främst genom en sänkt frekvens av backningar av stammen. Vidare erbjuder beröringsfri teknik möjligheter att minska tidsåtgången för kalibrering/justering av längd- och diametermätningen vilken i dag är omfattande och utförs för att parera väderbetingade förändringar av stockarnas yta i form av barkavskav och varierande hårdhet hos virket. Men även mätning av kvalitetsegenskaper har potential att öka produktiviteten. Skador på virket (t.ex. krökar och röta) hanteras genom maskinförarens bedömningar och införande av t.ex. teknik för beröringsfri krökdetektion skulle avlasta föraren från ett påfrestande bedömningsmoment.

Beröringsfri teknik har potential att *öka mätprecisionen* (Löfgren m.fl., 1997) så att bättre överensstämmelse erhålls mellan sågverkens virkesbeställningar och skogsbrukets leveranser (Chiorescu & Grönlund, 2001). Det finns en tydlig utvecklingstrend där kraven från sågverken ökar, vilket t.ex. yttrat sig i få efterfrågade stocklängder och att efterfrågade längdfördelningar kan variera mellan intilliggande diameterklasser. Genom att öka mätprecisionen i skördarnas mätning kan andelen stockar som apterats för en viss diameterklass, men p.g.a. mätfel hamnar i en intilliggande diameterklass då de mäts in vid sågverket, minskas. Värdet i skogsbruksledet av att öka mätprecisionen har i olika studier skattats till mellan 1 och 20 kr/m³fub (Wilhelmsson & Arlinger 1997; Möller 2000; Arlinger m.fl., 2006; Hannrup m.fl., 2007) beroende på en rad varierande förutsättningar. Sett i värdekedjan bör effekten av ökad andel stockar i rätt sågklass ha andra positiva effekter som minskade transportkostnader, högre sågutbyte och större möjligheter för sågverken att leverera enligt sina kunders beställningar.

Beröringsfri teknik har, framför allt när det gäller längdmätningen, potential att genom ökad mätprecision *minska råvaruåtgången i skogsbruksledet*. Det bör sägas att i genomsnitt är precisionen för dagens berörande längdmätning hög (Möller & Arlinger, 2007) men det finns utrymme för förbättringar. En förbättrad precision

skulle kunna minska de stockvisa övermål som i dag läggs på för att kompensera för mätosäkerhet och som normalt uppgår till 5 cm per stock.

Ovanstående resonemang och citerade studier indikerar en betydande potential för införande av beröringsfria mättekniker i skördaraggregat. Men, att med beröringsfria givare, mäta med hög precision och hög tillgänglighet i skördaraggregat, rymmer också stora tekniska utmaningar vilka alla skall finna lösningar inom en begränsad kostnadsram. Till exempel är moderna skördaraggregat mycket kompakta konstruktioner och utrymmena för montage av givare är begränsade och måste ske på ett sätt som inte stör övriga aggregatfunktioner. Vidare är matningshastigheterna höga, vilket ställer krav på hög mätfrekvens för de givare som skall användas. Slutligen är den fysiska miljön krävande med höga vibrationsnivåer och stora variationer i temperatur, fukt- och ljusförhållanden. Därtill utgör nedsmutsningen av givare med bark, kåda, snö mm. att någon form av aktivt renhållande system måste övervägas för de flesta givartyper (Löfgren m.fl., 1997; Andersson, 2006).

Intresset för att införa beröringsfri mätning på skogsmaskiner har funnits sedan början av 1980-talet (t.ex. Carlsson 1980) d.v.s. den tidsperiod då de första apteringsdatorerna och givarna för berörande längd- och diametermätning utvecklades. Sedan dess har två större FoU satsningar gjorts med inriktning mot att ta fram beröringsfria mätsystem för diametermätning i tvågreppsskördare (Uusijärvi, 1987) respektive engreppsskördare (Löfgren m.fl., 1997; Löfgren & Wilhelmsson, 1998). De två framtagna systemen har kunnat uppvisa god mätnoggrannhet vid mätning i fält men inget av systemen har förts vidare till kommersiell produktion. I det senare fallet var skälen att de flesta brukarna vid utvecklingstillfället ansåg att tekniken (linescankameror i kombination med ljusdioder) blev för dyr (150 000 kr/-system) och i dåvarande utförande för skrymmande för att kunna monteras rätt i befintliga skördaraggregat. Sedan dess har kostnadsbilden förändrats genom prispress på elektronikkomponenter. Vidare har det skett en kraftig ökning av produktionen per skördare (~50 %), vilket tillsammans med ökade krav på mätnoggrannhet gör kalkylen för beröringsfria mätsystem ekonomiskt mera fördelaktig i dag.

1.1. PROJEKTETS AVGRÄNSNINGAR OCH MÅL

Det nu avrapporterade projektet har för de experimentella delarna avsiktligt avgränsats till att inte omfatta problematiken kring nedsmutsning av givare. Frånsett en delstudie utförd i labbmiljö så har samtliga delstudier utförts med givare monterade på ett skördaraggregat och med mätning då kvistade stockar/stolpar matas genom aggregatet. I mån av behov har givarna hållits rena genom manuell avtorkning.

Den övergripande målsättningen med det nu avrapporterade projektet har varit att utveckla och pröva beröringsfri teknik för mätning av stocklängd och diameter samt de kvalitetsbeskrivande egenskaperna stamkrök och fibervinkel. I detta ligger val av teknik samt framtagande av resultat från tester av mer eller mindre kompletta mätsystem. En central frågeställning att belysa är vilken precision som kan

erhållas vid mätning med beröringsfria system i skördaraggregat under kontrollerade förhållanden.

1.2. GENOMFÖRANDE

- Den generella arbetsgången i projektet har utgjorts av följande huvudmoment:
- Identifiering av intressanta tekniker och val av den mest lovande.
- Tester av givare i laboratoriemiljö.
- Ombyggnad av skördaraggregat och montage av mätsystem.
- Mätning av teststockar i 3D mätram vid sågverk för att erhålla referensmått för diameter- och krökmätningen.
- Tester av mätsystemen då kvistade stockar matas genom skördaraggregatet.
- Analys och utvärdering.

En detaljerad beskrivning av utfört arbete och erhållna resultat redovisas nedan per delprojekt. Ett speciellt avsnitt ”Mätsystem gemensamt” ägnas åt de lösningar som i projektet valts för att strömförsörja givare och för att samla in mätdata från de beröringsfria mätsystemen parallellt med mät- och styrdata från några av de ordinarie givarna i aggregatet.

2. Beröringsfri längdmätning

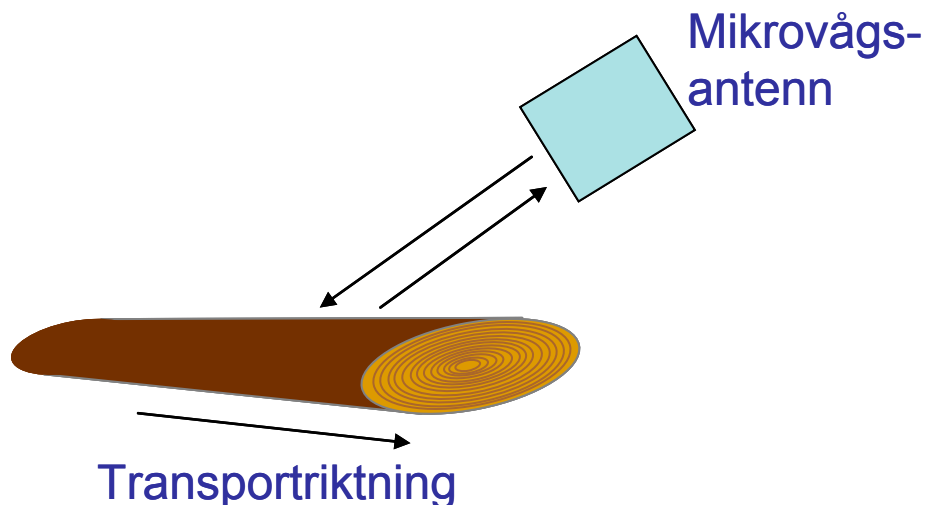
2.1. MÅL

I dagens skördaraggregat sker mätning av stammens längd via ett berörande mät-hjul. Denna teknik har de typiska begränsningar som berörande mättekniker i rörliga system ofta har. Hjulet kan till exempel slira och hoppa och därigenom orsaka mätfel. Vidare krävs en omfattande kalibrering/justering av mätsystemet eftersom hjulets inträngningsdjup i veden, och därmed den mätta längden, varierar med vedens hårdhet; ett problem som accentueras under perioder då veden omväxlande fryser/tinar. Målet med delprojektet är därför att undersöka förutsättningarna att använda en alternativ och beröringsfri teknik för att mäta stamlängd.

2.2. TEKNIKVAL

Till att börja med gjordes en marknadsundersökning för att hitta tänkbara tekniker som skulle kunna anpassas till skördartillämpningen. På ett tidigt stadium utelösts tekniker som bygger på att mäta avståndet till stockänden. Bedömningen var att en sådan lösning, baserad på till exempel lasertriangulering, är teoretiskt möjlig men svår att få att fungera under de förutsättningar som råder på ett skördaraggregat. I stället inriktades studien på tekniker som mäter stockens förflyttning genom aggregatet, det vill säga enligt samma princip som mät-hjulet men beröringsfritt. Marknadsundersökningen visade att det i andra tillämpningar (biltestverksamhet respektive stålindustri) fanns lösningar för liknande tillämpningar som baseras på antingen laserinterferensmätning eller s.k. korrelationsmätning. Av dessa bedömdes korrelationsmätningen vara den mest lovande eftersom det är en billigare och mer robust teknik. Den bygger på att ett reflektionsmönster från stammen mäts i två punkter, förskjutna i stammens längdled. Genom att mäta tiden det tar för reflektionsmönster att förflytta sig mellan mätpunkterna kan stammens matningshastighet och i förlängningen dess längd mätas. En gemensam nackdel för laserinterferensmätning och korrelationsmätning är teknikernas känslighet för nedsmutsning eftersom de båda är kamerabaserade.

En alternativ metod som är mindre känslig för nedsmutsning är så kallad mikrovågsdopplermätning. Tekniken bygger på att man skickar en mikrovågssignal mot ett objekt som är i rörelse, i detta fall en trädstam, och sedan mäter hur den reflekterade signalen påverkas av hastigheten på det objekt mot vilken signalen reflekteras. Vid längdmätning i ett skördaraggregat är tanken att signalen sänds snett mot stammens mantelyta (figur 2.1). Den reflekterade signalens fasläge kommer då att kontinuerligt förändras beroende på stammens rörelse. Den reflekterade signalen blandas (multipliceras) med den utsända signalen (homodyn blandning). Den varierande fasförskjutningen ger då upphov till en lågfrekvent signal. Frekvensen för den lågfrekventa signalen är proportionell mot stockens hastighet. Detta innebär att antalet toppar i signalen (perioder) är proportionellt mot den sträcka som stammen har förflyttats. Genom att räkna antalet toppar i signalen får man alltså ett mått på stammens längd.



Figur 2.1
Schematisk beskrivning av så kallad mikrovågsdopplermätning.

Det faktum att mikrovågstekniken är mindre känslig för nedsmutsning, samtidigt som att kostnaden uppskattades vara konkurrenskraftigt, gjorde det intressant att undersöka om mikrovågstekniken kan användas för beröringsfri längdmätning i skördare.

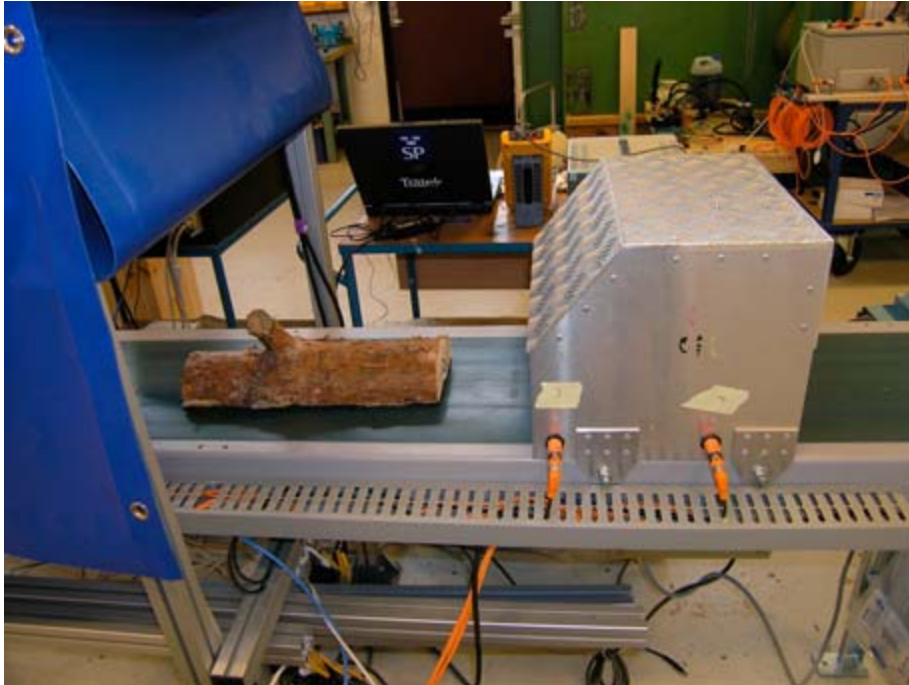
2.3. MÄTUPPSTÄLLNING 1 – LABORATORIEFÖRSÖK

Projektgruppen beslöt att ge Christer Stojj, CS Technology, i uppdrag att sätta ihop och låna ut en utrustning för laborietester av mikrovågstekniken.



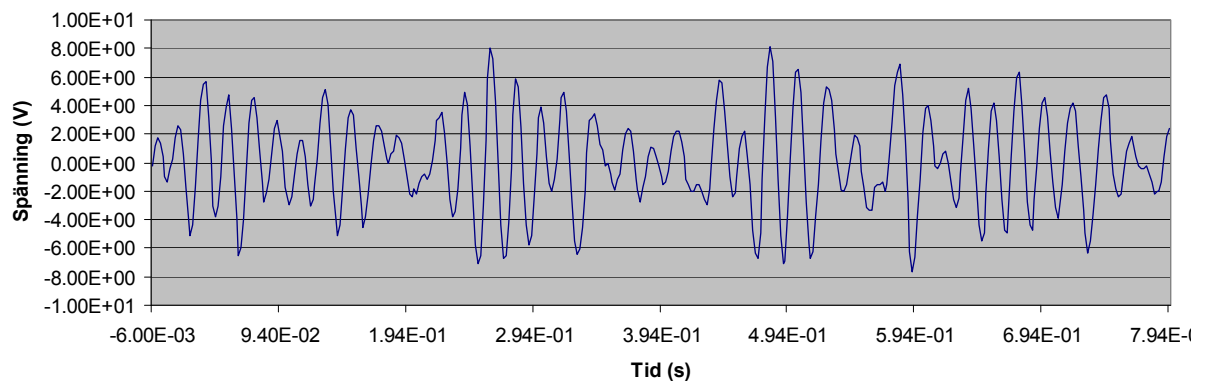
Figur 2.2
Mätuppställning för laborietest av längdmätning med mikrovågor.

En laborieuppställning baserad på enkla komponenter och anpassad för att genomföra principiella försök byggdes och kunde under våren 2007 testas i SP Träteks laboratorium i Skellefteå (figur 2.2 och 2.3). Laborieuppställningen designades så att en (1) period motsvarar att stocken förflyttats en (1) centimeter. Två fotoceller är monterade på var sin sida av mätstället och längdmätningen pågår när båda fotocellerna är aktiva.



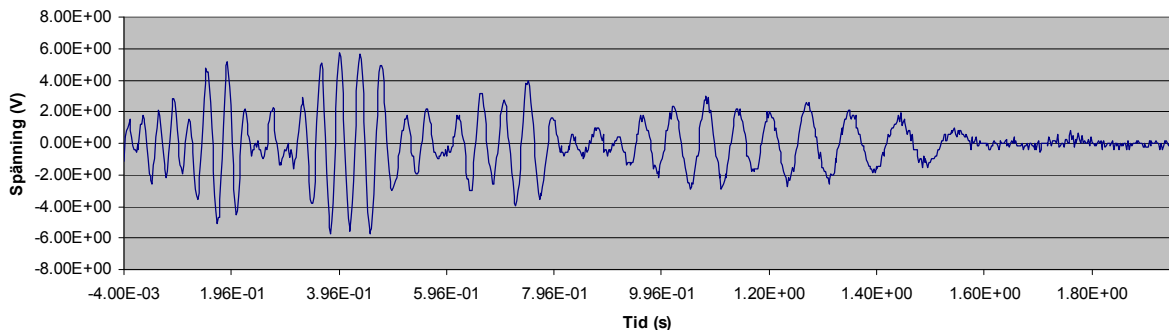
Figur 2.3.
Mätuppställningen installerad i SP Träteks laboratorium i Skellefteå. Träbiten ligger på ett transportband och över detta är en huv med mikrovågssensor och fotoceller monterad.

Figur 2.4 visar resultat när en provbit kördes genom mätutrustningen i konstant hastighet. Varje topp motsvarar 1 cm. I detta fall kan man räkna till 40 toppar, vilket innebär att mätutrustningen mätt upp längden till 40 cm. För att få provbitens verkliga längd måste avståndet mellan fotocellerna (20 cm) adderas eftersom mätutrustningen endast mätte när båda fotocellerna var aktiverade. Detta stämde bra med provbitens verkliga längd som var 593 mm. Mätnoggrannheten har verifierats med ett stort antal mätningar med olika provbitar och vid olika hastigheter.



Figur 2.4.
Exempel på signal från mätutrustningen när en provbit matades genom mätutrustningen i konstant hastighet. Varje topp motsvarar 1 cm.

Ett problem som återstår är signalens varierande amplitud. En faktor är att amplituden minskar vid låg hastighet, detta är tydligt i figur 2.5 där provbiten stoppats under pågående mätning. Figur 2.5 visar dock att detta inte är något problem ens i de fall då man bromsar in provbiten mycket försiktigt. När provbiten (samma provbit som i figur 2.4) stannade var det 4 cm kvar innan biten skulle lämna mätzonen. De 35-36 toppar man kan räkna till stämmer med andra ord väl med provbitens längd. Vad gäller signalens amplitud var variationen vid konstant hastighet (se figur 2.4) ett allvarigare problem. En analys av mätresultaten har visat att detta beror på "fading" eller variabel interferens. Detta bör kunna åtgärdas vid utveckling av en mer specialanpassad mätutrustning.



Figur 2.5.
Exempel på signal från mätutrustningen när en provbit körs genom och bandet stannas medan provbiten befinner sig i mätutrustningen. Varje topp motsvarar 1 cm.

Resultaten från laborieförsöken visade att tekniken fungerar men att det finns en del problem. Resultaten bedömdes så lovande att projektgruppen beslöt att gå vidare med mikrovågstekniken.

2.4. MÄTUPPSTÄLLNING 2 – FÖRSÖK MED LÄNGDMÄTARE MONTERAD I ETT SKÖRDARAGGREGAT

Baserat på resultaten från laboriemätningarna konstruerades och byggdes en ny mätutrustning av Christer Stojj, CS Technology. Denna mikrovågsgivare är anpassad för att monteras i "brösten" på det skördaraggregat som funnits tillgängligt i projektet. För att minska problemen med så kallad "fading" baserades givaren på fyra antenner som var placerade bredvid varandra. Tanken med detta var att fadingeffekten inte skulle påverka alla fyra antennerna samtidigt. Varje antenn fungerade som både sändare och mottagare. Antennerna skickade iväg en signal med frekvensen 10,9 GHz och tog emot den reflekterade signalen. Den mottagna signalen var en blandning av den "egna" signalen och reflektioner från övriga antenner. Störningen från övriga antenner var dock relativt svag, förhållandet var ungefär 1/10. Denna mätuppställning var inte riktningskänslig, men det är fullt möjligt att komplettera utrustningen så att den även skulle kunna mäta om stocken rör sig framåt eller bakåt.

Givaren monterades i en ställåda på den plats som normalt upptas av längdmätningshjulet, se figur 2.6, i sned vinkel (cirka 45°) mot den frammatade stocken. Givaren skyddades av en tjock skiva av lexanplast. Tester har gjorts för att verifiera att sådan plast inte ger någon negativ inverkan på mätsignalen. Lådan som givaren satt monterad i var klädd med en absorberande matta för att reducera brussignaler från vibrerande plåtdetaljer.



Figur 2.6.

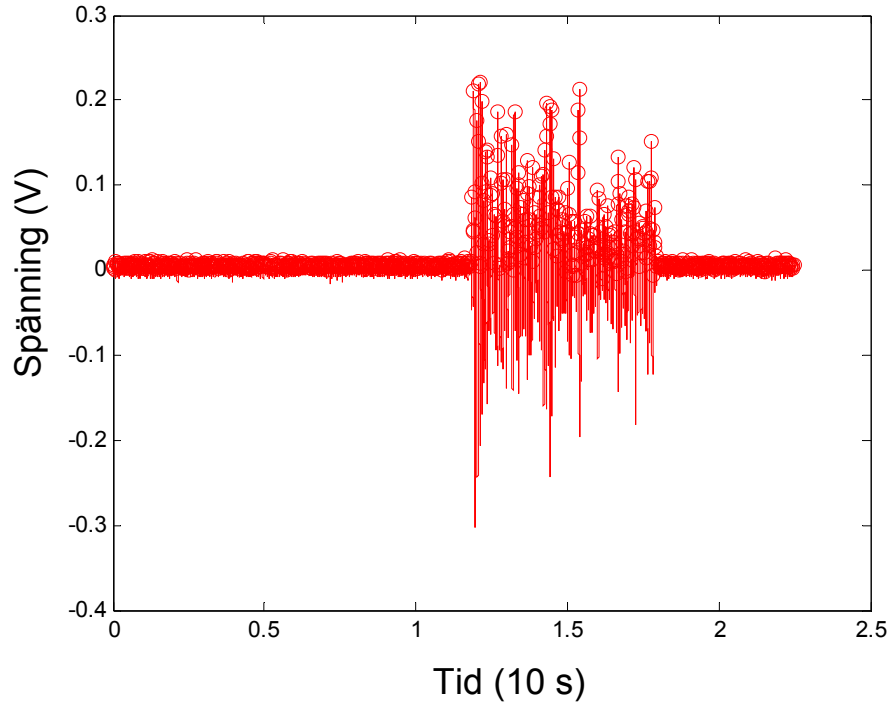
Skördaraggregatet som användes som testrigg i projektet. Mikrovågsgivaren för mätning av längd var monterad i "bröset" på aggregatet, på den plats där längdhjulet normalt är placerat. Lexanplasten som skyddade givaren syns som en ljus kvadrat mitt i figuren.

När aggregatet monterats på en basmaskin genomfördes ett antal tester hos Skogforsk i Sävar (figur 2.7). Utvärderingen av längdmätningen gick till så att sju stockar kördes tre gånger vardera genom aggregatet och två stolpar kördes fem gånger vardera genom aggregatet. Stockarna var cirka 7 meter långa och stolparna 11 meter långa. Vid varje körning startades och stoppades matningen medan stocken var i aggregatet. Före och efter varje körning mättes avståndet från stockändan till en referenspunkt på aggregatet med hjälp av måttband. Detta gav ett mått på hur lång sträcka stocken matats fram och detta mått kunde sedan jämföras med det längdmått som mikrovågsgivaren mätt upp. Vid mätningarna på stockar användes en lägre matningshastighet medan stolpmätningarna gjordes vid olika hastigheter, nära eller lika med maximal matningshastighet.

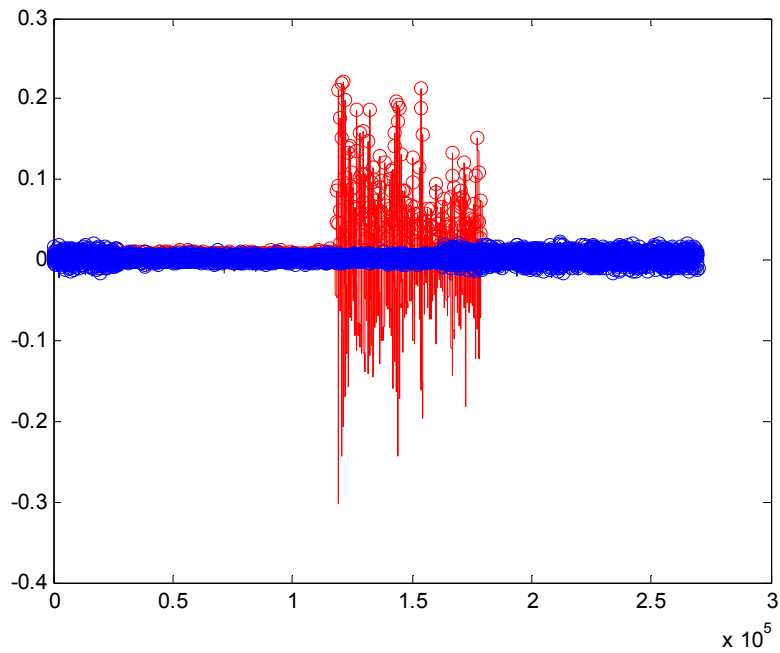


Figur 2.7
Bild från testerna.

En första utvärdering visade att signal/brus-förhållandet var relativt bra. Figur 2.8 visar att signalamplituden ökar signifikant när stocken rör sig. Detta betyder att mikrovågssignalen inte påverkas nämnvärt av tänkbara störkällor som till exempel vibrationer i aggregatet. En annan fråga var huruvida matarvalsarna skulle påverka mätningen när de arbetade. För att testa detta gjordes dels mätningar där stocken kördes fast i aggregatet så att matarvalsarna slirade, dels ett test där matarvalsarna snurrade utan någon stock i aggregatet. Figur 2.9 visar att inte heller när matarvalsarna var halvstängda så hade deras rotation någon betydande inverkan på signalen. Detsamma gällde när matarvalsarna slirade med en klen stock i aggregatet. När matarvalsarna roterade i ”slutet” läge utan stock i aggregatet så kunde man dock se en tydlig signal. Detta är dock helt förväntat eftersom signalen effektivt reflekteras på de roterande metallvalsarna.

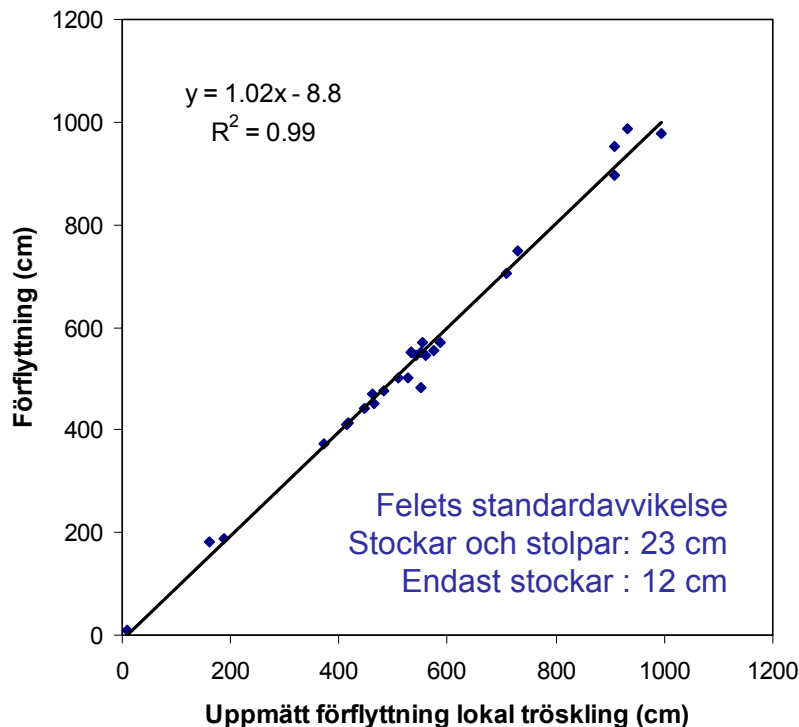


Figur 2.8
 Exempel på signal från en av längdmätarens antenner vid mätning på en stock som transporterades genom aggregatet. Man ser tydligt skillnaden i amplitud mellan det tidsintervall då stocken var stilla (låg amplitud i början och slut) och det tidsintervall då stocken fördes genom aggregatet.



Figur 2.9
 Jämförelse mellan normal signal (röd, densamma som i figur 7) och den signal (blå) som fås vid mätning utan stock men med roterande, halvstängda valsar.

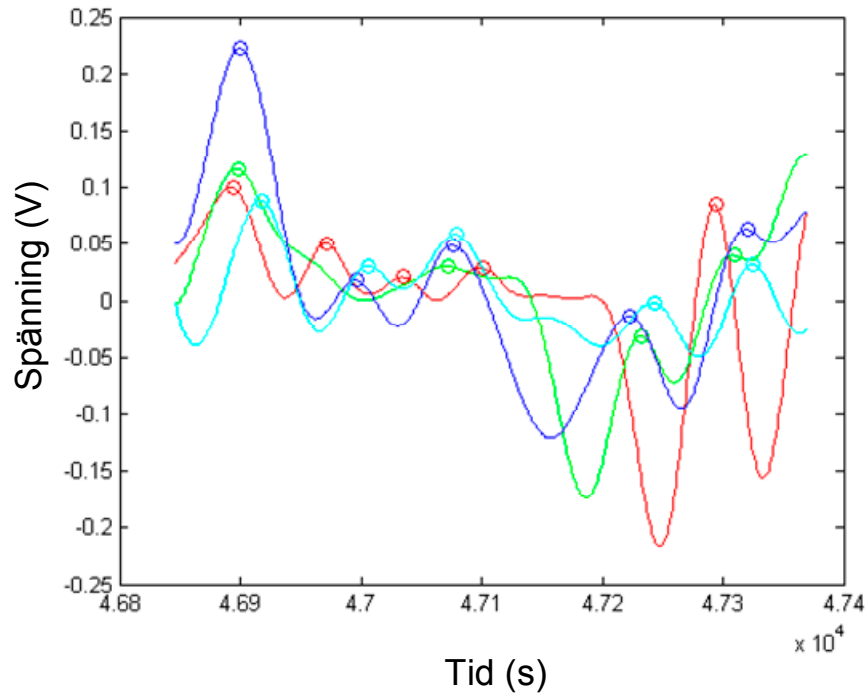
Signalerna analyserades med en enkel algoritm utvecklad i programvaran Matlab. Denna bygger på filtrering som tar bort högfrekventa signalkomponenter och därefter söker algoritmen efter ”toppar” som har en signifikant storlek i relation till signalens varians. Ett antal olika algoritmer testades men utvärderingen visade att det viktigaste är att förbättra givaren, därefter kan signalanalysalgoritmen utvecklas vidare. En sammanställning av samtliga mätningar utom tre stolpmätningar och en stockmätning redovisas i figur 2.10. De fyra mätningarna som togs bort hade mycket avvikande resultat. Anledningen till detta är oklar. Resultaten visar på ett starkt samband mellan verklig längd och den längd som mätts med mikrovågsgivaren. Mättnoggrannheten är dock långt ifrån tillräcklig och den är sämre vid högre hastigheter (stolpmätningarna).



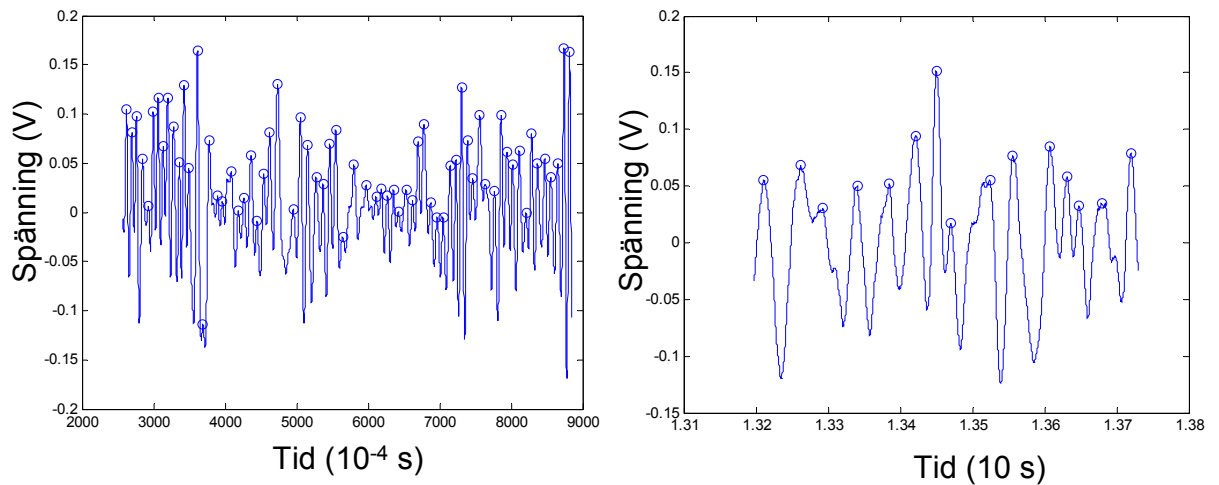
Figur 2.10.
Verklig förflyttning jämfört med förflyttningen uppmätt med den mikrovågsbaserade längdmätaren.
Tre stolpmätningar och en stockmätning togs bort på grund av stora avvikelser.

Det är tydligt att problemen med varierande amplitud kvarstår och att alla fyra antennerna kan ha problem samtidigt (figur 2.11). En jämförelse mellan stock- och stolpmätning visar att den högre hastigheten vid stolpmätningen resulterar i större problem med variation i amplitud (figur 2.12). En annan felorsak är fasförskjutningar. Figur 2.13 visar signalerna från två av antennerna. Dessa är till en början i motfas. Sedan sker en fasförskjutning som gör att signalerna kommer i fas. Det innebär dock även att längdmätningen kommer att skilja en sträcka motsvarande en halv period mellan de två signalerna. Det är uppenbart att lösningen med fyra separata antenner inte har löst problemet med signalvariation.

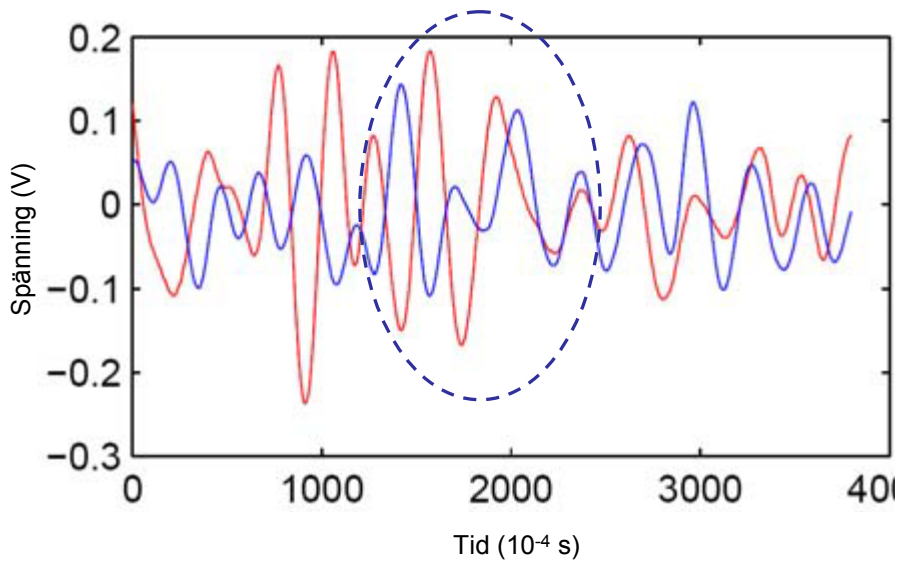
En tänkbar orsak är att ojämnheter hos stocken gör att avståndet mellan antenn och stock varierar, samtidigt som att antennerna sitter så pass nära varandra att denna variation är ungefär lika för samtliga antenner. Det vore därför intressant att undersöka effekten av att placera antennerna längre ifrån varandra.



Figur 2.11.
Exempel där signalen från samtliga fyra antenner ger låg amplitud vid samma tillfälle.



Figur 2.12.
Exempel som indikerar att problemen med variation i amplituden var större vid stolpmätningarna än vid stockmätningarna. Stolpmätning (hög hastighet) till höger och stockmätning (lägre hastighet) till vänster i figuren.



Figur 2.13.
Exempel som visar ett tillfälle då signalen från en antenn fasförskjuts i förhållande till signalen från en av de andra tre antennerna.

2.5. SLUTSATSER

Resultaten från delprojektet visar att den undersökta mikrovågstekniken är en lovande teknik för beröringsfri längdmätning i skördaraggregat, men även att mycket arbete återstår innan det är visat att tekniken ger tillräcklig noggrannhet och tillförlitlighet för praktisk drift. Ett fortsatt arbete kräver vidareutveckling av både sensor och signalanalysalgoritmer. Ett positivt resultat är dock att det inte uppstod några nya problem när tekniken testades i ett verkligt skördaraggregat. Detta innebär att nästa steg är att gå tillbaka till studier i laboratoriemiljö för att bättre förstå vad som orsakar problemen med varierande amplitud och fasförskjutningar i signalen.

Slutsatsen är att tekniken är tillräckligt lovande för att det skall vara mycket intressant att gå vidare med tekniken. En sådan fortsättning bör till att börja med fokusera på att lösa problemen med varierande amplitud. Därefter kan man gå vidare med design av en ny sensor där man förutsätter att aggregatets utformning kan förändras inom rimliga gränser. Därefter kan arbetet koncentreras på vidareutveckling av signalbehandlingsalgoritmerna.

3. Beröringsfri diametermätning

3.1. TEKNIKVAL

Insatserna med fokus på val av givarteknik har samordnats med en branschfinansierad förstudie kring diametermätning i skördare (Hannrup m.fl., 2007). I samarbete med representanter för skogsbolag och maskintillverkare har en kravspecifikation utarbetats. Därefter har möjliga givartekniker utvärderats på ett enhetligt sätt genom att deras prestanda matchades mot kravspecifikationen. Informationen om teknikerna inhämtades genom kontakter och direkta möten med forskare, konsulter samt återförsäljare och tillverkare av givare. Följande givartekniker har utvärderats i studien: ultraljud, punkt- och linjelaser, visionteknik, mikrovågor samt röntgen.

Inom ramen för förstudien har en rapport utarbetats där givarteknikerna och givarnas mätprincip beskrivs och ett förslag på hur givartyperna kan inordnas i ett mätsystem redovisas. Vidare diskuteras i rapporten de parametrar som bedöms som kritiska i förhållande till kravspecifikationens krav. Därefter ställs teknikerna mot varandra i syfte att sälla fram de intressantaste teknikerna. Speciell uppmärksamhet ägnas åt barkproblematiken.

Baserat på underlaget dras följande slutsatser i rapporten:

- Ultraljudsgivare samt linje- och punktlasergivare är de intressantaste givartyperna i dagsläget för beröringsfri diametermätningen i skördare.
- I valet mellan ovanstående tekniker är möjligheten till renhållning av givarna, framför allt av lasergivare, en avgörande faktor. En annan viktig faktor är ultraljudsgivarnas mätfrekvens, vilken inte uppfyller den preliminära kravspecifikationens krav.
- Det finns i dag ingen givarteknik på marknaden med vilken man direkt kan mäta diametern under bark. Den teknik som i dagsläget erbjuder störst möjligheter när det gäller barkproblematiken är linjelaser med vilken det går att detektera barkavskav samt skatta barktjockleken för de stockar som har barkavskavda ytor.

I projektet har vi, av resursskäl, valt att fokusera insatserna på en givarteknik där ultraljudsgivare respektive linjelaser i kombination med kamera varit de intressantaste kandidaterna. I valet mellan de två givartyperna har vi i grova drag fört nedanstående resonemang.

Styrkan för ultraljudsgivare är framför allt deras robusthet och de lägre kraven på renhållning av givarna jämfört med optisk teknik. Därtill skall läggas att givarkostnaden är relativt låg, ~1 500 kr/givare. Nackdelarna utgörs av givarnas mät-hastighet, vilken för kommersiellt tillgängliga givare inte uppfyller uppställda krav.

Sannolikt krävs det vidareutveckling/anpassning av dagens kommersiella givare för att givartypen fullt ut skall kunna användas vid mätning i skördaraggregat. En sådan utveckling omfattar förbättrade prestanda när det gäller mät-hastighet men

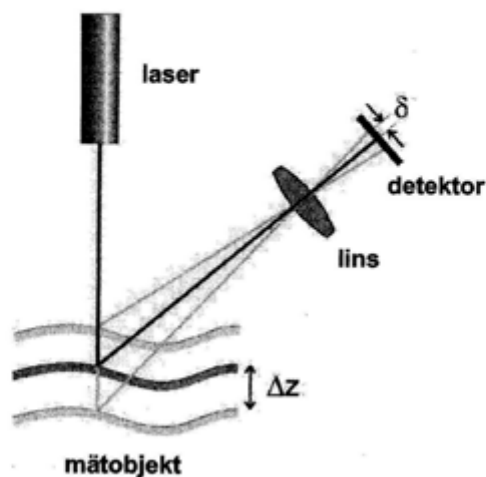
även lösningar för att intilliggande givare inte skall störa varandra (Tavakolizadeh, 2007). Vidare krävs en hantering av situationer då ljudpulser kommer med snett infall mot stockytan (Eriksson, 2008), vilket kommer att vara en realitet vid mätning av stockar med varierande diametrar.

Fördelarna med linjelaser i kombination med kamera kan sammanfattas med hög mätnoggrannhet, hög mätastighet och en utvecklingspotential för att nå diametermått under bark. Vidare är tekniken ”mogen” och finns i ett flertal kommersiella tillämpningar t.ex. diametermätning vid sågverken. Att kunna mäta på ”samma sätt” i skördare och sågverk kan betraktas som en stor fördel i sammanhanget. Dessa fördelar, i kombination med faktumet att mera grundläggande utvecklingsinsatser återstår för ultraljudstekniken, var de komponenter som styrde vårt val att i projektet fokusera på linjelaser i kombination med kamera för diametermätning. Nackdelarna för den valda givartypen är främst höga givarkostnader och mindre tolerans när det gäller nedsmutsning av givarna. Frågeställningen kring nedsmutsning av givarna och utveckling av system för aktiv renhållning av dessa i skördaraggregat har inte beaktats i vårt projekt, vilket avgränsats till studier under ”kontrollerade” miljöförhållanden och med manuell rengöring av givare. Icke desto mindre är dessa frågor av avgörande betydelse för användbarheten av mätsystem med optiska givare och bör därför adresseras i kommande FoU-projekt.

3.2. MÄTPRINCIP LINJELASER

Vid mätning av korta avstånd med laserbaserad teknik utnyttjas triangulering. Parallellt laserljus sänds ut, reflekteras diffust mot ett mätobjekt och bilden av laserlinjen på mätobjektet fångas på en bildsensor. Positionen där ljuset träffar detektorn är beroende av avståndet mellan givaren och mätobjektet, se figur 3.1.

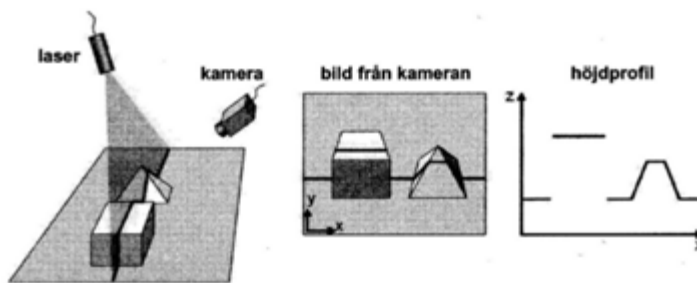
LASERTRIANGULERING - LASERSTRÅLE



Figur 3.1.
Princip för trianguleringsmätning med punktlaser.

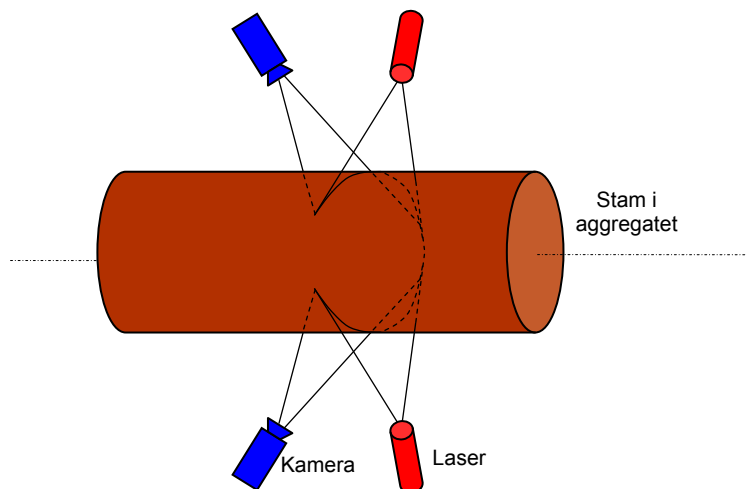
Vid avståndsmätning med linjelaser är mätprincipen ekvivalent med uppställningen i figur 3.1. Med en linjelaser bryts punktlasers ljus av ett prisma till en linje och den reflekterade laserlinjen från objektet tas emot av en kamera monterad i en vinkel mot lasern. I kameran registreras den infallande laserlinjen på en matrisformad sensor. Med kameran kan avståndet till ett stort antal punkter på mätobjektet registreras så att en detaljerad avståndsprofil erhålls längs laserlinjen, se figur 3.2. Även bredden på laserlinjen kan detekteras, vilket utnyttjas i de senaste 3D-ramarna i sågverkens timmersortering för mätning av barktjockleken i övergångszoner mellan avskavd och oskadad bark.

LASERTRIANGULERING - LASERLINJE



Figur 3.2.
Princip för mätning med linjelaser.

Principiellt ser mätsystemet i skördaraggregatet ut som i figur 3.3, med de båda mätenheterna (kamera och linjelaser) monterade 180° från varandra.



Figur 3.3.
Principskiss av mätsystemet för diametermätning i skördare med två linjelasrar och två kameror.

3.3. MATERIAL OCH METODER

Systemet för diametermätning testades genom att mata samtliga 27 teststockar genom aggregatet med krypfart (ca 1 m/s), samtidigt som de två mätkamerorna loggades. Mätssystemets position längs stocken mättes med måttband innan mätningen påbörjades och åter igen efter den hade avslutats. Testet utfördes i töväder och periodvis med lite svagt regn. En varierande mängd snö noterades på stockar och även att barken verkade sitta löst jämfört med under de tidigare testomgångarna (se figur 3.4) då längd-, krök- och fibervinkelmätning utvärderades. Efter mätningen i skördaraggregatet transporterades virket till Sävarsågen för referensmätning med 3D-mätram, men i väntan på det hann stockarna snöa över på nytt. Stockarna mättes två gånger men stock nummer 22 förlorades i sorteringsverket eftersom den hade gått av i hanteringen och därför erhöles bara en mätning av den. Figur 3.4 visar systemet vid ett tidigare testtillfälle i december 2007.



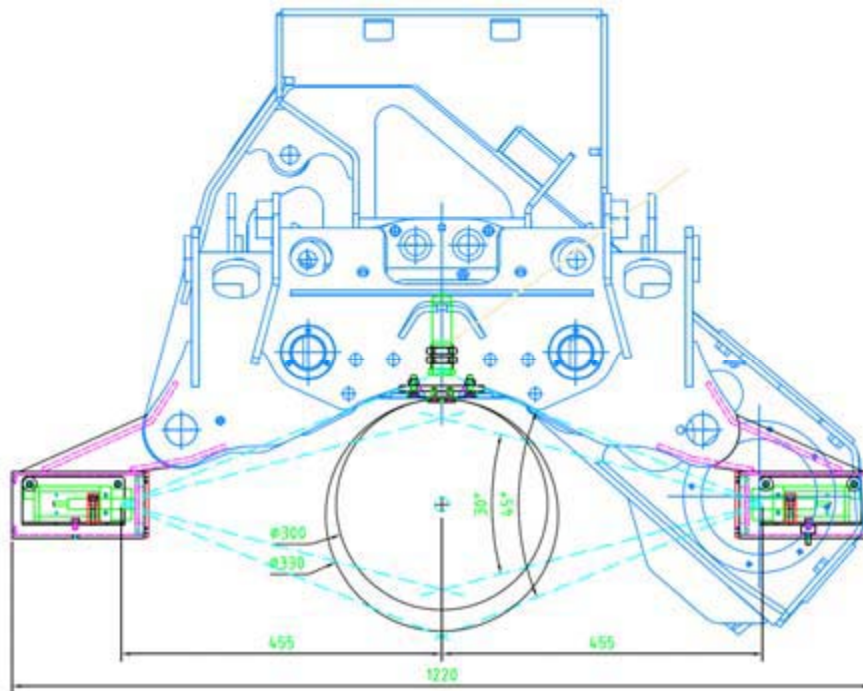
Figur 3.4.
Bild från en testomgång som kördes i december 2007.

3.3.1. Montage och inställningar

De två enheterna för diametermätning bestod av en kamera (Sick IVP Ranger E) med ett 1” vidvinkelobjektiv (Kowa LM16HC) och en linjelasermodul (Lasiris SNF-501L-660-35-45°-K). Vidvinkeloptiken var nödvändig på grund av det korta avståndet mellan mätenheterna och speciellt för att nå god omslutning även för stockar med hög diameter. Lasermodulerna fästes direkt på kamerorna med en inbördes vinkel om 4,9 grader och kamerorna var i sin tur fastskruvade med gum-mibussningar inuti varsitt 120 × 120 mm profilrör som svetsats fast mellan de främre kvistknivarna och matarvalsarna i aggregatet (se figur 3.4 och 3.5). Denna placering var den enda möjliga utan större modifiering av aggregatets stomme. Vår bedömning är dock att denna placering är en av de mest gynsamma för ett optiskt mätsystem i befintligt aggregatet. Alternativet vore att placera givarna mellan matarvalsarna och kapsågen men givarna skulle med en sådan placering vara mer utsatta för nedsmutsning, framför allt när det gäller påverkan från kapsågen

(Löfgren m.fl., 1997). Framkanten på profilrören var täckta med skyddsglas och en stålplåt med ett hål stort nog för att inte skymma laserlinjen och kamerans siktfält. Placeringen av kameraenheterna innebar att laserlinjerna projicerades nära vinkelrätt (90 grader) mot en stocks centrumlinje i aggregatet. Följdriktigt var kamerornas betraktningvinklar 4,9 grader mindre, alltså ca 85 grader.

Kamerorna styrdes med den medföljande programvaran Ranger Studio och den inbyggda profildetekteringsalgoritmen High-3D användes, vilket resulterade i 1 536 mätvärden med 12 bitars upplösning från varje kamera. Signalen från pulsgivaren i valsmotorn användes efter konditionering för att trigga mätningar till var tredje centimeter längs stocken. Avståndsprofiler sparades tillsammans med intensitetsdata och räknarvärde (relativ position längs stocken) för varje stock som matades genom aggregatet. De binära filerna kunde sedan enkelt öppnas i Matlab för vidare behandling och utvärdering.

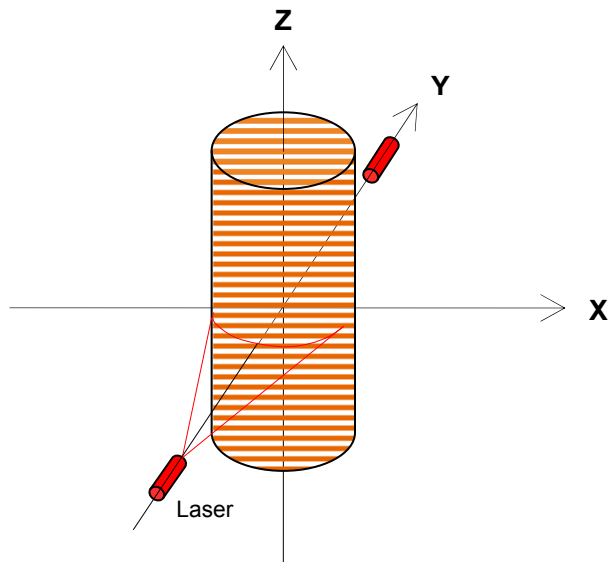


Figur 3.5.
Montage av kamerahusen i aggregatet.

3.3.2. Kalibrering

Inför kalibreringen av mätsystemet definierades tredimensionella koordinatsystem för de två kameraenheterna i aggregatet (se figur 3.6). Aggregatets matningsriktning fick utgöra en gemensam Z-axel för båda systemen och eftersom lasermodulernas centrumlinjer var närmast vinkelräta mot matningsriktningen lades Y-axlarna längs respektive moduls centrumlinje. Som ett resultat av detta hamnade koordinatsystemens X-axlar i samma riktning som laserlinjernas utbredning på en stockyta och som raderna på kamerans bildsensor. Därefter kalibrerades mätsystemet, dels genom att de två enheterna enskilt monterades på ett koordinatbord i en

fräs och fick mäta mot en plan yta vid olika avstånd (längs Y-axlarna) och dels genom samtidig mätning av sju cirkulära föremål (diameter 50–400 mm) med enheterna monterade i aggregatet.



Figur 3.6
Definierade riktningar i mätsystemets koordinatsystem.

Den första kalibreringen användes för att bestämma förhållandet mellan de 1 536 returnerade mätvärdena och motsvarande Y-koordinater (de vinkelräta avstånden mellan laserns framkant och träffpunkterna på ett mätobjekt) i de definierade koordinatsystemen. Mätningar gjordes i intervallet 180–450 mm med 5 mm språng och eftersom en rät laserlinje projicerades något välvd på bildsensorn anpassades en tredje gradens kalibreringskurva för varje pixelkolumn på sensorn. Tillhörande X-koordinater beräknades med hjälp av Y-koordinaterna, den kända geometrin mellan kameran och lasern, samt kameraobjektivets bildvinkel. Den andra kalibreringen, där båda enheterna mätte samtidigt på cirkulära föremål, gjorde det möjligt att relatera de två mätenheternas koordinatsystem till varandra. Efter manuell filtrering av mätningarna anpassades cirklar till de resulterande segmenten och genom att jämföra cirklarnas centrumpunkter kunde förhållandet bestämmas. Den ena enhetens koordinatsystem valdes därefter till referens och den andra enhetens mätpunkter transformerades till samma koordinatsystem.

3.3.3. Beräkning och analys av stockdiameter

Med den slutgiltiga kalibreringen överfördes även mätningarna av de 27 stockarna till det valda referenskoordinatsystemet och olika filtreringsförfaranden testades för att automatiskt sortera bort så många dåliga mätpunkter som möjligt. Den slutgiltiga filtreringen bestod av följande steg:

1. Alla orimliga värden utanför intervallet $0 < Y < 450$ mm togs bort.
2. En liknande exkludering av punkter gjordes utanför ett snävare intervall som definierats med hjälp av avståndet mellan punktsvärmens tyngdpunkt och bröstet på aggregatet.
3. En cirkel anpassades till återstående punktsvärm och alla punkter inom 1,25 cirkelradier användes för en andra cirkelanpassning. Den andra cirkelanpassningen användes för att på nytt filtrera datapunkterna från steg två, men med ett snävare intervall på 1,1 radier.

Efter filtrering av mätpunkterna återstod i normala fall två segment med mätpunkter, alltså en direkt avbild av stockens kontur från ömse sidor där laserlinjerna hade träffat. De delar av stockytan som kamerorna inte kunde fånga modellerades med en enkel algoritm som utifrån ett ungefärligt stockcentrum (identifierat med ellips- eller cirkelanpassning till de två segmenten) stegade mellan mätpunkterna likt en klockvisare. Områden som inte mätts skarvades genom att med 1,8 graders mellanrum skapa modellerade mätpunkter med en radie från algoritmens utgångspunkt (centrum) som successivt anpassades för att skarven skulle gå från slutet av ett mätt segment till början av nästa. Stockens diameter beräknades därefter genom att bestämma polygonarean av stocken och lösa ut motsvarande cirkeldiameter.

Den statistiska analysen av två inmätningar (t.ex. mätning i 3D-mätram och i skördaraggregat) baserades på totala standardavvikelsen (Sd_{tot}) för skillnaderna av alla (n) parvisa diametermått ($d1$ och $d2$):

$$Sd_{tot} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d1_i - d2_i)^2}{n}} \quad (3.1)$$

Även den systematiska avvikelsen (Δd) beräknades genom att bilda medelvärdet av samtliga (n) diameterskillnader:

$$\Delta d = \frac{\sum_{i=1}^n (d1_i - d2_i)}{n} \quad (3.2)$$

Den totala standardavvikelsen delades därefter upp i bidraget från den systematiska avvikelsen och de två jämförda mätningarnas egenbidrag (Sd_{egen1} och Sd_{egen2}) till standardavvikelsen:

$$Sd_{tot} = \sqrt{(Sd_{egen1})^2 + (Sd_{egen2})^2 + (\Delta d)^2} \quad (3.3)$$

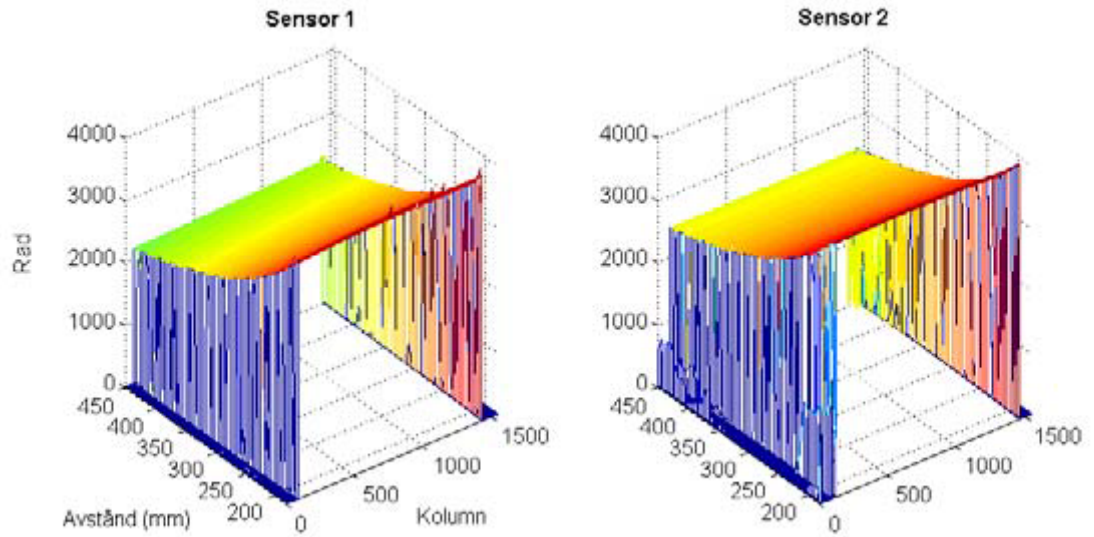
Eftersom mätsystemet var placerat ungefär mitt i aggregatet började mätningarna först ett par decimeter in på stockarna när de greppats. På samma sätt missades också ett par decimeter av slutet på stockarna eftersom de matades fram så långt som möjligt utan att greppet om dem förlorades. Samtliga jämförelser med mät-ramsdata begränsades därför till de delar av stockarna som mätsystemet i aggre-gatet hade mätt. Detta gällde även då mätramen jämfördes med sig själv d.v.s. i de jämförelser som gjordes baserat på upprepade mätningar på samma stockar.

3.4. RESULTAT OCH DISKUSSION

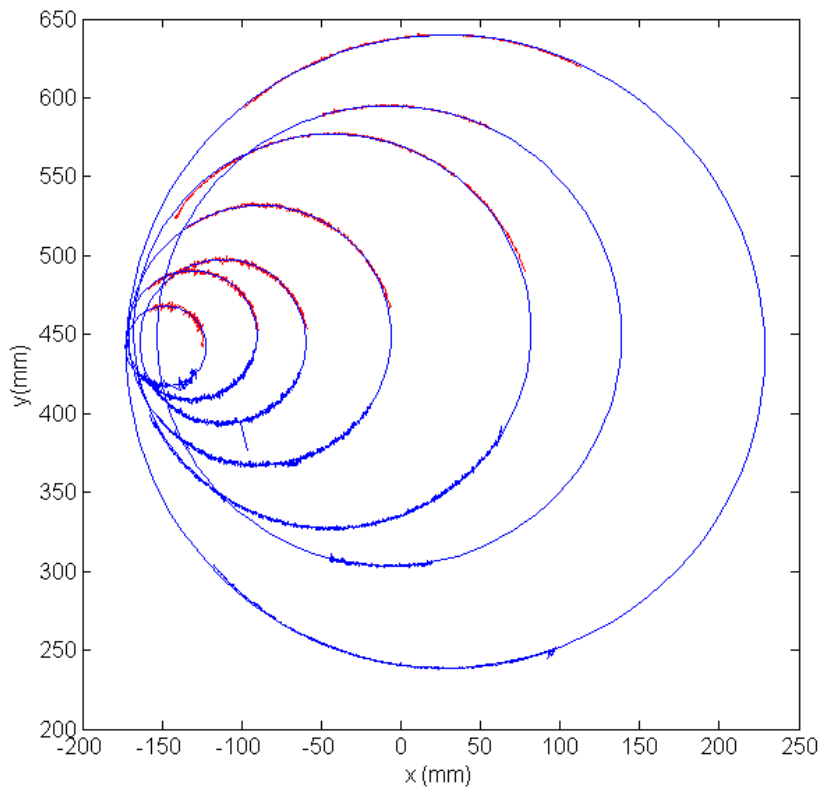
3.4.1. Kalibrering av mätsystemet

I figur 3.7 visas avståndskalibreringen av kamerorna med de 1 536 mätvärdena (Range) som funktion av avståndet i intervallet 180–450 mm. Mätvärdena varierar i stort sett från 2 000 till 4 000, vilket betyder att endast halva bildsensorn utnyttjades i det aktuella mätområdet. Detta är en direkt följd av att vinkeln mellan kame-ran och lasern bara var 4,9 grader och vid en mer anpassad installation finns här möjlighet till förbättring. Derivatn av mätvärdena som funktion av avståndet (sluttningen som ses i figuren), ger mätenheternas upplösning och det var tydligt att bästa upplösningen erhöles nära kamerorna. Det framgår också att laserlinjen inte riktigt täckte hela bildsensorn (punkterna i utkanterna gav ingen respons). Detta överensstämmer med att objektivens uppmätta bildvinkel på 50 grader var något större än lasermodulens.

Mätningarna av de sju cirkulära föremålen som användes för att relatera mäten-heternas koordinatsystem till varandra kan ses i figur 3.8. De röda konturerna (kamera 1) har transformerats in i samma koordinatsystem som de blå (kamera 2) och visas tillsammans med deras gemensamma cirkelanpassningar. Den optimala transformationen hittades manuellt genom att jämföra de anpassade cirklarnas diametrar med uppmätta mått, men man bör beakta att de plaströr och andra före-mål som användes inte var perfekt cirkulära. En effekt som uppträder tydligt i figuren är att den lägre upplösningen vid större avstånd ger brusigare konturer för de mindre föremålen. Samtidigt är då förstås mätningens omslutning bättre.



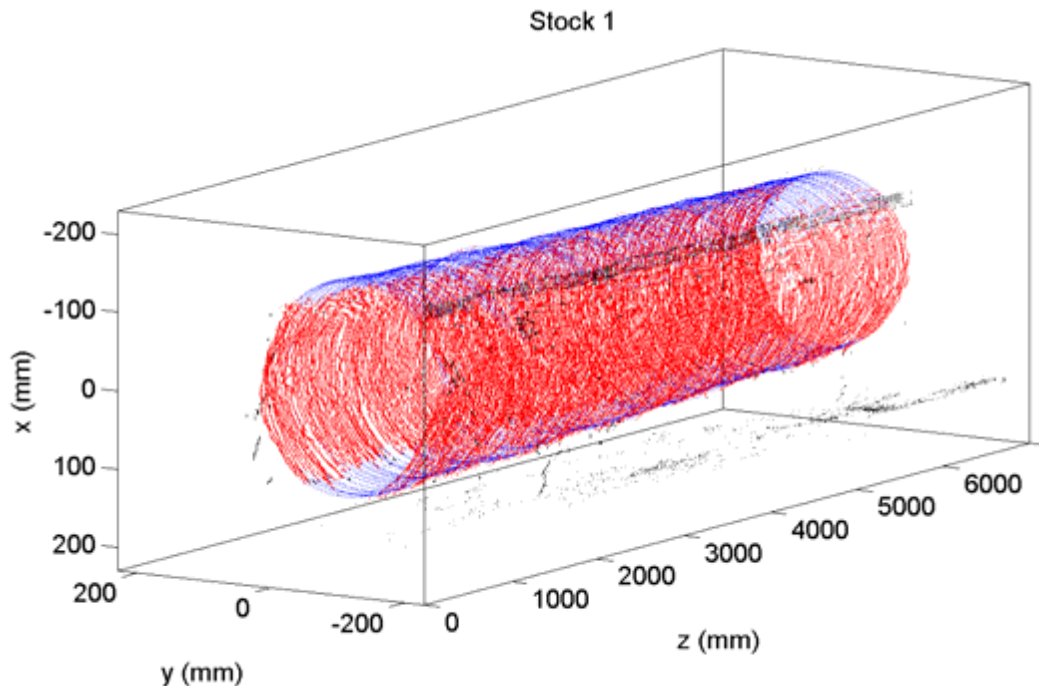
Figur 3.7.
Avståndskalibrering av kameromas bildsensorer.



Figur 3.8.
Cirkulära föremål i aggregatet enligt den slutgiltiga kalibreringen. Blå segment (nertill) – kamera 1, röda segment (upptill) – kamera 2, blå cirklar – anpassningar till sammanhörande segment.

3.4.2. Filtrering och modellering

När mätsystemet kalibrerats och mätdata från stockarna kunde åskådliggöras blev det uppenbart att någon sorts filtrering var nödvändig. I figur 3.9 syns en färdigbearbetad stock med bortfiltrerade och modellerade punkter och bland de svartmarkerade punkterna uppenbarar sig två typer av störning, dels slumpmässigt spridda punkter och korta segment från bark och snö som föll framför kamerorna, men även ett sammanhängande område längs hela stocken som visade sig vara en reflektion från blankslipad metall i aggregatbröstet. En förutsättning för att den filtreringsalgoritm som användes skulle fungera var att huvudparten av mätpunkterna låg på stockytan, eftersom uteslutningen av mätpunkter gjordes kring en cirkel som anpassats till punktsvärmen. En nackdel med cirkelfiltreringen var att ett för snävt intervall ledde till att även riktiga mätpunkter kunde sällas bort om stockens form inte var tillräckligt cirkulär. Den enkla algoritm som därefter användes för att modellera de saknade segmenten av stockprofilerna fungerade väl för de flesta stockarna. Det bör påpekas att varken filtreringen eller modelleringsalgoritmen är optimal för ett realtidssystem och det finns potential för både förbättringar och hastighetsoptimering.

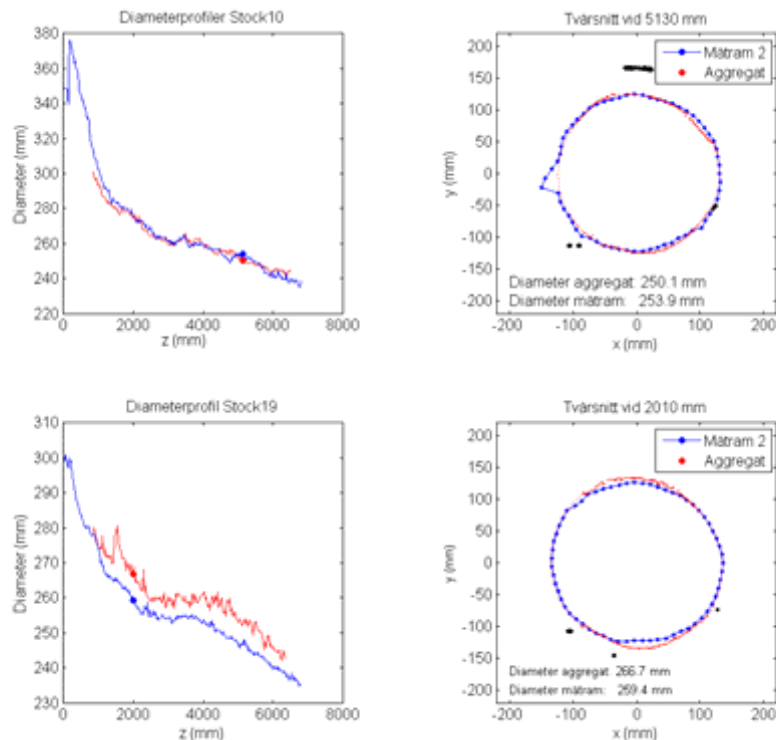


Figur 3.9.
Färdigbearbetad stock. Blå – modellerade punkter, Röd – bra mätpunkter, Svart – bortfiltrerade mätpunkter.

3.4.3. Jämförelse med 3D-mättram

Upplösningen i stockarnas längdriktning var ganska precis dubbelt så hög för 3D-mättramen som för mätsystemet i aggregatet. Vid den statistiska utvärderingen jämfördes därför alltid de två profiler (en från vardera mätsystemet) som låg närmast varandra. Positionsskillnaden mellan de två mätsystemen var relativt osäker med tanke på att mättragens och aggregatets längdupplösning var 15 respektive 30 mm. Till denna osäkerhet tillkom också bidrag från mätningen med måttband och eventuell slirning i aggregatet. I figur 3.10 ser man att mättramsdata består av 64 perfekt fördelade punkter, vilket innebär att de härstammar från någon form av filtrering. Vid jämförelsen beräknades polygonareor och motsvarande cirkeldiametrar för de två systemen utan någon ytterligare filtrering. Exempelvis kunde beräkningarna ha filtrerats genom att bara behålla fallande diametrar eller genom att beräkna glidande medelvärden, men i stället behölls all diameterdata i sin ursprungliga form. 3D-bilder och diameterprofiler för samtliga stockar återfinns i bilaga 1.

Tvårsnittet för stock 19 i figuren visar tydligt hur snö som knivarna inte kom åt att skrapa bort (syns som två utbuktningar i tvårsnittet) orsakade ett ca 6 mm för stort diametermått i aggregatet. Det bör nämnas att kamerorna var inställda att mäta mot bark och i efterhand visade det sig att denna inställning gjorde att kamerorna inte kunde mäta lika bra på snö, något som sannolikt går att justera till det bättre.



Figur 3.10.

Jämförelse av diameterprofiler (till vänster) och tvårsnitt (till höger). Blå – 3D-mättram, Röd – aggregatmätning, Svart – bortfiltrerade aggregatmättningspunkter.

Resultaten av jämförelserna finns samlade i tabell 3.1, uppdelat i första mätramskörningen i november 2007 följt av andra mätramsomgången i januari 2008 tillsammans med aggregatmätningen. De två kolumnerna med standardavvikelse (Sd_{egen}) och systematisk avvikelse (Δd) är resultaten av ekvationerna (3.1) och (3.2) för samtliga tvärsnitt mätta på de 26 stockarna (~150 mätningar/stock). För att försöka isolera de två mätsystemens enskilda bidrag (Sd_{egen}) till den totala standardavvikelsen, samt i viss mån korrigera för snön på stockarna, löstes de ut med hjälp av ekvation (3.3). De två sista kolumnerna visar ett vanligt 95-procentigt konfidensintervall, samt det för skogsbruket vedertagna måttet på konfidensnivån för ett (fixt) konfidensintervall på ± 4 mm.

Vid första inmätningen av stockarna i mätramen ser man en antydning till barkavskav. Skillnaden mellan första och andra körningen ger i snitt ett 0,2 mm mindre diametermått och efter tre mätningar har den minskat ytterligare till 0,3 mm. Minskning är i linje med det förväntade barkavskavet som hanteringen av stockarna orsakade. Enligt mätramens rapport minskade också den samlade totalvolymen av alla stockar med 10–15 liter mellan körningarna. De två inmätningarna i januari skiljer sig däremot väsentligt mer (1,3 mm) och det beror mest troligt på den snö och is som då fanns på stockarna. Enligt rapporten försvann sammanlagt över 80 liter mellan de två mätningarna.

Effekten av snö på stockarna är svår att isolera i efterhand, men eftersom den tillsammans med barkavskavet kan anses dominera de systematiska skillnaderna bör den enligt ekvation 3 beräknade standardavvikelsen (Sd_{egen}) spegla mätsystemets standardavvikelse bättre. Naturligtvis ingår då fortfarande ett bidrag från variationer på grund av stockarnas ytstruktur, men standardavvikelsen för mätramen hamnade omkring 1,4 mm i november respektive 1,8 mm i januari. Det något högre värdet i januari beror sannolikt på ett ojämnt fördelat lager av snö på stockarna och eventuellt på att stockytorna var mer uppruggade än i november. Tillämpas samma förfarande på mätningen i aggregatet, d.v.s. att mätsystemets variation isoleras från mätramens och den systematiska avvikelens bidrag, blir standardavvikelsen i snitt 3,4 mm. Man bör beakta att detta mått också innehåller bidrag från bark (ytstruktur) och till viss grad fortfarande från snö, eftersom det är högst osannolikt att snön var fullständigt jämnt fördelad över alla stockar (i så fall skulle allt bidrag från snön hamna i den systematiska avvikelserna).

Den resulterande standardavvikelsen och därmed också konfidensintervallet för aggregatmätningen blev nära dubbelt så stort som för mätramen. Översätter man det till skogsbrukets gängse mått, d.v.s. antal mätningar som hamnar inom intervallet ± 4 mm, blir konfidensnivån omkring 75 % för aggregatmätningen och hela 99 % för mätramen. Observera dock att mätramen här jämförs med sig själv och att systematiska fel i stort har uteslutits. Skogsbrukets mål på 90 % skulle motsvara en standardavvikelse på 2,5 mm, vilket alltså är inom nära räckhåll för skördarmätningen, speciellt om snöpålag kan undvikas. Värt att notera är att även en mätram snabbt hamnar under skogsbrukets mål om stockarna är snöiga, något som är mycket sannolikt för en del stockar under vintersäsongen.

Tabell 3.1.
Jämförelse av samtliga diametermått på 26 stockar.

	$S_{d_{tot}}$ (mm)	Δd (mm)	$S_{d_{egen}}$ (mm)	95 % konf. int. (mm)	Inom ± 4 mm (%)
<i>November 2007</i>					
Mätram 1 mot 2	1,7	0,2	1,2 ^a	$\pm 2,4$	100
Mätram 1 mot 3	2,1	0,3	1,5 ^a	$\pm 2,9$	98
Mätram 2 mot 3	1,9	0,1	1,4 ^a	$\pm 2,6$	99
<i>Januari 2008</i>					
Mätram 1 mot 2	2,8	1,3	1,8 ^a	$\pm 3,5$	99
Aggregat mot Mätram 1	4,0	0,3	3,6 ^b	$\pm 7,0$	72
Aggregat mot Mätram 2	4,0	1,6	3,2 ^b	$\pm 6,2$	77

^a 3D-mätramens standardavvikelse beräknad enligt ekvation 3,3, med $S_{d_{egen1}} = S_{d_{egen2}}$.

^b Aggregatets standardavvikelse ($S_{d_{egen1}}$) uppskattad med ekvation 3,3 och med $S_{d_{egen2}} = 1,8$ mm (för mätramen).

3.5. SAMMANFATTNING

Det kamera- och laserbaserade mätsystemet, bestående av två motstående enheter monterade mellan matarvalsarna och kvistknivarna i ett skördaraggregat, testades under gynsamma förhållanden med kvistade stockar på skogforsks gårdsplan. Mät-systemets standardavvikelse för beräknade diametrar på 26 stockar blev 3,4 mm, vilket kan jämföras med standardavvikelsen 1,8 mm som erhöles för motsvarande mätningar i en Sawco 3D-mätram vid Sävarsågen. Med tanke på omständigheterna anser vi att resultatet var mycket bra. De huvudsakliga kompromisser som gjordes var: (i) en liten vinkel mellan kamera och laser (resulterade i halverad upplösning), (ii) att kamerorna satt extremt nära mätobjektet, (iii) att snö- och barkavskav från främre kvistknivarna inte hindrades från att falla framför kamerorna, (iv) samt att kamerorna endast mätte var tredje centimeter. Den snö som fanns på stockarna bidrog också till en ökad standardavvikelse, både för mätramen och för skördar-mätningen, samt till ett visst kontrastproblem eftersom kamerorna var justerade för mätning på snöfri bark. Det finns med andra ord potential för relativt enkla och väsentliga förbättringar, men också ett behov av ytterligare anpassning för att systemet skall klara normala produktionsbetingelser ute i skogen.

4. Krökmätning

4.1. TEKNIKVAL

Den mätprincip som vi har valt för att detektera stockkrök liknar det sätt som en snickare använder för att se om en plankan eller regel är rak eller ej. Snickaren kikar längs plankan med ögat i en liten vinkel från plankans längdaxel och på så sätt framträder en krök tydligare än om man bara skulle se samma plankan rakt från sidan. Detta kamerasystem använder två kameror som placeras på skördaraggregatet riktade mot den utmatade och kvistade delen av stocken. De två kamerorna placeras så den ena ser stockprofilen uppifrån och den andra ser profilen från sidan och bildar därmed två approximativt ortogonala vyer. Kameraplaceringen på skördaraggregatet framgår av figur 4.1.



Figur 4.1.
Krökkamerornas placering på skördaraggregatet.

4.2 MATERIAL OCH METODER

De valda kamerorna är två stycken JAI/Pulnix TMC-1327 GE, färgkameror med en upplösning på $1\,392 \times 1\,040$ pixlar och en bildfrekvens på 30 bilder per sekund. Dataöverföringen följer GigE Vision standarden, vilket betyder att vi använt ett konventionellt Gigabit Ethernet nätverkskort och kablar i stället för en speciell (och dyr) framegrabber. Dessutom klarar GigE kabellängder upp till 100 m medan de flesta andra kameragränssnitt får problem över 10 m. Detta är av avgörande betydelse då vi behövde överföra signalen via kranarmen till skördarens hytt, en sträcka på ca 15–20 m.

4.3 Resultat från fältförsök

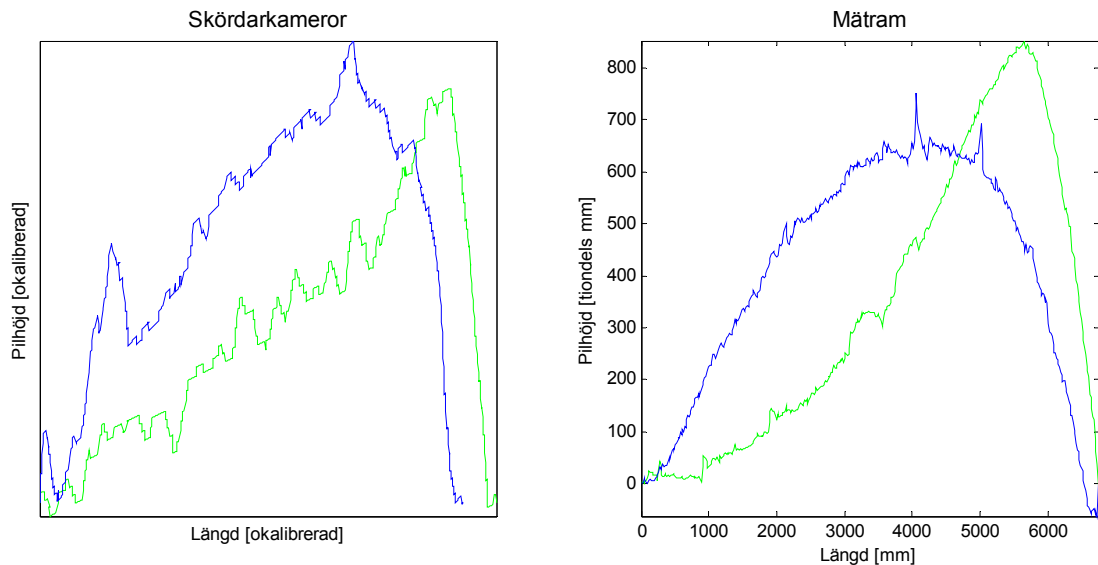
I figur 4.2 syns exempel på hur kamerabilder från en utmatad stock ser ut. Bilderna belyser svårigheterna att med bildbehandlingsteknik separera ut stockens konturer på grund av bakgrundens varierande färg och textur. Dessutom vet vi att bakgrundens variationer i färg, ljushet och textur är mycket stora under verkliga förhållan-

den. Följaktligen har vi i detta läge avstått från ansatser att automatiskt detektera stockprofilen.



Figur 4.2.
Bilder från krökkamerorna. Bakgrundens variation i ljushet, färg och textur gör det extremt svårt att automatiskt särskilja stockens konturer.

I stället har profilen markerats manuellt i bilderna. I figur 4.3 jämförs stockens profil i kamerabilden med stockens form uppmätt i en 3D-mätram. Denna jämförelse har vissa brister då data från kamerorna var okalibrerat och därmed inte helt linjärt. Vidare var stockens invridning både i mätramen och skördaraggregatet okänd vilket gör att jämförelsen i figur 4.3 inte visar profilen i exakt samma riktning. Trots detta så kan man se en tydlig likhet mellan kurvorna.



Figur 4.3.
Jämförelse mellan krökmätning med kameror på skördaraggregatet (vänster) och en mätram (höger) på en stock. De gröna och blå kurvorna representerar utböjning (pilhöjd) i två ortogonala riktningar, i skördarfallet är den gröna kurvan från toppkameran och den blå från sidokameran. Invridningen av stocken är dock inte identisk mellan mätningarna, vilket påverkar jämförelsen.

4.4. SLUTSATSER

Krökmätning i skördaraggregat enligt denna princip är möjlig och har potential att mäta krök med god överensstämmelse mot en mätram, men metoden lider av flera svårlösta problem:

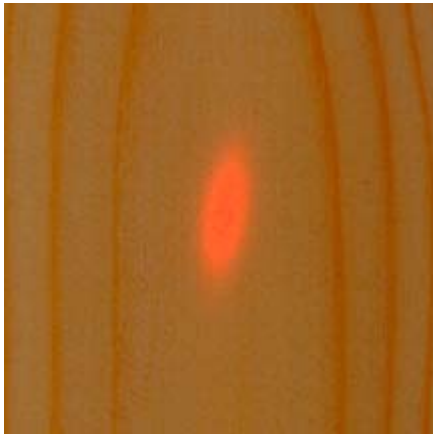
- Kamerorna har i detta försök använts utan någon egen belysning, vilket gör att exponeringen blir starkt beroende av externa ljusförhållanden. Det går naturligtvis att använda automatik för att justera exponeringstid och bländare men detta kommer också att påverka skärpa och skärpedjup i bilderna.
- En automatiserad mätning av stockkrök i bilderna kräver en automatiserad bildbehandling och bildanalys för att hitta stockens profil. Detta är extremt svårt att göra då scenen har en väldig variation i såväl bakgrundens som stockens belysning, färg och textur. Det är i princip omöjligt att klara detta för alla förekommande fall.
- Optisk mätteknik kräver rena linser för att fungera tillförlitligt så ett effektivt renhållningssystem är ett måste för att detta skall fungera. Vidare har kamerorna, med den placering som använts i detta projekt, en väldigt utsatt placering där de riskerar att doppas i snön och kanske slås i stenar etc.

En förenklad användning av denna kamerateknik kan utformas som ett rent visuellt förarstöd där föraren kan titta på en skärm för att göra en egen bedömning av stamkröken. Ett bra stöd kan ges framför allt från den kamera som har en vy snett från ovan och därmed visar kröken i det plan som föraren normalt inte kan se från hytten.

5. Fibervinkelmätning

5.1. TEKNIKVAL

Den metod som vi använt för att mäta växtvridenhet bygger på optisk mätteknik med en kamera och en laser. Träfibrer och i synnerhet barrträfibrer (trakeider) har en god förmåga att sprida ljus i fibrernas längsriktning men mindre bra tvärsammansamma, detta fenomen kallas ofta för trakeideffekten. Om man belyser en träyta med en fokuserad laserpunkt så sprids ljuset kring den infallande punkten i en elliptisk form där ellipsens stora axel sammanfaller med fiberriktningen (figur 5.1). Denna ljusspridning kan betraktas med en digital kamera kopplad till en dator och fiberriktningen beräknas med digital bildanalys. En mer detaljerad beskrivning av mätmetoden återfinns i Nyström (2002).



Figur 5.1.
Ljusspridning kring en liten laserpunkt på en tangentiell yta av gran. Notera hur ljusspridningen och därmed fiberriktningen skiljer sig från årsringsriktningen, vilket tyder på växtvridenhet.

5.2. MATERIAL OCH METODER

I denna speciella tillämpning av mättekniken så används en ”smart kamera” från Vision Components (VCM40), det är en CMOS kamera med integrerad signalprocessor som kan utföra bildbehandlingsoperationer direkt i kameran. Mätvärdena skickas sedan till ett överordnat system via ett seriellt gränssnitt (RS232) alternativt så kan man ställa nivån på upp till fyra digitala utgångar för godkänd/ej godkänd. Denna kamera är också ”ruggad” och därmed lämpad för industriella tillämpningar och kanske till och med att monteras i ett skördaraggregat. Kameran signalprocessor programmeras för att beräkna fibervinkel men även en del andra egenskaper hos den ellipsformade punkten som area, position och excentricitet. Excentriciteten är förhållandet mellan ellipsens stora och lilla axel, d.v.s. ett mått på ellipsens utsträckthet, och ett mycket viktigt mått för att bedöma om en mätpunkt är bra eller ej. Om man mäter mitt på en kvist där fibrerna går rakt in i stocken så blir punkten liten och cirkulär och på bark så ser man en liknande effekt då barken sprider ljus dåligt. En riktning kan man alltid beräkna även för dessa fall men resultatet är förstås inte tillförlitligt därför så filtreras dessa mätpunkter bort beroende på liten area och låg excentricitet.

5.2.1. Barkning

Ett problem med denna mätmetod är att man måste avlägsna barken för att kunna mäta fibervinkeln på den rena vedytan. I projektet valde vi att ta bort barken i en smal rand längs hela stockens längd med ett barkstål som monterades på den fasta kvistkniven i skördaraggregatet (figur 5.2). Barkstålet skjuvade bort barken längs en rand när stockarna matades genom aggregatet och stålets utstick kunde justeras med brickor för anpassning till stockar med olika barktjocklekar. Eftersom barktjockleken varierar naturligt med höjd i stammen, växtplats, trädslag etc. så skulle någon typ av fjädrande och självjusterande konstruktion vara lämpligare. Målet bör vara att en sådan utrustning ska kunna skapa bra mätpunkter för mätningen av fibervinkel samtidigt som ytan avskavd bark minimeras.

Vid fältförsöken skickades mätresultaten i form av ascii tecken seriellt via en RS232->USB adapter och en USB Extender (som använder Ethernet) till en dator placerad i anslutning till hytten på skördaren, läs mer om detta i kapitel 6, "Mätsystem gemensamt. I mät datorn samlades mätvärden in kontinuerligt men loggades endast när stocken rörde på sig, d.v.s. när längdmätningshjulet gav signaler. Längden loggades även simultant med fibervinkelmätningen och sparades i samma textfil. Dessa data analyserades i efterhand. Olika typer av filtrering testades i syfte att sortera ut dåliga mätvärden.



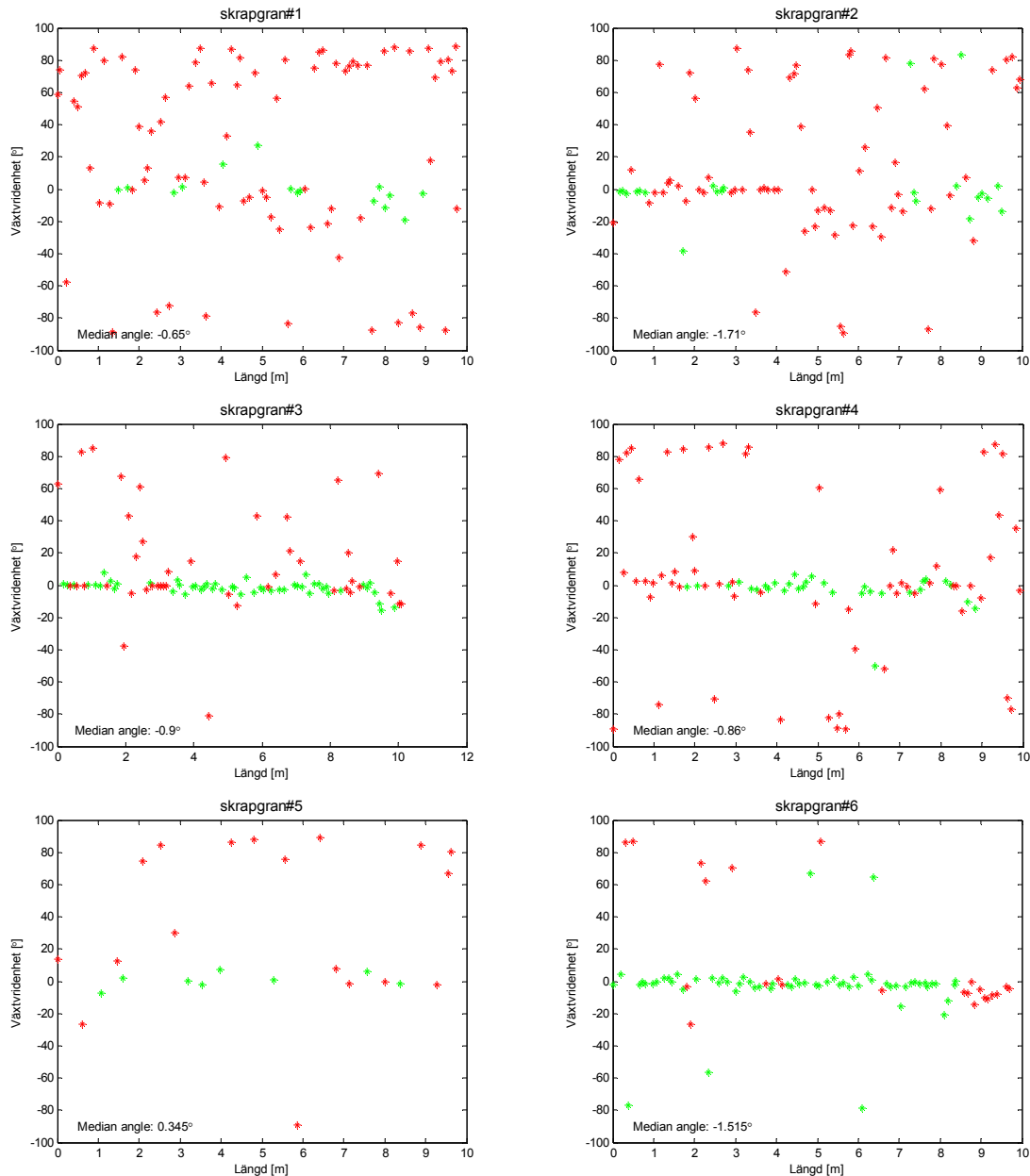
Figur 5.2.
Barkstålet är placerat på den fasta kvistkniven och genom hålet strax under kvistkniven kan kameran för fibervinkelmätningen skymmas.

5.3. RESULTAT FRÅN FÄLTFÖRSÖK

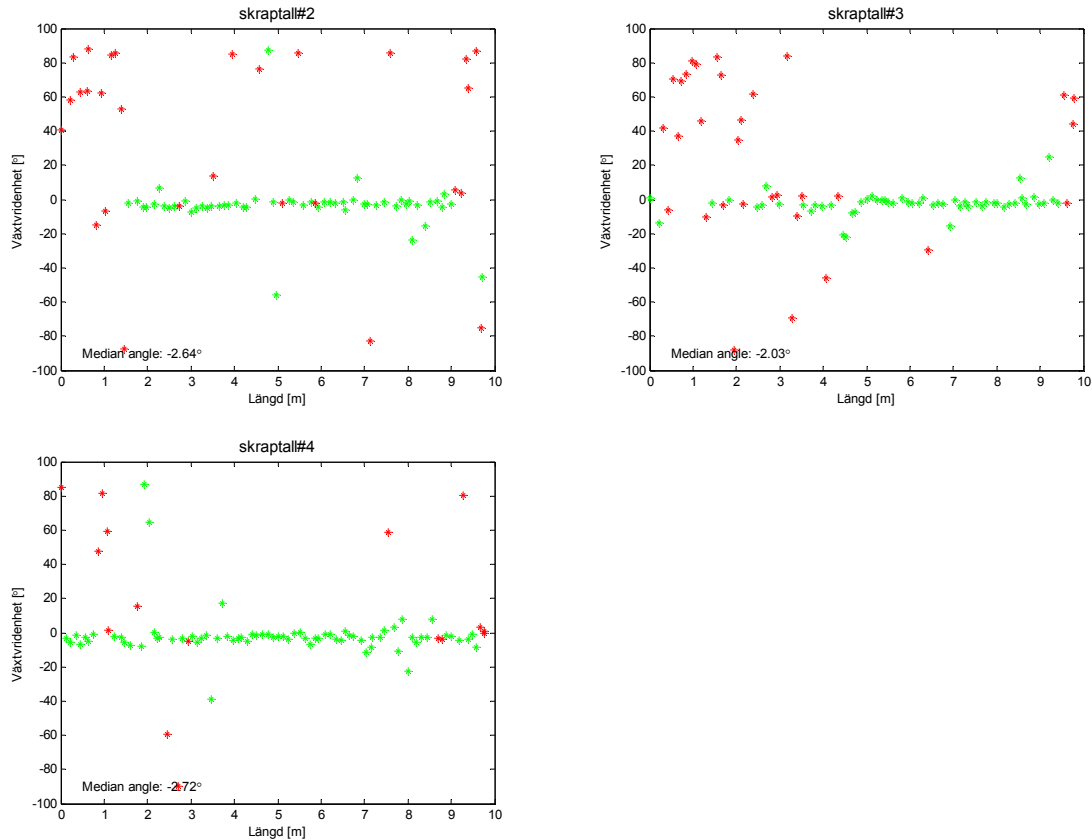
Mätvärden från en gran och en tall redovisas i figur 5.3 respektive figur 5.4. I figurerna framgår vilka mätpunkter som klassats som godkända respektive ej godkända. Klassificeringen baseras på den valda filtreringen vilken utnyttjar information om laserpunktens storlek och excentricitet. Samma filtreringsprincip används i beprövade installationer av mätmetoden i sågverk. Någon jämförelse med en referensmetod för att mäta växtvridenhet gjordes inte i samband med våra fältförsök eftersom vi gjorde bedömningen att sådana manuella mätningar skulle vara för osäkra och svårkalibrerade. Vi har nöjt oss med att konstatera att mätresultaten

liknar motsvarande mätningar gjorda på sågverk där det är känt från flera studier att metoden fungerar (Nyström, 2002).

Repetierbarhetsförsök gjordes också på ett antal stockar där dessa vreds in i olika riktningar mellan körningarna för att mäta på olika sidor av samma stock (figur 5.3 och 5.4). Den genomsnittliga växtvridenheten bör förstås vara lika för samma stock oavsett vilken sida som mäts men kan också påverkas av att stocken matas snett igenom aggregatet, vilket vi såg exempel på när avbarkningsskruven testades.



Figur 5.3. Fibervinkel-mätningar av en och samma gran med barkskrapningskruven monterad i aggregatet. Samtliga mätpunkter redovisas i varje delfigur men de gröna punkterna är godkända mätvärden medan de röda filtreras bort. Medianvinkeln för de godkända mätvärdena visas i varje delfigur. Standardavvikelsen för dessa 6 mätningar på samma stock är 0,73°.



Figur 5.4.

Fibervinkelmätningar av en och samma tall med barkskrapningssskraven monterad i aggregatet. Samtliga mätpunkter redovisas i varje delfigur men de gröna punkterna är godkända mätvärden medan de röda filtreras bort. Medianvinkeln för de godkända mätvärdena visas i varje delfigur. Standardavvikelsen för dessa 3 mätningar på samma stock är 0,38°. Notera även att det finns fler godkända mätvärden för tallen jämfört med granen, vilket kan bero på att barken släppte lättare från tall.

5.4. SLUTSATSER

Utrustning för att mäta fibervinkel eller växtridenhet i sågverksmiljö finns redan som kommersiella produkter och denna tillämpning av samma mätmetod i ett skördaraggregat har också goda förutsättningar att fungera. Den största skillnaden är att i skogen sitter barken kvar på stammen vilket också är ett krav från färskhets-, lagrings- och energianvändningssynpunkt. Med mätmetod kan man inte mäta genom barken, vilket kräver att barken tas bort i de punkter där växtridenheten ska mätas. Alternativt skulle mätningen kunna inriktas på mätning i de punkter som har ett naturligt barkavskav. Den avbarkningsmekanism som har testats i detta projekt ställs in på ett fast barkningsdjup, vilket har sina uppenbara nackdelar, men det bör vara fullt möjligt att tillverka ett mekaniskt eller hydrauliskt fjädrande barkstål som bättre kan följa stockens form och varierande barktjocklekar.

Denna mätmetod lider också av problem med renhållningen, precis som all annan optisk mätteknik i smutsiga miljöer. Det får naturligtvis inte komma smuts och skräp i vägen som helt blockerar ljuset, men annars har metoden visat sig vara väldigt robust och okänslig för stockytans beskaffenhet.

Mätresultaten från dessa försök har varit jämförbara med motsvarande mätningar vid sågverksinstallationer och det finns egentligen ingen anledning till att mätningar i skördaraggregatet skulle vara sämre, snarare tvärtom då matarvalsarna följer stockens form så bör växtvridenheten mätas mer korrekt över hela längden även för en krokig stock. Problemet med sned inmatning kan dock behöva studeras ytterligare.

Det som kräver mer forskningsinsatser för att detta skall kunna bli en kommersiell produkt är framför allt utrustningen för avbarkning och renhållning. Sedan finns det även bättre och snabbare kameror för själva mätningen men kanske inte i samma prisklass.

6. Mätssystem gemensamt

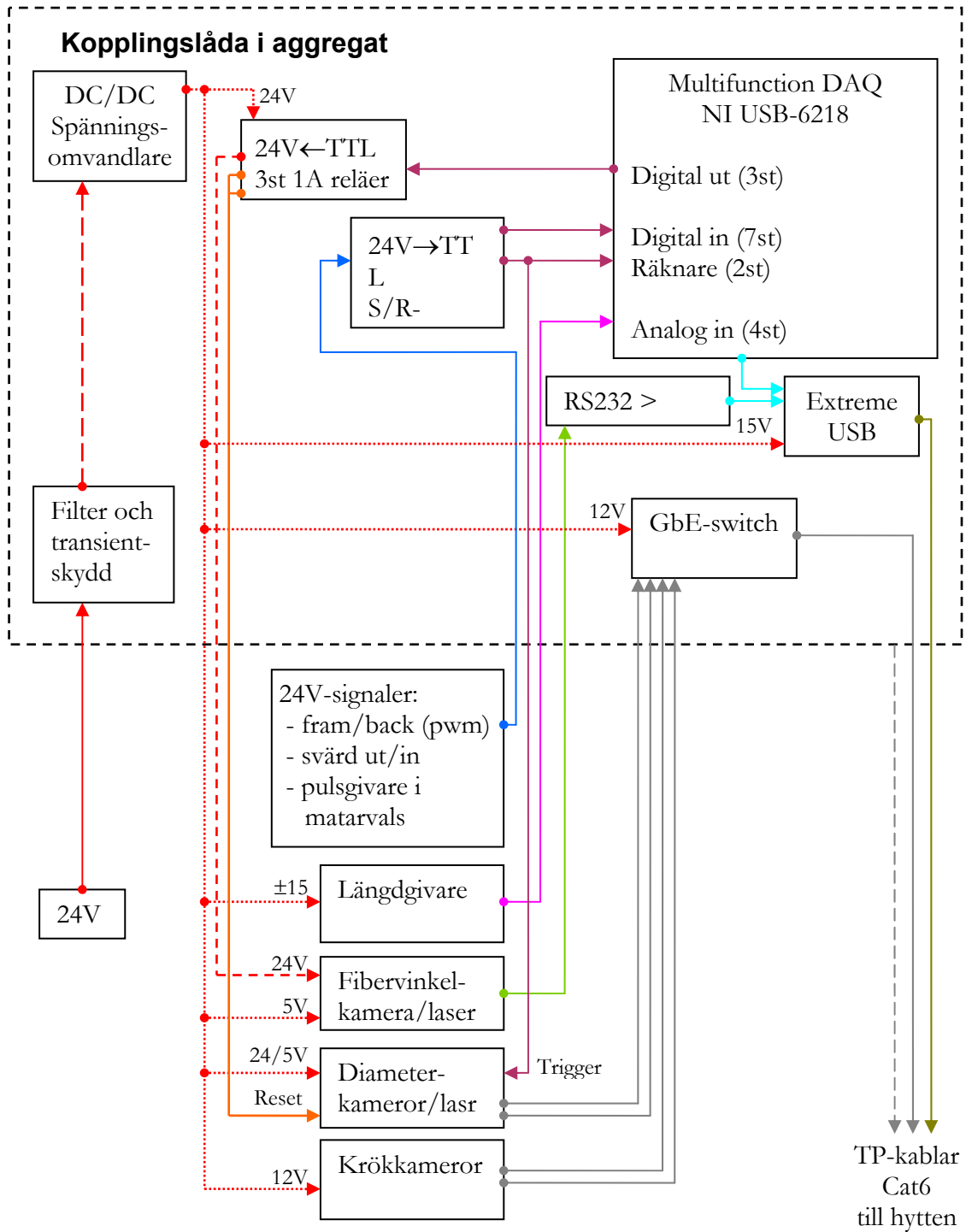
Elektronik för kommunikation, datainsamling, strömförsörjning och signalanpassning monterades i en plåtlåda placerad ovanpå ordinarie styrdator i skördaraggregatet (figur 6.1). Därifrån drogs tre skärmade Cat6 TP-kablar längs kranarmen och in i förarhytten för anslutning till en mätdator. Ett schematiskt blockschema som visar hur de ingående komponenterna kopplades samman återfinns i figur 6.2.



Figur 6.1.
Kopplingslådans placering i aggregatet.

6.1. STRÖMFÖRSÖRJNING

En 24V matningsspänning från aggregatet avsäkrades (T4A) och filtrerades med en LC-krets ($250\mu\text{H}$ och $6800\mu\text{F}$) följt av en Vicor VI-A11-CU Input Attenuator Module. Den filtrerade 24-voltspänningen matade fyra 50W DC/DC-omvandlare av typ Vicor VI-J00 med utspänningarna 5, 12, 15 och 24V. En ytterligare 15W omvandlare från Traco Power (TEN 15-2423WI) användes för att åstadkomma $\pm 15\text{V}$ till längdmätningssystemet. Samtliga ”0-voltsutgångar” förbands vid ett gemensamt jordbleck i kontakt med kopplingslådan och aggregatets chassi.



Figur 6.2.
Schematisk bild över mätsystemet.

6.2. GIGE-NÄTVERK

I kopplingslådan fanns också en Netgear GS105 nätverksswitch med fem portar och en överföringshastighet på upp till 1Gbps. Switchen monterades mot en öppning i kopplingslådans vägg så att portarna blev tillgängliga från utsidan för enkel anslutning av de fyra GigE-kamerorna.

6.3. DATAINSAMLINGSENHET OCH SIGNALANPASSNING

Mät- och styrsignaler kopplades via en NI USB-6218 Multi Function Data Acquisition Device (DAQ) från National Instruments, som är en USB-ansluten enhet med bl.a. 16 analoga ingångar (differentiella), 8 digitala in, 8 digitala ut, två 32-bitars räknare och med en samplingshastighet upp till 250 kS/s. De fyra analoga signalerna från längdmätningen anslöts direkt till de differentiella ingångarna (utsignalerna från givaren var dock single-ended) medan de digitala in- och utgångarna behövde anpassas mellan 24V och TTL-nivå. Signalerna från matarvalsarnas styrventiler, sågsvärdets riktningventil och valsmotorns pulsgivare anslöts via diodskyddade optokopplare med TTL-utgång för att ge en störnings-säker och isolerad koppling till DAQen. Styrsignalerna till matarvalsarnas ventiler var pulsviddsmodulerade (PWM) och kopplades både till en set/reset-vippa för att erhålla senaste matningsriktning och även till en räknare (tvåpuls upp/ner) i DAQen för att kunna avgöra om någon ventil var aktiverad vid en viss tidpunkt. Signalen från pulsgivaren (tvåfas) kopplades också till en räknare med X4 pulsflanktriggning som därmed gav 240 steg per valsvarv. Tre halvlederreläer (1A) med TTL-ingång användes för att styra 24V till fibervinkelkamerans strömförsörjning (för att enkelt kunna bryta strömförsörjningen via mjukvaran) och till resetsignalerna för de två diameterkamerorna.

Avståndet mellan aggregatet och förarhytten överskred den maximala kabellängden enligt USB-standarden och för att övervinna det användes en USB Ranger 410 från Icron Technologies. Lokalenheten (i hytten) och fjärrheten (i kopplingslådan) i denna USB 1.1-förlängare kopplades samman med Cat6 TP-kabel och genom den kunde båda enheterna strömförsörjas med en DC/DC-omvandlare i kopplingslådan. Den förlängda USB-anlutningen användes också för seriell kommunikation med fibervinkelkameran genom att ansluta en USB-till-RS232-omvandlare till fjärrheten i kopplingslådan.

6.4. MJUKVARA

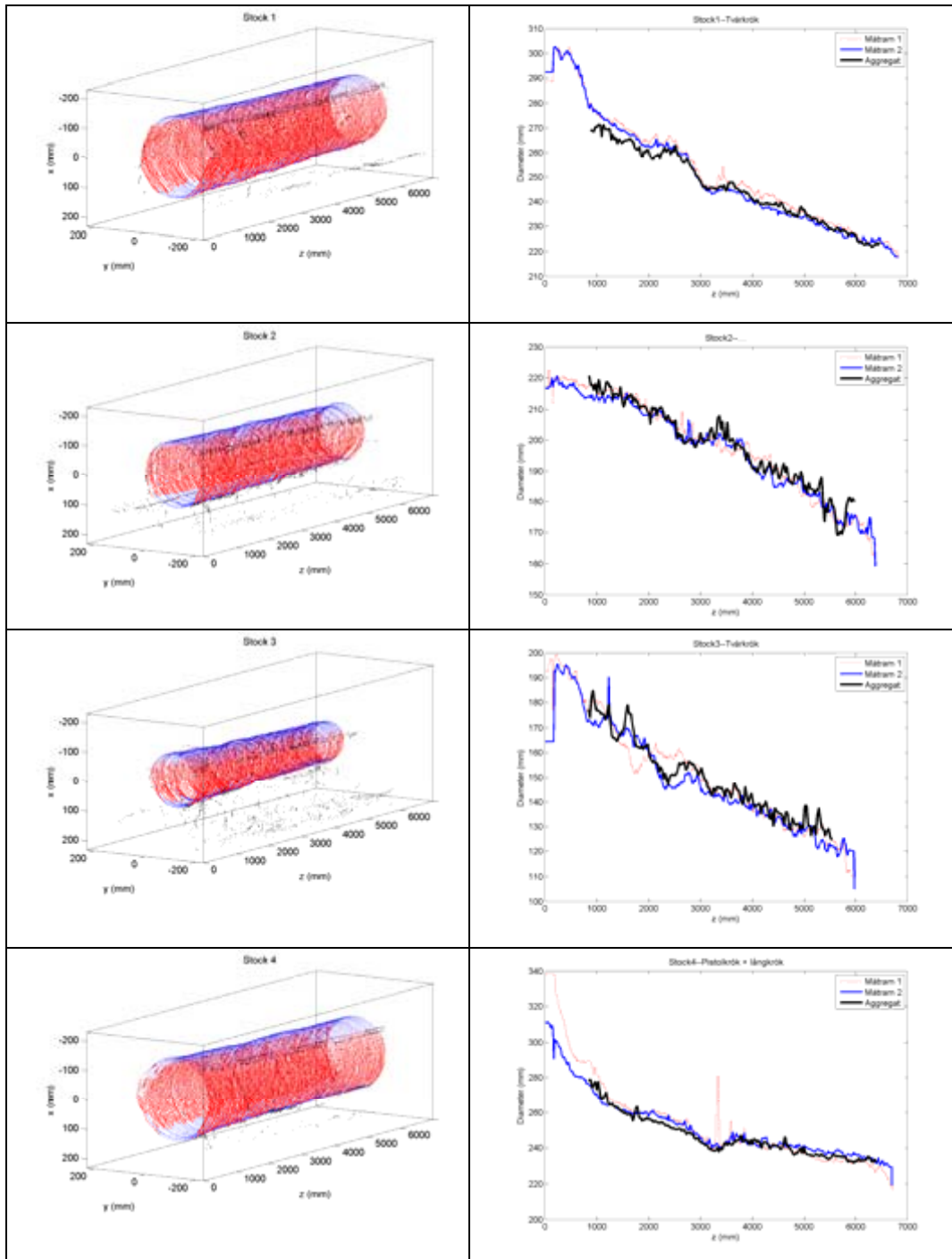
Samtliga system förutom diametermätningen kontrollerades med ett och samma program, vilket väsentligt underlättade genomförandet av försöken. Det var t.ex. möjligt att fritt välja vilka mätsystem som skulle vara aktiva och köra dem separat eller samtidigt. Råsignaler från mikrovågssensorn, fibervinkel som funktion av frammatad längd, bilder från krökkamerorna och diverse andra parametrar kunde visas i realtid under mätning. Programmet skrevs i LabView 8.5 (National Instruments), utökat med en Vision-modul för styrning av GigE-kamerorna.

7. Referenser

- Andersson, M. 2006. Fälttest av lasergivare för dimensionsmätning i ett skördaraggregat. Intern stencil. Skogforsk. 1s.
- Arlinger, J., Möller, J. & Sondell, J. 2006. Enkelt att se hur rätt skördaren mätt. Konferensdokumentation Skogforsks utvecklingskonferens 2006. Redogörelse nr 2.
- Carlsson, I. 1980. Längd och diamettermätning i skördare – vägar till bättre måtnoggrannhet. LUTAB-R-3104. Utredning utförd på uppdrag av Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.
- Chiorescu, S. & Grönlund, A. Assessing the role of the harvester within the forestry-wood chain. Forest Products Journal. 51: 77–84.
- Eriksson, M. 2008. Real-time ultrasonic measurements of log diameters. Examensarbete Luleå tekniska universitet. 32 s.
- Hannrup, B. Andersson, M. & Sondell, J. 2007. Slutrapport för projekt ”Beröringsfri diamettermätning för praktiskt bruk i skördare – en förstudie”.
- Löfgren, B. Wilhelmsson, L. Hummel, H. & Ericson, M. 1997. Beröringsfri diamettermätning. Slutrapport. Arbetsrapport 365. Skogforsk (Uppsala). 33 s.
- Löfgren, B. Wilhelmsson, L. 1998. Beröringsfri diamettermätning – rapport från ett utvecklingsprojekt. Resultat 13. Skogforsk. 4s.
- Möller, J. 2000. Mättnoggrannhet i kedjan skog-såg. Arbetsrapport Skogforsk nr 461. 15 s.
- Möller, J. & Arlinger, J. 2007. Virkesvärdestest 2006 – mättnoggrannhet. Resultat 5. Skogforsk. 4 s.
- Nyström, J. 2002. Automatic measurement of compression wood and spiral grain for the prediction of distortion in sawn wood products. Doctoral Thesis 2002:37, Luleå University of Technology. ISSN: 1402–1544.
- Tavakolizadeh, R. 2007. Log Diameter measurements using ultrasound. Examensarbete Luleå tekniska universitet. 29 s.
- Uusijärvi, R. 1987. Givarteknologi för skogsbruket – sammanfattning av ett NSR-projekt. Rapport från Träteknik. 38 s.
- Wilhelmsson L. & Arlinger J. 1997. Hur mycket är det värt att mäta diametern ”rätt” i skördare. Arbetsrapport Skogforsk nr 366. 9 s.

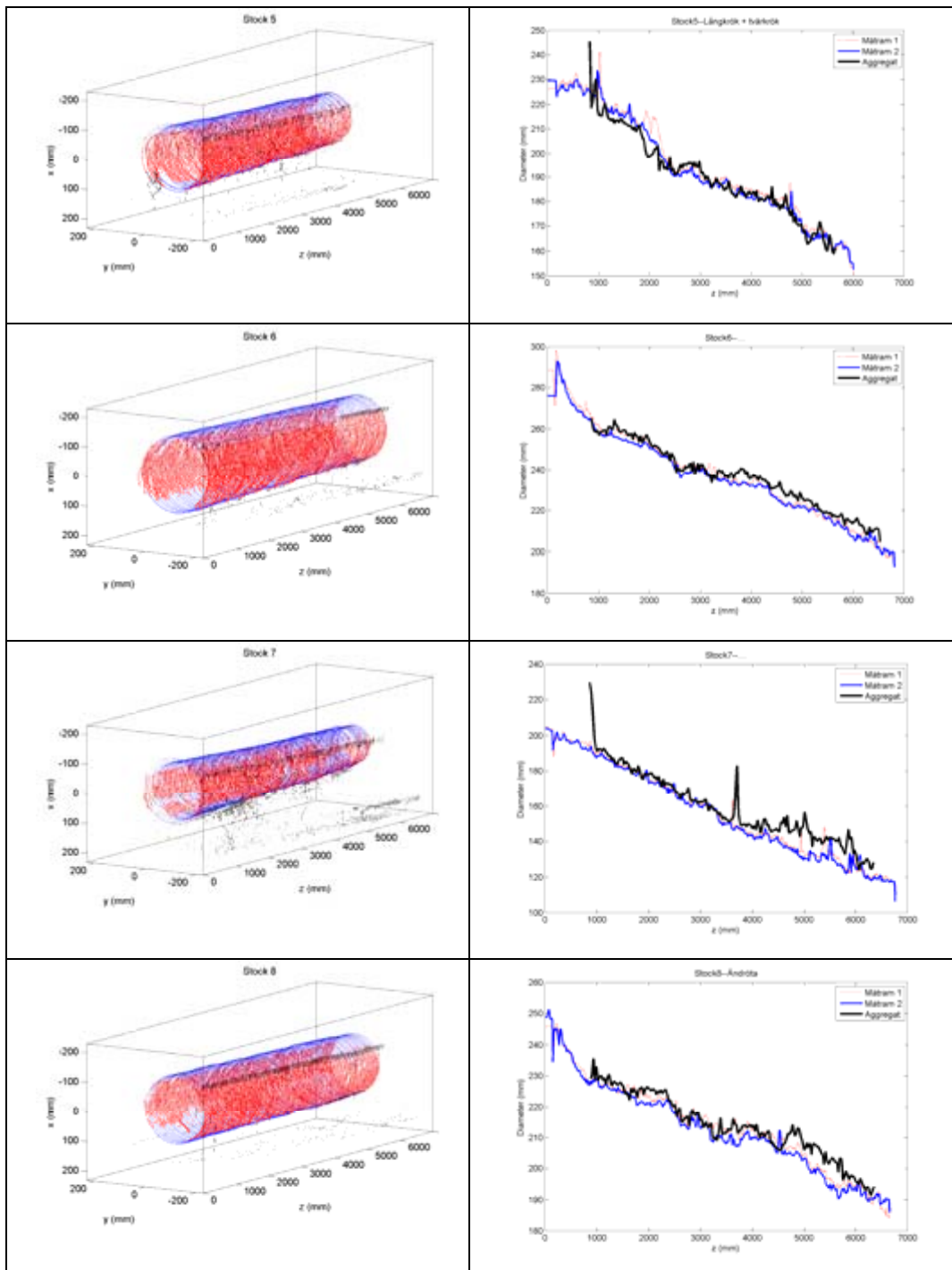
Bilaga 1

3D-bilder av aggregatmätningarna (t.v.) samt diameterprofiler för aggregat och mätram (t.h.). I de tredimensionella figurerna representerar rött accepterade mät-punkter, svart bortfilterade och blått modellerade punkter.



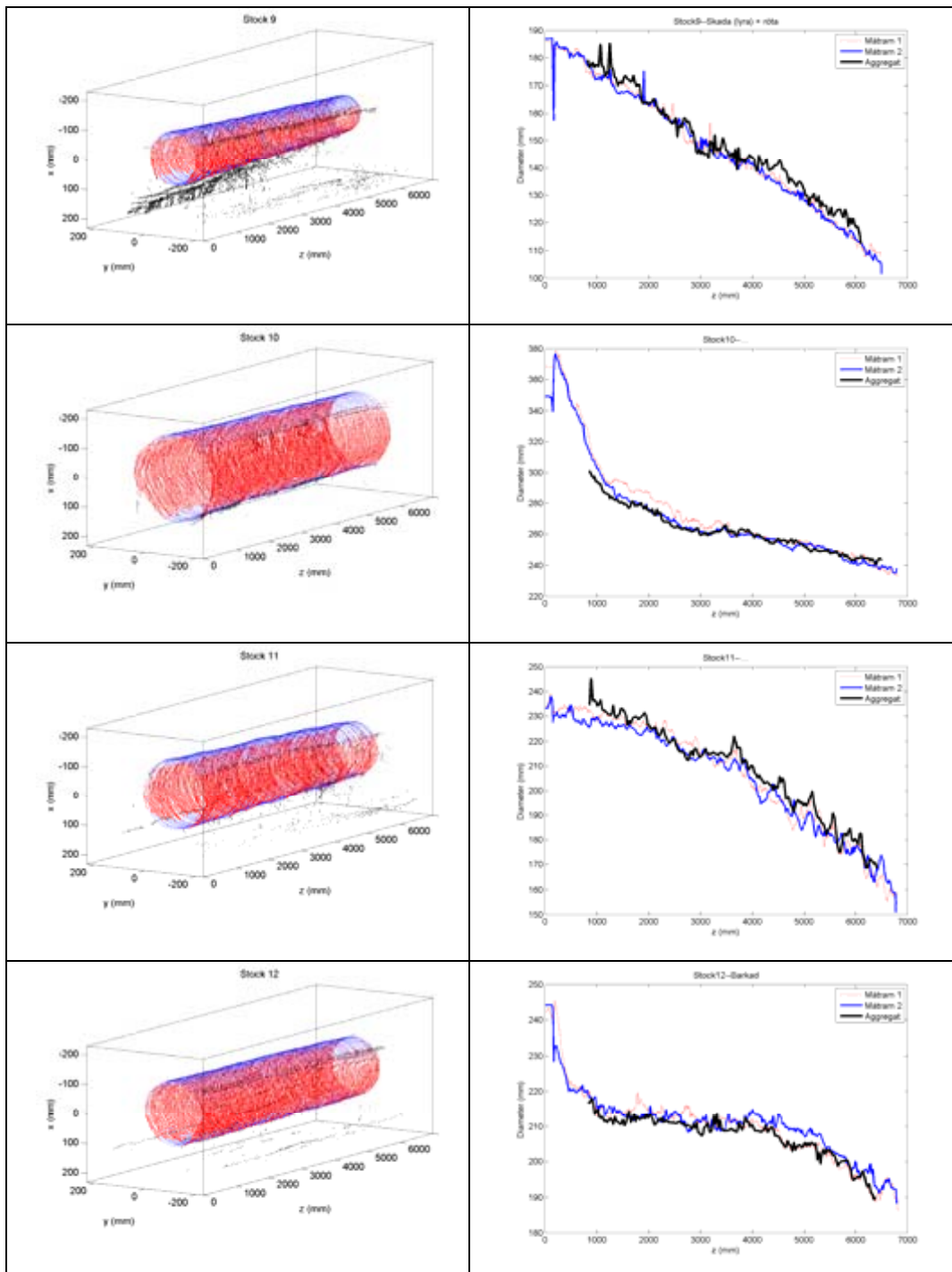
forts. på bilaga 1.

3D-bilder av aggregatmätningarna (t.v.) samt diameterprofiler för aggregat och mättram (t.h.). I de tredimensionella figurerna representerar rött accepterade mätpunkter, svart bortfiltrerade och blått modellerade punkter.



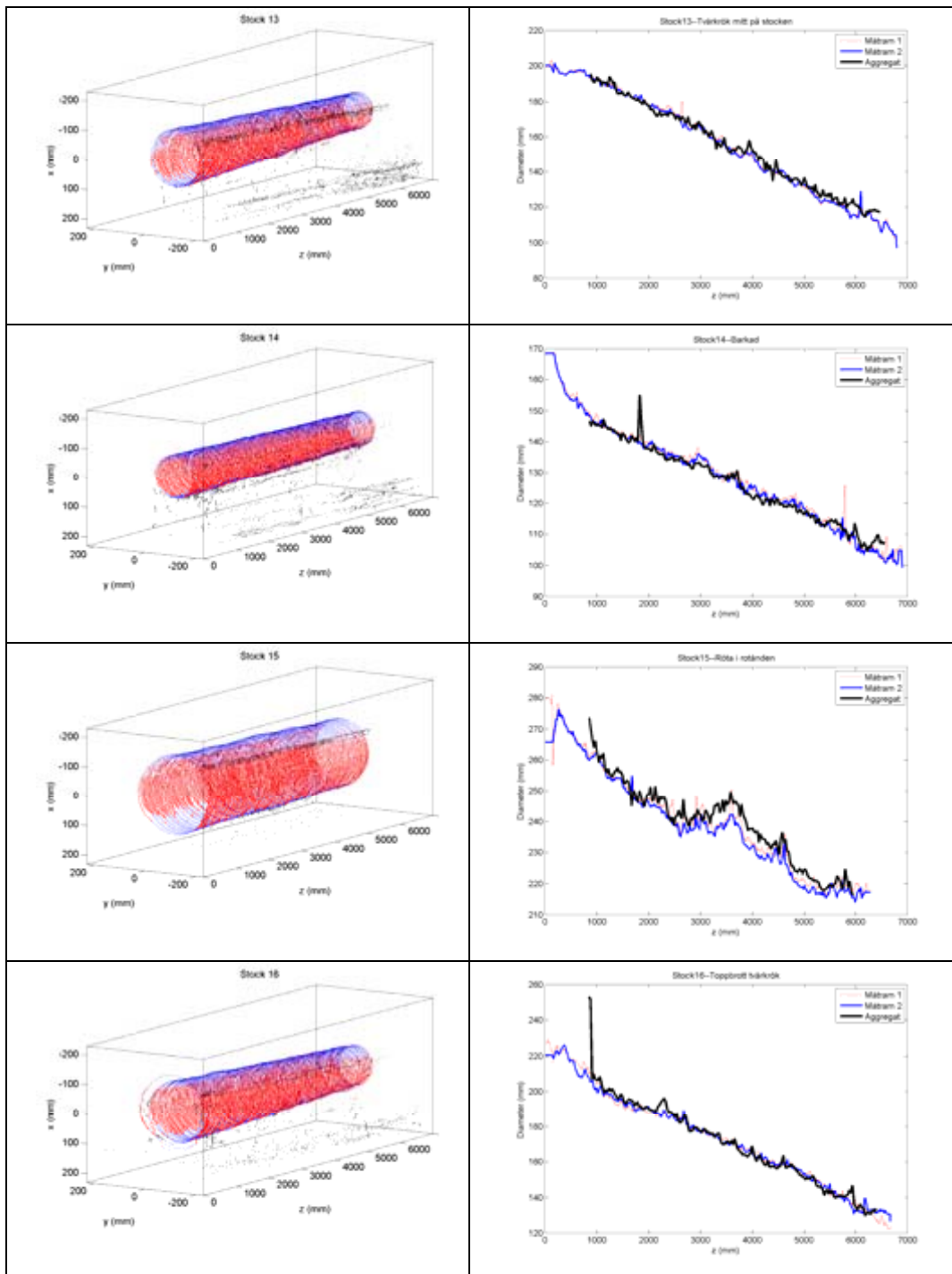
forts. på bilaga 1.

3D-bilder av aggregatmätningarna (t.v.) samt diameterprofiler för aggregat och mätram (t.h.). I de tredimensionella figurerna representerar rött accepterade mätpunkter, svart bortfilterade och blått modellerade punkter.



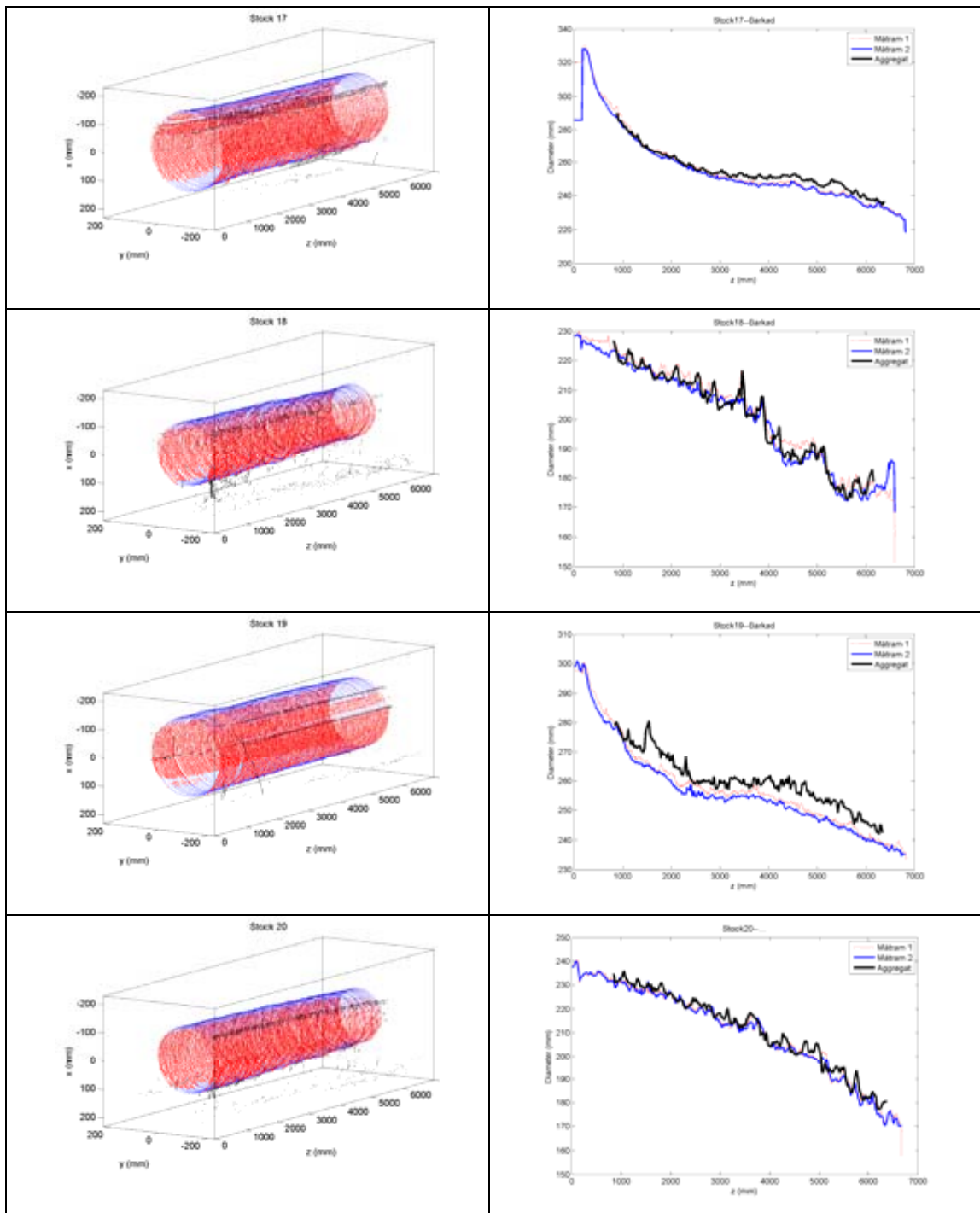
forts. på bilaga 1.

3D-bilder av aggregatmätningarna (t.v.) samt diameterprofiler för aggregat och mätram (t.h.). I de tredimensionella figurerna representerar rött accepterade mätpunkter, svart bortfilterade och blått modellerade punkter.



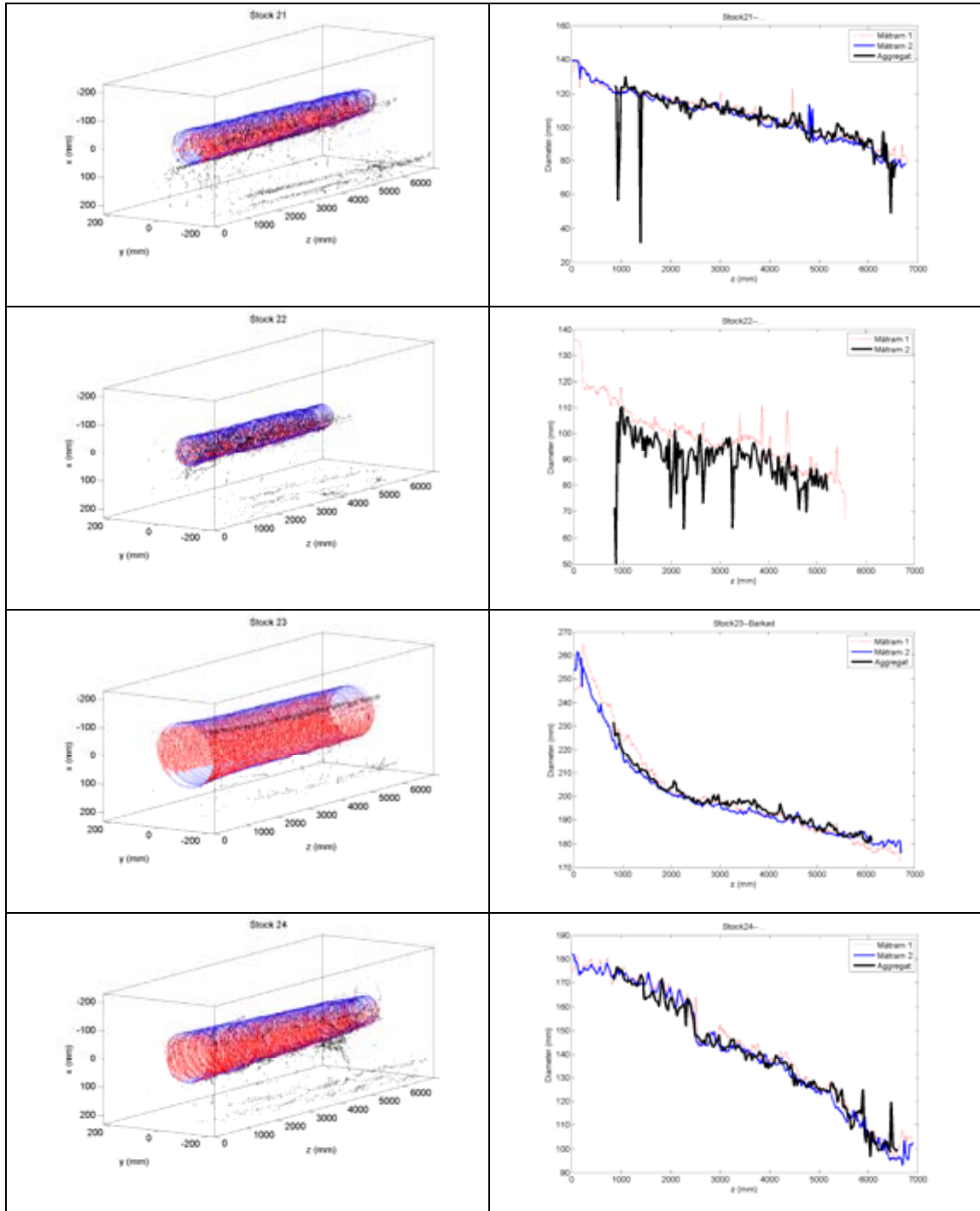
forts. på bilaga 1.

3D-bilder av aggregatmätningarna (t.v.) samt diameterprofiler för aggregat och mätram (t.h.). I de tredimensionella figurerna representerar rött accepterade mätpunkter, svart bortfilterade och blått modellerade punkter.



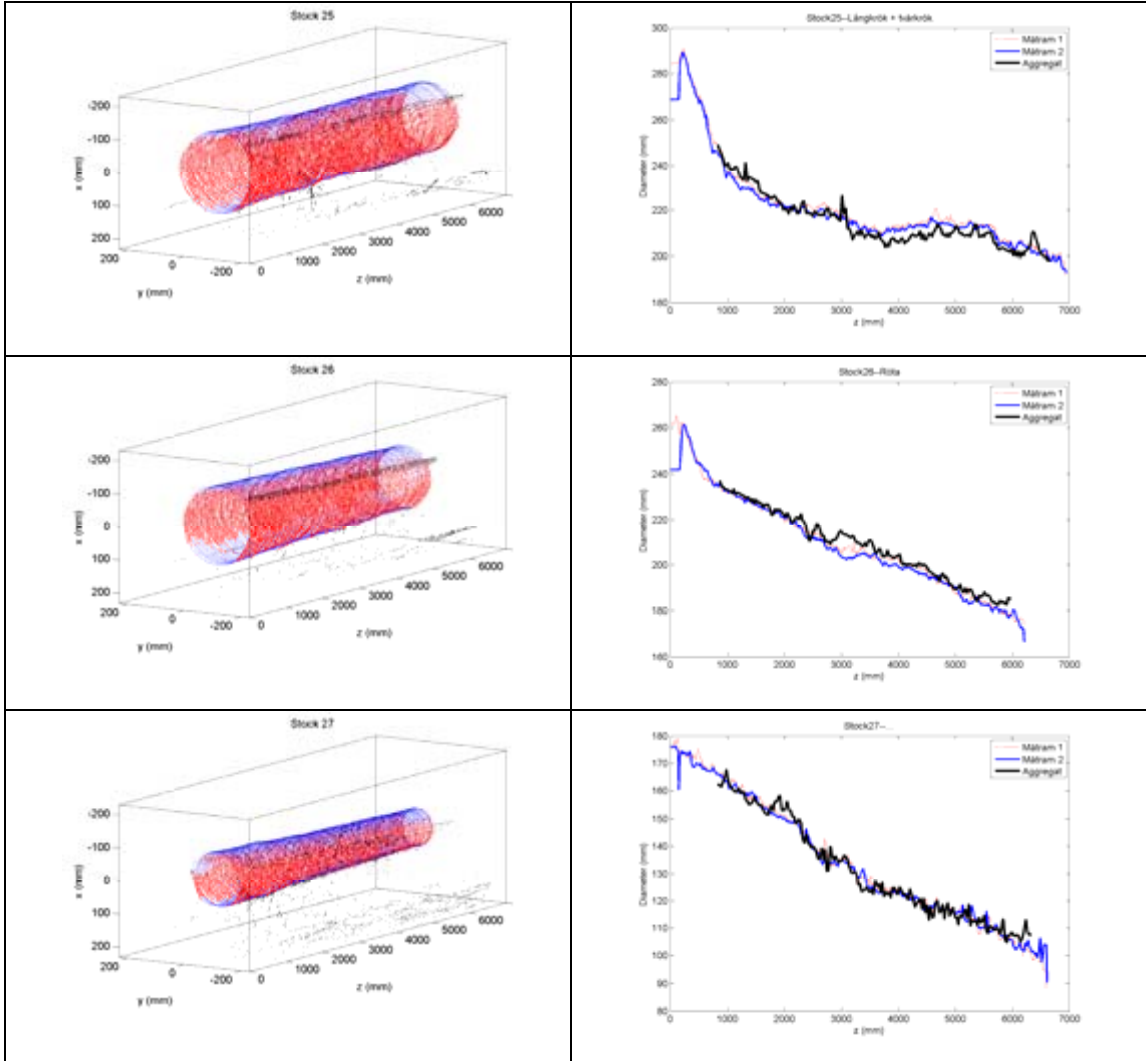
forts. på bilaga 1.

3D-bilder av aggregatmätningarna (t.v.) samt diameterprofiler för aggregat och mätram (t.h.). I de tredimensionella figurerna representerar rött accepterade mät-punkter, svart bortfilterade och blått modellerade punkter.



forts. på bilaga 1.

3D-bilder av aggregatmätningarna (t.v.) samt diameterprofiler för aggregat och mätram (t.h.). I de tredimensionella figurerna representerar rött accepterade mät-punkter, svart bortfiltrerade och blått modellerade punkter.



Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2007

År 2007	
Nr 629	Brunberg, T. 2007. Bränsleförbrukningen hos skördare och skotare vecka 13 och 39, 2006. 11 s.
Nr 630	Brunberg, T. 2007. Ekonomin hos extra stor skördare tillsammans med stor skotare. 5 s.
Nr 631	Eriksson, B. 2007. Tillväxt i skogsvårdsföretag. 13 s.
Nr 632	Frisk, M. & Ekstrand, M. 2007. Vilka vägar används av skogsnäringsen – Visualisering av skogsbrukets virkesflöden. 23 s.
Nr 633	Furness-Lindén, A. 2007. Affärsutveckling i relationen. Stor kund: liten leverantör – vad kan skogsbruket lära? ”Version 2 – utan intervjureferat – för allmän distribution” 54 s.
Nr 634	Järrendal, D. & Tinggård Dillekås, H. 2007. Head-Up Display i engreppsskördare – Utvärdering i simulator och i fält. 153 s.
Nr 635	Wählberg, A. 2007. Trafiksäkerhetseffekter av ökad storlek på lastbilar. 21 s.
Nr 636	Jönsson, P. & Löfroth, C. 2007. Vibrationsmätningar på provbana – Ponsse Elk. 11 s.
Nr 637	Bergkvist, I. 2007. Flerträdshantering i granbestånd – Pilotstudie av John Deere 754 med modifierade kvistknivar för flerträdsavverkning samt provkörning av flerträds-hanterad granved i renseriet på Hallsta massabruk. 8 s.
Nr 638	Ekstrand, M. 2006. Reseberättelse – Tunga virkesfordon – Nya Zeeland och Australien. 12 s.
Nr 639	Sonesson, J., Almqvist, C., Andersson, B., Ericsson, T., Högberg, K-A., Jansson, G., Karlsson, B., Persson, T., Rosvall O., Stener L-G. & Westin J. 2007. Lägesrapport 2006-12-31 för förädlingspopulationer av tall, gran, björk och contortatall. 21 s.
Nr 640	Rosvall, O., Simonsen, R., Elfving, B., Rytter, L. & Jacobson S. 2007. Tillväxthöjande skogsskötselåtgärder i privatskogsbruket – underlag för lönsamhetsberäkningar. Slutrapport – Lönsam tillväxtökning. 62 s.
Nr 641	Möller, J. J. & Moberg, L. 2007. Stambank VMF Qbera. 14 s.
Nr 642	Möller, J.J., Arlinger, J., Wilhelmsson, L., Sondell, J. & Moberg L. 2007. Modell för automatisk kvalitetsbestämning vid virkesmätning med skördare. 24 s.
Nr 643	Möller, J.J. & Arlinger J. 2007. Praktisk test av automatisk kvalitetssättning vid betalningsgrundande skördarmätning hos Södra skogsägarna i Götaland och Sveaskog i Bergslagen. 44 s.
Nr 644	Jönson, P., Löfroth C., Berger, R. & Mörk, A. 2007. Bränslebesparande och vibrationsdämpande skotning. 18 s.
Nr 645	Möller, J.J. 2007. Stambank VMF Qbera VMR 1-07. 20 s.
Nr 646	Möller, J.J. 2007. Stambank VMF Syd. VMR 1-99 & VMR 1-07.
Nr 647	Bergkvist, I. & Lundström, H. 2007. Studier av Cranab Access i förstagallring av tall. 14 s.
Nr 648	Stener, L.-G. 2007. Studie av klonskillnader i känslighet för askskottsjuka. 14 s.
Nr 649	Stener, L.-G. 2007. Utvärdering av sydsvenska avkommeförsök med klibbal. 44 s.
Nr 650	Stener, L.-G. 2007. Tidig utvärdering av fyra sydsvenska försök med olika lärkarter av olika genetiskt ursprung. 22 s.
Nr 651	Wilhelmsson, L. 2007. Utveckling av egenskapsbeskrivning med avverkningsmaskiner – FoU-läget vid millenniumskiftet. 34 s.
År 2008	
Nr 652	Löfgren, B., Nordén, B. & Lundström H. 2008. Fidelitystudie av en skogsmaskin-simulator. 30 s.
Nr 653	Norén J., Rosca, C. & Rosengren, P. 2008. Riktlinjer för presentation av apterings-information i skogsskördare. 70 s.

Nr 654	Sonesson, J. 2008. Analys av potentiella mervärden i kedjan skog-industri vid användning av pulsintensiv laserscanning.
Nr 655	Jönsson, P. & Nordén B. 2008. Skotare med ALS och tredelade stöttor – Studier av prestation och helkropps vibrationer i gallring. 14 s.
Nr 656	Persson, T., Almqvist, C., Andersson, B., Ericsson, T., Högberg, K.-A., Jansson, G., Karlsson, B., Rosvall, O., Sonesson, J., Stener, L.-G. & Westin, J. 2008. Lägesrapport 2007-12-31 för förädlingspopulationer av tall, gran, björk och contortatall. 21 s.
Nr 657	Stener, L.G. 2008. Study of survival, height growth, external quality and phenology in a beech provenance trial in southern Sweden. 11 s.
Nr 658	Almqvist, C. & Eriksson, M. Ökad produktion i plantage 501 Bredege – försök med rotbeskäring och gibberellinbehandling. 13 s.
Nr 659	Rytter, R.M. 2008. Detektion av röta i bok med 4-punkters mätning av resistivitet. 14 s.
Nr 660	Bergkvist, I., Iwarsson Wide, M., Nordén, B. & Löfroth, C. 2008. Jämförande prestationsstudier – Röjsåg med klinga kontra kedjeröjsåg. 21 s.
Nr 661	Johansson, K. Snytbaggen – kunskapsläget 2008. 18 s.
Nr 662	Österman, Öd. D., Rimquist, L. & Hanson, M. 2008. Geststyrning för engreppsskördare – en första undersökning – Projektarbete Ergonomi och Design VT-2008.
Nr 663	Westlund, K. & Andersson, G. 2008 Vägstandardens inverkan på skogsnäringens transportarbete. 58 s.
Nr 664	Hannrup, B. 2008. Slutrapport för projekt ”Mätteknik för avverkningsrester”. 52 s.
Nr 665	Rosvall, Ola., Wennström, U. 2008. Förädlings effekter för simulering med Hugin i SKA 08. 38 s.