

# ARBETSRAPPORT



## Slutrapport för projekt:

**"Beröringsfri diametermätning i skördare – utveckling av mätsystem och tester i produktionsmiljö".**

FRÅN SKOGFORSK NR 742 2011

Björn Hannrup, Mikael Andersson & Nazmul Bhuiyan, Skogforsk;  
Emil Wikgren & Jacob Simu, Optronic; Johan Skog, SP Träteknik

## Projektintressenter

	
	
	
	
	
	
	
	
<b>Rundvirkesstiftelsen</b>	

Ämnesord: Beröringsfri mätteknik, diameter, längd, laser.

### 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.

## Förord

Denna rapport sammanfattar resultat från projektet ”Beröringsfri diametermätning i skördare – utveckling av mätsystem och tester i produktionsmiljö”. Projektet har finansierats av Vinnova via branschforskningsprogrammet för skogs- och träindustrin, av Skogforsk via egna intressentmedel, av Rundvirkestiftelsen och av en intressentgrupp bestående av företagen Holmen Skog AB, SCA Skog AB, Stora Enso Skog, Sveaskog Förvaltning AB, Södra Skogsägarna ek. för., Dasa Control System AB, Komatsu Forest AB, Rottne Industri AB, SP Maskiner AB.

Företagen i intressentgruppen har också bidragit med naturinsatser i form av projektarbete, maskinresurser (SCA Skog AB) och konstruktions- samt montagearbete (Komatsu Forest AB). SDC och Stiftelsen Adopticum har bidragit med uppföljande manuella mätningar respektive handledning av ett examensarbete kring beröringsfri längdmätning.

Projektet har varit organiserat med styrgrupp, operativ styrgrupp, teknisk referensgrupp och arbetsgrupper. Styrgruppens sammansättning framgår nedan.

Företag	Namn
Holmen Skog AB	Maria Olsson
Stora Enso Skog AB	Jon Rudman
SCA Skog AB	Lars-Gunnar Larsson
Sveaskog Förvaltnings AB	Jonas Gustafsson
Södra Skogsägarna ek. för.	Sten Frohm
Dasa Control System AB	Kjell Gransvik
Komatsu Forest AB	Martin Årlestig
Rottne Industri AB	Roland Axelsson
SP Maskiner AB	Anders Johansson
SDC/VMU	Lars Björklund
Skogforsk	Lars Wilhelmsson
Optronic	Gösta Forsén
Vinnova	Eva Esping

Under projekttiden har styrgruppen haft 15 protokollförda möten varav 3 fysiska möten och 12 telefonmöten. Två av mötena har genomförts som demonstrationer på labb respektive i skogen.

Projektet har varit indelat i tre etapper: *i)* Utveckling och byggande av mätsystem, *ii)* Montage av mätsystemet på skördaraggregat och *iii)* Miljötester i produktionsmiljö. Emil Wikgren, Optronic, har ansvarat för genomförandet av de två första etapperna medan Mikael Andersson ansvarat för etapp 3. Det operativa arbetet i projektet har utförts i arbetsgrupper bestående av personal från Optronic, Skogforsk, Komatsu Forest och SP Träteknik.

Ett stort tack till samtliga som bidragit till projektets genomförande!

Uppsala 2010-12-20

Björn Hannrup (Projektledare)

# Innehåll

Förord.....	1
Sammanfattning.....	3
Bakgrund.....	5
Tidigare studier kring beröringsfri diamettermätning i skördare.....	6
Mål.....	7
Genomförande.....	8
Mätprincip.....	8
Sensorernas placering i aggregatet.....	8
Mätsystemets geometri.....	10
Övervägande vid val av kamera.....	11
Sensorernas uppbyggnad.....	11
Rengörande system.....	12
Konsoler.....	14
Elektronik och styrdator.....	14
Kalibrering av mätsystemet.....	15
Mjukvara och beräkningar i styrdatorn.....	15
Inledande mätningar på labb.....	16
Montage och integrering av mätsystemet på skördaraggregatet.....	17
Datainsamling under körning i produktionsmiljö.....	18
Filmning av aggregatet för att kartlägga skräpproblematiken.....	19
Framtagning av nya algoritmer och logik för filtrering av rådata.....	19
Geometrisk filtrering.....	20
Filtrering av objekt.....	21
Filtrering på intensitet i laserlinjen.....	21
Filtrering av de beräknade diametermåtten längs stammen.....	22
Workshop för att minska mängden skräp mellan sensorerna och stam.....	23
Resultat och diskussion.....	23
Resultat från datainsamlingen i Mickelsträsk.....	23
Resultat från den första datainsamlingen i april.....	28
Resultat från den andra datainsamlingen i april.....	30
Rengörande systemet – sammanfattning av erfarenheter.....	37
Resultat från filmningarna.....	38
Resultat från workshopen – utgångspunkt för efterföljande projekt.....	42
Sammanfattning från examensarbetet ”Optisk Längdmätning av trästockar”.....	45
Referenser.....	46
Bilaga 1 Preliminära operativa krav på diamettermätning i skördare.....	47
Bilaga 2 Schema över kablage och kopplingsboxar.....	51
Bilaga 3 Plottar av diameterprofiler för stammar från datainsamling 1 - Mickelsträsk.....	53
Bilaga 4 Utvärdering av mätsystemets noggrannhet.....	79

## Sammanfattning

Kundernas krav på sågverkens produkter ökar och allt fler sågverk arbetar för att i ökad utsträckning kundorderstyra sin produktion. Därigenom ökar kraven på skogsbruket att leverera stockar med allt mer specificerade dimensionsfördelningar. I skördarna mäts längd och diameter med berörande teknik och denna mätinformation utgör grunden för optimeringen av stammarnas sönderdelning till stockar. En övergång till beröringsfri mätteknik har potential att öka produktiviteten i avverkningsarbetet och öka mätnoggrannhet så att överrensstämningen ökar mellan sågverkens virkesbeställningar och skogsbrukets leveranser.

Det övergripande syftet med projektet har varit att *demonstrera* att ett optiskt mätsystem med linjelaser och kamera, monterat i ett skördaraggregat, kan mäta diametern på trädstammar med en hög grad av tillgänglighet och noggrannhet under körning i produktionsmiljö. Projektet var indelat i tre etapper. Under den första etappen konstruerades och byggdes mätsystemet. En målsättning vid konstruktionsarbetet var att ta fram ett mätsystem som i största möjliga mån skulle kunna uppfylla den kravspecifikation för diametermätning som tidigare tagits fram i samarbete mellan tillverkare och brukare. Mätsystemet bestod av två enheter med linjelaser och kamera samt ett integrerat rengörande system med tre komponenter: kontinuerlig luftström samt vätska kombinerat med mekanisk avskrapning.

Montage och integrering av mätsystemet på en skördare skedde under projektets andra etapp på en produktionsmaskin ägd av SCA Skog. Basmaskinen var en Valmet 901:a vilken var utrustad med ett Valmet 350 skördaraggregat. Montaget utfördes på Komatsu Forests prototypverkstad i Umeå. Mätsystemets sensorer monterades i skyddande konsoler mellan de övre kvistknivarna och matarvalsarna. Mätdata från sensorerna överfördes via en Gigabit Ethernet kabel dragen längs kranarmen till en styrdator i förarhytten. Från sensorerna överfördes mätdata i form av avstånds- och intensitetsvektorer. Databearbetning och beräkning av diametermått skedde i styrdatorn.

Under den tredje etappen testades mätsystemet i produktionsmiljö. Totalt insamlades mätdata från tre tillfällen vid körning i produktionsmiljö. Referensmätning i form av korsklavning och mätdata från 3D mätram vid SCAs sågverk i Rundvik insamlades vid den första datainsamlingen. Vid den andra och tredje datainsamlingen utgjordes referensdata av den ordinarie mätningen i kvistknivarna. Under datainsamlingarna och som en fristående aktivitet filmades ett motsvarande aggregat för att kartlägga skräpsituationen. Resultaten från analysen av mätdata och kartläggningen av skräpsituationen i aggregatet visade:

- Att diameterprofilerna från det nya mätsystemet generellt gav god överensstämmelse med diameterprofilerna från 3D mätramen.
- Att det tillfälliga felet uttryckt som standardavvikelsen för skillnaden mellan diametermått från 3D mätramen och det nya mätsystemet uppgick till i medeltal 5,1 mm. Detta motsvarar en mätnoggrannhet i nivå med den som erhålls från mätning med skördarnas berörande system vid normal produktionskörning.

- Att det tillfälliga felet för stampartier med lite störningar i mätdata uppgick till i medeltal 3,0 mm. Detta indikerar att kravspecifikationens krav på mätnoggrannhet är möjlig att nå ifall mängden störningar i mätdata kan reduceras.
- Att den utvecklade filtreringen av rådata som togs fram i efterhand minskade det tillfälliga felet med cirka 1 mm i jämförelse med då filtreringen i realtid användes. Vidare minskade det systematiska felet sett över samtliga stammar till nära noll med filtreringen som gjordes i efterhand.
- Att mätresultatet generellt fungerade bättre för de grövre stammarna. Små granar i massavedsdimension var starkt överrepresenterade för den andel av stammarna där mätningen misslyckades. Denna andel utgjorde 16 % av totala antalet stammar i den tredje datainsamlingen.
- Att en stor andel av stammarna (80 %) hade misslyckade mätningar då mätdata under den andra datainsamlingen insamlades i förstagallringsskog. Orsakerna till den höga andel misslyckade mätningar under denna datainsamling har inte gått att fullt ut klarlägga inom ramen för projektet.
- Att det rengörande systemet som fanns integrerat i sensorerna generellt gav god effekt och höll skyddsglasen framför laser och kamera rena. Testerna av det rengörande systemet hade dock en begränsad omfattning.
- Att störningarna i mätdata huvudsakligen orsakades av skräp som flög mellan sensorerna och stammen. Detta var ett allvarligt problem som ledde till att mätnoggrannheten försämrades. Att störningarna kan minskas är avgörande för att kravspecifikationens krav ska kunna nås vid mätning med det nya mätsystemet.
- Färdvägen för skräp som flyger in mellan sensorerna och stammen kunde inte fullt ut klarläggas. Hypotesen är dock att huvuddelen av det störande skräpet i form av sönderslagen torrkvist, barkflagor och barkremsor åker in *över* de övre rörliga kvistknivarna och in i det känsliga området mellan sensorerna och stammen (se figur 25). Som en följd av denna hypotes bör utsattheten för skräp vara störst för klenare diametrar eftersom avståndet mellan kvistknivarna och stammen då är som störst. Detta styrktes av mätningarna i projektet i vilka huvuddelen av störningarna förekom för diametrar klenare än 15 cm.
- Utifrån kartläggningen av skräpsituationen i aggregatet har ett förslag på utformning av ett skydd, placerat efter de övre rörliga kvistknivarna tagits fram. Skyddets uppgift är att styra undan skräp från sensorerna och därmed skapa en mer skyddad mätmiljö. Att konstruera och testa effekten av ett sådant skydd är ett logiskt nästa steg för ett fortsatt arbete inom området.



Som en fristående studie genomfördes ett examensarbete kring beröringsfri längdmätning med bildkorrelation. Den utvärderade metodiken gav en god mätnoggrannhet vid mätning under kontrollerade förhållanden. Dock krävs vidare studier för att kvantifiera vilken mätnoggrannhet som kan erhållas vid mätning i produktionsmiljö.

## Bakgrund

Kundernas krav på sågverkens produkter ökar och allt fler svenska sågverk arbetar för att i ökad utsträckning kundorderstyra sin produktion. Produktkrav, i form av krav på hållfasthet, kviststorlekar, vankant m.m. varierar i styrka mellan produktgrupper men kraven på trävarornas dimensioner är genomgående hårda. Därför förs kraven på att sågtimret ska ha rätt längd och tvärsnittsdimensioner bakåt i värdekedjan. Tekniskt uttrycks detta med så kallade stocknotor. I stocknotorna anges efterfrågade fördelningar av stockar i olika längd- och diameterklasser efter beräkningar baserade på träindustrikundernas efterfrågan. Att skogsbruket och logistikorganisationerna inom givna tidsramar förmår leverera mot sådana stocknotor med en hög grad av måluppfyllelse är centralt för att uppnå ett effektivt råvaruutnyttjande. Detta är ytterst viktigt för lönsamheten i den trämekaniska värdekedjan eftersom råvarukostnaderna utgör sågverkens helt dominerande kostnadspost (Lindman, 2005).

I dagens skogsbruk sker nästan all avverkning och tillredning med hjälp av skördare. Skördarnas arbete lägger grunden för efterföljande processteg. 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 utgör grunden för optimeringen av stammarnas sönderdelning till stockar. Dagens berörande teknik har i olika former använts på skördaraggregat sedan 1980-talet. Ett byte till *beröringsfri* mätteknik skulle innebära ett genomgripande tekniskifte. De potentiella fördelarna är dock flera och kan sammanfattas i form av *ökad mätnoggrannhet* och *höjd produktivitet*.

Beröringsfri teknik har potential att *öka mätnoggrannheten* (Löfgren m.fl., 1997) så att bättre överensstämmelse erhålls mellan sågverkens virkesbeställningar och skogsbrukets leveranser (Chiorescu & Grönlund 2001). En rad studier visar att insatser i första hand bör fokuseras på skördarnas diametermätning där förbättringspotentialen är störst (Möller m.fl., 2002; Möller & Arlinger 2007). Genom att öka mätnoggrannheten i skördarnas mätning kan andelen stockar som produceras med felaktiga dimensioner i förhållande till beställningen minskas vilket minskar spill och miljöbelastning. Värdet av att öka mätprecisionen har i olika studier skattats till mellan 1 och 20 kr/m<sup>3</sup>fub (Wilhelmsson & Arlinger, 1997; Möller, 2000; Arlinger m.fl., 2006; Hannrup m.fl., 2007) beroende på en rad varierande förutsättningar.

Beröringsfri diametermätning har också potential att *höja skördarnas produktivitet* vilket ger positiva effekter i samtliga de skogliga värdekedjorna. Produktiviteten kan höjas genom en ökad genomsnittlig matningshastighet samt en minskad tidsåtgång för kalibrering (Hannrup m.fl., 2007). 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 vilken i dag är omfattande och utförs i första hand för att parera väderbetingade förändringar av mängden barkavskav.

I en nyligen genomförd studie (Hannrup m.fl., 2007) skattades försiktigt att ett beröringsfritt mätsystem för diametermätning årligen skulle generera ett totalt mervärde på ca 500 000 kr utslaget för en normal slutavverknings-skördare. Översätts denna skattning till en situation då beröringsfri diametermätning införts för alla skördare i Sverige uppgår det årliga mervärdet till drygt 400 miljoner kronor. Sjuttio procent av detta värde är kopplat till sågtimret och den trämekaniska värdekedjan. Resterande 30 % är kopplat till massaved och brännved och värdekedjorna för massa/papper respektive energi.

## **TIDIGARE STUDIER KRING BERÖRINGSFRI DIAMETERMÄTNING I SKÖRDARE**

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. Under det följande decenniet genomfördes två större FoU satsningar 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 lönsamhetskalkylen för beröringsfria mätsystem avsevärt mera fördelaktig i dag.

Skogforsk har under de senaste åren varit engagerat i två större satsningar kring *beröringsfri diametermätning*. Tillsammans med en intressentgrupp bestående av skogsbolag och maskintillverkande företag genomfördes en *förstudie* där de tekniska och ekonomiska förutsättningarna för att utveckla ett beröringsfritt mätsystem studerades (Hannrup m.fl., 2007). Baserat på förstudien och resultaten från ett efterföljande examensarbete (Eriksson 2008) dras slutsatsen att linjelaser i kombination med kamera är det mest lovande teknikalternativet. Delvis parallellt med förstudien genomfördes ett externfinansierat FoU-projekt i samarbete med Luleå tekniska universitet och SP Träteknik (Andersson m.fl., 2008). I projektet monterades ett mätsystem med linjelaser och kamera på ett skördaraggregat mellan de övre knivarna och matar-val-sarna. Tester gjordes där kvistade stockar mättes i aggregatet och därefter kontrollmättes i en 3D mättram vid ett sågverk. Jämförelse mellan 3D mät-ramen och mätsystemet i aggregatet visade att 75 % av mätvärdena från aggregatet låg inom +/-4 mm. Med ytterligare trimning av mätsystemet bör



det mål som funnits inom skogsbruket sedan 80-talet om 90 % av mätvärdena inom  $\pm 4$  mm från referensmätning vara inom räckhåll. En sådan mätnoggrannhet skulle innebära en väsentlig förbättring jämfört med dagens mätsystem.

Sammanfattningsvis indikerar ovanstående resonemang och citerade studier en betydande potential för införande av beröringsfri diametermätning i skördare. Men, att med optisk teknik, mäta med hög tillgänglighet i ett skördaraggregat rymmer också tekniska utmaningar vilka måste lösas inom en begränsad kostnadsram. Den mest kritiska bedömer vi handlar om att kunna hantera den mycket krävande miljön och hålla optiska givare rena från nedsmutsning av bark, kåda, snö m.m. Tidigare studier har varit avgränsade till att ej fullt ut omfatta problematiken kring miljöpåverkan och det är därför angeläget att kunskapsläget flyttas fram kring hur miljöpåverkan är i aggregatet och att specifika lösningar för aktiv renhållning av optiska givare i skördaraggregat tas fram.

## Mål

Projektet har genomförts som ett *demonstrationsprojekt* med det övergripande syftet att *demonstrera* att ett optiskt mätsystem med linjelaser och kamera, monterat i ett skördaraggregat, kan mäta diametern på trädstammar med en hög grad av tillgänglighet och noggrannhet under körning i produktionsmiljö. Vidare ska det i projektet göras en genomlysande utvärdering av mätsystemets noggrannhet genom att jämförande mätningar görs på samma stammar med andra metoder. Projektet har haft följande delmål:

- Att utveckla ett robust mätsystem bestående av linjelaser + kamera samt ett integrerat rengörande system.
- Att montera mätsystemet på ett skördaraggregat och köra tester i produktionsmiljö. Testerna ska utformas så att de möjliggör utvärdering av det rengörande systemet under en rad kritiska miljöförhållanden.
- Att utveckla mätsystemets mjukvara så att mätdata kan filtreras och diametermått presenteras i realtid i skördaren.
- Att utvärdera mätsystemets noggrannhet. Jämförelser ska ske med de konventionella mätningarna i kvistknivarna samt med mätdata från klavning och från inmätning i 3D mätram vid sågverk.
- Att i en mindre delstudie utvärdera möjligheten att med samma utrustning mäta längd genom s.k. korrelationsmätning.

## Genomförande

Projektet var indelat i tre etapper. Under den första etappen konstruerades och byggdes mätsystemet. En målsättning vid konstruktionsarbetet var att ta fram ett mätsystem som i största möjliga mån skulle kunna uppfylla kraven i den kravspecifikation på ett beröringsfritt system för diametermätning som tidigare tagits fram i samarbete mellan tillverkare och brukare (bilaga 1). Montage och integrering av mätsystemet på en skördare skedde under den andra etappen på en produktionsmaskin ägd av SCA Skog AB. Basmaskinen var en Valmet 901:a vilken var utrustad med ett Valmet 350 skördaraggregat. Under den tredje etappen testades mätsystemet i produktionsmiljö.

Nedan beskrivs mätprincipen och de tekniska lösningar som valts när det gäller placering, konstruktion och montage/integrering av det framtagna mätsystemet. Därefter beskrivs upplägget, resultaten från testerna i produktionsmiljö samt förslag på efterföljande projekt. Avslutningsvis redovisas en sammanfattning för examensarbetet kring beröringsfri längdmätning (Andersson, 2010).

### MÄTPRINCIP

Mätprincipen för det utvecklade mätsystemet är lasertriangulering med hjälp av linjelaser och kamera. En laserlinje projiceras på stammens mantelyta och det reflekterade ljuset träffar en matrisformad bildsensor i en kamera. Positionen där ljuset träffar bildsensorn är beroende av avståndet mellan givaren och stammen. Med kameran kan avståndet till ett stort antal punkter på laserlinjen bestämmas så att en detaljerad avståndsprofil erhålls längs laserlinjen. Avståndsprofilerna från två motstående kameror, en på vardera sidan om stammen, användes för att beräkna stammens diameter. I projektet skedde all beräkning i en styrdator vilken var placerad i förarhytten.

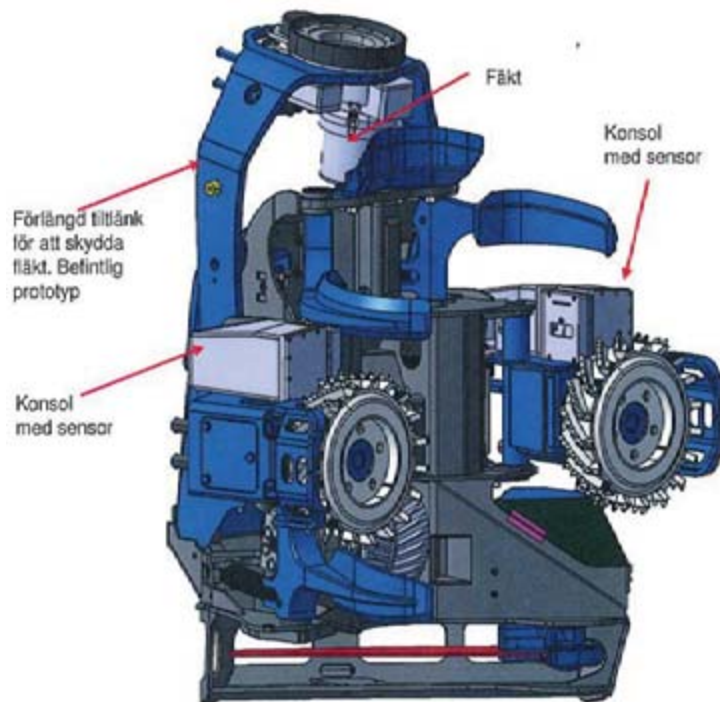
### SENSORERNAS PLACERING I AGGREGATET

Mätsystemets sensorer placerades mellan de övre kvistknivarna och matarvalsarna (figur 1). I projektet användes ett serietillverkat standardaggregat, vilket i viss mån begränsade placeringen av sensorerna till en position där de rymdes fysiskt men följande överväganden gjordes också vid valet av placering:

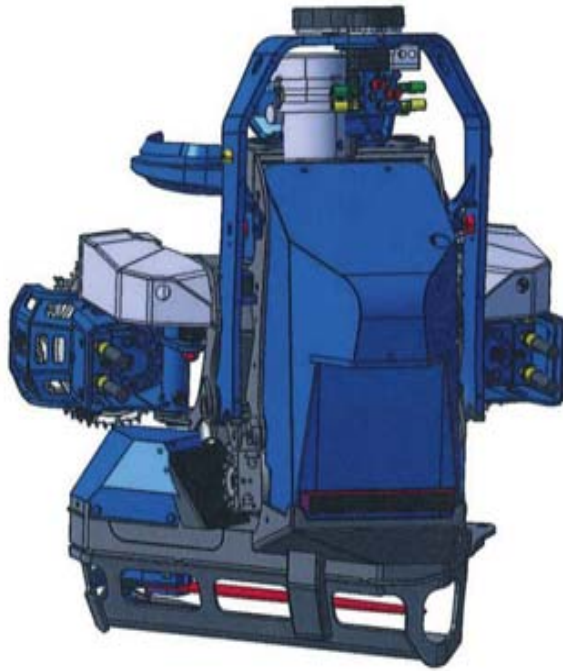
- Mätning av diametern sker på bark. Barkskador utgör en felkälla vid diametermätningen (Möller m.fl. 2002) och ett signifikant samband mellan barkskadenivån och mätnoggrannheten har konstaterats (Möller m.fl., 2008). Det finns inga data som i detalj beskriver hur barkskador uppkommer då stammen matas genom aggregatet men det är rimligt att anta att barkskadorna ackumuleras under matningsprocessen i takt med att anliggnings sker mot övre kvistknivar, matarvalsar, längdhjul, stödrullar, och nedre kvistknivar. Mätsystemets placering mellan de övre kvistknivarna och matarvalsarna medför att mätningen kan ske på så intakt barkyta som möjligt.
- I en tidigare studie med beröringsfri diametermätning (Löfgren m.fl. 1997) var mätsystemet placerat längre ned i aggregatet, just ovanför såglådan. Mätningarna gjordes med hjälp av två linescankameror och då tester genomfördes noterades en kraftig påverkan av

olja från kapsågen och problem med längre barkremsor som flög framför kamerorna och temporärt slog ut mätningen. En slutsats från studien var att en alternativ placering skulle övervägas och positionen mellan de övre kvistknivarna och matarvalsarna fördes fram som den mest lämpliga positionen.

- I en tidigare studie med linjelaser och kamera (Andersson m.fl., 2008) erhöles lovande resultat från ett mätsystem med linjelaser och kamera vilket var placerat mellan de övre kvistknivarna och matarvalsarna. Mätningarna i denna studie genomfördes dock under gynnsamma förhållanden på kvistade stammar.
- Med ökande avstånd mellan sensorer och kapsåg så ökar även tiden för processning av mätinformationen och apteringsbeslut. Med ett mycket kort avstånd riskerar man att det valda kapstället matas ”förbi” kapsågen, vilket leder till backning och en negativ påverkan på produktiviteten.



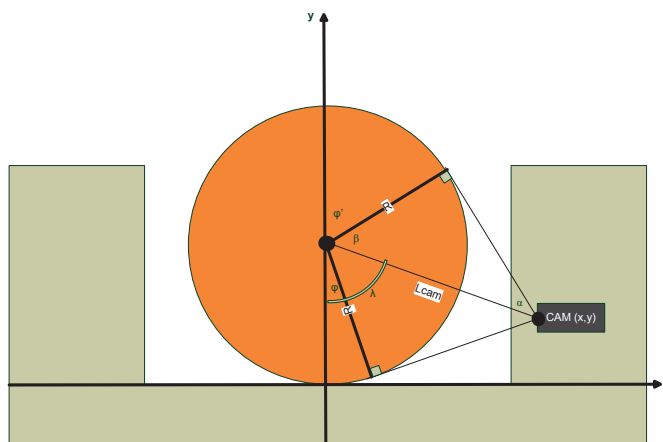
Figur 1a.  
Schematisk bild av aggregatet sett framifrån och som visar givarnas placering.



Figur 1b.  
Schematisk bild av aggregatet sett bakifrån och som visar givarnas placering.

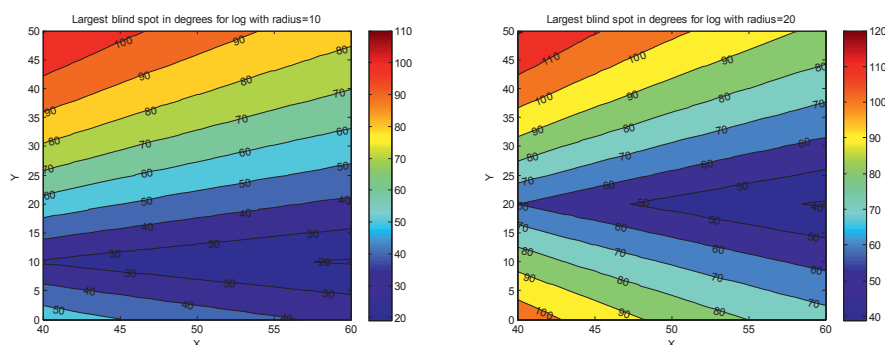
## MÄTSYSTEMETS GEOMETRI

Eftersom de flesta stockar har en viss ovalitet påverkas mätnoggrannheten vid diametermätning med linjelaser och kamera starkt av omslutningen, det vill säga hur stor andel av stockens omkrets som kamerorna ”ser” (Andersson, 2004). Omslutningen är beroende av kamerornas betraktningvinkel men påverkas även av avståndet mellan sensor och stam och av avståndet mellan sensor och bröstet på aggregatet (figur 2). Beräkningar gjordes av storleken på omslutningen för olika stockdiametrar och då avstånden ovan varierades (figur 3). Den slutgiltigt valda placeringen av sensorerna motsvarade en x-position på 43 cm och en y-position på 19 cm. Detta ger en teoretisk omslutning på  $310^\circ$  respektive  $300^\circ$  för stockar med diametrarna 20 och 40 cm (figur 3).



Figur 2.  
Figur för att åskådliggöra en geometrisk modell av hur stor del av stocken som är synlig för kameran.

Kamerans x-position i koordinatsystemet indikerar avståndet till stammens mittpunkt medan kamerans y-position indikerar avståndet till bröstet på aggregatet.



Figur 3. Diagram som visar hur många grader av en stock med diametern 20 cm (vänster diagram) respektive 40 cm (höger diagram) som kameran *inte kan se* (blindspot) för olika positioner på kameran med x och y enligt geometrisk modell i figur 2. X och y är angivna i cm.

## ÖVERVÄGANDE VID VAL AV KAMERA

En utgångspunkt i projektet var att använda en färdig kamera. I en eventuell serieprodukt kommer det dock av flera skäl att krävas att en specialanpassad kamera utvecklas. Inför projektet gjordes en konceptstudie i syfte att beskriva ett komplett mätsystem samt att skatta material och tillverkningskostnader för ett sådant system. Konceptstudien genomfördes av Optronic och för ett komplett mätsystem, designat för att klara den tidigare uppställda kravspecifikationen (bilaga 1), skattades det slutgiltiga priset ligga i intervallet 20 000–50 000 kr beroende på antaganden om utformning och produktionsvolym.

## SENSORERNAS UPPBYGGNAD

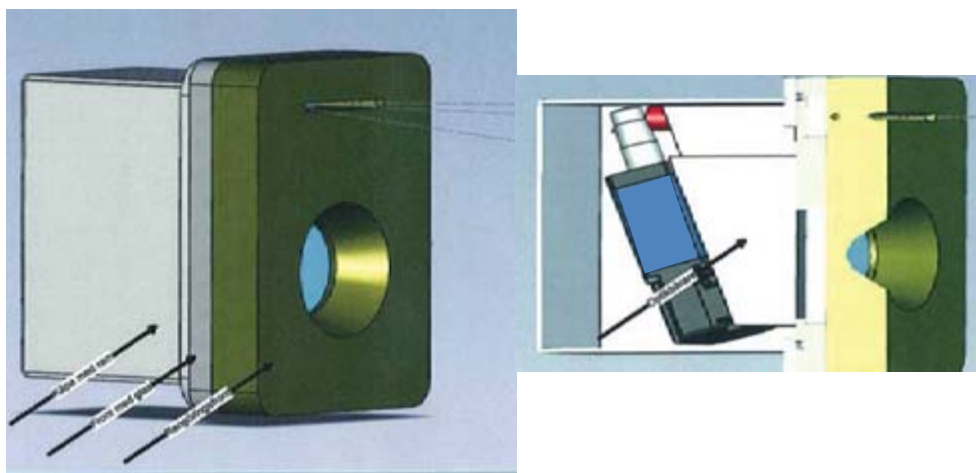
Sensorerna bestod av en kamera (Sick IVP Ranger E50), en linjelasermodul (LA-MINI-501L-660T-35-60°-SD STOCKER YALE , 35 mW, 660 nm, 60° fan angle), ett integrerat rengörande system (se vidare beskrivning nedan) samt en termostatstyrd värmare. Värmare användes för att säkerställa att arbetstemperaturen inne i sensorn inte underskred de minimivärden som kamera och laser var specificerade för. På kameran fanns ett vindvinkelobjektiv (Schneider Cinegon 1.8/16-0901) monterat. Ett filter för att minimera påverkan av störande ljus (Interferensfilter Centrumvåglängd 656 nm, FWHM 10 nm) användes. Detta monterades mellan objektiv och kamerasensor för att minimera vinjetteringseffekten från filtret.

Mekaniken till sensorerna bestod av nedanstående huvuddelar (se också figur 4) vilka hade en modulär uppbyggnad för att underlätta service och eventuellt byte av delar.

- Kåpa med ram.
- Front med skyddsglas.
- Optikbärare.
- Rengöringsfront.

Kåpan var tillverkad i 2 mm tjock rostfri plåt och svetsad mot en ram med tjockleken 5 mm. Fronten hade två nedsänkta skyddsglas för laser och kamera. Som skyddsglas användes 3 mm safirglas vilket limmades mot fronten med silikon. Safirglas användes eftersom det är mycket reptåligt. För kameran användes en cirkulär öppning (ca. 40 mm i diameter) medan en slits användes för lasern. Storleken på öppningen för lasern och för kameran hölls så liten som möjligt för att minimera nedsmutsningen och samtidigt maximera hastigheten på luftflödet i det rengörande systemet (se vidare nedan). Optikbäraren var tillverkad i aluminium och fästad på fronten. Linjelasern och kameran var fastsatta på optikbäraren.

Rengöringsfronten var tillverkad i lättbearbetat rostfritt stål. I denna front kopplades det rengörande systemet med fläktblås, vätska och torkare.



Figur 4. Schematisk bild av sensorns mekaniska uppbyggnad (till vänster) och optikbärare (till höger). Kamera och laser var monterade på optikbäraren.

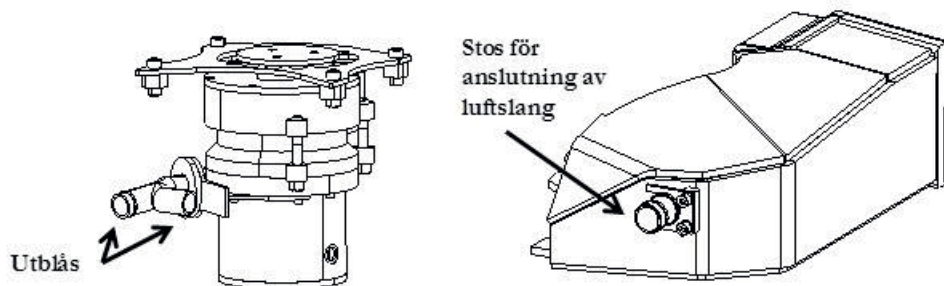
## RENGÖRANDE SYSTEM

Vid konstruktionen av det rengörande systemet gjordes olika labbtester med luftblås (fläkt och tryckluft), vätskespolning samt mekanisk rengöring. Tester med tryckluft gav positiva resultat men denna lösning övergavs efter att beräkningar gjorts som visade på en hög effektförbrukning samt stora effektförluster för att nå ett visst luftflöde. Istället valdes en fläktlösning vilken har potential att ge samma luftflöde som ett tryckluftssystem men med lägre effektbehov och effektförluster.

I den slutliga utformningen bestod det rengörande systemet av tre komponenter: kontinuerligt blås med fläkt, lågfrekvent rengöring med vätska (spolarvätska) samt mekanisk avtorkning med en roterande gummiskrapa (vindrutetorkare). Strategin med rengöringen var att luftflödet från fläkten skulle hålla bort skräp från öppningshålen framför laser och kamera, att vätskan skulle lösa upp sådant skräp som fastnat på glasytorna och att vindrutetorkaren skulle torka bort kvarvarande skräp och vätskerester. Vid konstruktionen eftersträvades minsta möjliga skyddsglas framför kamera och laser för att erhålla ett högt luftflöde.



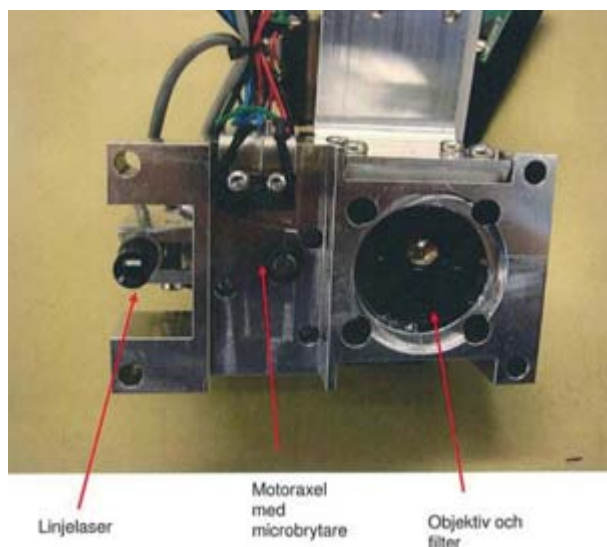
Fläkten i det rengörande systemet var monterad i ett fläkthus, vilket var upphängt i gummikuddar på en platta svetsad i den förhöjda tiltlänken (figur 1a och 5). Från fläktens utblås drogs luftslangar till de två sensorerna.



Figur 5.  
Ritningar som visar detaljer från fläktlösningen. Till vänster fläkthuset med två utblås, en för vardera sensor. Till höger syns den stos som var monterad i bakkant på sensor. Luftslangar drogs mellan fläktens utblås och stosarna på sensorerna.

För rengöringen med vätska monterades en separat spolarvätskepump. Vätska (spolarvätska) togs från en av tankarna i det ordinarie färgmärknings-systemet. Vätskan leddes genom plastslang in på sensors baksida och spolades genom munstycket vid skyddsglasen framför kameran och linjelasern.

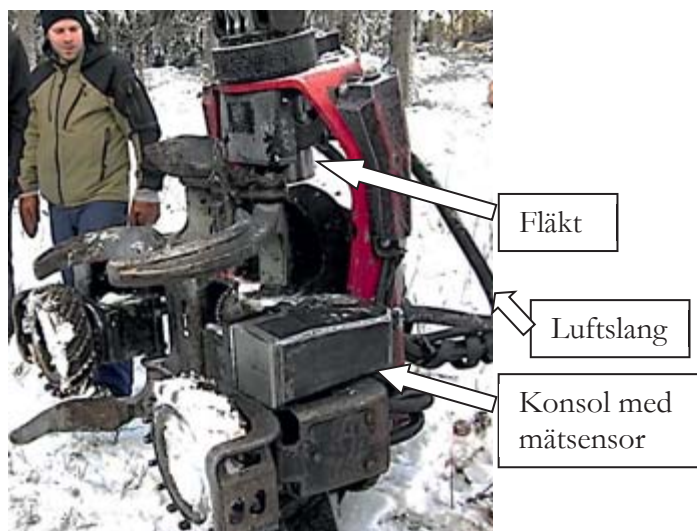
För den mekaniska avtorkningen användes en elmotor monterad i sensorn samt en roterande gummiskrapa vilken var fastsatt på motoraxeln (figur 6). Axeln var försedd med en brytpinne för att skydda motorn från skador ifall gummiskrapan skulle bli blockerad och fastna.



Figur 6.  
Figur som visar sensorn utan rengöringsfront. I mitten syns motoraxeln på vilken den roterande gummiskrapan fästes. Då gummiskrapan roterade rengjordes skyddsglasen framför linjelasern och kameran.

## KONSOLER

Sensorerna monterades i konsoler för att skyddas mot mekanisk påverkan. Konsolerna var tillverkade i 10 mm tjock stålplåt och svetsade i aggregatets sidostycken.



Figur 7.  
Bild på aggregatet med en av konsolerna i vilka sensorerna sitter monterade.  
Till höger i bilden syns en av de två luftslangarna som förbinder fläkten med sensorerna.

## ELEKTRONIK OCH STYRDATOR

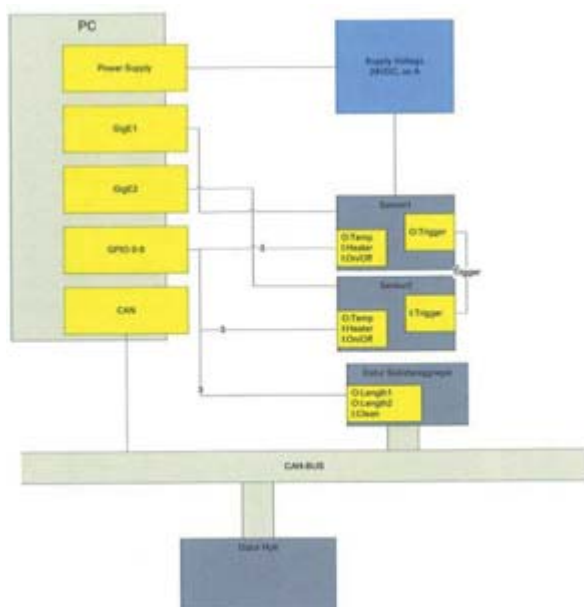
Denna rapport omfattar inte någon fullständig beskrivning av hur elsystemet för det nya mätsystemet var uppbyggt. I bilaga 2 återfinns dock ett schema över kablage och kopplingsboxar. Nedan lämnas även en redogörelse för några av de tekniska lösningar som valdes samt en översikt över de viktigaste elektriska gränssnitten (figur 8).

Sensorerna triggades att mäta av pulser från det ordinarie längdhjulet. Data överfördes till en PC (AEC-6920) vilken var monterad i förarhytten. PC:n var utrustad med ett digitalt I/O kort från National Instruments (DAQ NI-6518), en modul för kommunikation över CAN bus (NI USB-8473S) samt en Compact Flashdisk. Flashdisken byttes senare mot en SSD Disk.

Överföring av data skedde med Gigabit Ethernet och en kabel (ETHERLINE 4-pairs flexible/high flexible CAT.5e från LAPP group) var dragen från aggregatet längs kranarmen. Ingen beräkning skedde i sensorerna utan enbart rådata överfördes.

En del av funktionerna i det rengörande systemet var styrda utifrån aggregatfunktionerna. Mätsystemet var därför inkopplat på skördarens CAN-bus för att ”lyssna av” aggregatfunktioner.

Den direkta styrningen och spänningsmatningen av kamera, laser, elmotor för vindrutetorkare och värmare skedde på ett anpassningskort (skogboard) som satt i sensorerna.



Figur 8.  
Översikt över de viktigare elektriska gränssnitten.

## KALIBRERING AV MÄTSYSTEMET

Mätsystemet har två kalibreringssteg. Ett internt och ett externt. Syftet är att översätta ett pixelvärde i sensorerna till en position i mätrymden.

Den interna kalibreringen var individuell för varje sensor och översatte pixelvärde på sensorn till faktiskt mätvärde i ett lokalt koordinatsystem. Ett tredje ordningens polynom i två dimensioner anpassades med minsta kvadratmetoden från mätningar på känt objekt. Det objekt som användes var en plan skiva där bredd, avstånd och vinkel till sensor var känd.

Den externa kalibreringen beskriver kamerornas inbördes position. Här användes en flat skiva med känd tjocklek som båda sensorerna såg från vardera sidan. Då båda sensorerna kunde mäta skivans position och storlek samtidigt kunde sensorernas inbördes position bestämmas entydigt.

All kalibreringsdata sparades i varje mätfil.

## MJUKVARA OCH BERÄKNINGAR I STYRDATORN

I projektet utvecklades ett program för datainsamling, diameterberäkning samt styrning av det rengörande systemet. När mätningen skulle starta och stoppa samt när rengöring skulle utföras avgjordes genom detektering av event från skördaren på CAN bussen. Rengöringen var konfigurerbar i en scriptfil för godtyckligt event. De event som användes var:

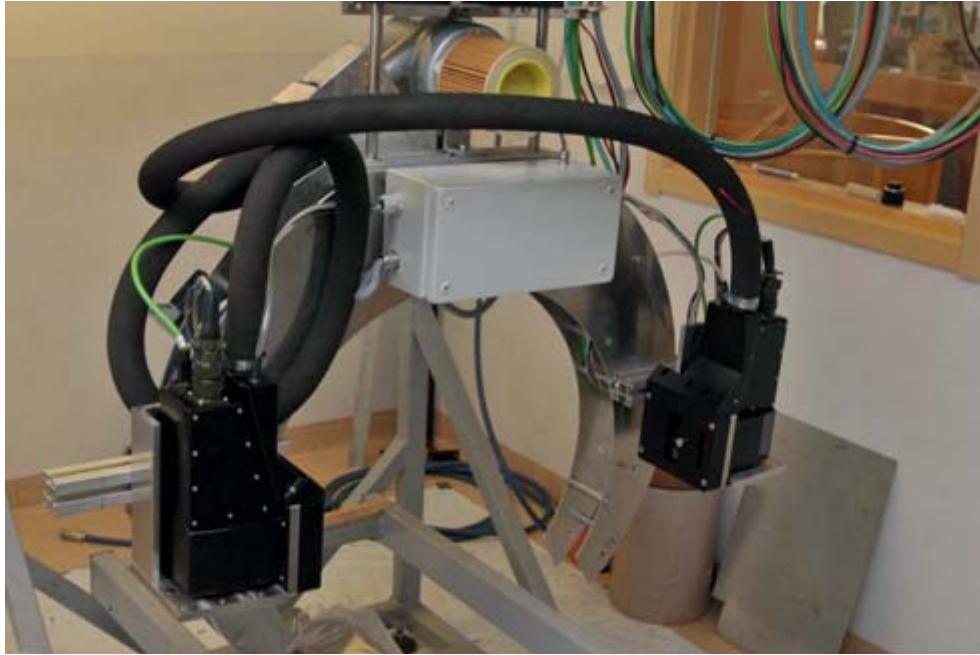
Aggregat Aktiv  
Kap\_Aktiv  
Kap\_Hemma  
Matning\_Aktiv  
Tilt\_Upp  
Trädläge

Vid mätning tog kamerorna bilder vid varannan (inställbart) puls från längdgivarens tacometer. Den beräknade laserprofilen samt räknarvärdet skickades sedan för vardera kameran via ethernetkabeln till datorn för datainsamling, beräkning och lagring av resultat. Följande beräkningsgång användes vid diameterberäkningen.

1. Rådata lästes in och med hjälp av kalibreringen översattes de till världskoordinater.
2. En första filtrering tog bort mätvärden med låg ljusintensitet.
3. Filtrering av mätvärden som låg utanför en radie som var 20 % större än föregående mätvärde och föregående origo. Om föregående radie var 0 så sorterades inga mätvärden bort på detta sätt. Denna filtrering benämns ”filter realtid” i den fortsatta texten.
4. Beräkning av area på stocken
  - Profilarean av den del av stocken som sensorn ser. Alla mätvärden som inte är bortfiltrerade användes. Principiellt gjordes detta på samma sätt som vid beräkning av en integral, d.v.s. beräkning av en trapetsoid och iterering genom alla mätvärden.
  - Därefter beräknades de två sektorer som sensorerna inte såg. Beräkning utav sektorsegmenten gjordes genom att radie och vinkel skattades från de yttersta punkterna som användes i profilarean samt origo.
  - Totala arean beräknades som summan av varje sensors profilarean samt summan av de skattade sektorerna.
5. Origos position beräknades om baserat på tyngdpunkten, vilket påverkade sektorberäkningen. Sektorareaberäkningen itererades till dess att origos förflyttning konvergerade.
6. Utifrån den slutgiltiga arean så beräknades stockens radie.

## **INLEDANDE MÄTNINGAR PÅ LABB**

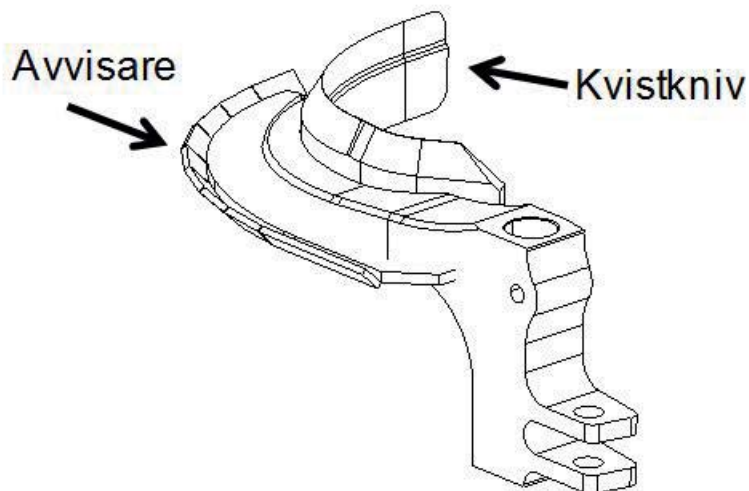
Innan mätsystemet monterades på skördaraggregatet testades funktionaliteten i två steg med positivt resultat. Först monterades mätsystemet på den testrigg som finns hos Skogforsk i Sävar (figur 9). Därefter kördes motsvarande tester ”på golvet” hos Komatsu Forest i Umeå.



Figur 9.  
De två sensorerna monterade för verifieringsmätning i Skogforsks testrigg.

## MONTAGE OCH INTEGRERING AV MÄTSYSTEMET PÅ SKÖRDARAGGREGATET

Montage och integrering av mätsystemet på SCAs skördare gjordes i Komatsu Forests prototypverkstad. Utöver de anpassningar som beskrivits ovan svetsades avvisare på de övre rörliga kvistknivarna (figur 10). Syftet med avvisarna var att styra ut skräp (grenar, bark) från aggregatet och därmed minska mängden skräp mellan sensorerna och stammen.



Figur 10.  
Schematisk figur av den avvisare som svetsades på kvistknivarna för att minska mängden skräp mellan sensorerna och stammen.

## DATAINSAMLING UNDER KÖRNING I PRODUKTIONSMILJÖ

Mätdata från körning i produktionsmiljö insamlades vid tre tillfällen. Den första datainsamlingen skedde i början av december -09 i samband med att mätsystemet demonstrerades i fält för intressentgruppen. Datainsamlingen skedde i Mickelstråk, 4 mil norr om Umeå. Holmen Skog var markvärd. Upparbetning skedde i normal produktionstakt och data från det nya mätsystemet loggades. De avverkade stockarna märktes, korsklavades varje meter samt i topp- och rotända. Stockarna transporterades därefter till SCAs sågverk i Rundvik för detaljerad diametermätning i 3D mätram.

Skördaren transporterades i slutet av december till Åsele för produktionskörning. På grund av problem med kabeldragningen längs kranen och datorhaveri kunde förnyad datainsamlingen inte ske förrän i början av april då mätdata samlades vid ytterligare två tillfällen. En redovisning av tidpunkt, beståndstyp och antal mätta stammar vid respektive datainsamlingstillfälle ges i tabell 1.

Tabell 1.  
Översikt över datainsamlingen i produktionsmiljö.

Tidpunkt	Beståndstyp	Miljö-förhållanden	Referensmätning	Antal mätta stammar
091204	Grandominerad slutavverkning	Torr väderlek, minusgrader, ca 2 dm nysnö och upplega.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Diametermätning kvistknivar<sup>1)</sup></li><li>• Korsklavning</li><li>• 3D mätram</li></ul>	53
100409-100413	Talldominerad förstagallring med inslag av björk	Temperatur runt noll grader. 20–50 cm blötsnö på marken, ingen snö i trädkronorna. Tidvis duggregn.	Diametermätning kvistknivar	525
100427-100429	Grandominerad slutavverkning med betydande inslag av tall och björk	Temperatur strax över noll grader. 20–30 cm snö på marken, ingen snö i trädkronorna. Torr väderlek.	Diametermätning kvistknivar	448

<sup>1)</sup> Vid detta tillfälle fungerade enbart mätningen från en av kvistknivarna.

En betydligt mer omfattande datainsamling var ursprungligen inplanerad i syfte att samla data från merparten av de miljöförhållanden som råder under året. Under testtillfälle två och tre registrerades dock omfattande störningar i mätdata. Analyser visade att störningarna var orsakade av skräp som störde den optiska mätningen men att det också fanns en potential att reducera inverkan av skräpet genom att utveckla mätsystemets mjukvara. Efter diskussion i projektets styrgrupp beslöts därför att den fortsatta datainsamlingen skulle avbrytas och att projektresurser istället skulle om disponeras till att fokusera problematiken kring skräp som flyger mellan sensorerna och stammen. För att fokusera denna problematik genomfördes följande tre aktiviteter vilka utvecklas nedan:



- Filmning av aggregatet för att kartlägga skräpproblematiken.
- Framtagning av nya algoritmer/logik för filtrering av rådata.
- Workshop tillsammans med tillverkande företag för att ta fram förslag på hur mängden skräp mellan sensorerna och stam kan minskas.

## FILMNING AV AGGREGATET FÖR ATT KARTLÄGGA SKRÄPPROBLEMATIKEN.

Tre olika typer av filmningar gjordes i syfte att kartlägga skräpproblematiken i skördaraggregatet:

- Filmning av upparbeitungsprocessen med vanlig videokamera (20 bilder/sekund). Kameran var monterad på stativ och filmade aggregatet från sidan. Filmerna gav information på övergripande nivå, till exempel om hur större grenar rör sig under kvistningsförloppet.
- Filmning med systemkamera vilken tog bilder i HD upplösning (60 bilder/sekund). Filmning skedde snett underifrån för att kameran skulle kunna se ”in i” aggregatet. Kamera var monterad på stativ och satt i en låda av plexiglas för att skyddas mot kvistar och sav, se figur 11.
- Filmning med mätsystemets egna kameror. Med hjälp av en programvara som följde med kamerorna kunde videobilder tas under upp-  
arbetning.



Figur 11.  
Bilder från filmningen med kameran monterad på stativ i en låda av plexiglas.

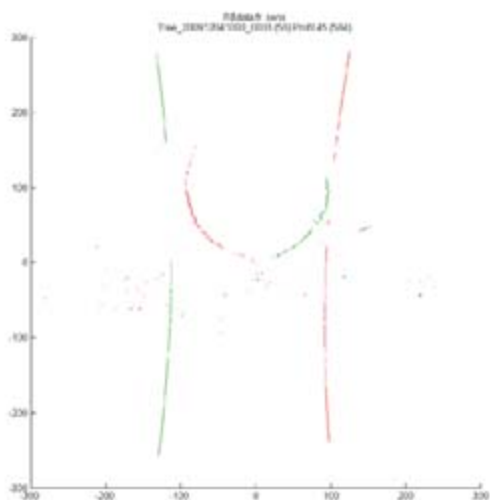
## FRAMTAGNING AV NYA ALGORITMER OCH LOGIK FÖR FILTRERING AV RÅDATA.

Under de tre datainsamlingarna i produktionsmiljö sparades rådata från samtliga mätningar. Dessa data utnyttjades för att i efterhand ta fram nya algoritmer och logik för filtrering av rådata och diameterberäkning. Denna filtrering, nedan benämnd ”filtrering i efterhand” baserades på följande principer:

- Geometrisk filtrering.
- Filtrering på objektstorlek.
- Filtrering på intensitet i laserlinjen.

## Geometrisk filtrering

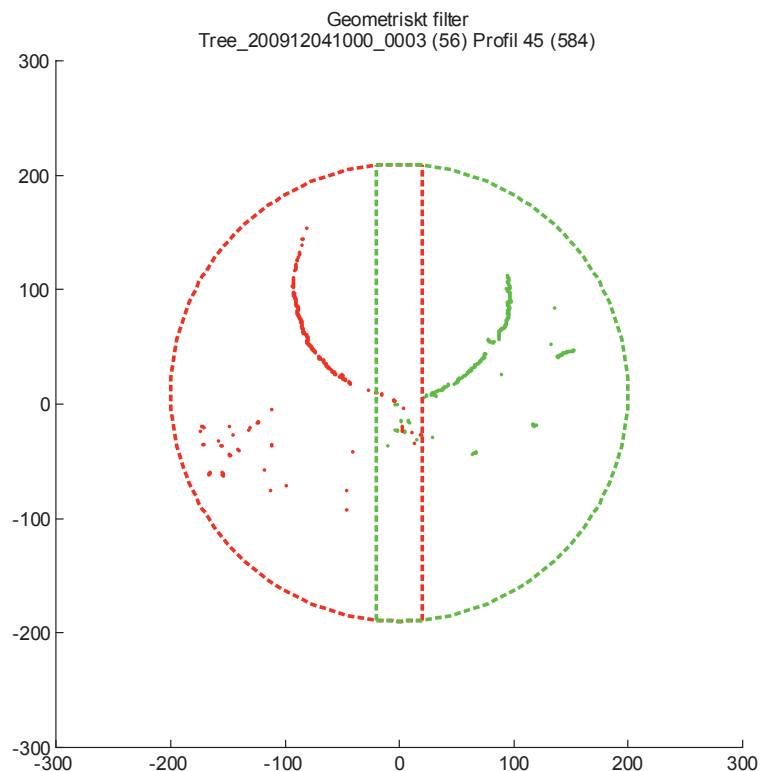
Detta baseras på att vi bara kan ha relevanta mätpunkter på stammen inom ett givet område i aggregatet för varje sensor. Ett exempel på hur rådata från systemet kan se ut visas i figur 12.



Figur 12.

Exempel på en mätprofil från sensorerna med störningar. I figuren representerar rött och grönt, vänster respektive höger kamera. De krökta linjerna i figuren är vänster respektive höger sensors maximala mätavstånd.

För varje enskild sensor togs mätpunkter bort som var längre ifrån sensorn än 520 mm. Vidare sattes den maximala trädradien till 200 mm, för detta aggregat är maxdiametern runt 55 cm. Detta gav sammantaget ett cirkulärt mätområde se figur 13, där varje sensors mätområde var en stympad cirkel med cirkelsegmentet bortom 520 mm sett från sensorn borttaget. Mätområdena för sensorerna överlappade varandra i mitten av mätcirkeln på 40 mm, runt  $x = 0$  i figur 13.



Figur 13.  
Den geometriska filtreringen med dess begränsningscirkel. I figuren representerar rött och grönt, vänster respektive höger sensor.

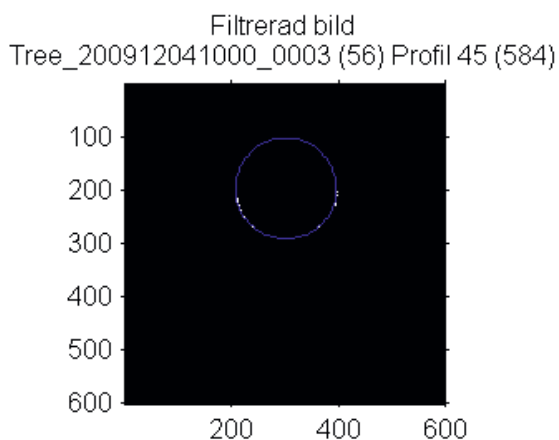
### Filtrering av objekt

Laserlinjerna som projiceras på stammen är kontinuerliga om stammen inte är allt för skrovlig. Detta betyder att sensorernas bilder av laserlinjerna bör vara i stort sett sammanhängande d.v.s. vi får avlånga objekt. Mätdata efter geometrisk filtrering transformerades till ett bildplan där objekt mindre än 20 pixel togs bort. Detta medförde att mindre objekt som barkflagor och annat skräp filtrerades bort. Men det medförde också att segment av laserlinjen som verkligen projicerades på stammen och var mindre än 20 pixlar togs bort.

### Filtrering på intensitet i laserlinjen

Intensiteten hos ljuset från skräppartiklarna var i genomsnitt lägre än intensiteten i ljuset från stammen då det registrerades i kameran. Detta utnyttjades vid intensitetsfiltreringen då pixlar med en intensitet understigande ett gränsvärde filtrerades bort. Den maximala intensiteten för det reflekterade ljuset var 255 och efter prövning valdes ett gränsvärde om 30. Den negativa konsekvensen av intensitetsfiltreringen var att delar av laserlinjens ytterändar på stammen filtrerades bort.

Resultatet av den sammantagna filtreringen i detta exempel kan man se om man jämför figur 12 med slutresultatet av filtreringen i figur 14.



Figur 14.  
Filtrerade data med den anpassade cirkeln inlagd i blått.

## FILTRERING AV DE BERÄKNADE DIAMETERMÅTTEN LÄNGS STAMMEN

Som ett efterföljande, kompletterande steg till filtreringen av rådata gjordes en filtrering i längdled av de beräknade diametermåtten. Syftet med denna filtrering var att sälla bort starkt avvikande mätvärden och därmed filtrera fram den huvudsvärm av data som i flertalet fall anslöt väl till stammens verkliga form. Den grundläggande strategin vid filtreringen var att jämföra varje nytt mätvärde med medelvärdet av de närmast föregående mätvärdena, acceptera nya mätvärden som i jämförelsen visade en rimlig avvikelse medan mätvärden med större avvikelse togs bort. Nedan följer en beskrivning av huvudkomponenterna i denna filtrering med betoning på det som bedömts kritiskt för att filtreringen ska ha förutsättning att fungera i en praktisk tillämpning.

Filtreringen byggde på att nya mätvärden jämfördes med en grupp av föregående mätvärden vars medelvärde ansågs vara ”korrekt”. För att filtreringen ska fungera är det viktigt att de första mätvärdena för respektive stam är av god kvalitet så att en jämförelsegrupp med ”korrekt” medelvärde snabbt kan etableras. Denna jämförelsegrupp identifierades för varje stam i en stegvis process där spridningen för de 10 första diametermåtten initialt beräknades. Understeg standardavvikelsen för de 10 diametermåtten 5 mm accepterades gruppen som en jämförelsegrupp gentemot efterföljande mätvärden. Översteg standardavvikelsen 5 mm skapades en ny jämförelsegrupp genom att det första diametermåttet i gruppen ersattes av ett nytt, efterföljande diametermått. Detta förfarande upprepades tills standardavvikelsen för jämförelsegruppen understeg 5 mm.

Då en initial jämförelsegrupp etablerats inleddes jämförelsen gentemot de efterföljande diametermåtten. Vid denna jämförelse togs hänsyn till aktuell avsmalning eftersom avståndet mellan diametermåtten varierade och ibland kunde vara stort på grund av störningar. Den aktuella avsmalningen beräknades genom medelvärdesbildning av diameter och avstånd från rotskär för

första och andra hälften av punkterna i jämförelsegruppen. Var avsmalningen mer än 2 cm per meter sattes den till 2 cm per meter, och var avsmalningen mindre än 1 cm per meter sattes den till 1 cm per meter.

Nya mätvärden accepterades om de var inom +/- 11 mm från medelvärdet av diametermåten för jämförelsegruppen reducerat med den aktuella avsmalningen. Gränsvärdet 11 mm togs fram genom prövning på stammarna från Mickelsträsk. Ett övervägande vid valet av gränsvärde var att filtreringen inte skulle "sudda ut" den naturliga diameterförändring som förekommer till exempel i anslutning till kvistvarv.

Efter att den initiala jämförelsegruppen etablerats tilläts storleken på de efterföljande jämförelsegrupperna att växa eftersom det gav stabilare skattningar av den aktuella avsmalningen. Storleken tilläts växa till dess att jämförelsegruppen innehöll 40 diametermått varefter gamla diametermått återigen ersattes i takt med att nya tillkom.

## **WORKSHOP FÖR ATT MINSKA MÄNGDEN SKRÄP MELLAN SENSORERNA OCH STAM**

Tillsammans med de tillverkande företagen anordnades en workshop i syfte att ta fram konkreta förslag på hur mängden skräp mellan sensorerna och stammen skulle kunna minskas samt beskriva hur effekten av sådana förslag skulle kunna testas. Workshopen genomfördes hos Rottne 100915. I workshopens huvudförslag beskrivs principerna för ett skydd placerat mellan de övre kvistknivarna och sensorerna, se vidare "Resultat från workshopen" nedan.

## **Resultat och diskussion**

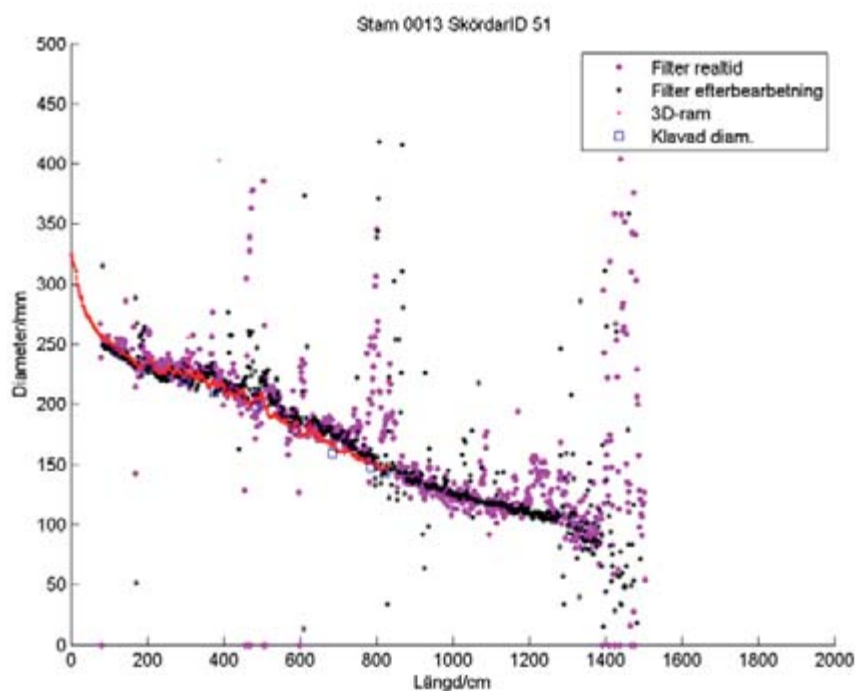
### **RESULTAT FRÅN DATAINSAMLINGEN I MICKELSTRÄSK**

Datainsamlingen omfattade mätdata från totalt 53 stammar. För fyra av stammarna var identiteten oklar och dessa stammar kasserades vilket resulterade i 49 användbara stammar. Plottar av diameterprofiler för samtliga 49 stammar återfinns i bilaga 3. I plottarna redovisas mätdata från det nya mätsystemet, korsklavning samt 3D mätarm. För klavningen och mätningen från 3D mätarmen fanns enbart mätdata för sågtimmerdelen. För det nya mätsystemet redovisas diametermått beräknade utifrån filtreringen i realtid samt för den filtrering av rådata som gjordes i efterhand. Det bör poängteras att för båda dessa filtreringar är filtreringen enbart gjord på rådata och inkluderar alltså inte filtreringen i längdled av beräknade diametermått, se avsnittet "Filtrering av de beräknade diametermåten längs stammen", s. 22. Mätdata från den ordinarie mätningen i kvistknivarna redovisas inte eftersom dessa var bristfälliga; enbart mätningen från en av knivarna fungerade under datainsamlingen.

En inledande analys av mätdata från den första datainsamlingen har tidigare redovisats av Johan Skog, SP Träteknik (se bilaga 4). I analysen redovisad nedan var datamaterialet kompletterat med diametermått genererade utifrån den filtreringen som gjordes i efterhand.

De plottade diameterprofilerna (bilaga 3 samt exempel i figur 15) kan användas för att ge en övergripande bild av mätresultatet för det nya mätsystemet i jämförelse med referensmätningarna. Granskning av plottarna visade att:

- Med undantag för ett fåtal stammar där mätningen med det nya mätsystemet misslyckades så visade diameterprofilerna från det nya mätsystemet en god överensstämmelse med diameterprofilerna från 3D mätramen.
- Då diameterprofilerna, beräknade utifrån den filtrering som gjordes i realtid och i efterhand, jämfördes så visade huvudvärmen av diametermått från den filtreringen som gjordes i efterhand en lägre spridning än huvudvärmen av diametermått från filtreringen i realtid. Vidare visade diameterprofilerna från filtreringen i efterhand högre överensstämmelse med diameterprofilerna från 3D mätramen än diameterprofilerna från filtreringen i realtid.
- Störningar i mätdata ökade generellt mot toppen av stammarna och för cirka hälften av stammarna saknades relevanta diametermått för toppdelen. Detta gällde såväl diametermått genererade med filtreringen i realtid som filtreringen i efterhand.



Figur 15.  
Diameterprofiler beräknade utifrån de två filtreringarna för det nya mätsystemet, 3D-mätram samt korsklavning för en av stammarna i Mickelsträsk. Motsvarande figurer för övriga stammar återfinns i bilaga 3.



För att ytterligare belysa mätresultatet för det nya mätsystemet användes mätvärdena från 3D mätramen för att beräkna det nya mätsystemets systematiska och tillfälliga fel utifrån skillnaden mellan diametermåten från mätramen och det nya mätsystemet. Det systematiska felet beräknades som medelvärdet av samtliga diameterskillnader medan det tillfälliga felet beräknades som standardavvikelsen för skillnaderna av alla parvisa diametermått. I redovisningen nedan har vi använt dessa mått för att belysa mätnoggrannheten utifrån två olika nivåer:

1. *Det nya mätsystemets mätnoggrannhet då en mängd störningar motsvarande störningsmängden i Mickelsträsk förekommer.* Mätnoggrannheten beräknades för diametermåten genererade med de två filtreringarna av rådata som gjordes i realtid respektive i efterhand. För båda filtreringsvarianterna inkluderades också filtreringen av diametermåten i längdled, se avsnittet ”Filtrering av de beräknade diametermåten längs stammen”, s. 22.

I tabell 2 redovisas stamvisa skattningar av systematiskt och tillfälligt fel för de två filtreringsvarianterna. För att belysa hur mycket mätdata som togs bort vid filtreringen redovisas också hur stor andel av den totala mängden mätvärden per stam som återstod efter de olika filtreringsstegen. Med F\_rå avses den filtrering som gjordes på rådata medan för alternativet F\_rå+L har denna filtrering kompletterats med filtreringen av diametermåten i längdled.

För filtreringen som utfördes i efterhand var det systematiska felet nära noll sett över samtliga stammar och för drygt två tredjedelar av stammarna var det systematiska felet lägre än 4 mm. Det tillfälliga felet, uttryckt som standardavvikelsen för skillnaden mellan diametermåten från mätramen och det nya mätsystemet uppgick som medeltal för samtliga stammar till 5,1 mm (medianvärde 4,9 mm). Det hade varit intressant att beräkna motsvarande spridningsmått för den ordinarie mätningen i kvistknivarna men detta var inte möjligt eftersom denna mätning inte fungerade under testen. Tidigare studier av mätprecisionen för skördarnas diametermätning indikerar dock att standardavvikelsen är i genomsnitt 5-6 mm vid produktionskörning (Möller m. fl. 2002, Möller & Hannrup 2006). Den uppmätta spridningen för det nya mätsystemet var alltså i nivå med motsvarande spridning för den nuvarande berörande mättekniken.

Det bör dock noteras att den beräknade spridningen för det nya mätsystemet var avgränsad till sågtimmerdelen av stammarna eftersom mätramsdata enbart fanns tillgängligt för denna del. För toppdelen av stammarna var mätdata för det nya mätsystemet i högre grad påverkat av störningar och spridningen sannolikt högre. Det är angeläget att reducera mängden störningar både generellt men i synnerhet mot toppen av stammarna för att öka precisionen i mätningen.

Som tidigare noterats utifrån de plottade diameterprofilerna hade filtreringen som gjordes i efterhand en positiv effekt för att minska spridningen i mätdata. För 38 av de 49 stammarna var det tillfälliga felet lägre för filtreringen som gjordes i efterhand än för filtreringen i real-

tid (tabell 2). I medeltal över samtliga stammar minskade spridningen med 1 millimeter. Den nya filtreringen medförde också att det systematiska felet minskade med 1,2 mm. För den ursprungliga filtreringen uppgick det till -1,5 mm dvs. en överskattning av diametern för det nya mätsystemet i jämförelse med mätramen.

Andelen återstående mätvärden efter de två filtreringsstegen uppgick i genomsnitt till 85 och 63 procent för filtreringen som utfördes i efterhand (tabell 2). Detta innebär att 15 % av det totala antalet mätvärden sorterades bort vid den första filtreringen av rådata och därtill sällades ytterligare 22 procentenheter av mätvärdena bort vid filtreringen i längdled. Vid datainsamlingen togs ungefärligen ett mätvärde för varje centimeter. Att andelen återstående mätvärden efter filtreringen reducerats till i genomsnitt 63 % innebär att avståndet mellan två mätvärden utökats till i genomsnitt 1,6 cm.

2. *Det nya mätsystemets mätnoggrannhet då en begränsad mängd störningar förekom.* För 8 av de 49 stammarna förekom partier av stammen med lite störningar. För dessa partier, tillsammans med hela stam nummer 14, 21 och 43 för vilka mängden störningar också var begränsad, beräknades det tillfälliga felet (tabell 3). Det tillfälliga felet för dessa partier varierade mellan 1,7 och 3,9 mm och uppgick i medeltal till 3,0 mm. Detta resultat ligger i linje med den mätprecision som uppnåddes (standardavvikelse = 3,4 mm) då ett mätsystem med linjelaser och kamera användes för diametermätning på kvistade stammar (Andersson m.fl., 2008). Vidare låg det nya mätsystemets mätprecision för partierna med lite störningar i nivå med det krav på mätprecision som formulerats i kravspecifikationen (bilaga 1) och som uttryckts som en högsta standardavvikelse på 3,5 mm för diametermått under bark. Detta krav förefaller vara inom räckhåll ifall mängden störningar för det nya mätsystemet kan minskas.

Tabell 2.

Systematiskt ( $\mu$ ) och tillfälligt fel (Stdavv.) för filtreringen i realtid och i efterhand samt andel mätvärden som återstår efter de två filtreringsstegen för data från sågtimmerdelen. Andelen återstående mätvärden anges enbart för filtreringen av rådata som gjordes i efterhand. F\_rå avser den filtrering som gjordes på rådata medan F\_rå+L avser F\_rå kompletterad med filtreringen av diametermått i längdled.

Stam	Filtrering i realtid		Filtrering i efterhand		Andel återstående mätvärden	
	$\mu$ (mm)	Stdavv. (mm)	$\mu$ (mm)	Stdavv. (mm)	F_rå (%)	F_rå+L (%)
2	7,8	7,1	17,7	6,5	81	29
3	-6,8	4,7	5,2	8,9	56	30
4	1,3	7,8	-4,9	7,8	80	50
5	-	-	-2,3	4,3	89	38
6	-5,3	6,0	0	3,6	94	76
7	0,2	7,5	0,3	5,3	81	56
8	-2,3	5,6	0,4	6,3	93	79
9	-6,0	5,9	4,1	6,7	90	67
10	-19,8	4,6	-2,1	4,6	65	40
12	-3,9	6,5	1,7	5,3	86	58
13	-4,6	6,7	-2,6	6,9	88	71
14	-2,1	5,1	-0,1	3	87	77
15	-5,6	8,8	-7,1	5,5	79	55
16	-12,6	5,7	-9,8	4,2	89	67
21	-7,4	5,3	-0,5	2,6	86	55
22	2,7	9,9	6,8	6,8	94	75
23	-1,8	8,5	2,8	5,2	70	50
24	7,1	4,8	8,1	5,2	82	52
25	-2,8	5,1	-3,2	3,7	93	78
26	3,3	5,2	4,1	4,4	94	81
27	-6,5	6,3	-6,0	4,4	94	84
28	1,8	6,2	2,9	4,7	94	79
29	-3,7	6,2	3,1	4,3	96	81
30	-0,5	4,9	-2,9	5,6	96	80
31	1,6	6,3	2	4,4	48	13
32	8,5	6,3	7,9	8,6	59	17
33	-1,1	5,8	-1,5	4,8	91	70
34	0,8	6,6	3,8	4,9	88	72
35	-0,9	4,9	2,4	3,7	91	73
36	-1,9	6,0	2,3	3,8	92	66
37	4,8	6,6	-0,8	4,3	87	70
38	-4,6	4,9	-3,3	5,6	97	85
39	-0,5	9,1	1,5	5,2	89	63
40	-1,8	5,2	0,1	4,6	94	80
41	3,2	4,9	1,1	4,6	94	86
42	3,6	4,9	3,2	4,2	94	67
43	0,5	5,1	0,5	2,4	92	86
44	1,0	6,6	-7,0	5,7	86	71
45	-3,7	5,0	-1,4	4,4	89	67
46	-4,8	6,3	-5,0	5,6	76	56
47	-5,3	5,7	0,6	5,4	83	62
49	0,3	5,4	2,3	5,2	83	54
50	-1,1	4,4	1,2	3,8	76	53
51	-3,1	6,0	-3,9	5,3	90	64
52	1,0	6,5	-3,9	6,4	82	58
53	4,5	8,9	1,6	4,9	87	70
54	-1,0	6,7	3,3	7,4	78	56
55	0,0	5,2	-2,8	3,9	89	77
56	-5,5	6,4	-7,0	5,7	82	67
<b>Medelvärde:</b>	<b>-1,5</b>	<b>6,1</b>	<b>0,3</b>	<b>5,1</b>	<b>85</b>	<b>63</b>

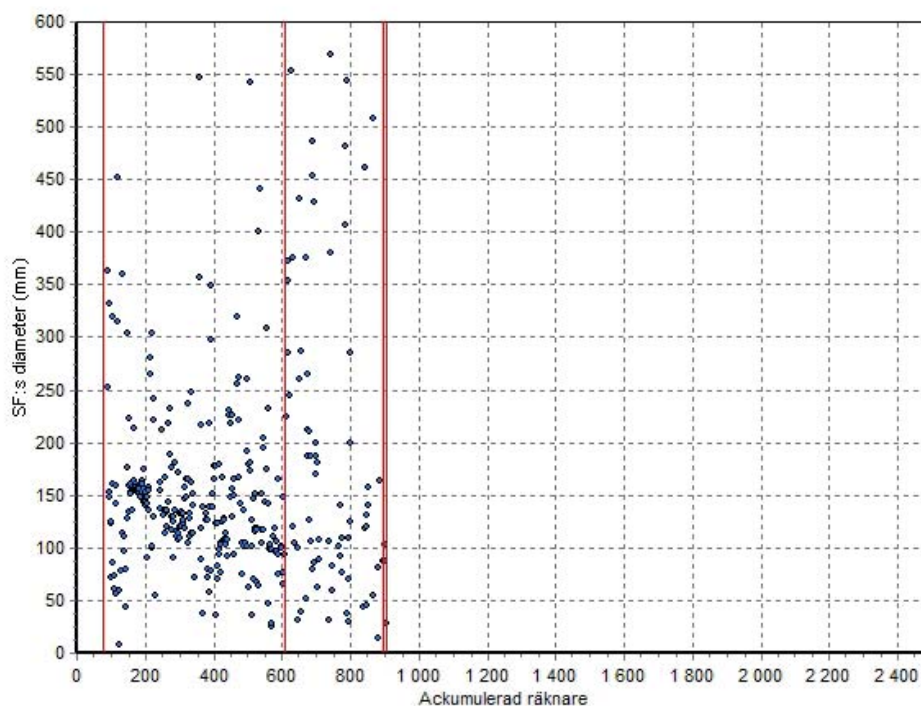
Tabell 3.  
Det tillfälliga felet för det nya mätsystemet för ett antal partier med lite störningar i mätdata.

<b>Stam</b>	<b>Stdavv. (mm)</b>
8	2,4
9	2,2
14	3,0
16	3,8
21	2,6
23	3,8
26	3,8
34	1,7
37	3,9
43	2,3
45	3,8
<b>Medelvärde:</b>	<b>3,0</b>

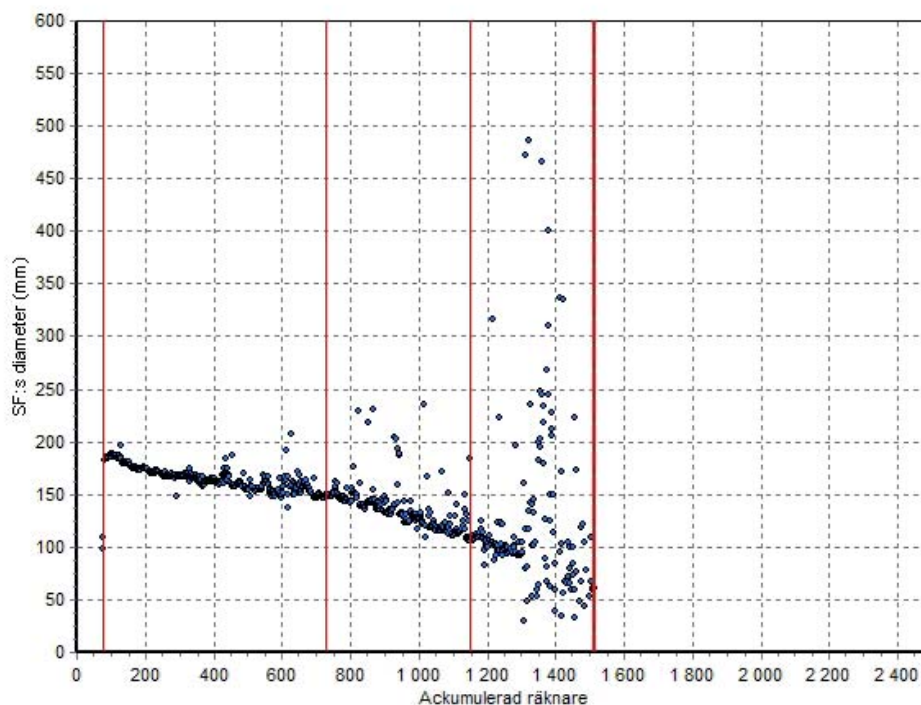
## **RESULTAT FRÅN DEN FÖRSTA DATAINSAMLINGEN I APRIL**

Under datainsamlingen körde skördaren i en förstagallring av tall och merparten av de utgallrade stammarna var klena med 1–2 massavedsbitar per träd. Det fanns också en del inslag av grövre skog.

Granskning av plottade diameterprofiler för de 526 mätta stammarna visade att för huvuddelen av stammarna (80 %) var mätningen att betrakta som misslyckad med mätvärdena mer eller mindre slumpmässigt fördelade längs stammarna (figur 16). För de återstående 20 % av stammarna var diameterprofilerna logiska med varierande grad av störningar (figur 17). Dessa stammar utgjordes framför allt av grövre stammar men en del klenare stammar återfanns också i denna grupp.



Figur 16.  
 Exempel på diameterprofil där mätningen var att betrakta som misslyckad. Ackumulerad räknare är ett uttryck för avståndet från rotändan. De röda vertikala strecken anger registrerad stockände utifrån lasermätningen. Mätdata från det nya mätsystemet startade en bit in på första stocken eftersom mätsystemet var placerat 77 cm ovan kapsågen.



Figur 17.  
 Exempel på stam där mätningen gav upphov till en logisk mätprofil med störningar mot toppen. Ackumulerad räknare är ett uttryck för avståndet från rotändan. De röda vertikala strecken anger registrerad stockände utifrån lasermätningen. Mätdata från det nya mätsystemet startade en bit in på första stocken eftersom mätsystemet var placerat 77 cm ovan kapsågen.

Jämförelse av diameterprofilerna baserade på filtreringen i realtid, respektive filtreringen som gjordes i efterhand visade att filtreringen som gjordes i efterhand inte gav någon effekt för de stammar där mätningen var att betrakta som misslyckad. För de övriga stammarna var effekten likartad som vid de övriga två datainsamlingarna det vill säga huvudsvärmen av diametermåtten från filtreringen som gjordes i efterhand hade en lägre spridning än huvudsvärmen av diametermått från filtreringen i realtid.

Det har inte gått att fullt ut klarlägga orsakerna till att mätningen inte fungerade på en så stor del av stammarna. Analysen av orsakerna har delvis hämmats av att mätdata från den ordinarie diametermätningen (stm-filerna) enbart samlades in från en delmängd av stammarna. Det är dock troligt att för många av stammarna var den bristfälliga mätningen kopplad till deras låga diameter. Med minskande diameter följer en ökande vidd på spalten mellan sensorerna och bakkanten på kvistknivarna, se figur 25 under avsnittet ”Resultat från filmningarna”. Att skräp som stör mätningen huvudsakligen färdas in över kvistknivarna och in mellan sensorer och stam har förts fram som en hypotes vid beskrivningen av skräpproblematiken, se vidare stycket ”Resultat av filmningarna”.

Under datainsamlingen kördes samtliga komponenter i det rengörande systemet. En bidragande förklaring till att mätningen inte fungerade på en så stor del av stammarna kan ha varit att spolarvätskan från det rengörande systemet inte hann torka upp vid upparbetningen av de klenare stammarna eftersom upparbetningstiden för dessa stammar var så kort. Detta förslag till förklaring har dock inte gått att verifiera utifrån befintliga data.

## **RESULTAT FRÅN DEN ANDRA DATAINSAMLINGEN I APRIL**

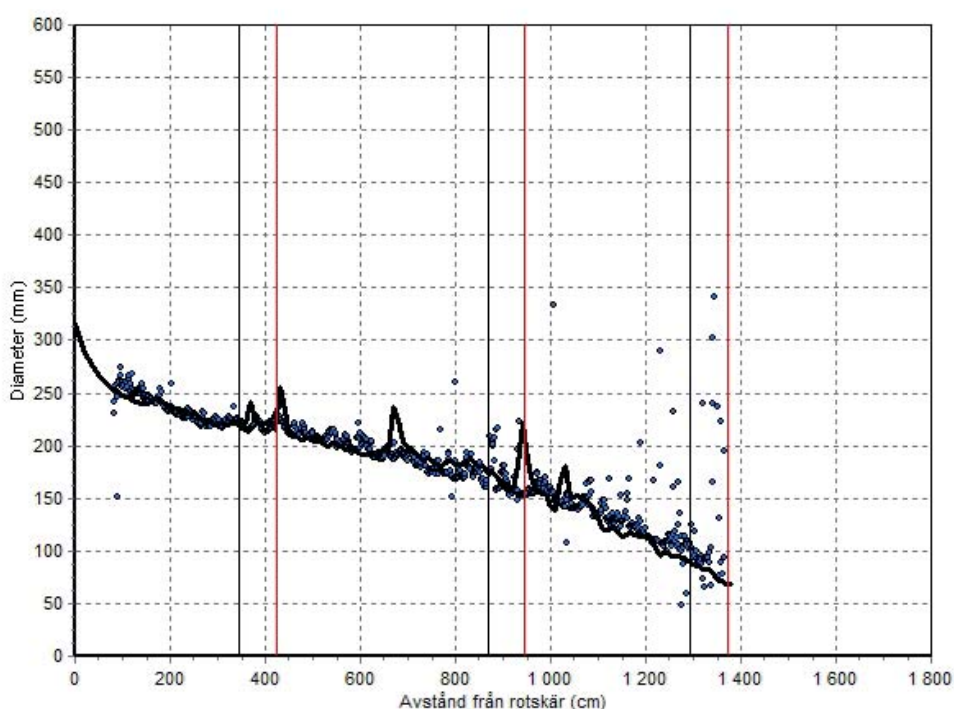
Vid denna datainsamling försökte vi renodla problematiken kring störande skräp som flyger i luften mellan sensorerna och stammen och isolera den från problematiken med skräp som fastnar direkt på sensorernas yta. För att kunna utesluta skräpbeläggning på själva sensorerna som en källa till störning inspekterades sensorernas skyddsglas med ett tidsintervall på 10 till 15 minuter för att säkerställa att dessa var rena och torra. Vid samtliga inspektioner var skyddsglasen rena och torra. Vid några av inspektionerna hade små barkflagor ansamlats i botten av det utrymme som finns mellan sensorernas skyddsglas och fronten i det rengörande systemet men det bör inte ha påverkat mätningen eftersom barkflagorna var belägna utanför kamerornas synfält. De störningar i mätdata som observeras bör därför huvudsakligen vara orsakade av skräp som flyger mellan mätenheterna och stammen.



Mätresultatet åskådliggjordes genom att trädvisa diameterprofiler plottades, det vill säga plottar av de beräknade diametermåten längs stammarna. Vidare klassificerades mätresultatet för respektive stam. Klassificeringen gjordes utifrån diametermåten beräknade från såväl filtreringen i realtid som från filtreringen som gjordes i efterhand. Följande klasser användes:

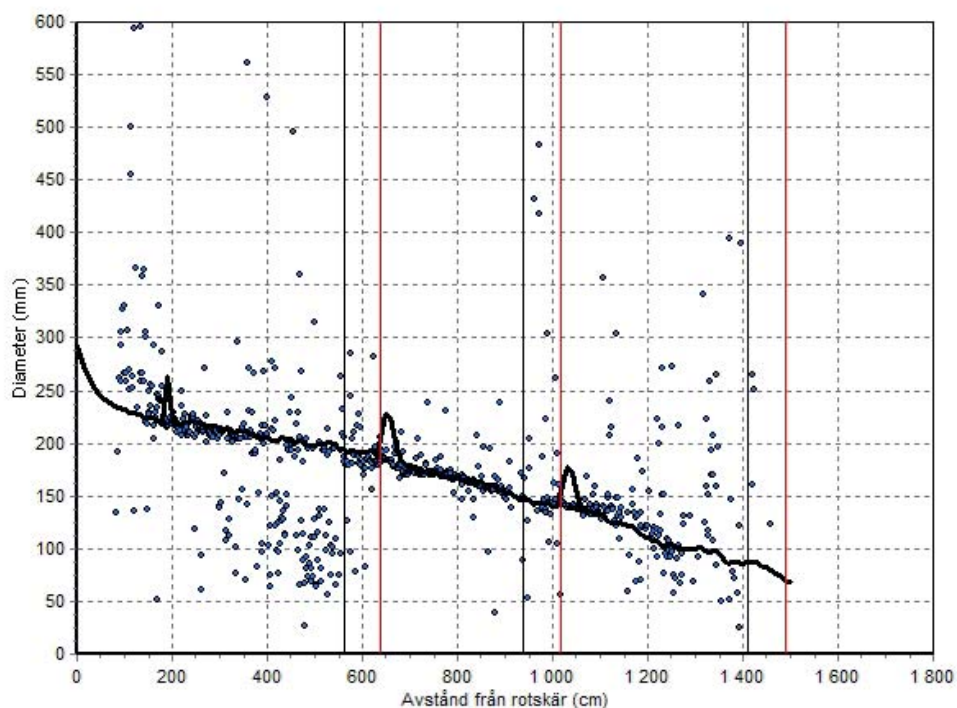
- Klass 1. Stammar där det fanns lite störningar i mätdata.
- Klass 2. Stammar som gav logiska mätprofiler men innehöll mycket störningar.
- Klass 3. Helt misslyckad mätning.

Exempel på diameterprofiler för stammar från de tre klasserna redovisas i figurerna 18–20.

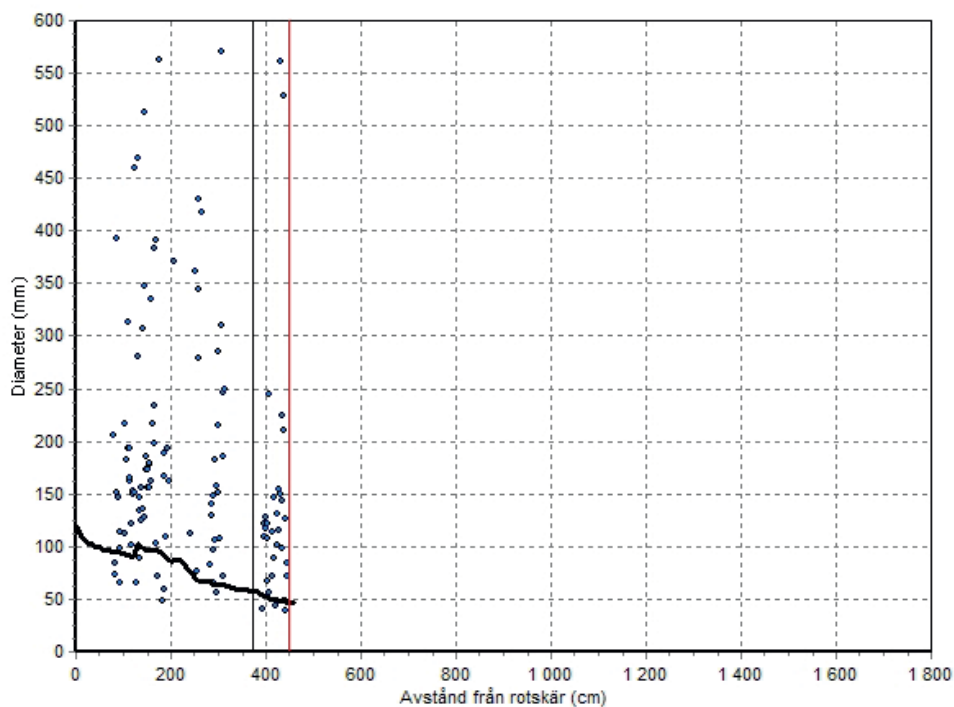


Figur 18.

Exempel på diameterprofil för stam med lite störningar i laserdata (punkter). Mätningen med kvistknivarna anges med heldragen linje. De svarta och röda vertikala strecken anger registrerad stockände utifrån stamfilen respektive lasermätningen. Linjerna är inbördes förskjutna eftersom det nya mätsystemet var placerat 77 cm ovan kapsågen.



Figur 19.  
 Exempel på diameterprofil för stam med logisk mätprofil men med mycket störningar i laserdata (punkter). Mätningen med kvistknivarna anges med heldragen linje. De svarta och röda vertikala strecken anger registrerad stockände utifrån stamfilen respektive lasermätningen. Linjerna är inbördes förskjutna eftersom det nya mätsystemet var placerat 77 cm ovan kapsågen.



Figur 20.  
 Exempel på diameterprofil för stam med helt misslyckad lasermätning (punkter). Mätningen med kvistknivarna anges med heldragen linje. Det svarta och det röda vertikala strecket anger registrerad stockände utifrån stamfilen respektive lasermätningen. Linjerna är inbördes förskjutna eftersom det nya mätsystemet var placerat 77 cm ovan kapsågen.

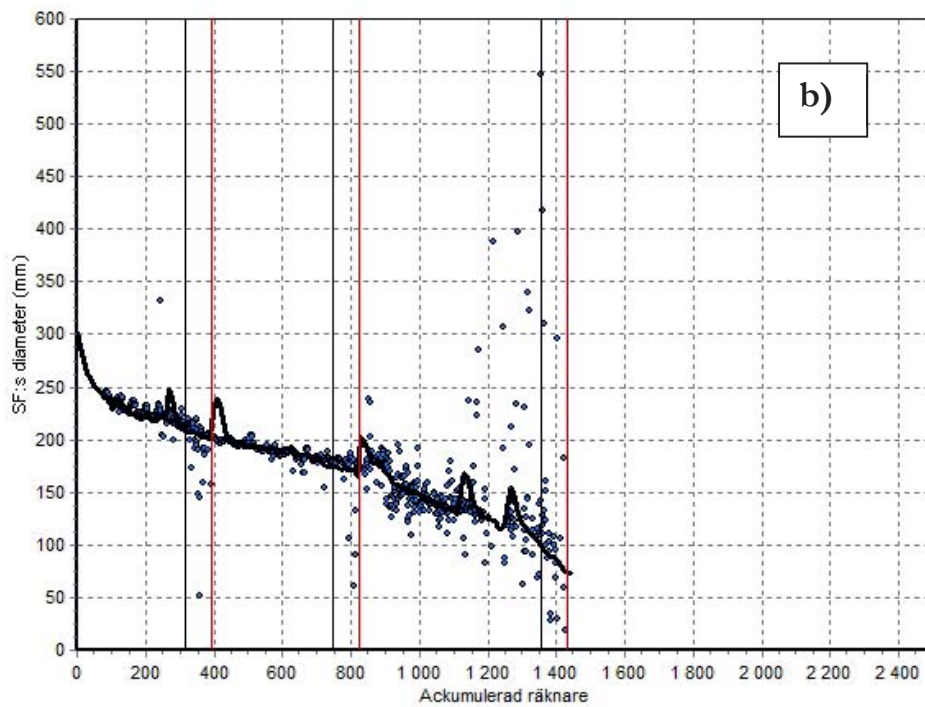
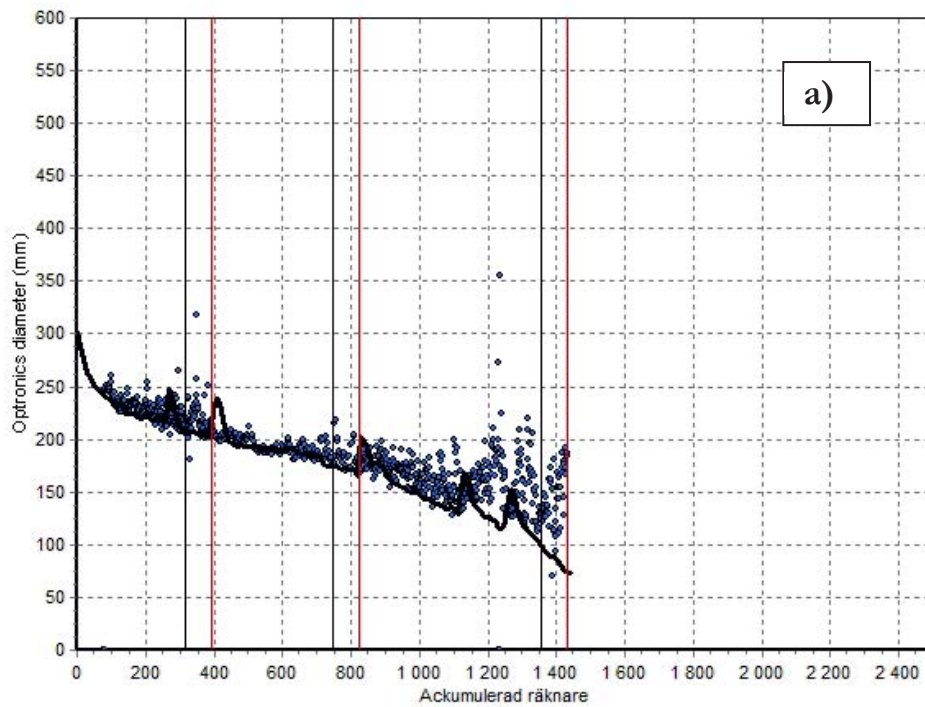
Resultatet från klassificeringen av mätresultatet för stammarna redovisas i tabell 4. För filtreringen i realtid hade cirka en femtedel av stammarna lite störningar i mätdata. Då filtreringen som gjordes i efterhand användes på rådata från samma stammar skedde en omfördelning mellan klasserna; andelen stammar i klass 2 minskade medan andelen stammar i klass 1 ökade till en tredjedel av det totala antalet klassificerade stammar. Detta är en logisk effekt av filtreringen som gjordes i efterhand eftersom den i betydligt högre grad filtrerar bort smått skräp som med filtreringen i realtid genererade avvikande diametermått.

Andelen stammar där mätningen klassificerades som helt misslyckad förändrades inte med filtreringen som gjordes i efterhand och var för båda filtreringarna runt 17 %. För att dessa stammar ska nå ett acceptabelt mätresultat krävs att mängden skräp minskas.

Tabell 4.  
Andelen stammar i de tre klasserna för de två filtreringarna.

Klass	Andel (%)	
	Filtrering i realtid	Filtrering i efterhand
1. Stammar där det fanns lite störningar i mätdata	21	34
2. Stammar som ger logiska mätprofiler men innehåller mycket störningar	62	50
3. Helt misslyckad mätning	17	16

I figur 21 visas exempel på två diameterprofiler beräknade utifrån samma rådata men med olika filtrering. Diameterprofilen som erhöles med filtreringen som gjordes i efterhand (figur 21b) hade en lägre spridning för huvudsvärmen av mätdata än då filtreringen i realtid användes (figur 21a). Vidare var andelen avvikande mätvärden mot toppen av stammarna lägre. Stamvisa jämförelser av diameterprofiler beräknade med de två filtreringarna visade att dessa två effekter var vanligt förekommande.



Figur 21.  
 Diameterprofiler beräknade utifrån samma rådata men där de olika filtreringarna utnyttjats: a) filtrering i realtid och b) filtrering i efterhand. Det svarta och det röda vertikala strecket anger registrerad stockände utifrån stamfilen respektive lasermätningen. Linjerna är inbördes förskjutna eftersom det nya mätsystemet var placerat 77 cm ovan kapsågen.

Finns det då något som kännetecknar stammarna i de olika klasserna eller är störningsgraden slumpmässig och oberoende av faktorer som trädslag och trädstorlek? Referensmätningen från denna datainsamling utgjordes av skördarens ordinarie längd- och diametermätning, registrerad i stamfilerna (\*.STM). Genom att koppla referensmätningen till mätningen med det nya mätsystemet kan slutsatser dras om trädslags- och diameterfördelning för stammarna i de olika klasserna. I tabell 5 och figur 22 visas trädslags- och diameterfördelning för samtliga mätta stammar samt för respektive klass. I tabellen och figuren redovisas enbart klassificeringen utifrån filtreringen som gjordes i efterhand.

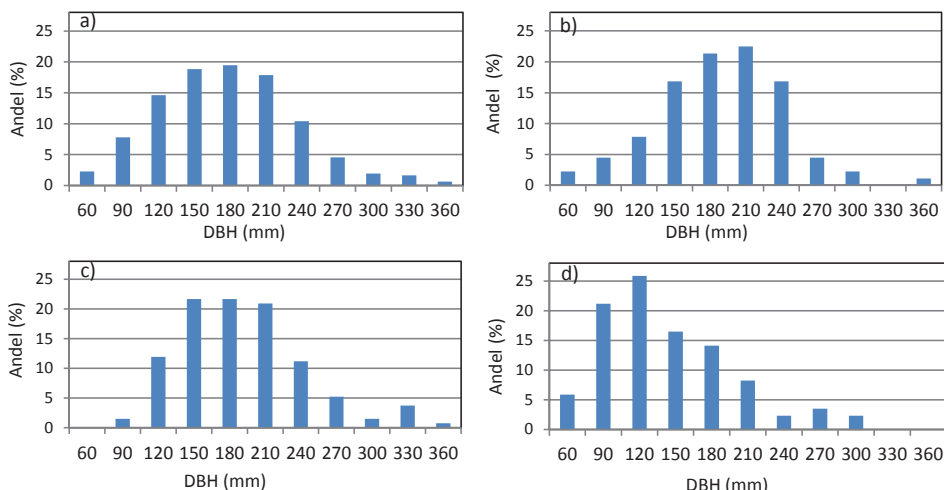
För klass 3, stammar med misslyckad mätning, var gran överrepresenterad i jämförelse med trädslagsfördelningen för samtliga mätta stammar (tabell 5). Vidare var medeldiametern i brösthöjd för stammarna i klass 3 betydligt lägre än medeldiametern för samtliga mätta stammar (figur 22). Stammarna i klass 3 kan alltså karaktäriseras som smågranar av typen enbitsträd i massavedsdimension. Problemet var dock inte helt avgränsat till sådana träd men merparten av stammarna i klass 3 tillhörde denna kategori.

Resultatet av klassificeringen utifrån de två filtreringarna (tabell 4) visade att andelen stammar i klass 3 inte minskade med den nya filtreringen. Eftersom filtreringen som gjordes i efterhand framförallt tog bort mindre skräpobjekt indikerar detta att störningarna för stammarna i klass 3 var av en annan art. Vid datainsamlingen observerades att lågt sittande friska grenar på smågranar ibland inte gick av då skördaraggregatet sattes an. Hela grenar som hamnat mellan sensorerna och stammen kan alltså vara en orsak till störningarna i mätdata för stammarna i klass 3.

För klass 1 var andelen tallstammar överrepresenterade i jämförelse med samtliga mätta stammar. Medeldiametern i brösthöjd var dock betydligt högre för tall än för de övriga trädslagen (medeldiameter: tall=20,4 cm, gran=15,5 cm, björk=17,3 cm). Att tallar är relativt vanligare i klass 1 kan bero både på att dessa stammar var genomsnittligt grövre och att mätningar på tall generellt gick bättre än på gran.

Tabell 5.  
Trädslagsfördelning för samtliga klassificerade stammar samt för de tre klasserna.

Trädslag	Samtliga stammar	Andel (%)		
		Klass 1	Klass 2	Klass 3
Tall	41	61	43	15
Gran	43	26	40	67
Björk	16	13	17	18



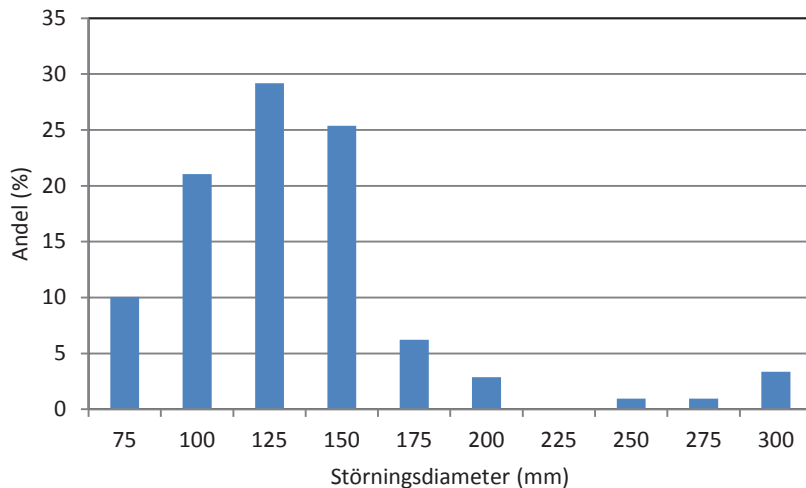
Figur 22. Diameterfördelning för samtliga klassificerade stammar (a), samt enbart klass 1 (b), klass 2 (c) och klass 3 (d).

Är störningarna i mätdata slumpmässigt fördelade längs stammarna eller förekommer de mera frekvent vid vissa diametrar? Granskning av de plottade diameterprofilerna beräknade utifrån den nya filtreringen visade att störningarna huvudsakligen förekom mot toppen av stammarna. Men för att kvantifiera denna iakttagelse gjordes för varje stam en notering av diametern då eventuella störningar förekom. Då störningar förekom i toppen av stammen noterades diametern då störningen startade. För störningar lägre ned på stammen noterades genomsnittlig diameter för störningsintervallet. Denna kvantifiering av diametern för störning gjordes enbart för stammarna tillhörande klass 1 och 2 det vill säga inte för de stammar där mätningen klassats som helt misslyckad.

I figur 23 visas ett frekvensdiagram för diametern då störningar förekom. Av diagrammet framgår att merparten av störningarna förekom vid klenare diametrar det vill säga mot toppen av stammarna. Mot toppen av stammarna ökar mängden kvist och att den ökande mängden kvist givit upphov till ökad mängd skräp som stör mätningen förefaller vara en naturlig förklaring till att störningarna var vanligare mot toppen av stammarna. Mot toppen av stammarna ökar frekvensen backningar av stammen vilket också kan ha bidragit till störningarna t.ex. genom att matarhjulena vid backning slungat in barkpartiklar mellan sensorerna och stammen.

Att den ökade kvistmängden mot toppen av träden fått genomslag i en ökad störningsgrad i mätdata kan också vara kopplat till mätsystemets geometri. I takt med att diametern på stammarna minskar så ökar vidden på spalten mellan sensorerna och bakkanten på kvistknivarna, se figur 25 under avsnittet ”Resultat från filmningarna”. Att skräp som stör mätningen huvudsakligen kommer in över kvistknivarna och in mellan sensorer och stam har förts fram som en hypotes vid beskrivningen av skräpproblematiken (se vidare ”Resultat av filmningarna”). Kännedom om hur skräp kommer in mellan sensorerna och stammen är viktig för ett eventuellt framtagande av skydd mot skräp. Att störningarna har en tyngdpunkt mot klenare diametrar styrker hypotesen att skräp kommer in över kvistknivarna och in mellan sensorer och stam.





Figur 23.  
Diametern på stammarna då störningar förekom. I diagrammet ingår enbart stammar tillhörande klass 1 och 2.

## RENGÖRANDE SYSTEMET – SAMMANFATTNING AV ERFARENHETER

Det rengörande systemet kunde inte testas i den omfattning som ursprungligen var planerat, det vill säga under merparten av de miljöförhållanden som råder under året. Testning av det rengörande systemet genomfördes fullt ut vid två tillfällen: under datainsamlingen i Mickelsträsk samt under den första datainsamlingen i april. Vid dessa två tillfällen kördes samtliga tre komponenter i det rengörande systemet det vill säga kontinuerligt blås med fläkt, lågfrekvent rengöring med vätska (spolarvätska) samt mekanisk avtorkning med en roterande gummiskrapa (vindrutetorkare).

Erfarenheterna från det rengörande systemet kan sammanfattas enligt följande:

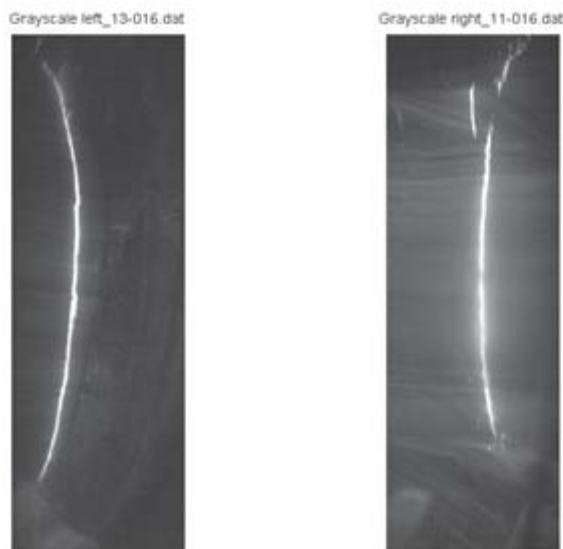
- Under datainsamlingen i Mickelsträsk inspekterades skyddsglasen framför laser och kamera löpande under en dags körning. Motsvarande löpande kontroll skedde under den första datainsamlingen i april då den renhållande effekten följdes noga under 15 respektive 30 minuter. Vid samtliga dessa inspektionstillfällen var skyddsglasen rena och torra det vill säga att det rengörande systemet gav god effekt.
- Under den första datainsamlingen i april kördes det rengörande systemet under längre tid. Vid längre tids körning fanns tendens att mindre partiklar som lavar och bark ansamlades framför laserns skyddsglas och skymde ”sikten”.
- Då det rengörande systemet stängdes av under det andra testtillfället fylldes konsolerna snabbt med skräp.
- Fronten som är monterad längst fram på sensorerna borde vara mer öppen. Skräp som kommit in har svårt att komma ut.

- Brytpinnarna som används för att skydda torkarbladsmotorerna bröts av cirka en gång per dag. En alternativ lösning måste tas fram för en eventuell serieprodukt.
- Luftslangarna som löpte mellan fläktens utblås och sensorerna tenderade att klämmas mellan aggregatet och stående stammar. Därigenom uppstod ”strypningar” på luftslangarna vilket minskade luftflödet. En alternativ dragning av luftslangarna vore att föredra.
- Fläkten som var monterad i den förhöjda tultänken på aggregatet uppvisade god hållbarhet under sex månaders körning i produktionsmiljö. Det ska dock observeras att fläkten enbart kördes under datainsamlingarna.
- Inspektion av sensorernas skyddsglas (safirglas) efter avslutade tester visade att inga repor uppstått på glaset.

## RESULTAT FRÅN FILMNINGARNA

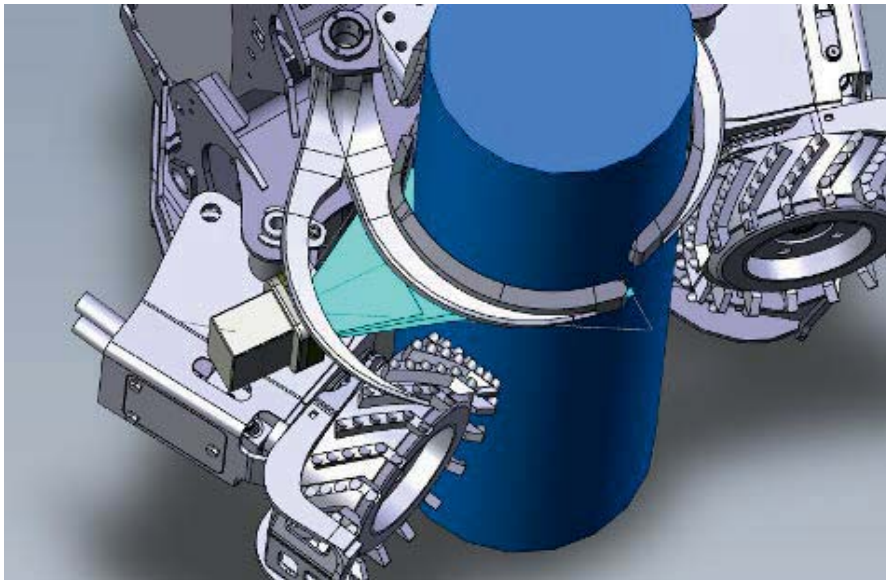
Nedan några intryck/resultat i punktförml från granskningen av de tre filmmaterialen:

- Skräp stör mätningarna genom att det stör bilden av laserlinjen på stammen i kamerorna, se exempel i figur 24. Störningarna leder till avbrott i laserlinjen på stammen och vid mätningen registreras för detta parti av laserlinjen ett för kort avstånd. Vid diameterberäkningen blir effekten att stammens diameter överskattas.



Figur 24.  
Exempel på en barkremsa som stör bilden av laserlinjen i den högra kameran.

- Filmmaterialet indikerade att det framförallt är den mindre skräpfraktionen i form av sönderslagen torrkvist, barkflagor och barkremсор som orsakade störningar. Större friska grenar har hög hållfasthet, förblir därför intakta under kvistningsförloppet och styrs undan från aggregatet. För mätningen är skräp som flyger nära sensorn allvarligast eftersom sådant skräp riskerar att blockera laserns öppningshål och därmed släcka ut hela eller en stor del av laserlinjen.
- Färdvägen för skräp som flyger in mellan sensorerna och stammen är inte fullt ut klarlagd. Hypotesen är dock att huvuddelen av det störande skräpet i form av sönderslagen torrkvist, barkflagor och barkremсор åker in *över* de övre rörliga kvistknivarna och in i det känsliga området mellan sensorerna och stammen, se figur 25 nedan. Som en följd av denna hypotes bör utsattheten för skräp vara störst för klenare diametrar eftersom avståndet mellan kvistknivarna och stammen då är som störst. Detta styrks av mätningarna i projektet i vilka störningarna var som störst för klenare dimensioner, se ”Resultat från den andra datainsamlingen i april”.
- Skräp kan också färdas in i det känsliga området genom att det kommer *under* de övre kvistknivarna eller att det fastnar på matarvalsarna vid kontakten med stammen, följer med en bit och kastas ”uppåt” i aggregatet vid matarvalsarnas rotation. Mängden skräp som åker in under knivarna eller via matarvalsarna bedöms utifrån vad vi vet i nuläget inte vara så stor och åtgärder för att minska skräpmängden bör därför i första hand riktas mot det skräp som åker in över de övre knivarna.



Figur 25.  
Principiell bild av monteraget för det nya mätsystemet. Turkos färg indikerar laserplan och kamerans synfält dvs. det område där infallande skräp stör mätningen. I takt med att diametern på stammen minskar och kvistknivarna rör sig inåt så blir det känsliga området allt mer utbrett.

- En av filmningarna genomfördes under savningstid och då lossnade stora mängder bark under kvistningen av stammarna. Dels i form av större barksjok men framförallt i form av mindre barkflagor. Barken lossnade från stammen i tre punkter dvs. då anläggning skedde mot: i) Övre kvistknivarna. ii) Matarvalsarna. iii) Nedre kvistkniven.
- Större barksjok lossnade framförallt vid nedre kvistkniven. Intrycket från filmerna är att matarvalsarna ruggar upp barkytan och skapar ojämnheter i vilka den nedre kvistkniven griper tag och fläker upp barken, se exempel i figur 26 nedan.
- När det gäller den övergripande skräpsituationen i aggregatet ger filmerna intrycket att mängden barkflagor ökar från den övre kvistkniven mot såglådan, se exempel i figur 27 nedan. Det finns två konsekvenser av denna observation: Dels att det inte finns någon position i aggregatet som är helt opåverkad från flygande barkflagor. Dels att den valda positionen högt upp i aggregatet förefaller vara den mest lämpade ur skräpsynpunkt.
- Matarvalsarna sliter loss stora mängder barkflagor (under savningstid) vilka flyger nedåt i aggregatet vid normal matning. Men då stammen backas under kvistningen kan man förvänta att stora mängder bark åker in i området mellan stam och nuvarande position för givarna. Ingen backning av stammen skedde dock under filmningen.
- Filmmaterialet har gett ger en någorlunda god karaktärisering av den övergripande skräpsituationen i aggregatet under upparbetning. Där-  
emot har det inte givit underlag för att utifrån den nuvarande placeringen av mätsystemet i detalj kunna kvantifiera hur mycket skräp som flyger inom det område mellan givare och stam där det stör mätningen. Därmed är det svårt att avgöra i vad mån skräpet slinker under kvistknivarna eller kommer in över kvistknivarna. Vidare har filmningen inte gett underlag för att fullt ut bedöma skräpsituationen vid kvistningen av topparna på stammarna.
- För att i detalj kunna kvantifiera ovanstående krävs att en metodik tas fram som medger följande:
  1. Att kameran kan placeras så att den ”ser” ut från aggregatet dvs. i en position som ungefärligen motsvarar den nuvarande positionen för givarna.
  2. Att kameran kan ta bilder med hög hastighet. Detta krävs för att undvika rörelseoskärpa på de flygande partiklarna och att man ska kunna se vad för slags skräp det är. Vid filmningen användes 60 bilder/sekund och detta var inte tillräckligt.



Figur 26.  
Bildruta från film som visar hur barksjok fläks upp vid nedre kvistkniven (pil). Det framgår också att matarvalsarna sliter loss stora mängder barkflagor (pil).



Figur 27.  
Bildruta från film som visar hur stora mängder bark rivs loss vid den nedre kvistkniven. Mängden flygande bark vid de övre kvistknivarna förefaller måttlig men är svår att direkt kvantifiera utifrån filmerna.



Figur 28.  
Bildruta från film som visar hur de övre kvistknivarna styr ut barkflagor från stammen. Från filmerna går det inte att kvantifiera hur mycket bark som flyger inom det område (mellan stam och givarna) där det skulle störa mätningen utifrån den nuvarande placeringen av givarna.



## RESULTAT FRÅN WORKSHOPEN – UTGÅNGSPUNKT FÖR EFTERFÖLJANDE PROJEKT

Under workshopen utarbetades ett huvudförslag samt några alternativa förslag med lägre prioritet. Nedan beskrivs dessa förslag och hur effekten av huvudförslaget kan testas.

Ett nytt skydd utvecklas. Skyddet är avsett för montering vid de övre rörliga kvistknivarna. Skyddets uppgift är att styra undan skräp som kommer över de övre rörliga kvistknivarna och toppkniven så att skräpet inte färdas in i området mellan sensorerna och stammen. Skyddet ska ha en fast del och en rörlig del som följer de rörliga knivarnas rörelse under kvistningsförloppet. Skyddet ska vara utformat för att ge effekt framförallt mot sådant skräp som flyger mot eller i omedelbar närhet av sensorerna det vill säga sådant skräp som kan ge allvarliga störningar av mätningarna. Nedan finns några principskisser upprättade av Björn Carlsson och Anders Johansson, SP Maskiner av hur detta skydd skulle kunna se ut. Anders kommentarer kring skisserna finns nedan i kursiv stil:

*På bilderna 1951 och 1955 försöker jag visa hur en fast monterad plåt skulle kunna vara utformad för att hindra skräp att falla "uppifrån" under upparbetning av ett träd.*

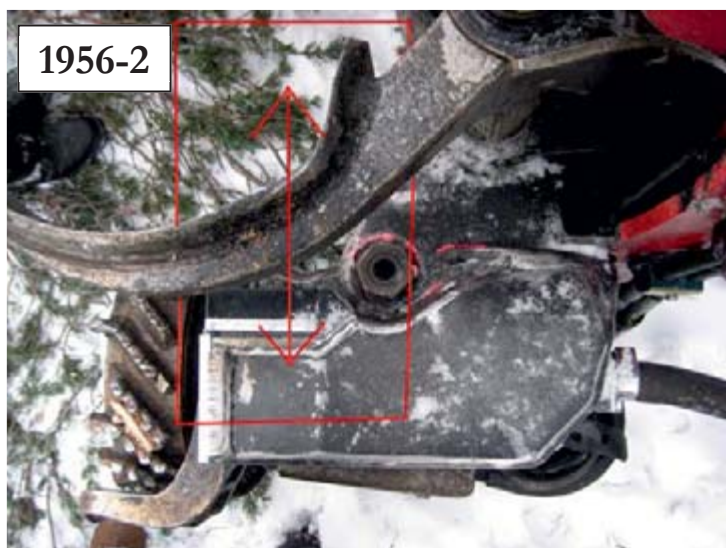
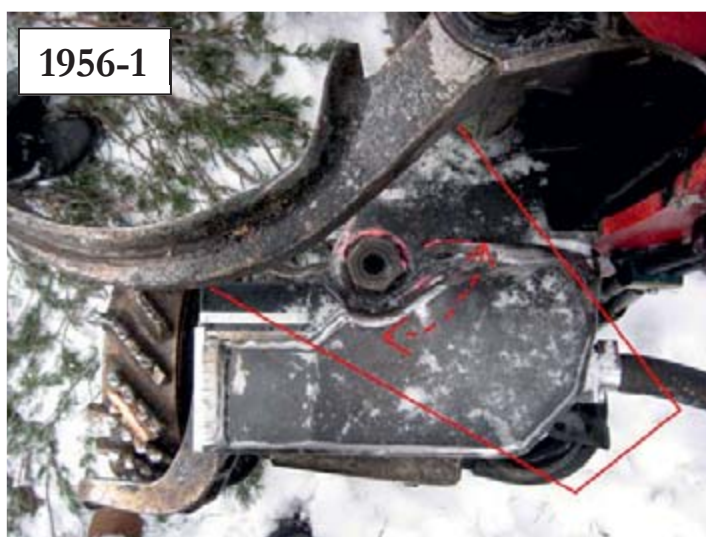




De följande två Valmetbilderna visar förslag på hur grenar framifrån skulle kunna avstyras från området med laser/kamera.

Bild 1956-1 visar hur en plåt skulle röra sig typ "byrålåda" i spår samt med någon typ av hävarm från kvistknivens rörelse.

I bild 1956-2 tänker jag mig att plåten sitter fast i kvistkniven och följer dess vridrörelse. Bägge två plåtarna ligger i nivå under kvistknivsbladet och i princip tätar mot plåten beskriven i bilderna 1951 och 1955. Den är alltså inte svetsad på ryggen av kvistkniven. Däremot skulle dessa skyddsplåtar kunna kombineras med en sådan "ryggplåt" på kvistkniven i lämplig höjd.



Utvärdering av skyddets effekt när det gäller att minska skräpmängden sker initialt genom filmning. Filmning sker under kvistning av ett antal stammar då skyddet är monterat respektive avtaget. Små kameror som betraktar stammen och monteras i skyddsror inne i aggregatet används. Kamerorna placeras mellan matarvalsarna och övre kvistknivarna det vill säga motsvarande position som de nuvarande sensorerna har. En fördel med att använda kameror i utvärderingen är att man omgående kan få vägledning hur skyddet kan förbättras. Detta eftersom man antagligen stegvis måste pröva sig fram vid utvecklingen av skyddet.

Visar sig skyddet ha en positiv och betydande effekt för att reducera skräpmängden kan det befintliga mätsystemet monteras på aggregatet och rådata + gråbilder loggas vid kvistning.

Nedan beskrivs några ytterligare förslag som diskuterades men gavs lägre prioritet än huvudförslaget.

1. Utvärdera möjligheten att placera sensorerna mellan matarvalsarna och nedre kvistknivarna. Skräpsituationen vid denna position utvärderas genom filmning. Kombination med mekaniskt skydd vid övre knivar.
2. Utred möjligheten att placera sensorerna på matarvalsarna. Eftersom sensorerna med en sådan placering kommer att röra sig måste deras position bestämmas med hjälp av vinkelgivare på matarvalsarna. Steg 1 i en sådan ansats är att utföra accelerationsmätning på matarvalsarna för att kolla vibrationsnivån. Kombination med mekaniskt skydd vid övre knivar.

# SAMMANFATTNING FRÅN EXAMENSARBETET ”OPTISK LÄNGDMÄTNING AV TRÄSTOCKAR”

Tobias Andersson, Linköpings Tekniska Högskola



Datum  
2010-10-30

Författare  
Tobias Andersson

Sid  
3 (94)

Titel  
Examensarbetsrapport: Optisk längdmätning av trästockar

## Sammanfattning

En undersökning i hur bra en optisk längdmätning av timmer i ett skördaraggregat med bildkorrelation skulle kunna bli. Detta då i syfte att kunna ersätta det mekaniska mätsystemet i ett modernt skördaraggregat. Ett mekaniskt har svårt att erhålla nödvändig mätnoggrannhet. Det som har gått att se är att bildkorrelation skulle vara en möjlig ersättare och skulle kunna öka mätprecisionen genom att undvika väder och trädvariationer som felfaktorer vid mätning. Det som detta projekt har visat är att det går att mäta timmerstockar med ett mätfel av 5 %. Dessa mätningar har då många kända felfaktorer som går att minimera. Det som har visat sig har stor påverkan på mätresultatet är den optik som användes samt hur och var kameran monterats. Därav är det gjort tester då många av dessa felfaktorer är borta. Dessa tester har visat på att det går att mäta längden med 0.9 % fel. Om detta skulle vara möjligt så skulle man kunna förbättra dagens mätning med 5 gånger. Detta skulle ha som följd att man skulle spara mycket pengar och onödigt spill av råmaterial i skogsindustrin. Men som framgår av rapporten så finns det mycket kvar att göra innan detta skulle gå att använda. Dessa tester är genomförda i testrigg utan störkällor som kan förekomma i skogen. Till många av dessa finns det lösningar som då skulle kunna erhålla befintlig mätprecision eller till och med att öka den.

## Nyckelord

Beröringsfri mätning, Optik, Korrelation, Bildbehandling

## Referenser

- Andersson, M. 2004. Simulering av dimensionsmätare för skördare. Arbetsrapport nr 577. Skogforsk, Uppsala. 14 s.
- Andersson, M., Hannrup, B., Larsson, W., Wilhelmsson, L., Grönlund, A., Nyström, J., Johansson, S. & Oja, J. 2008. Slutrapport för projekt "Mätteknik för avverkningsmaskiner". Arbetsrapport 664. Skogforsk, Uppsala. 44s.
- Andersson, T. 2010. Optisk längdmätning av trästockar. Examensarbete vid Linköpings Tekniska Högskola. 85 s.
- 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 diametermätning i skördare – vägar till bättre måttnoggrannhet. LUTAB-R-3104. Utredning utförd på uppdrag av Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.
- Chiorescu, S. & Grönlund, A. 2001. 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 diametermätning för praktiskt bruk i skördare – en förstudie". 6 s. samt 12 bilagor.
- Lindman, M. 2005. Sågutbytets påverkan för den svenska sågverksindustrins lönsamhet. C-uppsats, Inst. för industriell ekonomi och samhällsvetenskap. ISSN 1402 – 1773. 35 s.
- Löfgren, B., Wilhelmsson, L., Hummel, H. & Ericson, M. 1997. Beröringsfri diametermätning. Slutrapport. Arbetsrapport 365. Skogforsk (Uppsala). 33 s.
- Löfgren, B. & Wilhelmsson, L. 1998. Beröringsfri diametermätning – rapport från ett utvecklingsprojekt. Resultat 13. Skogforsk. 4s.
- Möller, J. 2000. Mättnoggrannhet i kedjan skog-såg. Arbetsrapport Skogforsk nr 461. 15 s.
- Möller, J., Sondell, J., Lundgren, C., Nylinder, M. & Warensjö, M. 2002. Bättre diametermätning i skog och industri. Redogörelse no. 2. Skogforsk. 32s.
- Möller, J. & Arlinger, J. 2007. Virkesvärdestest 2006 – mättnoggrannhet. Resultat 5. Skogforsk. 4 s.
- Möller, J. J., Arlinger, J., Hannrup, B. & Jönsson, P. 2008. Virkesvärdestest 2006. Redogörelse no. 5. Skogforsk. 52 s.
- Möller J.J. & Hannrup, B. 2006. Potential med bättre mätsystem på skördare. Opublicerat. 7 s.
- Uusijärvi, R. 1987. Givarteknologi för skogsbruket – sammanfattning av ett NSR-projekt. Rapport från Trätek. 38 s.
- Wilhelmsson, L. 2006. Virkets värde är frukten av ditt arbete. I: Åkerman, L., Redogörelse 2, s 68-73. Skogforsk (Uppsala).
- Wilhelmsson L. & Arlinger J. 1997. Hur mycket är det värt att mäta diametern "rätt" i skördare. Arbetsrapport Skogforsk nr 366. 9 s.



Jan Sondell, Mikael Andersson, Björn Hannrup

2006-02-20

Projekt beröringsfri diametermätning för praktiskt bruk

## Preliminära operativa krav på diametermätning i skördare

### Bakgrund

I de skogliga värdekedjorna lägger skördarens arbete grunden för en rad efterföljande processteg och för slutprodukternas kvalitet. Skördaren faller och kvistar träden samt optimerar sönderdelningen av stammarna utifrån en kontinuerlig mätning av längd och diameter. Noggrannheten i denna mätning påverkar skogsbrukets förmåga att uppfylla industrins beställningar liksom effektiviteten i vidareförädlingen. Till exempel kan beställda stocklängder vara olika för olika diameterklasser vilket tydliggör behovet av en hög precision vid diametermätningen.

År 1981 upprättade skogsbruket krav på noggrannhet vid diametermätning (Myhrman & Sondell 1981). Kraven var separerade med hänsyn till vilken typ av virke det gällde och avsåg mätning på bark. För toppstockar skulle mätnoggrannheten vara  $\pm 6$  mm och  $\pm 4$  mm på bark för övriga stockar. Senare har kravet förenklats till att gälla  $\pm 4$  mm för samtliga typer av virkesbitar. Kravet gäller för 90 % av bitarna.

Dagens berörande mätsystem för diametermätning utnyttjar givare kopplade till kvistknivarna alternativt till matarvalsarna. Dessa system uppfyller inte de ovan uppställda kraven. Med väl kalibrerade givare kan skördare under kortare perioder nå upp till ca 75 % av stockarna inom  $\pm 4$  mm på bark (Möller m.fl., 2002a). De flesta maskiner har dock en lägre noggrannhet och för en ”genomsnittlig” skördare faller 50-60% av mätvärdena inom  $\pm 4$  mm vid normal drift enligt en sammanställning av studier (Möller m. fl., 2002 a,b) och praktiska uppföljningar (Hannrup, B. opublicerat).

Denna kravspecifikation utgör en del av en förstudie om beröringsfri diametermätning, initierad av brukare och maskintillverkare. Specifikationen syftar till att sammanställa de operativa och tekniska krav som intressenterna i projektet ställer och som kan vara vägledande vid utvecklandet av ett beröringsfritt mätsystem.

## Utformning av kravspecifikationen

### Kravnivåer

Kraven nedan är separerade på skall- och börkrav. Skallkraven är minimikrav som bedöms möjliga att uppnå idag eller i morgon och börkraven är önskvärda i ett längre perspektiv om de kan uppnås på ett kostnadseffektivt sätt. Det är dock viktigt att i möjligaste mån beakta börkraven vid utvecklingen för att underlätta implementeringen av dessa senare.

## NÅGRA FÖRSLAG TILL DEFINITIONER

### Kalibrering av systemet (grundkalibrering)

Åtgärd, automatiserad eller manuell, som fastställer sambandet mellan mätvärdet från skördarens mätsystem och motsvarande kända värden, t.ex. på en provkropp och anpassar skördarens mätsystem därefter.

### Justering mot praktiska mått (löpande kalibrering)

Justering av mätvärdet från skördarens mätsystem med hänsyn till aktuella förutsättningar vid avverkning, t.ex. varierande barktjocklek eller varierande mängd barkavskav.

### Kontroll

Aktivitet med huvudsyfte att avgöra om skördaren mäter rätt.

### Kontrollmätning

Manuell mätning för att konstatera om maskinen mäter rätt vid ett visst tillfälle eller under en viss period.

## Operativa krav på ett beröringsfritt system

### Mätnoggrannhet

Skördarens mått jämfört med en referensmätning **skall** ha en högsta standardavvikelse på 3,5 mm under bark och **bör** ha en högsta standardavvikelse på 2,5 mm **under bark**. (Standardavvikelsen 3,5 mm under bark motsvarar det gamla kravet på 90 % inom  $\pm 4$  mm på bark.)

Tvårsnittets maximi- och minimidiameter **skall** kunna beräknas och registreras separat i skördarens pri-fil. Standardavvikelsen för sådana mått **skall** inte överskrida 4,5 mm under bark.

### Måttställe

Mätvärdena som ligger till underlag för diametermått **skall** tas i samma plan som ett tvärsnitt av stammen, alltså inte vara spridda i längdled. Måttstället i aggregatet **bör** väljas där barkskadorna till följd av virkets upparbetning ger så litet fel som möjligt.

Systemet **bör** kunna avgöra om en mätpunkt är på eller under bark.



## Mätningens frekvens

En mätning per 10 mm **skall** kunna utföras under stammens matning med upp till 5 m per sekund. Vid högre matningshastighet kan proportionsvis glesare mått accepteras. Mätssystemet **bör** klara en samplingsfrekvens som motsvarar en matningshastighet på 10 m per sekund. Mätvärden **skall** kunna redovisas också per 10 mm (det sker annars normalt idag per 100 mm).

## Kalibrering och kontroll av mätnoggrannheten

Kalibrering av mätssystemet skall ske mot en dimensionsstabil provkropp. Sådan kalibrering skall i princip bara behöva ske vid inkörning och efter reparation av mätssystemet.

Systemet skall löpande göra egen kontroll av att funktionen är korrekt utan att det stör produktionen i skördaren. Vid fel på mätssystemet skall föraren varnas genom ett intelligent varningssystem.

Kalibreringen skall också kunna kontrolleras av förarna med hjälp av en provkropp e dl. Förarkontrollen skall kunna utföras på 10 minuter och bör gå att utföra på 5 minuter.

Löpande manuell justering av mätssystemet mot praktiska mått skall om nödvändigt kunna ske genom korsklavning eller annan metodik som kan behöva utvecklas.

## Miljötolighet

Systemet **skall** kunna användas under alla tänkbara väderförhållanden och vara okänsligt för ljus, fukt, snö, vibrationer, buller och temperatur. Systemet **skall** fungera i temperaturer mellan – 40 och + 50 grader och **skall** inte skadas av temperaturer mellan – 55 och + 80 grader. Oljor och andra ämnen från aggregatet **skall** inte heller påverka mätningen.

## Skötsel

Skötsel av mätssystemet **skall** normalt bara behöva ske en gång per 8 timmars skift. Behovet av rengöring **skall** automatiskt kännas av.

Tidsåtgången för rengöring **skall** vara högst 8 minuter och **bör** vara högst 4 minuter.

## Underhåll och reparation

Systemet **bör** vara uppbyggt så komponenter lätt kan bytas. MTBF (Mean Time Between Failure) för systemet **skall** vara minst 2000 timmar men **bör** vara minst 5000 timmar.

## Omgivningspåverkan

Systemet **skall** inte ofrivilligt påverka (störa) andra system på maskinen eller negativt inverka på förarens arbetsmiljö.

## Mätning av andra egenskaper

Möjligheten att också mäta andra egenskaper hos trädet bör beaktas vid val av teknik för diametermätning.

## Kommentarer till kraven

### Mätnoggrannhet

För enkel uppföljning i praktiken kan kravet på mätnoggrannhet under bark behöva omformas till ett mått på bark. Kravet på en standardavvikelse på 3,5 mm under bark motsvaras då preliminärt av 2,5 mm på bark.

### Måttställe

Stammen på ett nyfällt träd är alltid oskadad tills den börjar matas in i skördaraggregatet. Detta ger viss möjlighet att vid olika diametrar prediktera var barkskador kommer att uppstå till följd av matarvalsars och kvistknivars anliggningspunkter på stammen och därmed att avgöra om en mätpunkt har oskadad bark eller inte.

### Mätningens frekvens

Ju högre mätningens frekvensen är, desto mer detaljerat kan stammens konturer registreras. På massavedsdelen, där mätningens hastighet troligen är störst är sådan registrering dock mindre viktig.

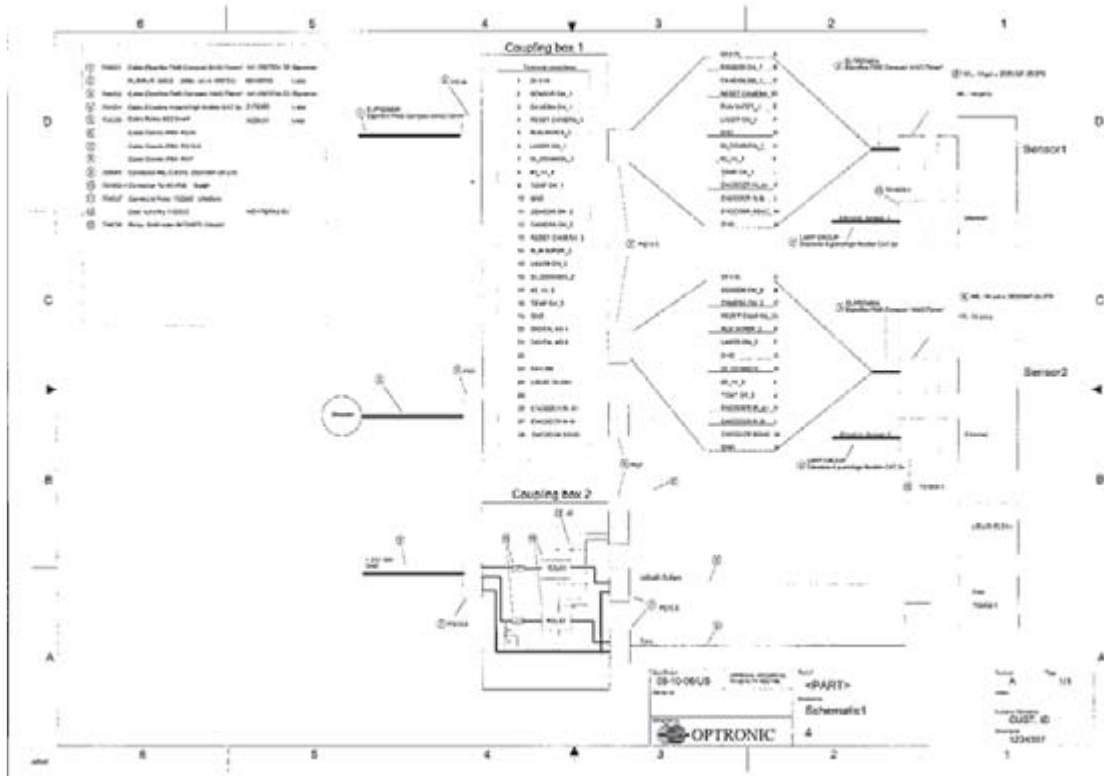
### Miljötålighet

Under korta perioder med extrem temperatur kan det finnas skäl att acceptera en något sämre precision i mätsystemet.

## Referenser

- Myhrman, D. Sondell, J. 1981. Operativa krav för kvistare-kapare och skördare i slutavverkning. Intern stencil – Skogsarbeten. 9 s.
- Möller, J., Sondell, J. & Arlinger, J. 2002a. Virkesvärdestest 2001 – apteringsfrågor. Redogörelse no. 7, Skogforsk. 42 s.
- Möller, J. Sondell, J. Lundgren, C. Nylinder, M. Warensjö, M. 2002b. Bättre diamettermätning i skog och industri. Redogörelse no. 2. Skogforsk. 32 s.

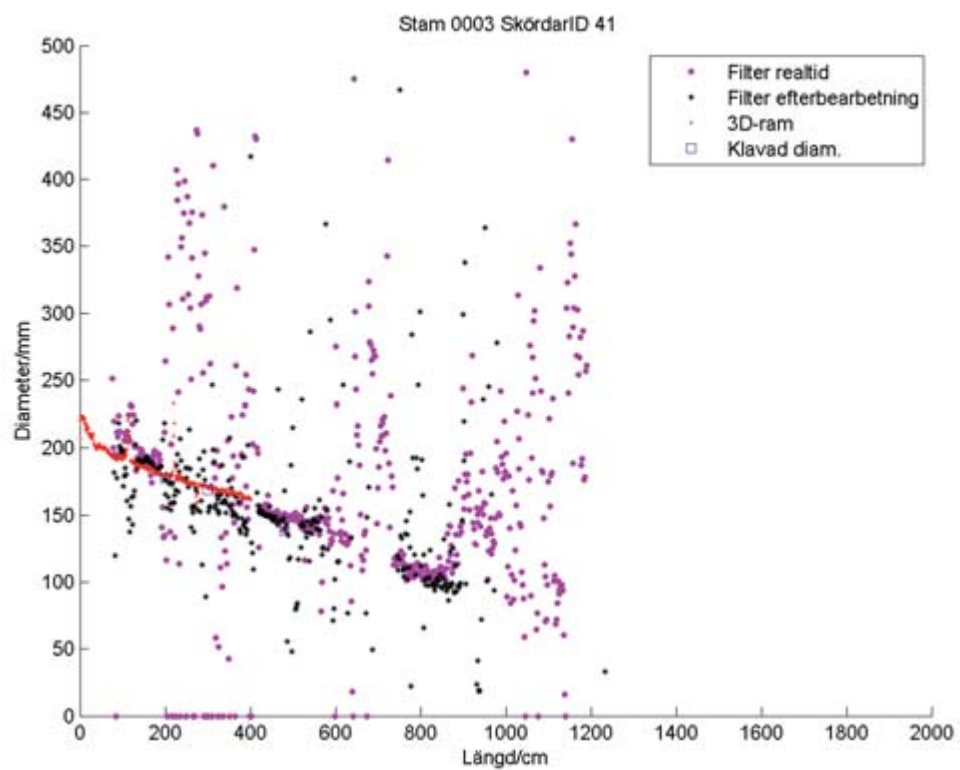
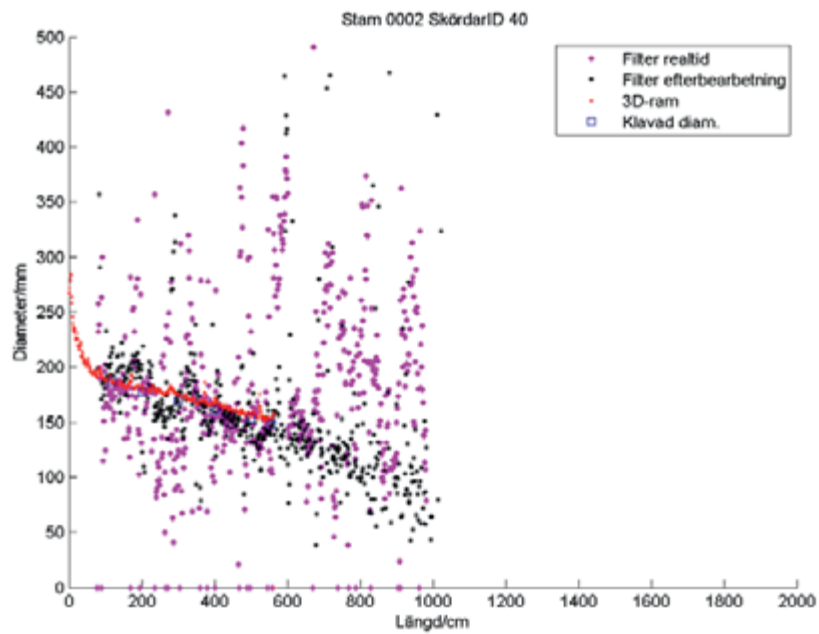
Schema över kablage och kopplingsboxar

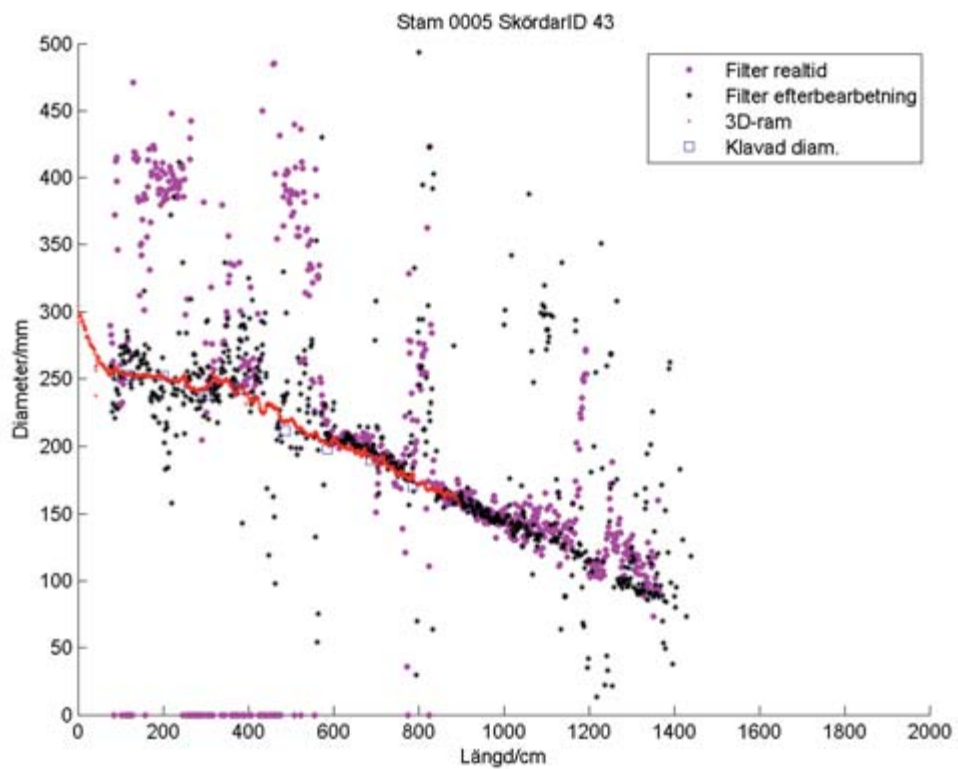
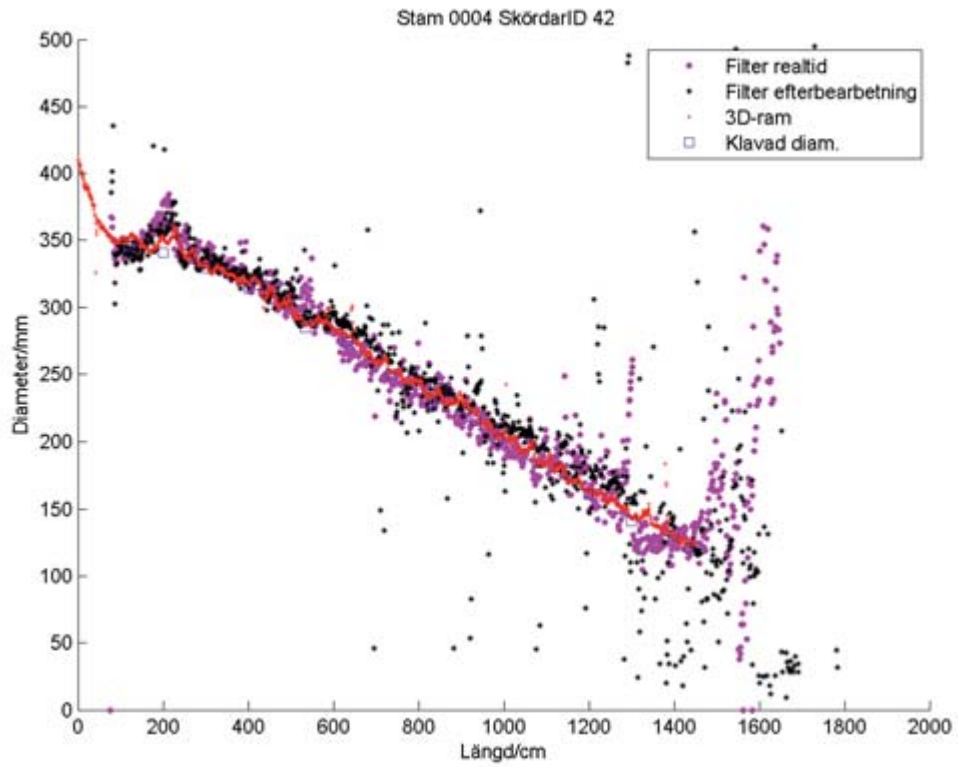




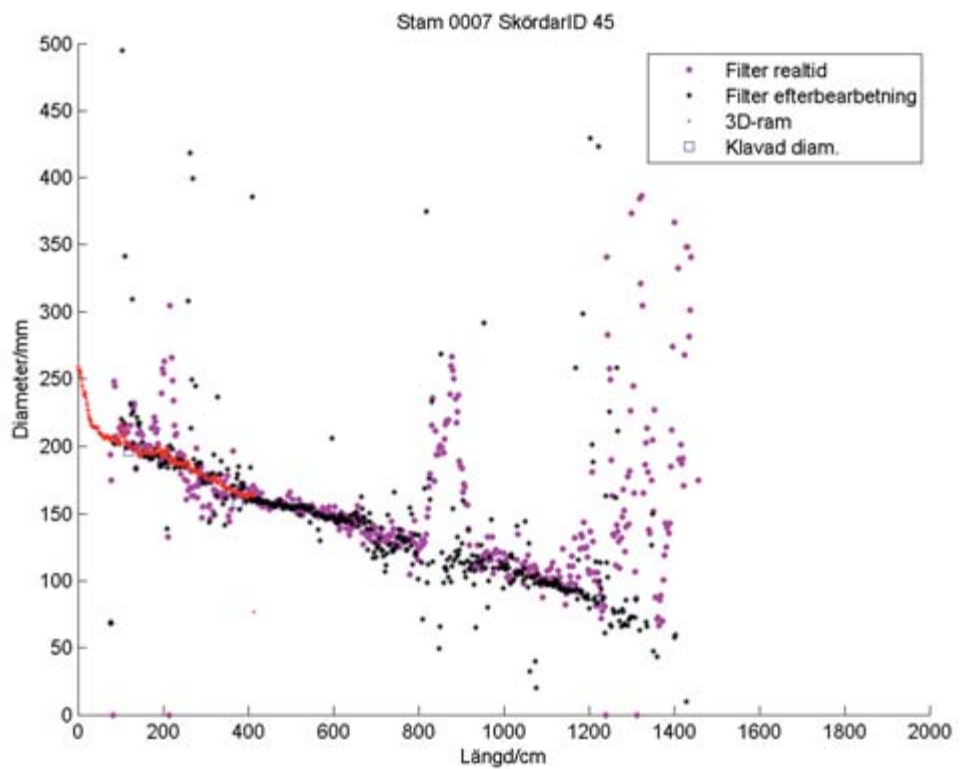
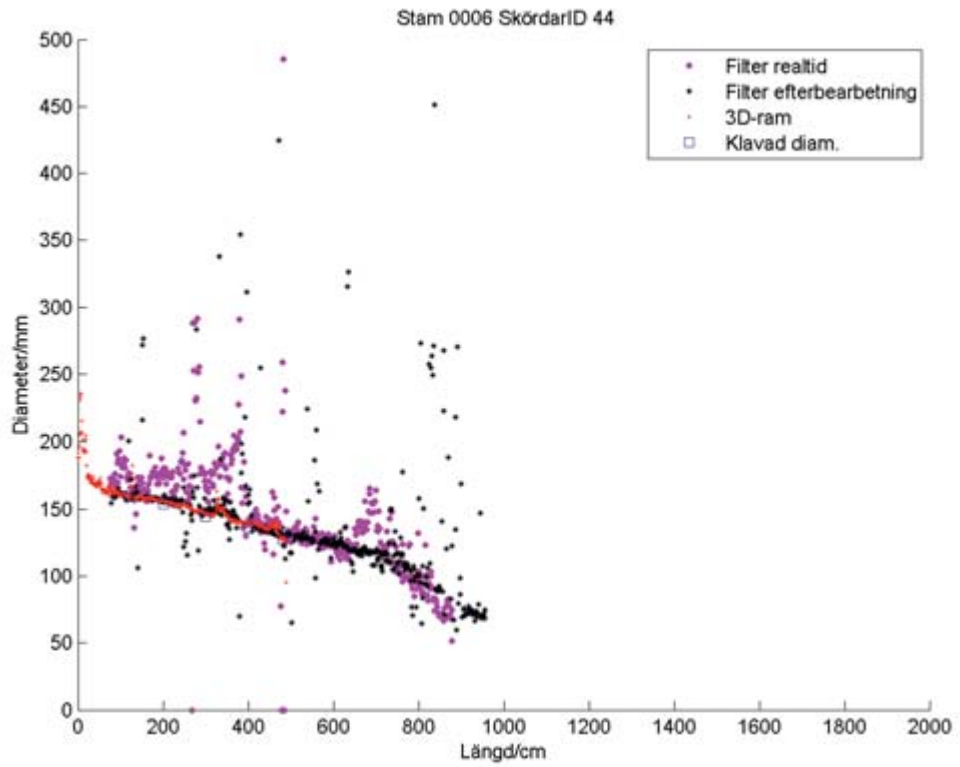
## Bilaga 3

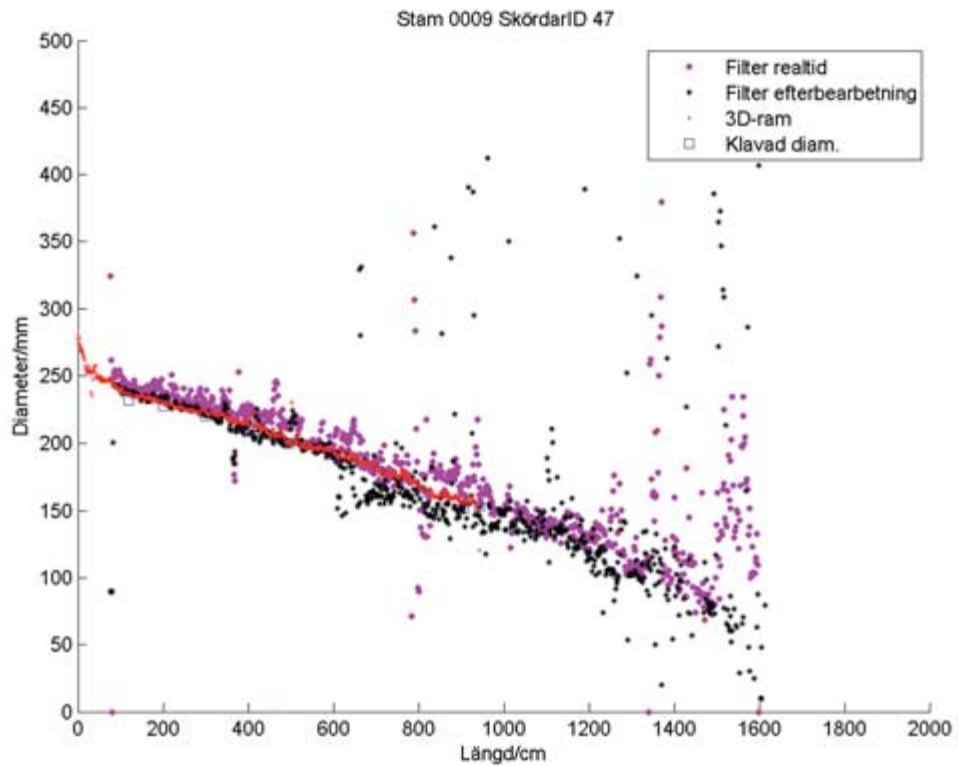
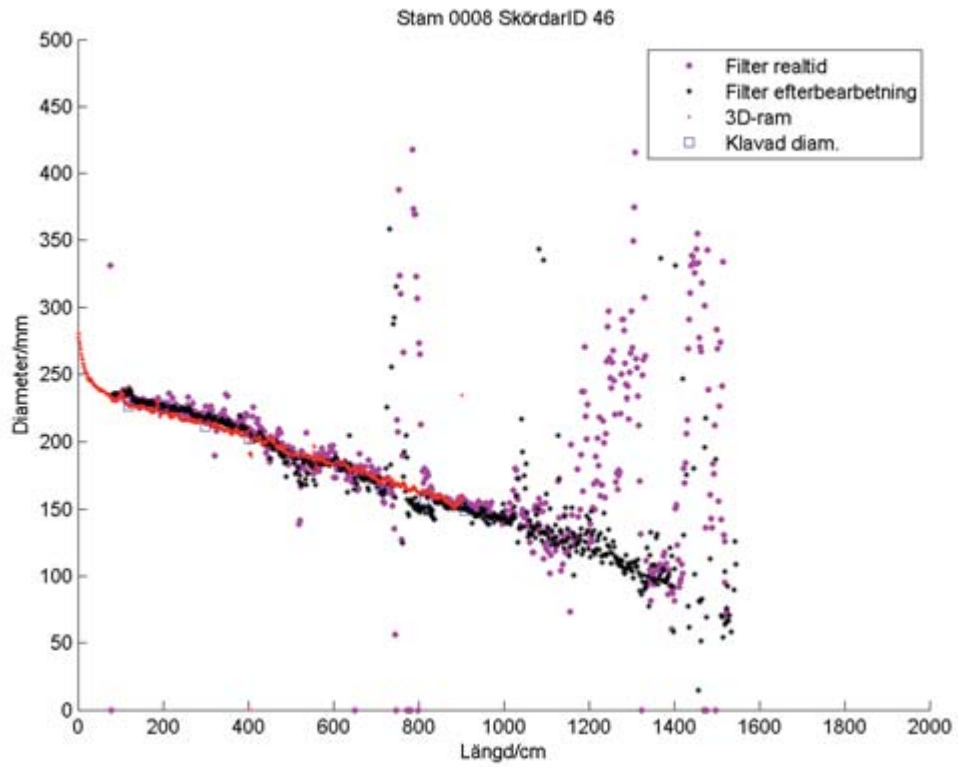
### Plottar av diameterprofiler för stammar från datainsamling 1 - Mickelsträsk

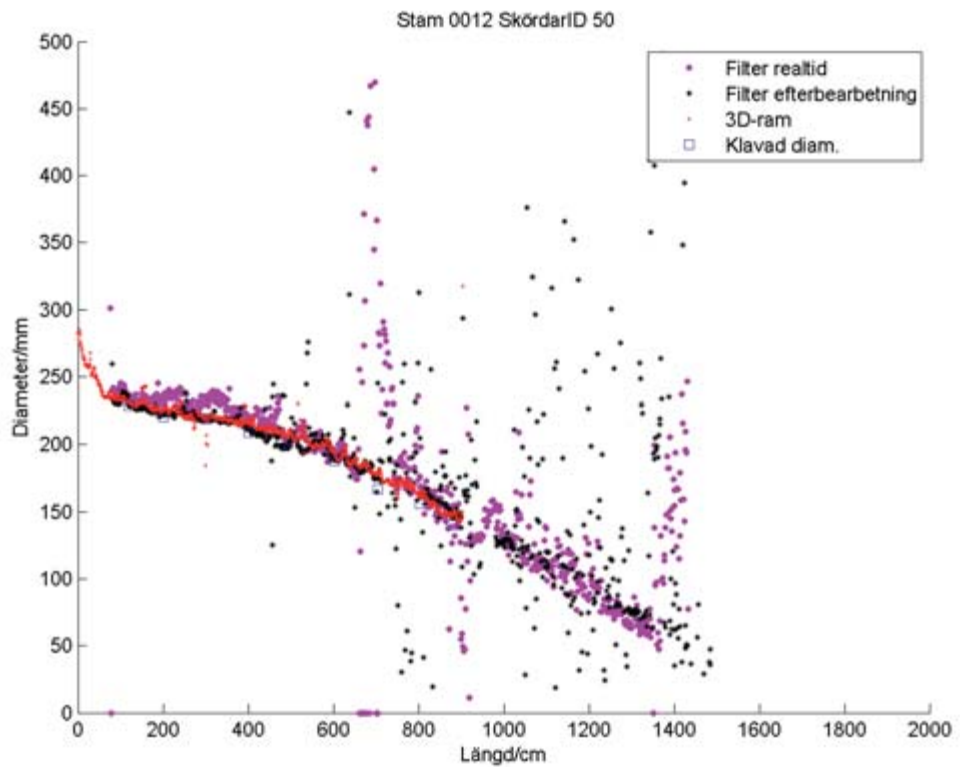
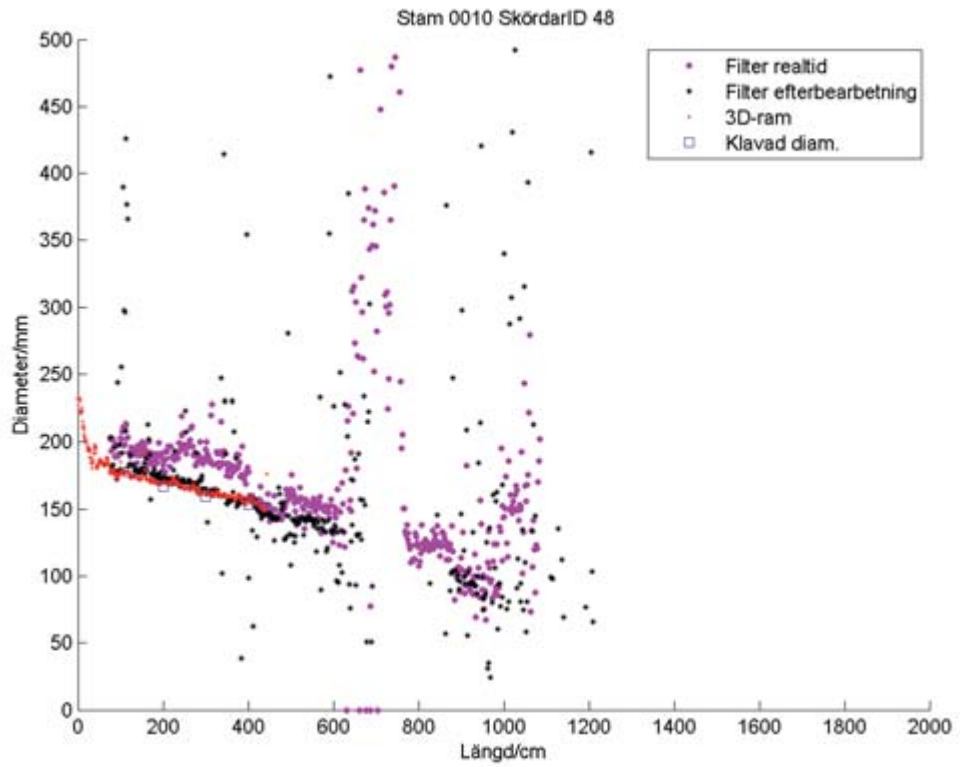


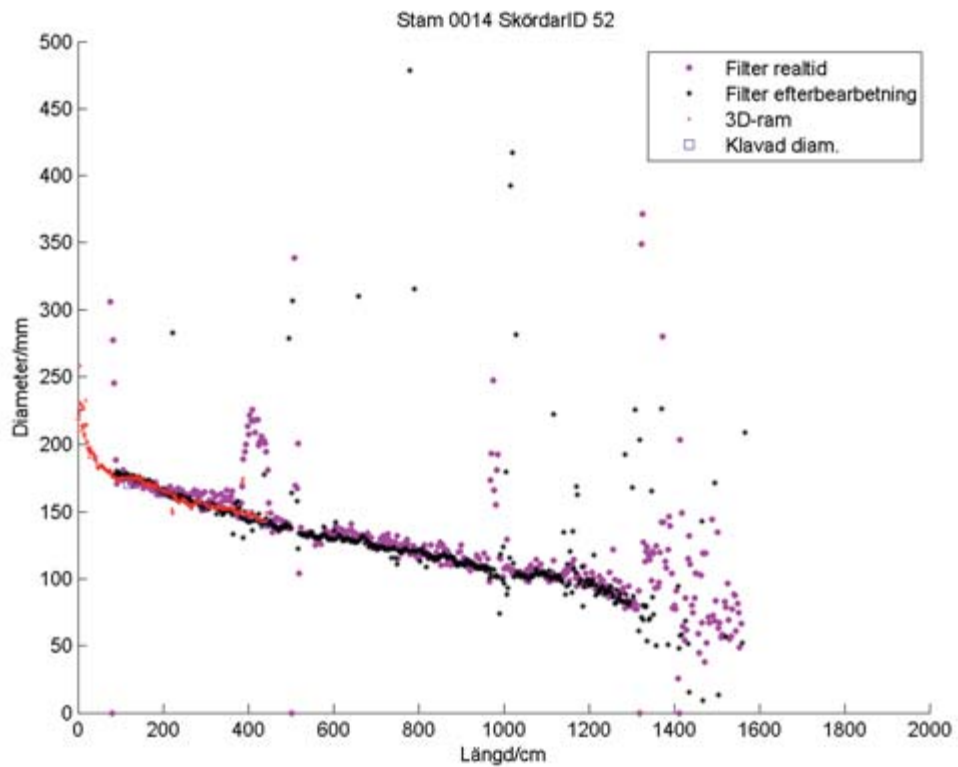
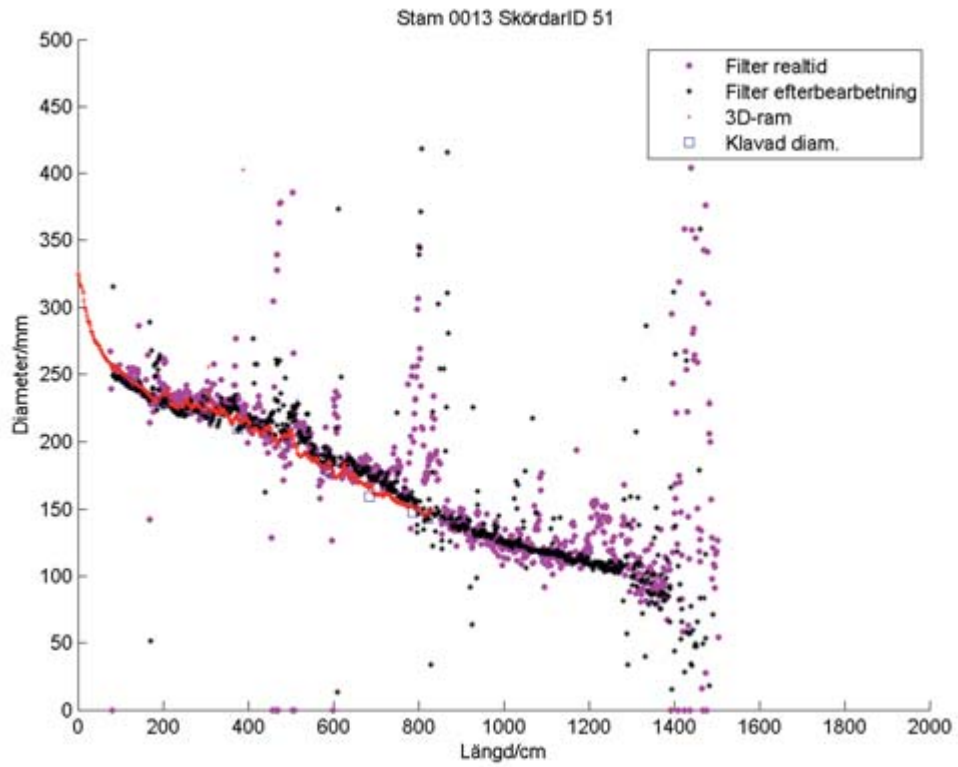


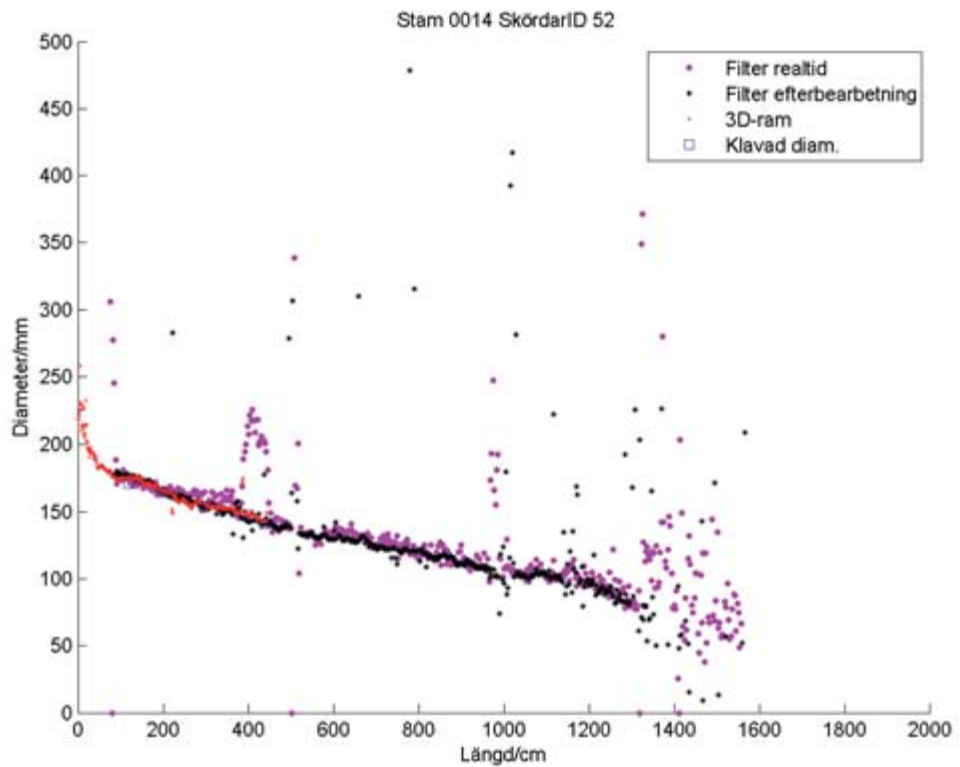
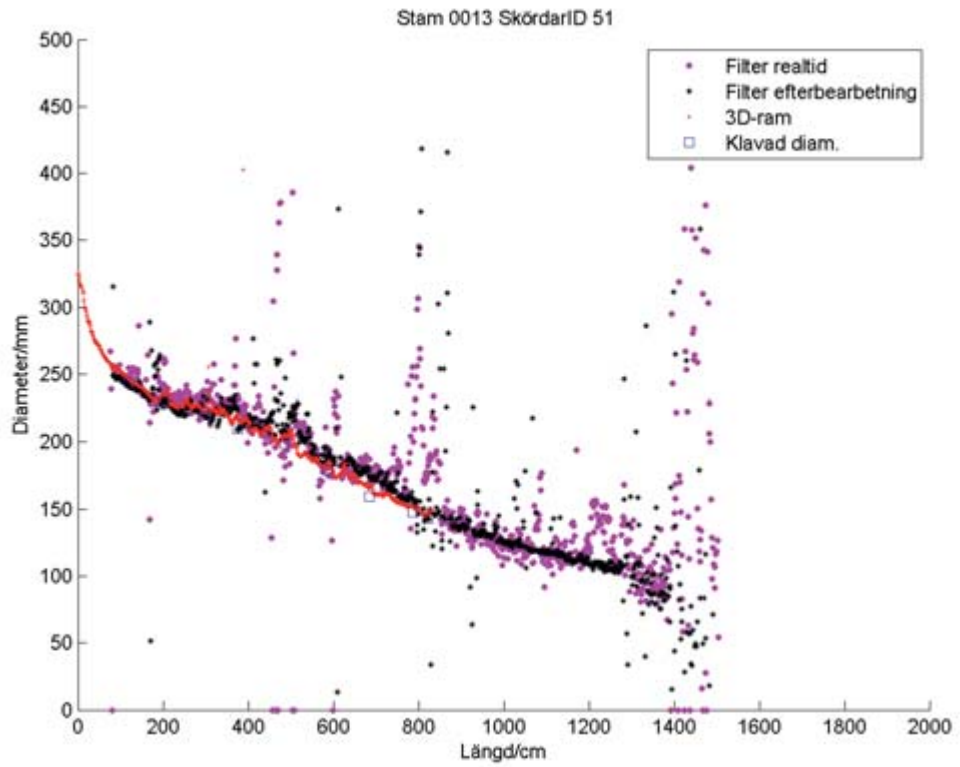


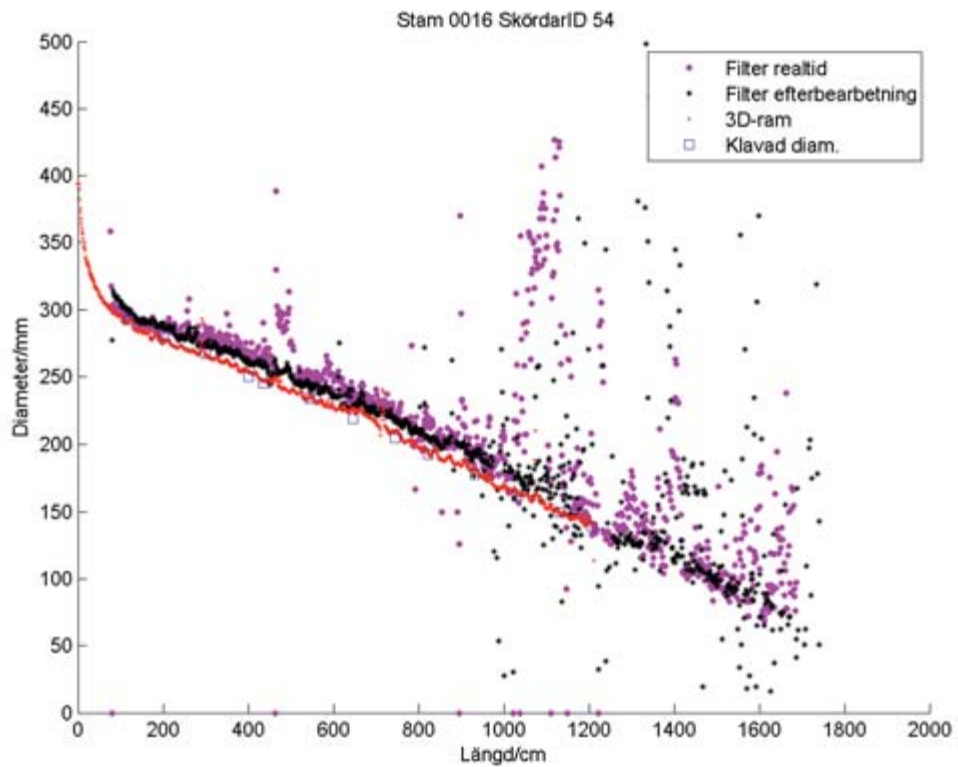
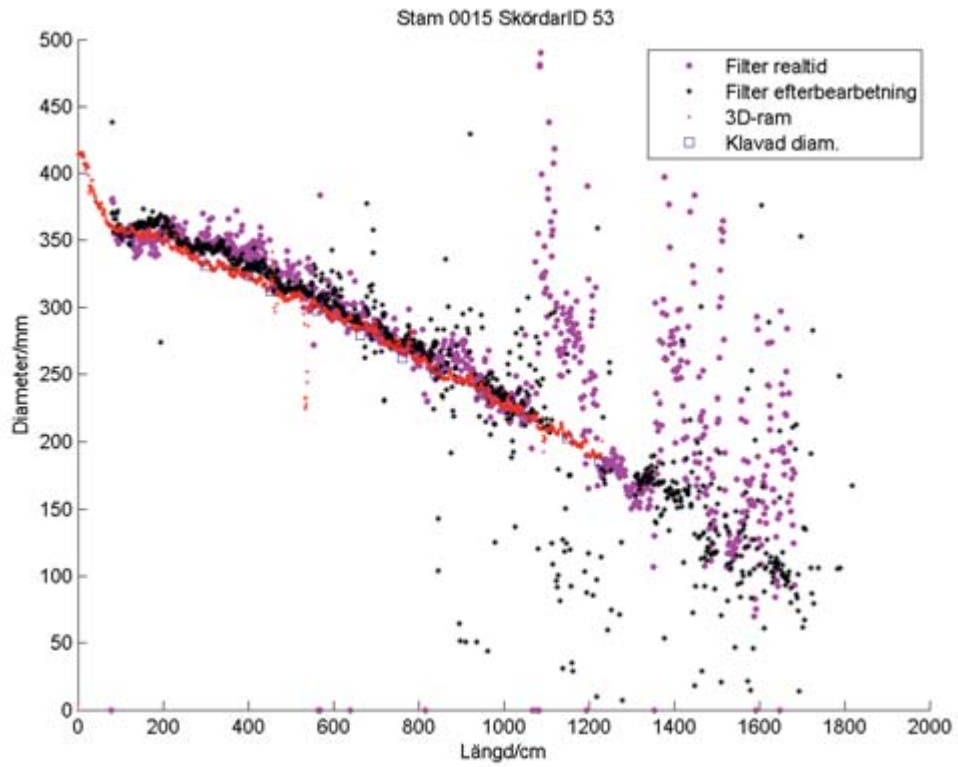




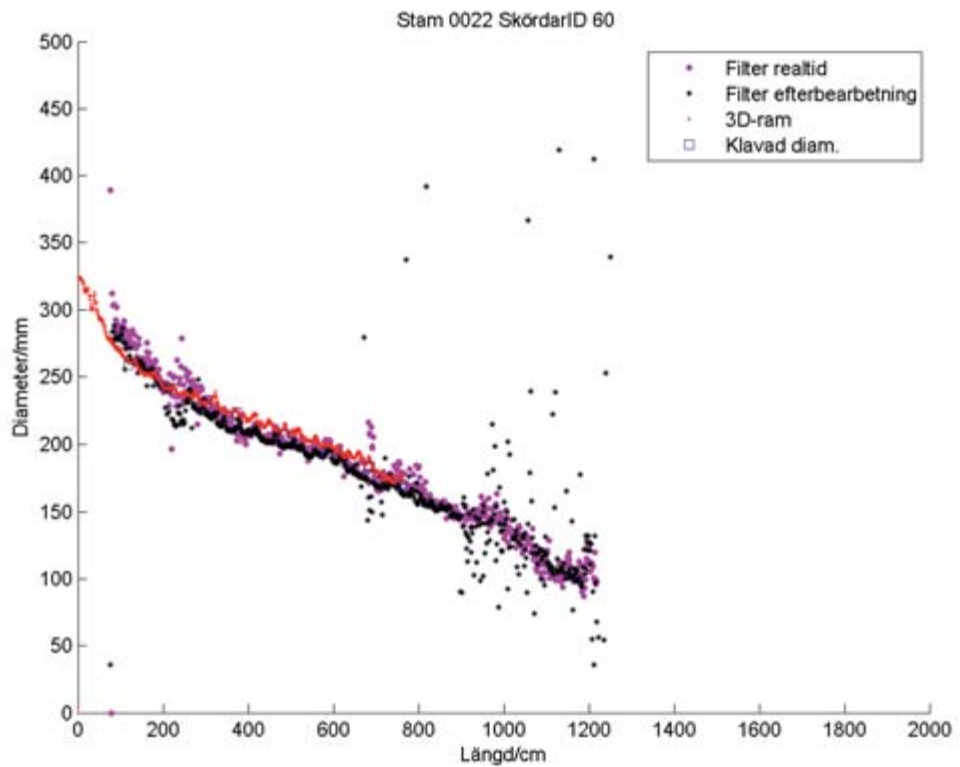
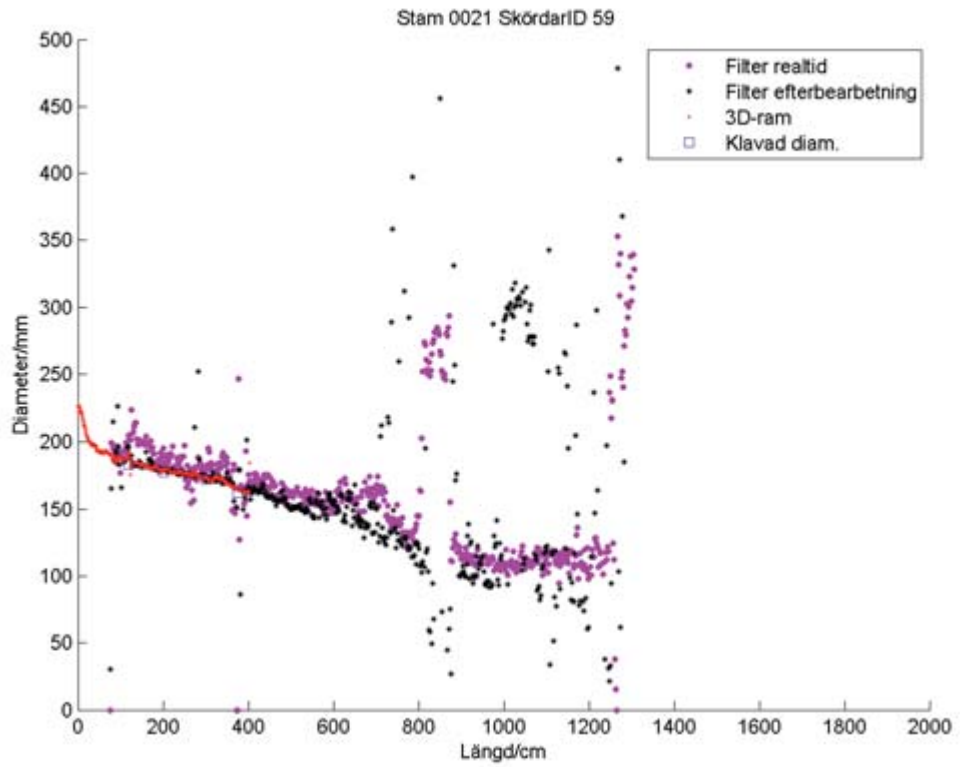


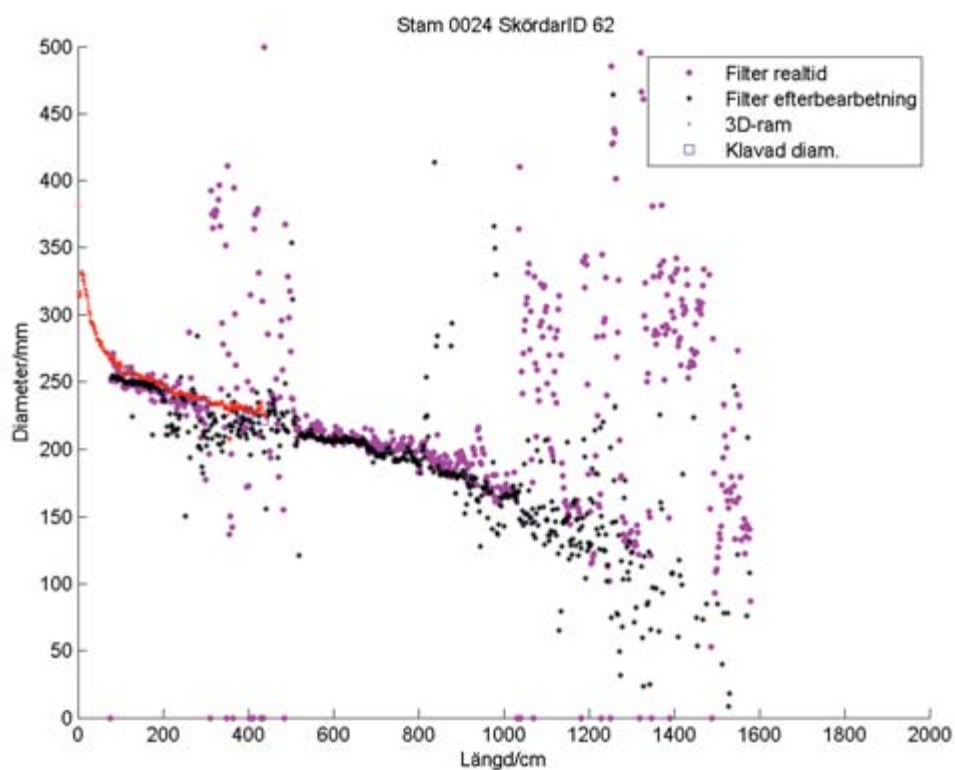
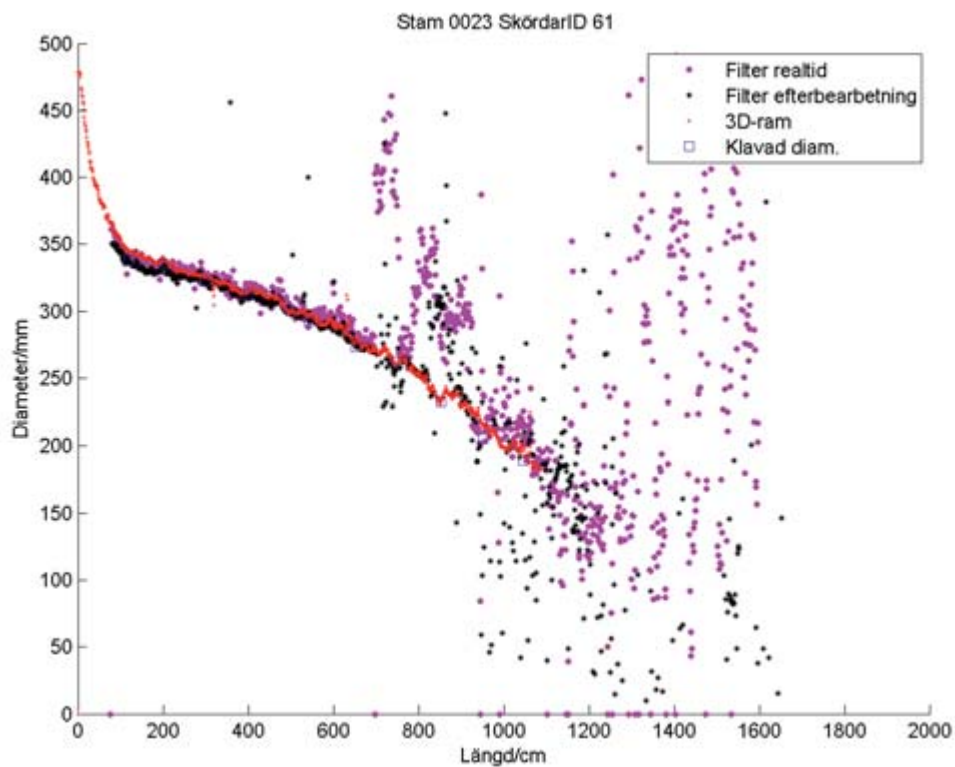


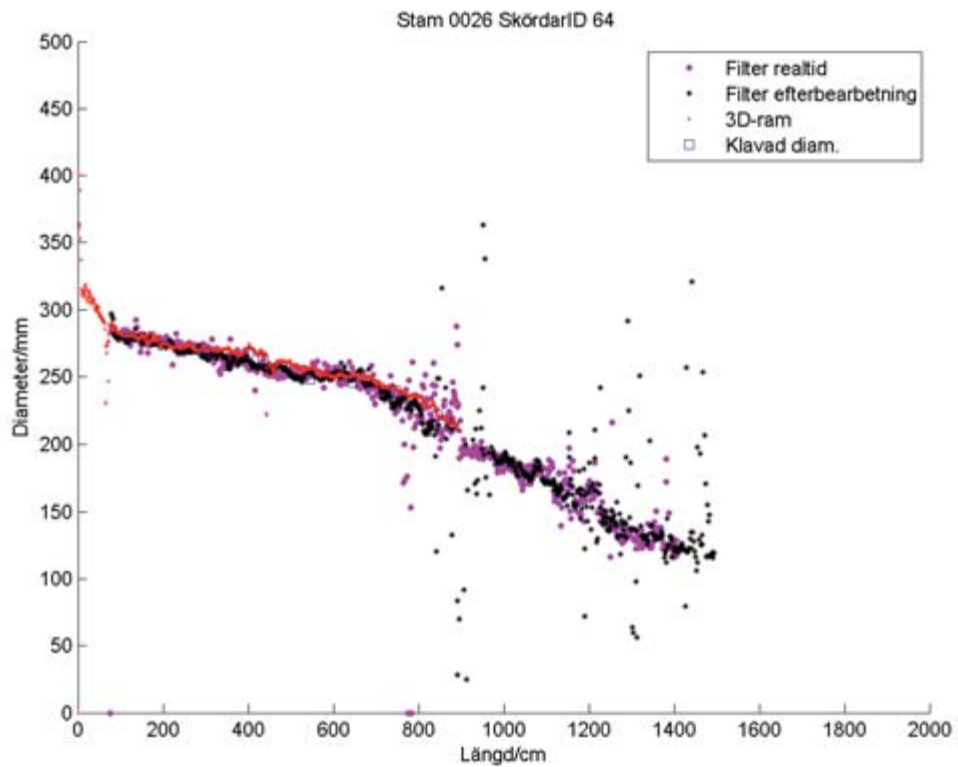
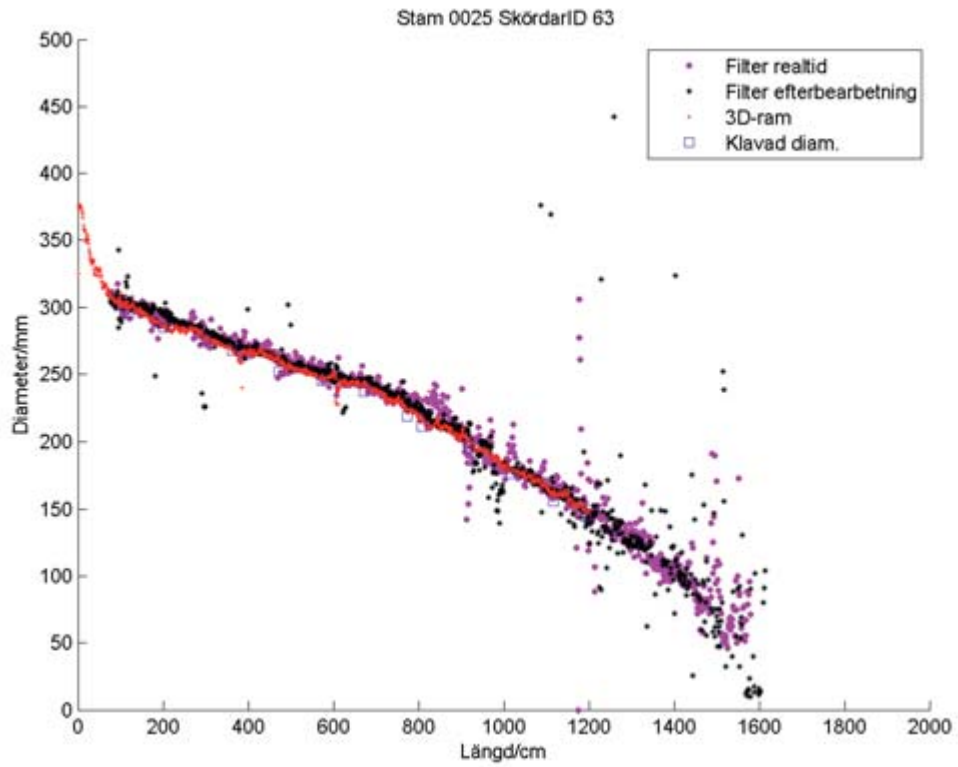


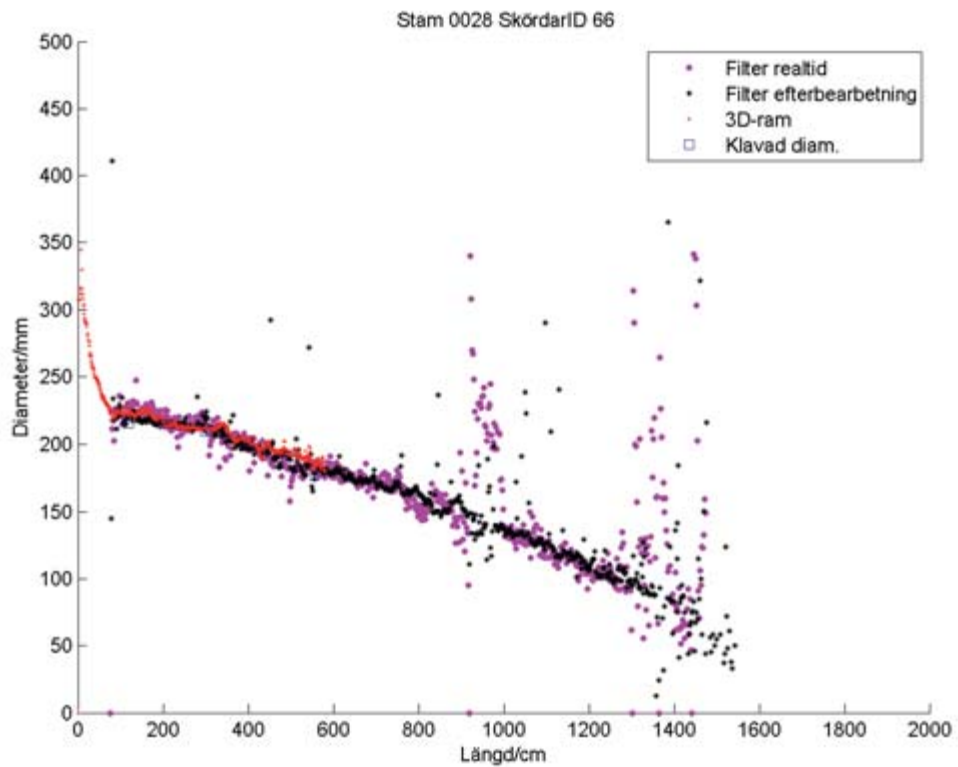
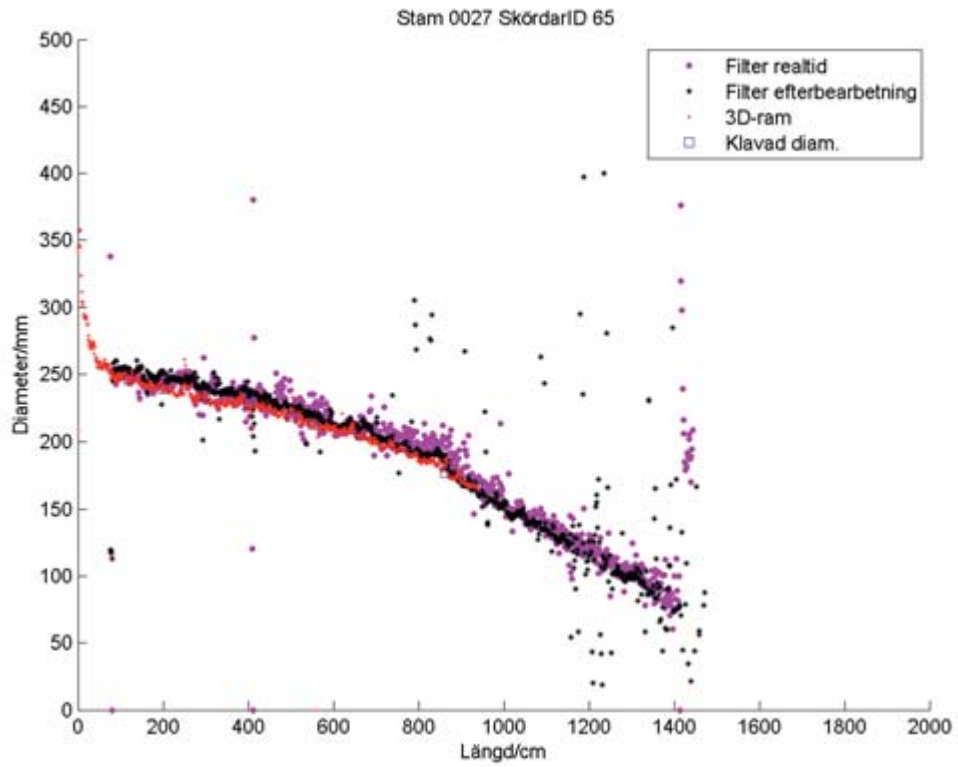


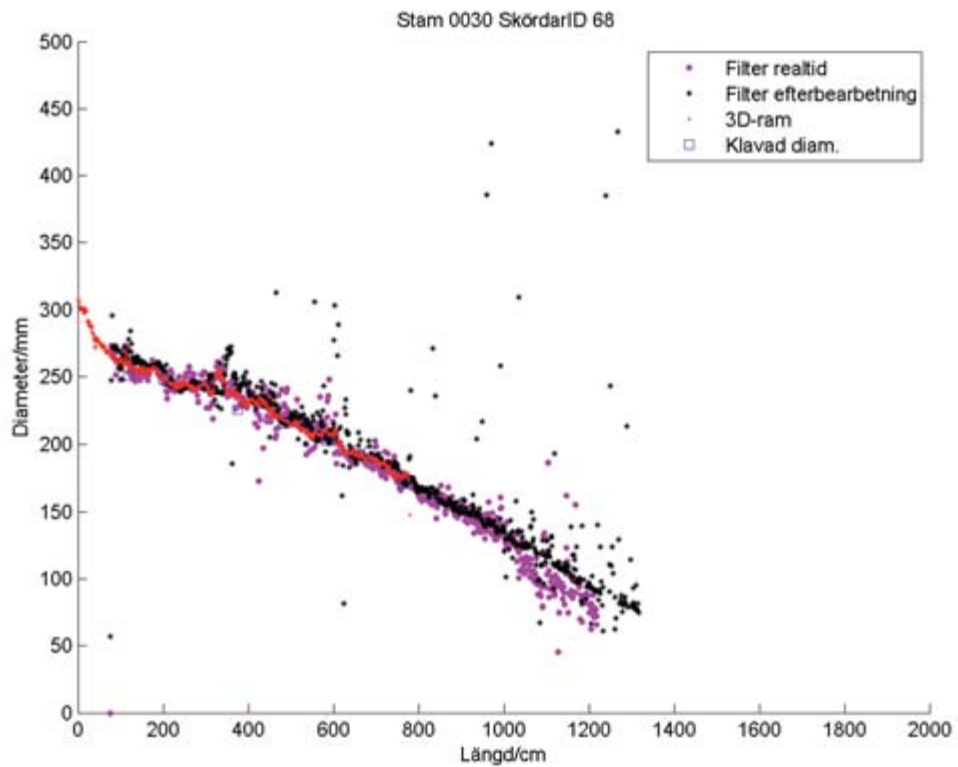
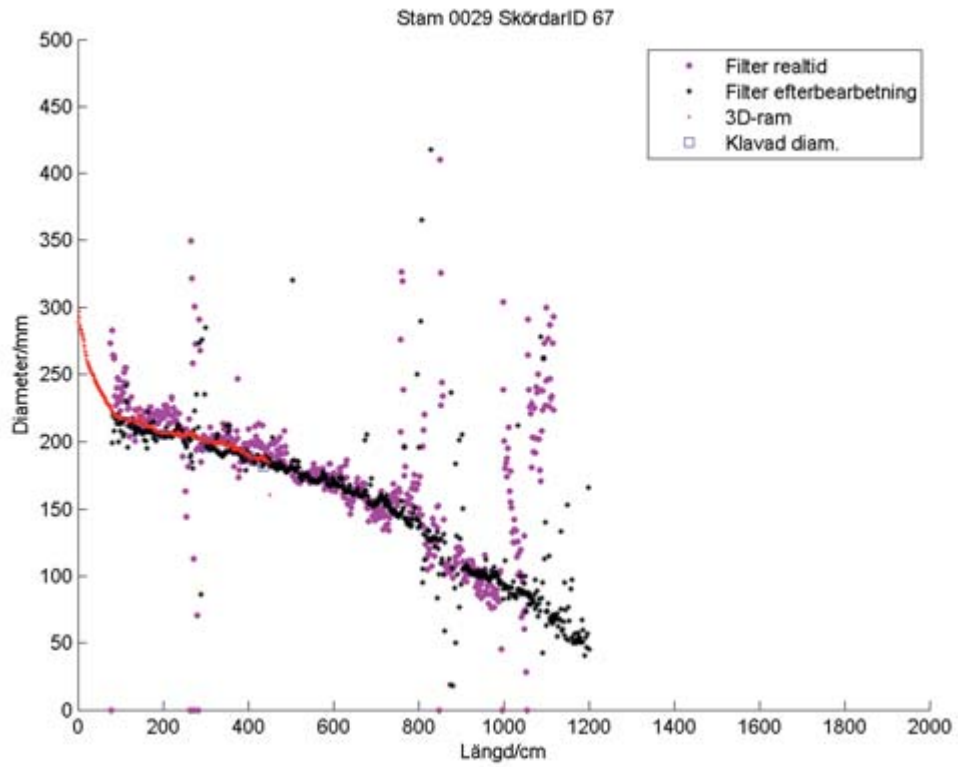


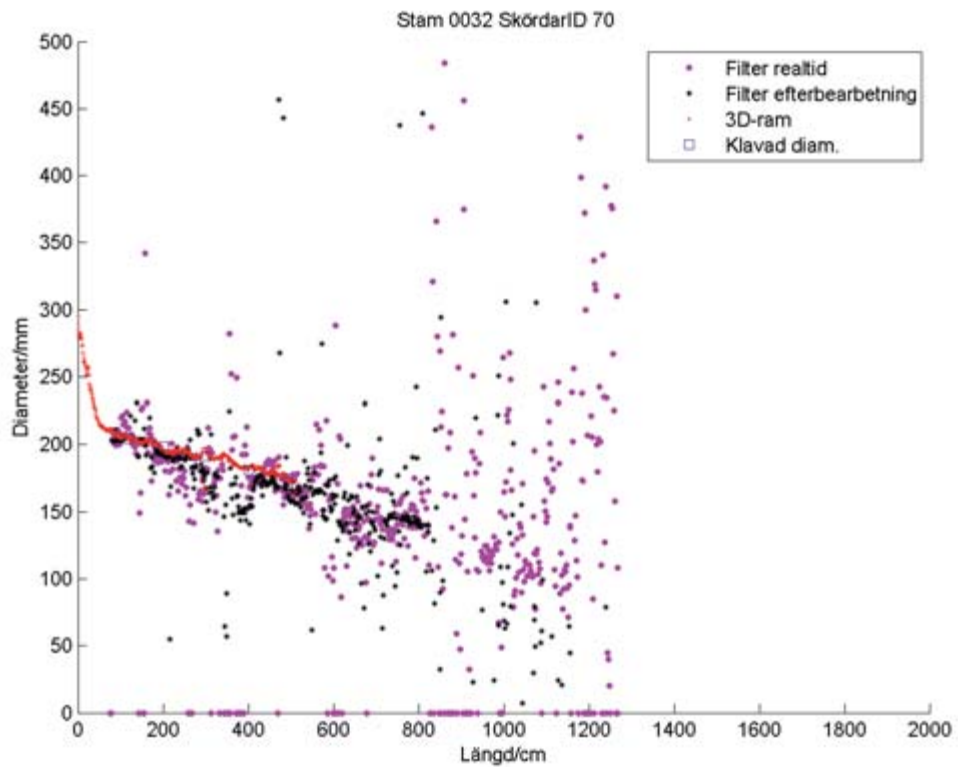
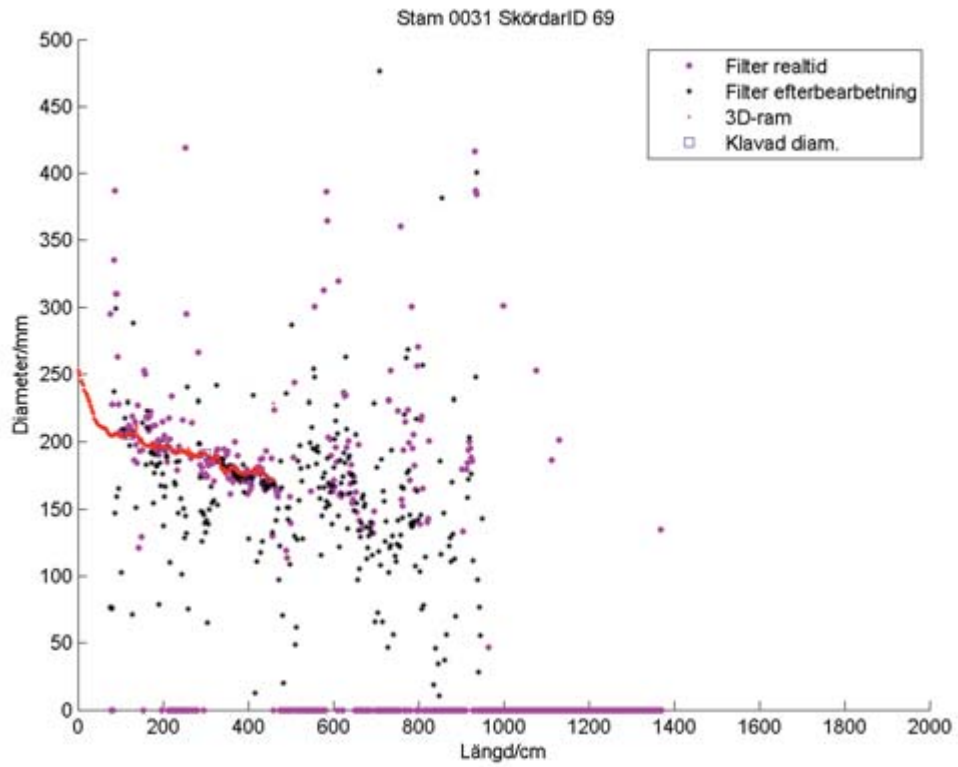




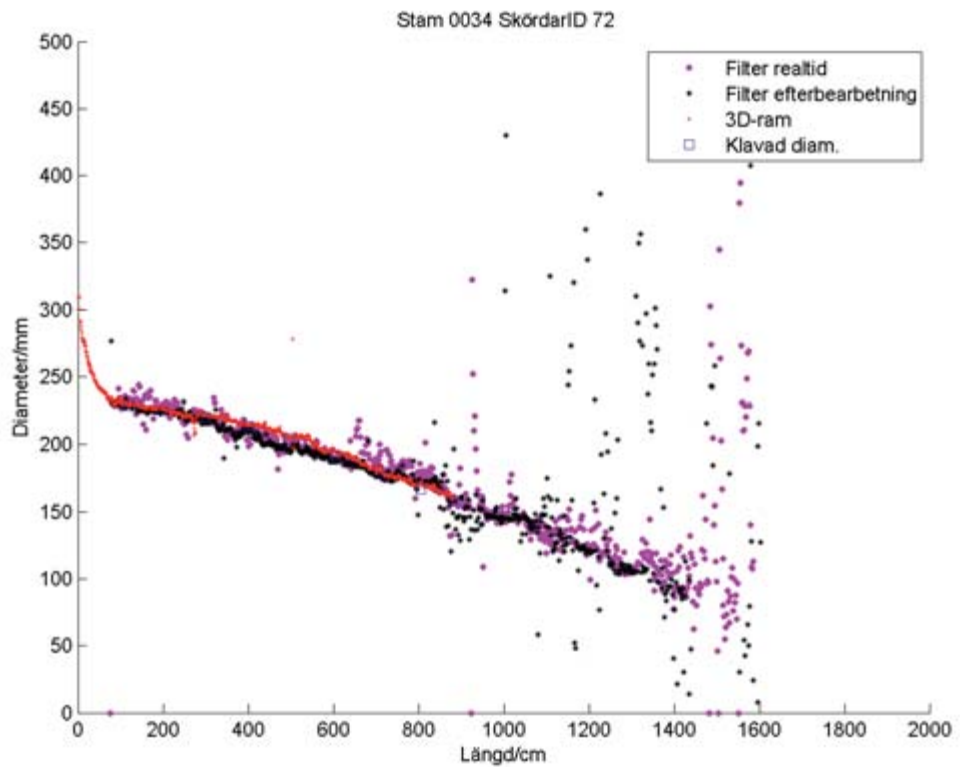
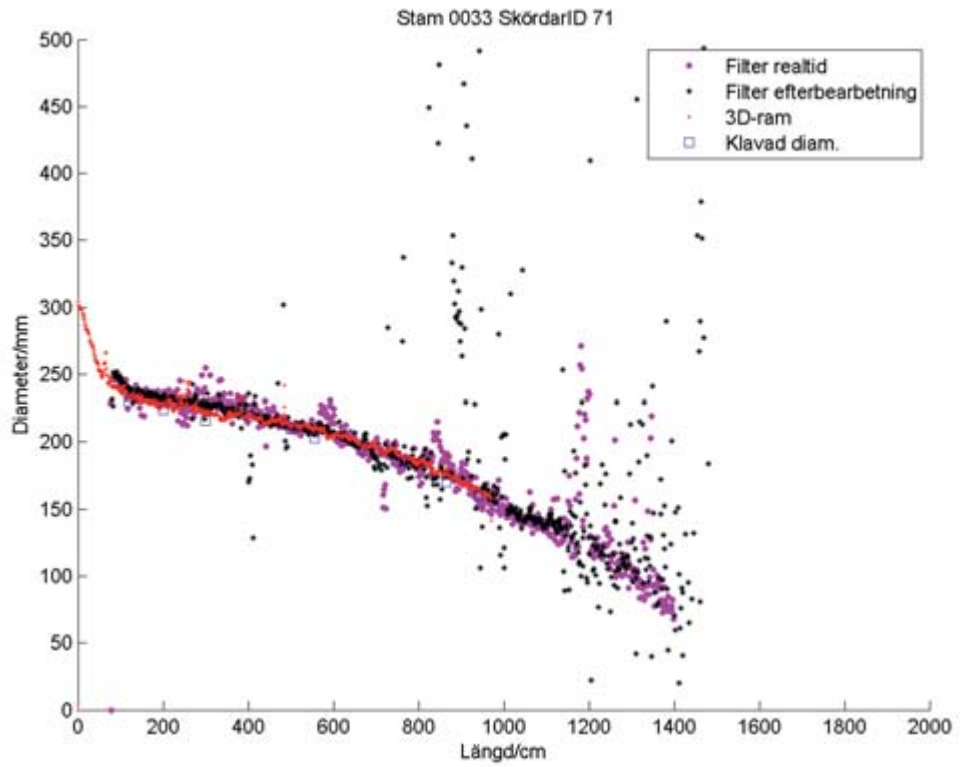


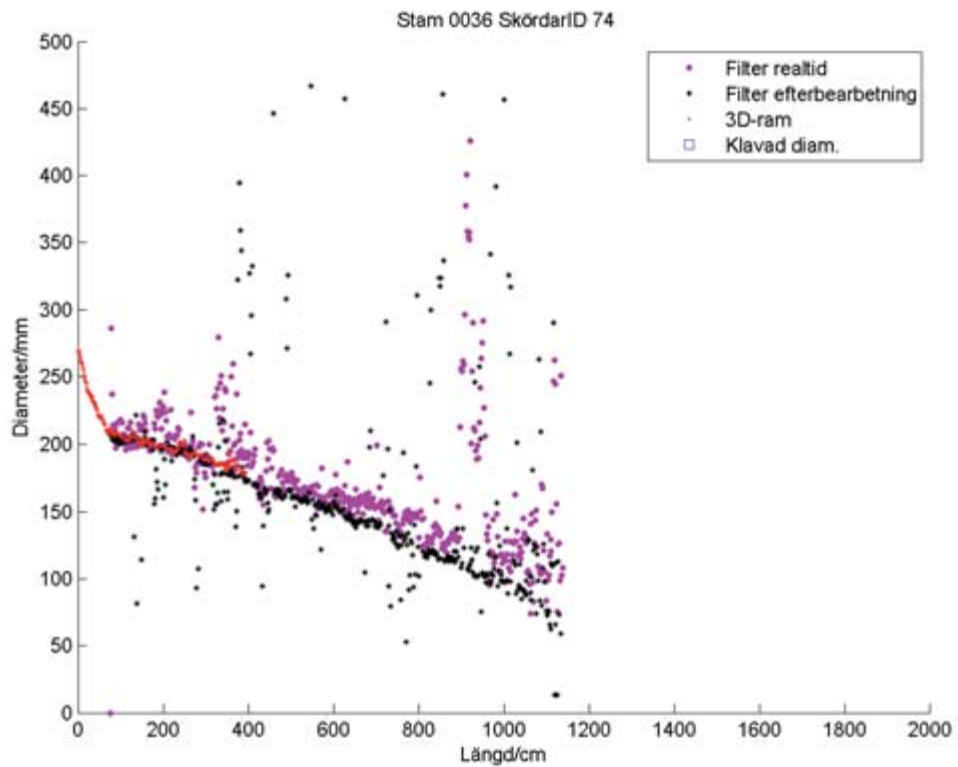
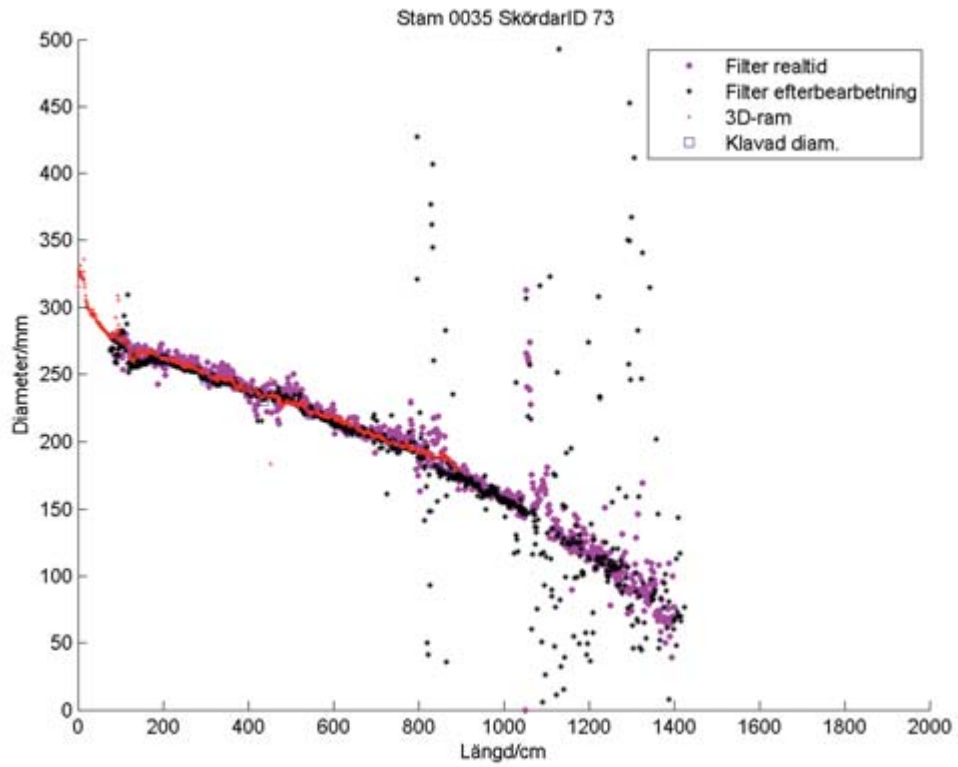


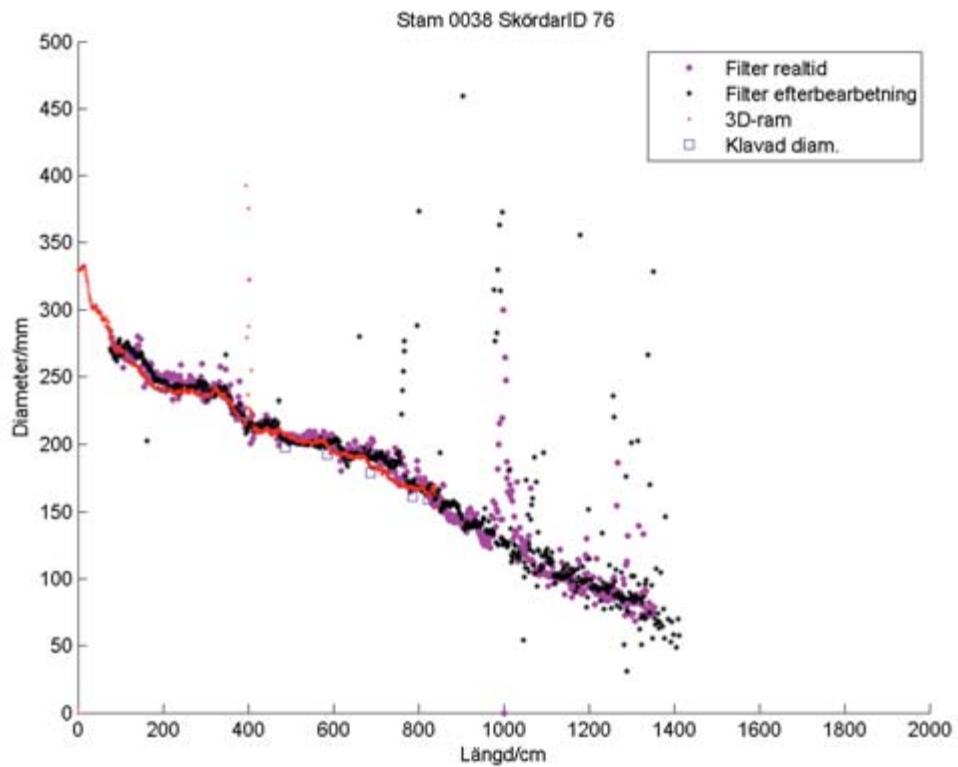
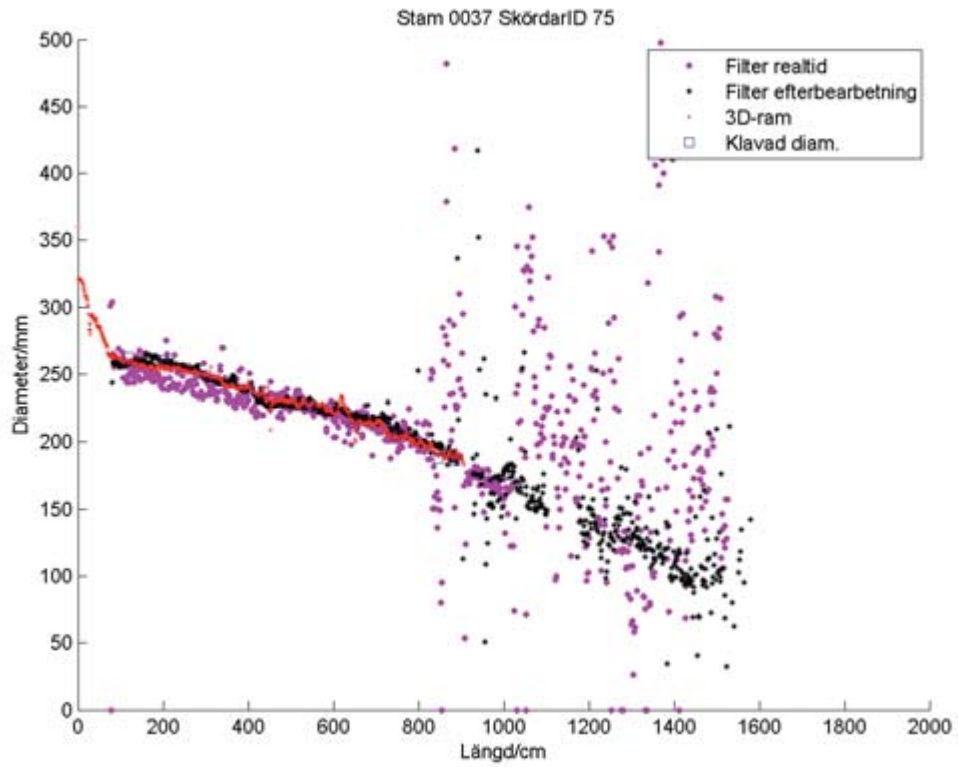


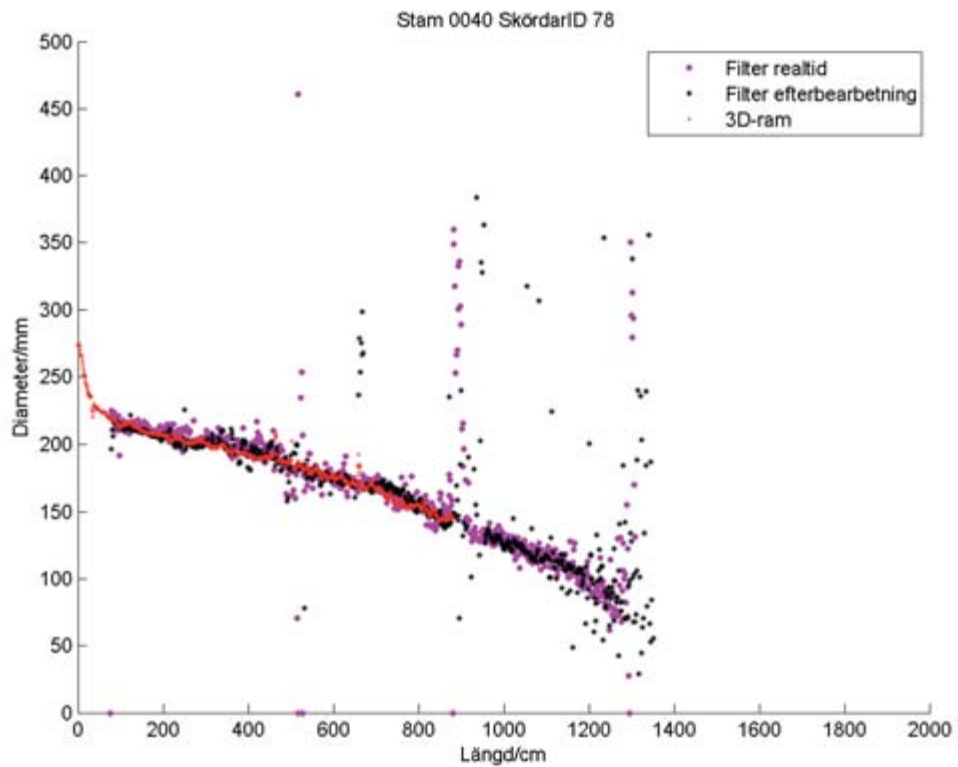
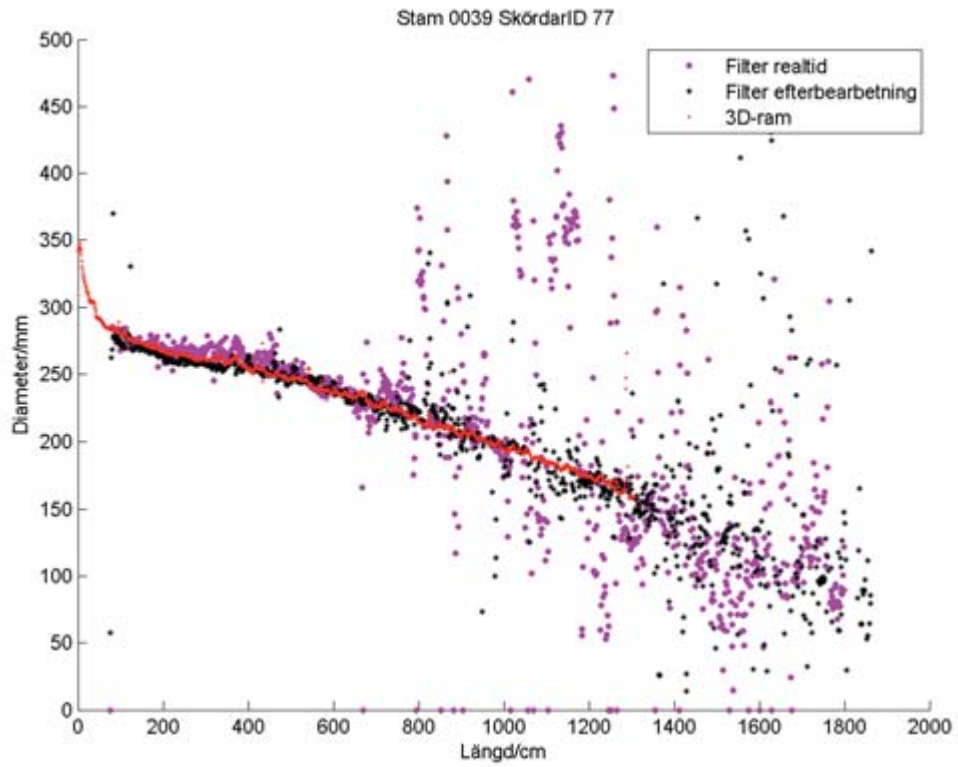


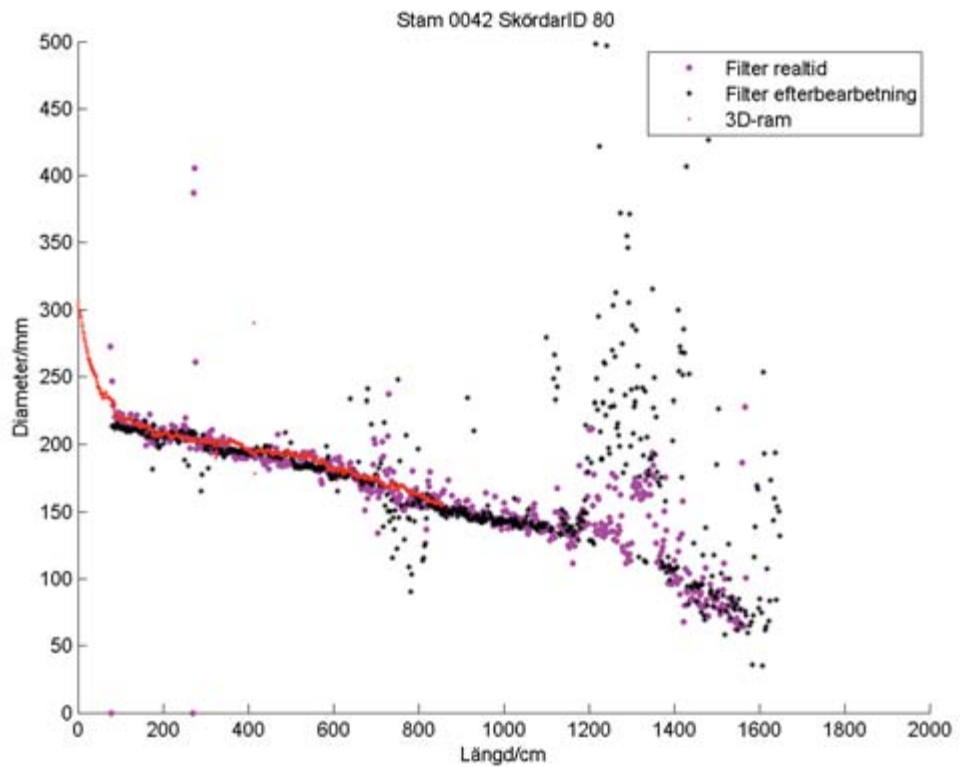
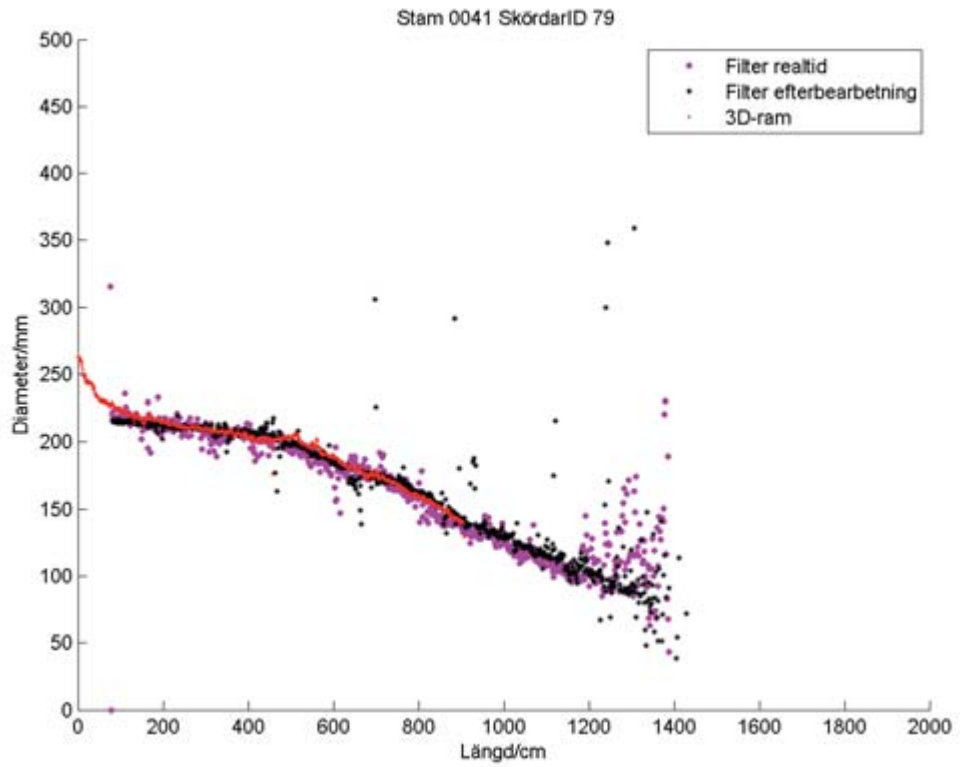


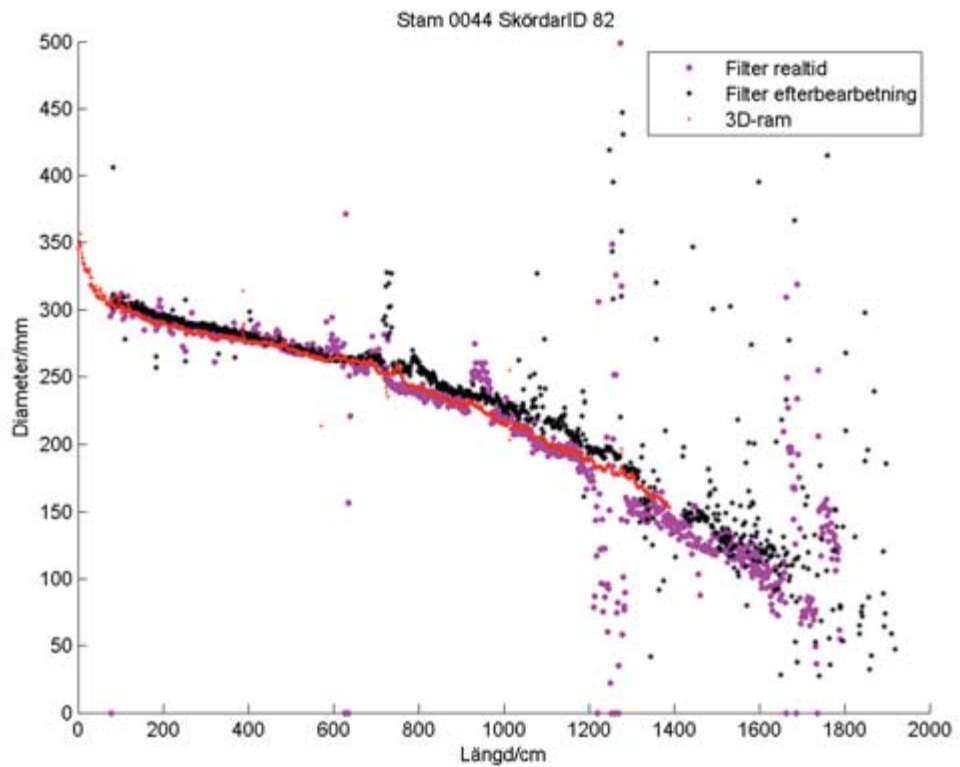
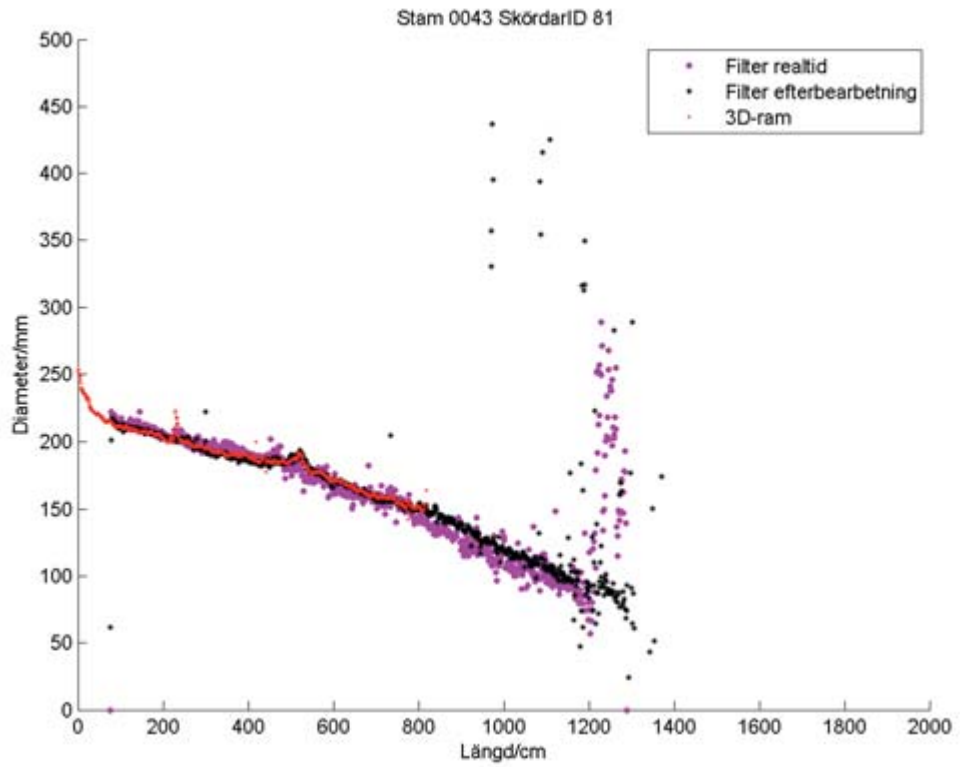




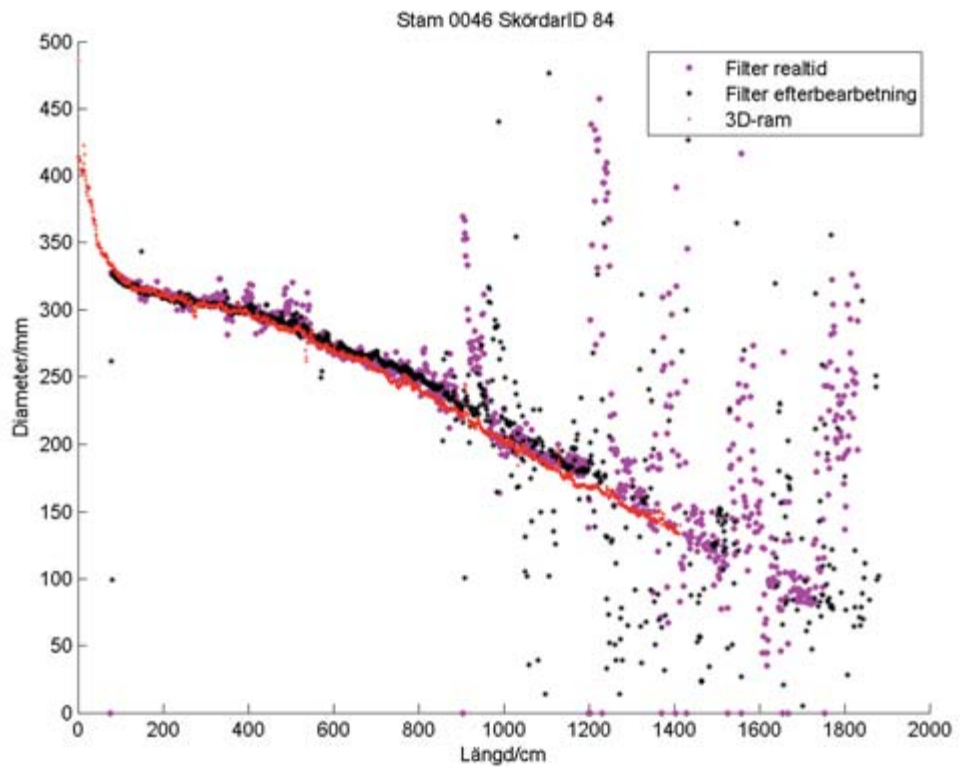
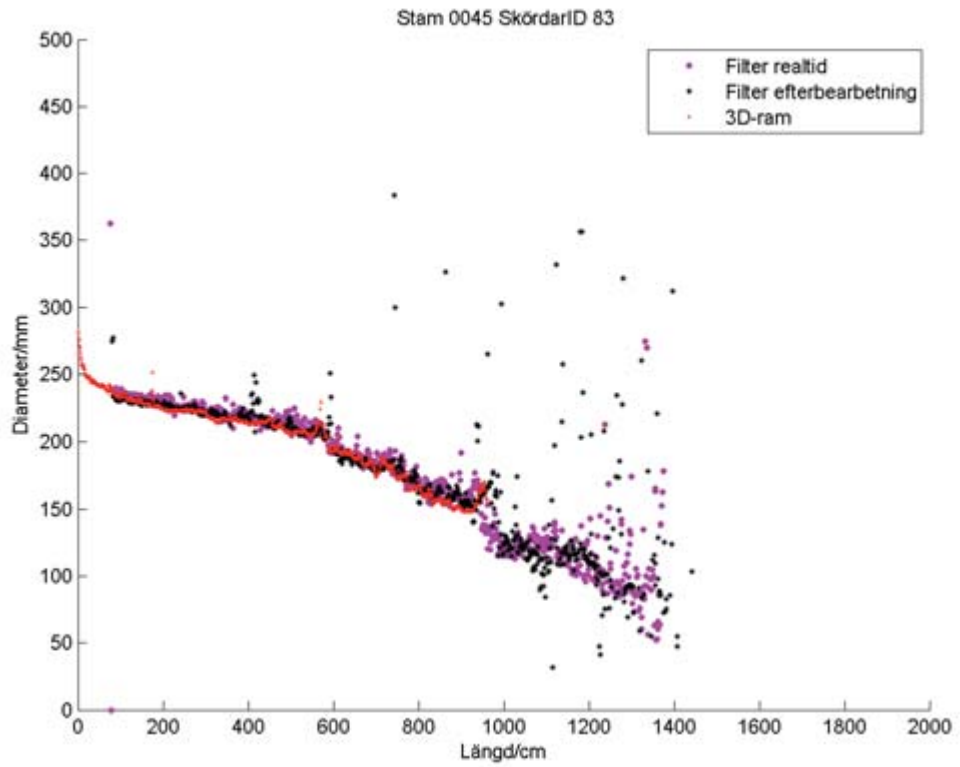


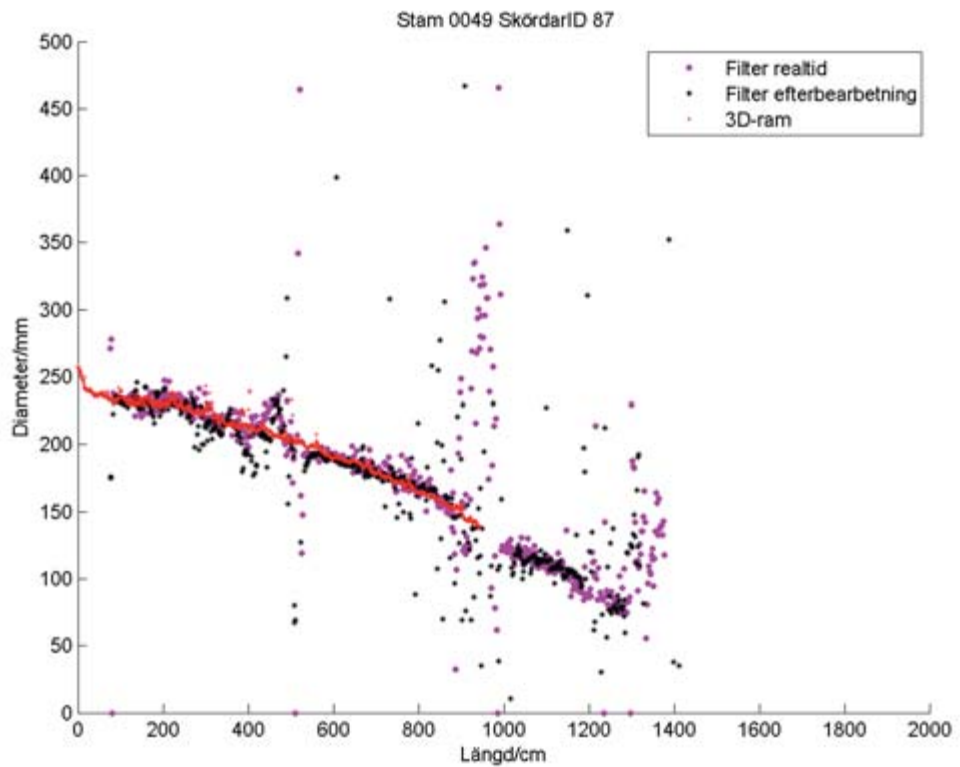
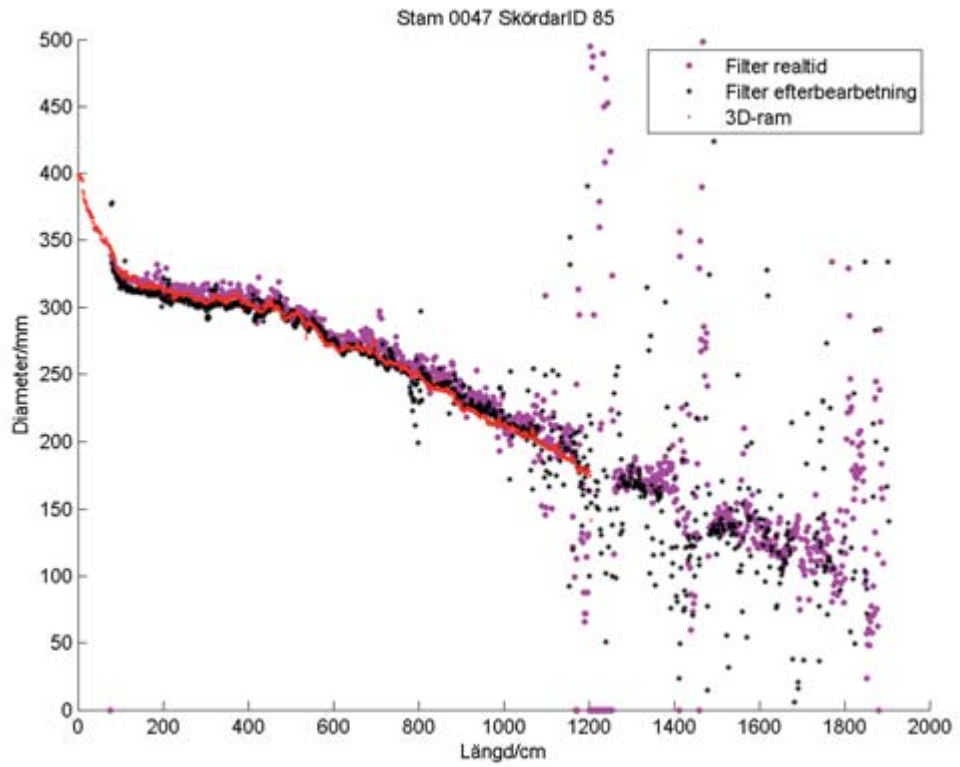


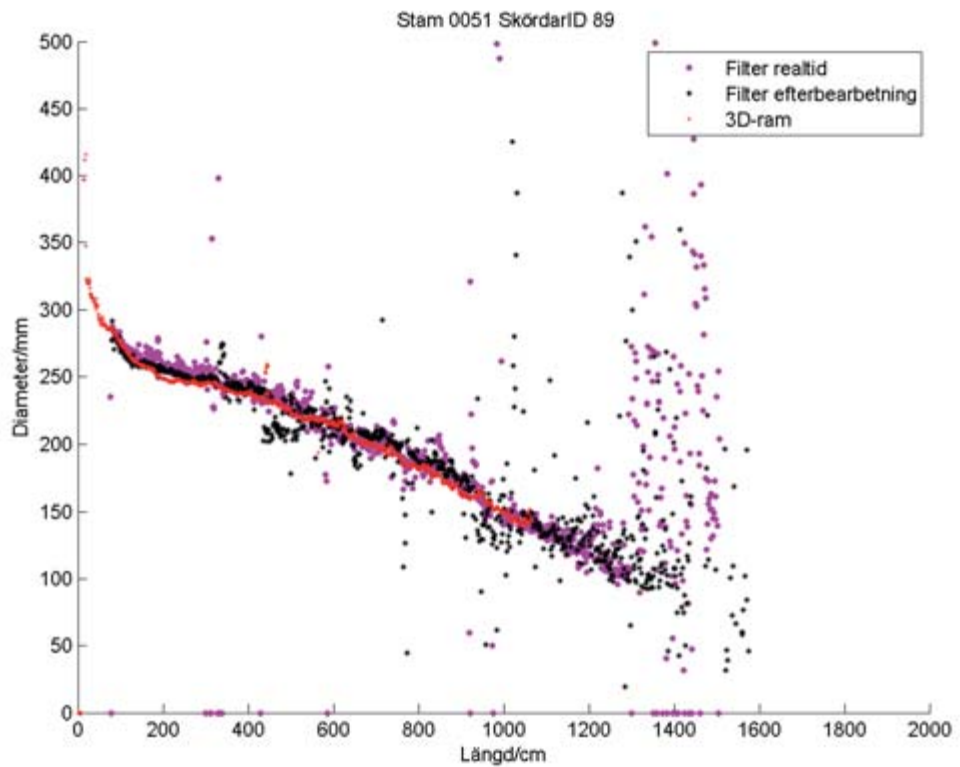
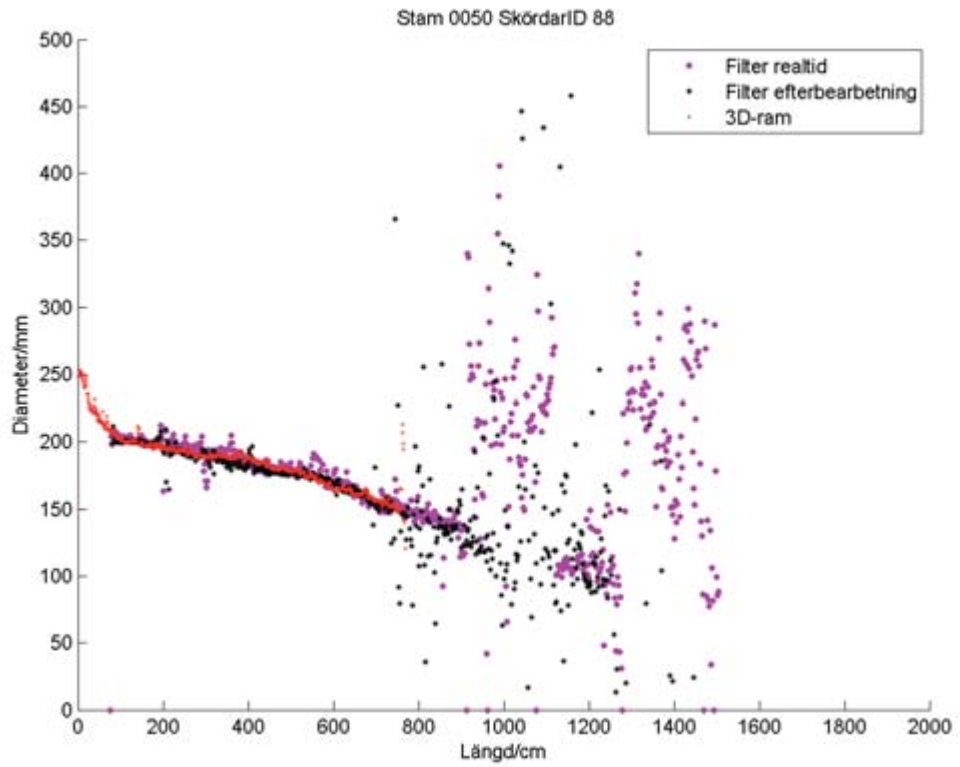


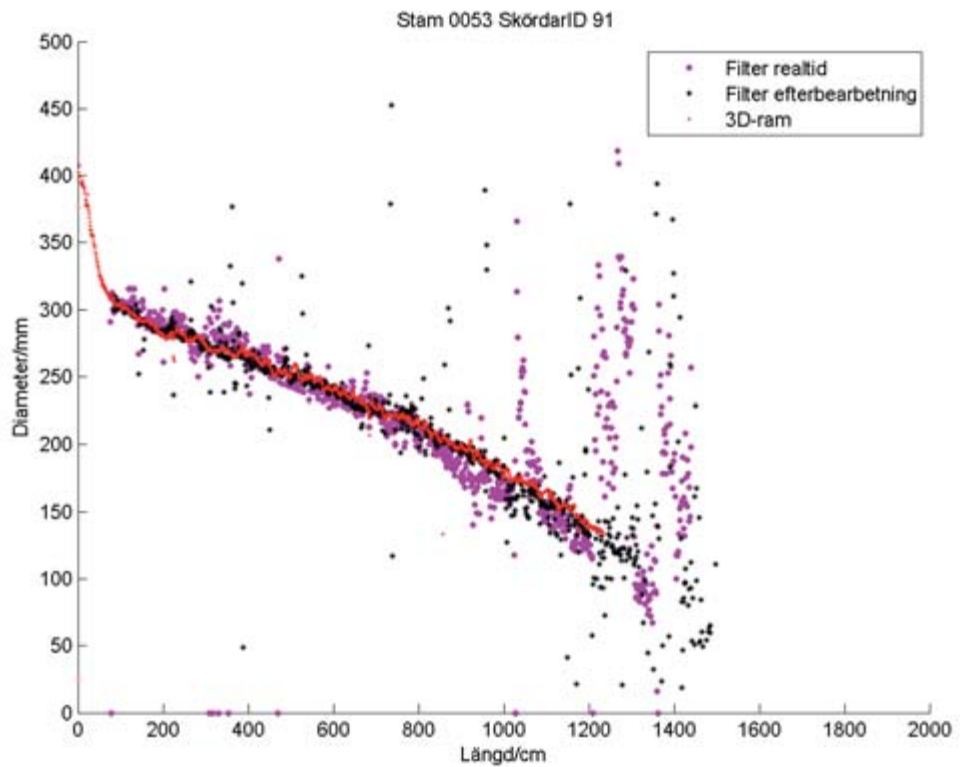
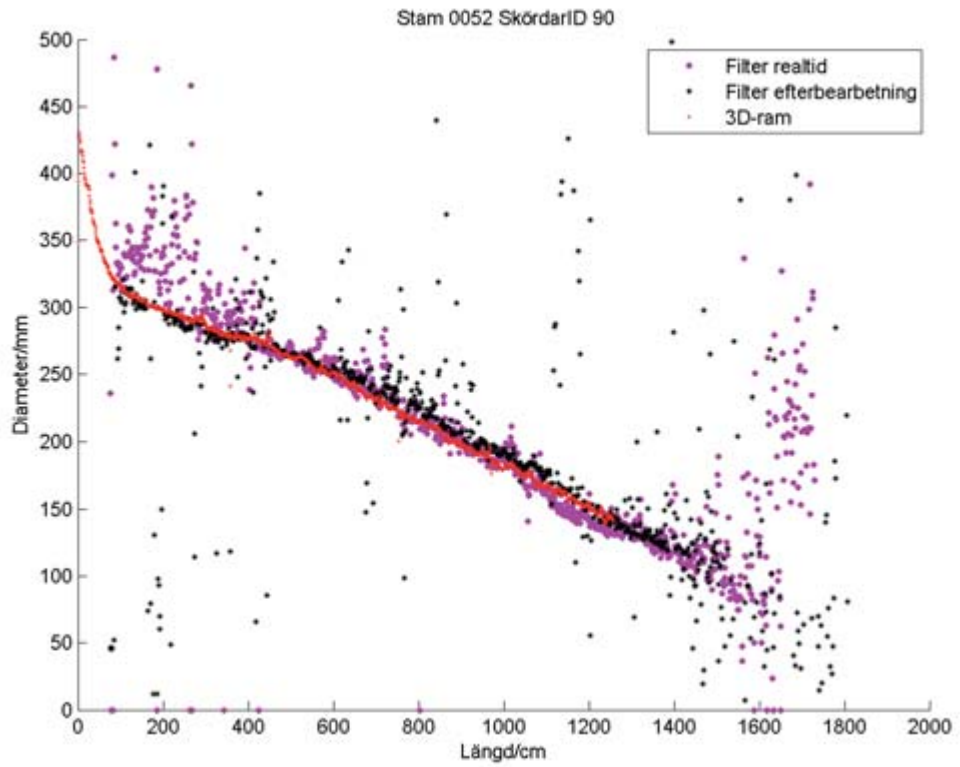


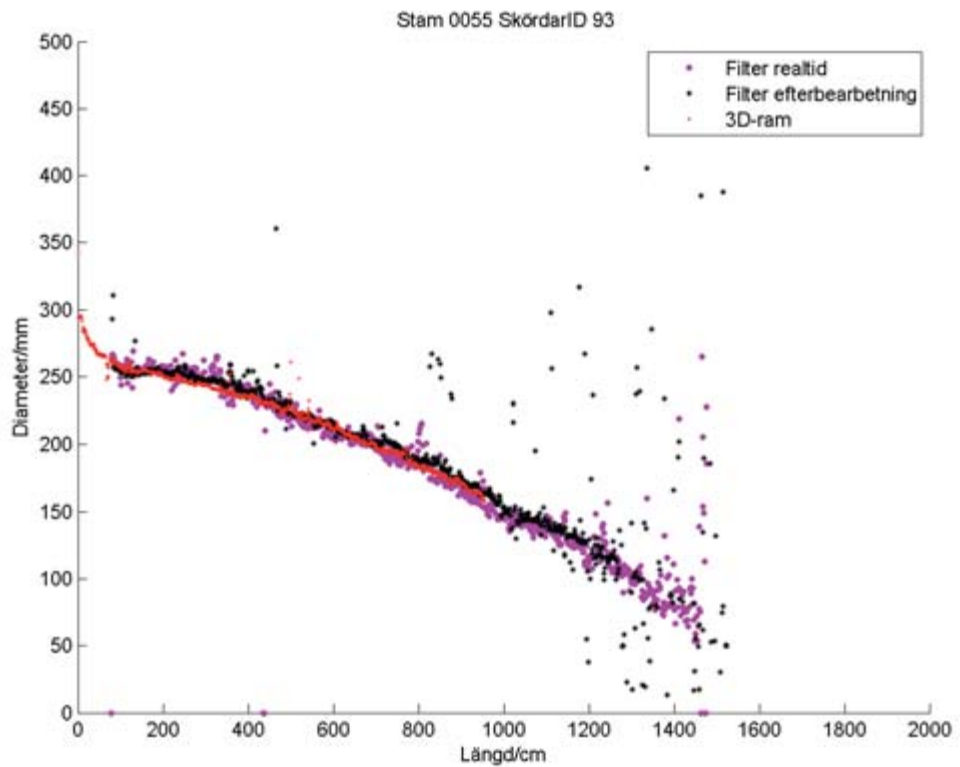
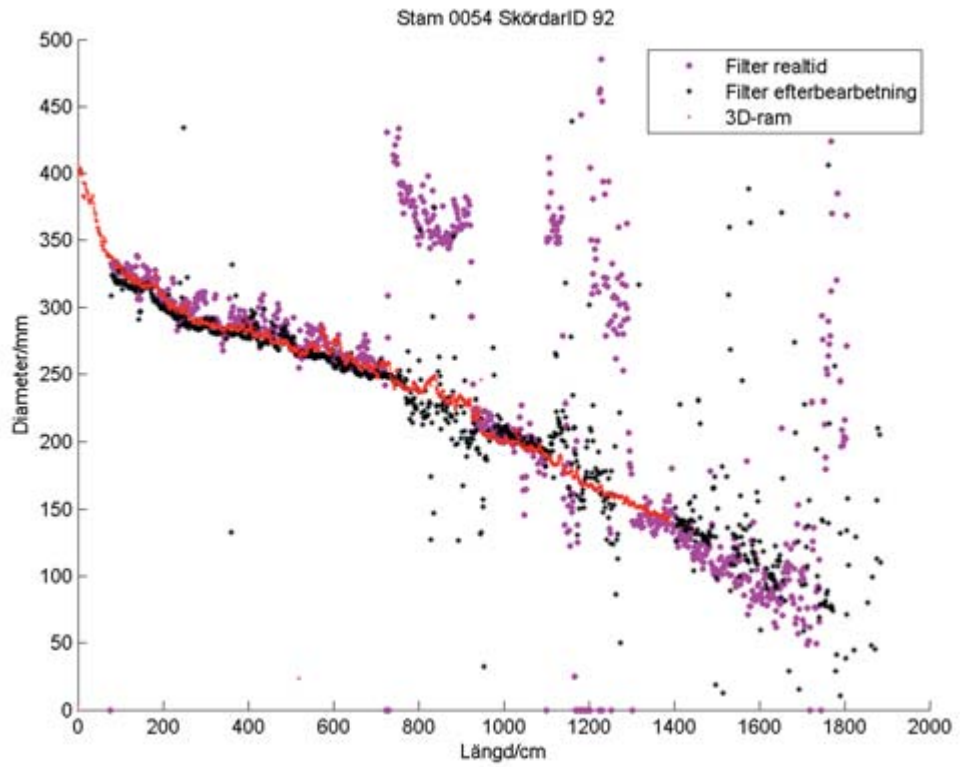


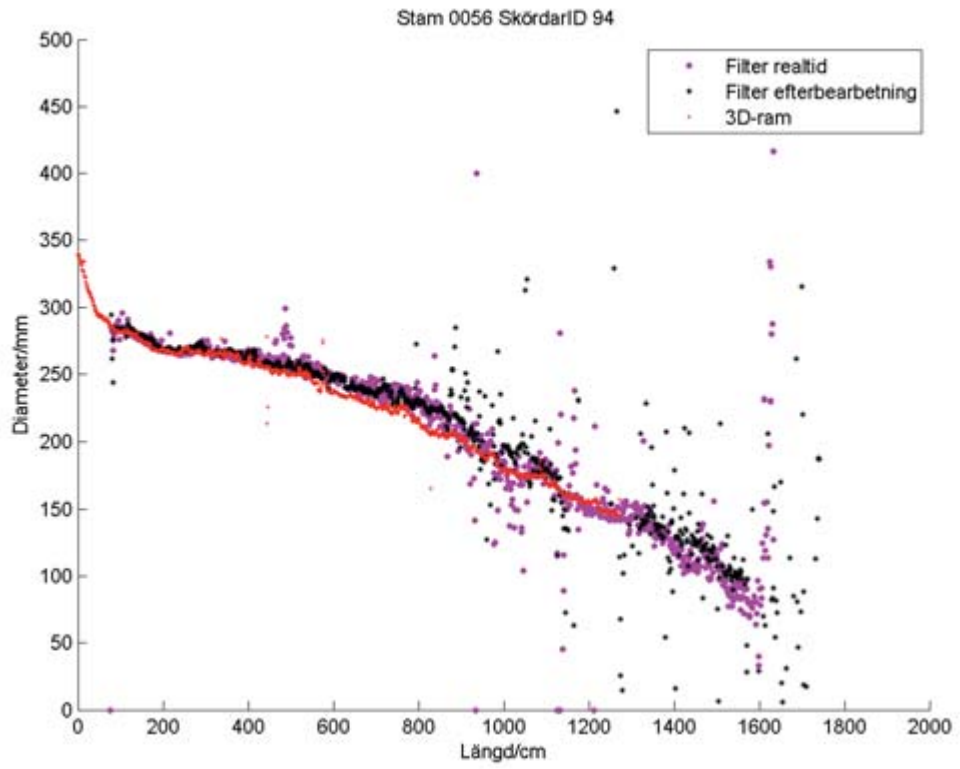
















## Utvärdering av mätsystemets noggrannhet

*Utvärdering av mätsystemets noggrannhet utförd inom projektet "Beröringsfri diametermätning i skördare – utveckling av mätsystem och tester i produktionsmiljö"*

### REFERENSMÄTNINGAR (KVISTKNIVAR, KLAVNING, 3D-RAM):

- Diametern mätt med kvistknivarna (endast en fungerande) ser alltid vettigt ut, det finns inga uteliggare i det datat (hårt filtrerat). OBS! Kvistknivdiametern har ett offset, ligger alltid 15-20 mm över den klavade diametern. (Figur 1).
- 3D-mät ramen (Rundvik) ger diametrar som ligger mycket nära klavad diameter och verkar vara ett bra referensmått att jämföra med.

### NYA MÄTSYSTEMET:

- Förutom uteliggare så ligger diametrarna från nya mätsystemet någonstans mellan klavad diameter och kvistknivsdiameter. Stockens diameterprofil stämmer mycket väl överens med diameterprofilen från 3D-ramen i Rundvik (Figur 1), men i medeltal är mätningarna från det nya systemet ca 5 mm högre än motsvarande diameter från Rundvik (differens mellan löpande median). I ett fåtal fall ger mätningen från det nya systemet lägre diametrar. Se Figur 3-4.
- Att nya mätsystemets diameter i medeltal är aningen för stor kan beror troligen på att vibrationer och skräp oftast orsakar förhöjt diametermått. Det skulle också kunna röra sig om en liten felkalibrering av systemet. För att rå bukt med att diametermätningen oftare ger för stora värden än för små så skulle man kunna filtrera mätsystemets signal med exempelvis ett löpande 25-percentilfilter istället för med ett median/medelfilter. [OBS – alla klara uteliggare bör kasseras före sådan filtrering]. Om diametern för nya mätsystemet beräknas som löpande 25-percentil så ligger den i medeltal 0,7 mm över löpande median för 3D-mät ram Rundvik (Figur 3-4).
- Nya mätsystemet ger ett stort antal uteliggare med på tok för hög diameter (50-300 mm för hög), troligtvis pga grenar eller snö som kommer i vägen. Problemet är störst för de klena toppstockarna där ofta mer än hälften av mätvärdena är dåliga, medan endast ett fåtal av

sågtimmerstockarna har stora problem (exempel Figur 2). För sågtimret överstiger andelen okej datapunkter 90 % för 383 (82,5 %) av 464 undersökta halvmetersintervall. För 434 (93, 5%) av intervallen var andelen okej punkter över 50 %.

- Uteleggarna måste filtreras bort. I det flesta fall bör det gå att identifiera uteliggarna genom att enbart titta på beröringsfria mätsystemets signal:
  - Jämför med ett förväntat värde som utgår från löpande medianvärde.
  - I de områden där det är väldigt många felaktiga mätningar, testa att jämföra med förväntad diameter enligt stockform (dbh, längd, avsmalning, andra väldef diametrar längs trädet).
  - Eftersom kvistknivarna verkar ge mycket stabila diametermätningar (men i just detta fall alltid lite för stora) skulle man kunna använda det diametermättet som referens för att finna uteliggare i beröringsfria systemet.
  - Det kanske också är möjligt för Optronic att skriva om algoritmerna så att diameterberäkningarna blir stabilare. Kanske förekommer både störningar och den korrekta laserlinjen på stam i samma bild, en smart algoritm skulle då kunna nyttja endast de bra delarna av bilden för sina beräkningar.
- Mätsystemet kan inte se rotansvällningen hos trädet (eftersom mätningen börjar en liten bit upp på stammen), se Figur 1.

## FELAKTIGHETER I DATAFILERNA:

- Ofta dyker det upp en rad med felaktiga data (från f.g. träd) först i ett nytt träd, t ex för första stocken i träd 42:

% z-left	z-right	z-left	z-right	area	diameter	origo-x	origo-y
%% Start stock							
1761	0	1355	77	0	0	201.4	-67.5
2	2	78	78	106118.5	367.6	2.4	-13.3
4	4	80	80	105613.2	366.7	4.8	-12.6
6	6	81	81	101649.5	359.8	-1.1	-9.1

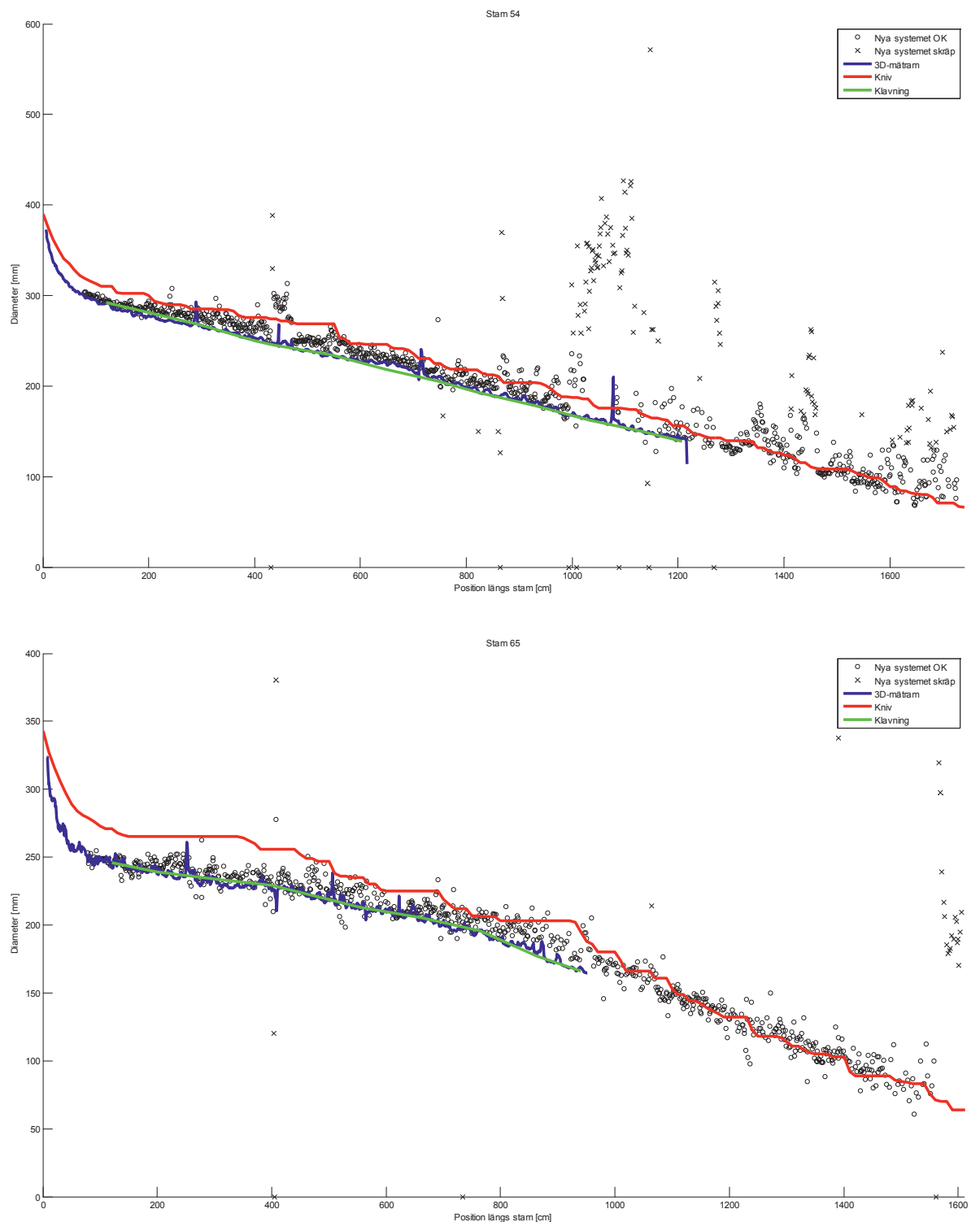
- För t.ex. stam 76 så verkar det som att mätsystemet lägger slutet på stocken på fel ställe, stocken är 395 cm men har data till 465 cm. De sista 70 cm av det som har lagrats som stock 761 skulle egentligen tillhöra stock 762.

Med vänlig hälsning

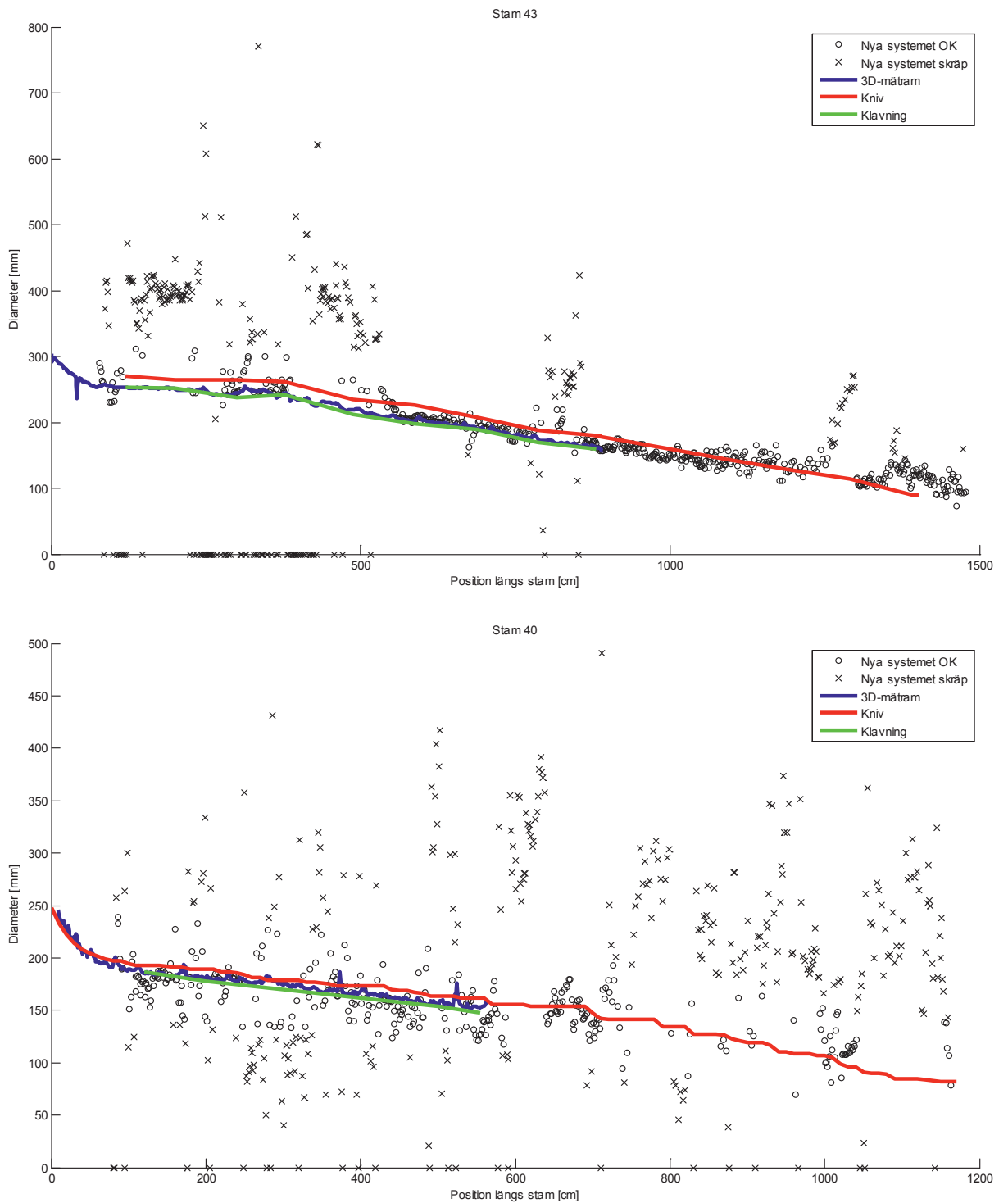
**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**  
**SP Träteknik**

Johan Skog

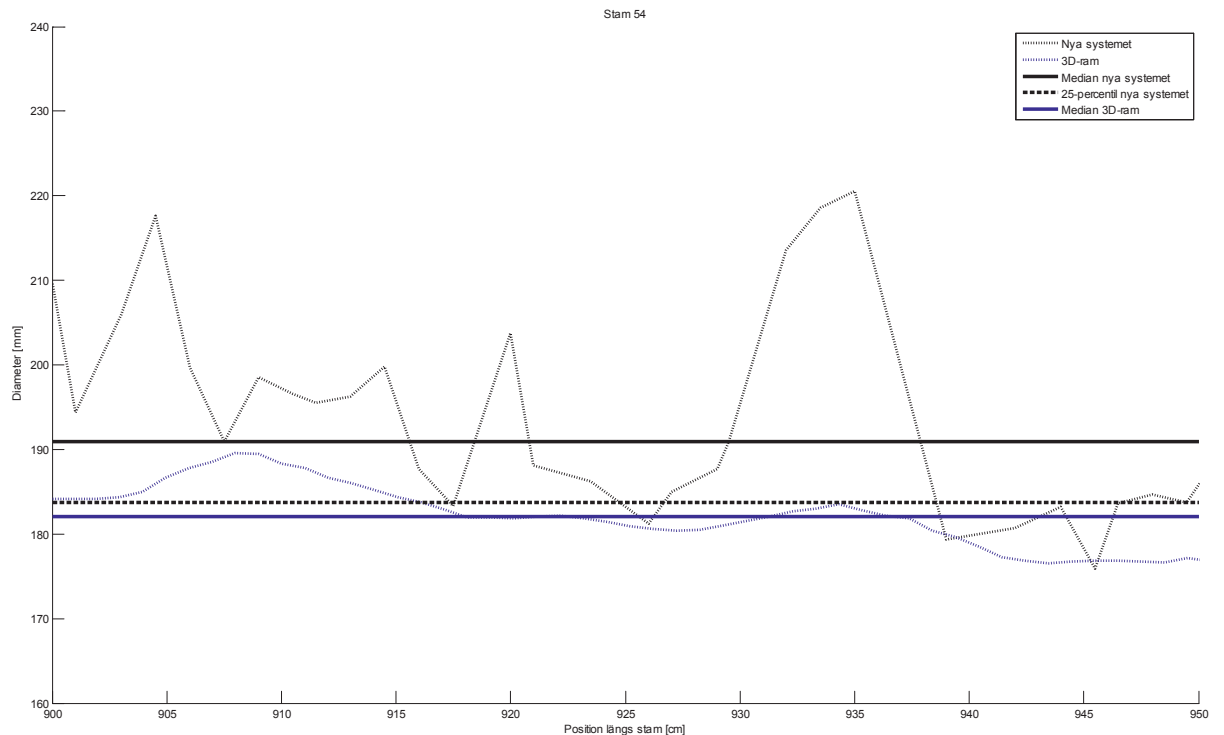
## FIGURER:



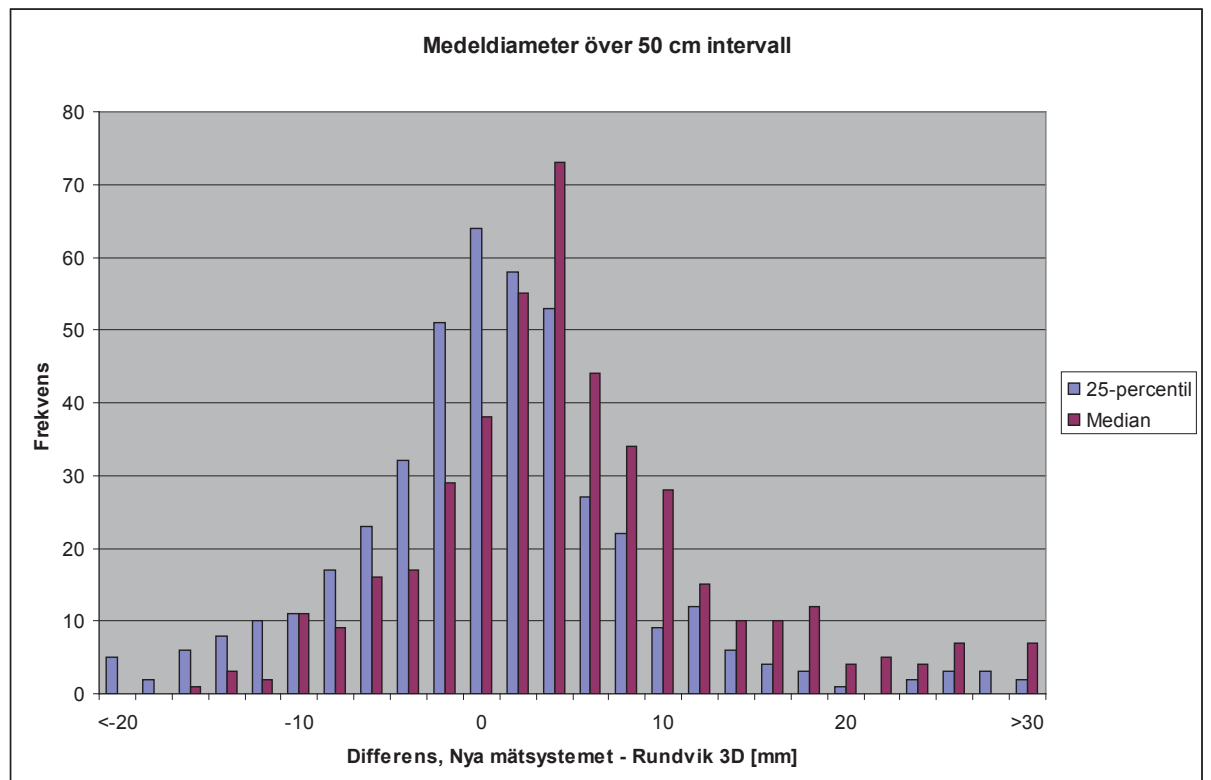
Figur 1:  
3D-mättramen (blå) ger ungefär samma diameter som klavning (grön). Kvistkniven (röd) ger ett hårt filterat mått utan brus, men för stort. Det nya mätsystemet (svart) ligger strax över 3D-mättramens referens. Speciellt nära toppen kan det vara mycket brus.



Figur 2:  
 Exempel på en stammar med stora problem i mätningen. Vanligtvis brukar felaktiga mätningar ge för stor diameter eller noll diameter (stam 43). Ibland kan några mätvärden ligga en bit under förväntad diameter, men för stam 40 (den första som mättes in) blev diametrarna i princip slumpvis fördelade. Orsak okänd, hela denna stam får klassas som skräpmätning.



Figur 3:  
Data från nya mätsystemet (svart) och 3D-mätarm (blå). Figuren visar mätsystemets signal (prickad) samt medianvärde (heldragen linje) och 25-percentilsvärde (streckad) över ett 50 cm brett intervall.



Figur 4:  
Median- och 25-percentil för nya mätsystemet har räknats för 434 olika halvmetersintervall (från 63 stockar). Histogrammet visar skillnaden relativt referensvärdet, dvs 3D-mätarmens median. I medeltal ligger det nya mätsystemets median 5 mm över referensen medan 25-percentilen ligger 0,7 mm över referensen. Före beräkning av median har uteliggare tagits bort från datat och endast de intervall där andelen godkända punkter var >50 % har inkluderats i histogrammet.





## Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2010

2010	
Nr 700	Hannerz, M. & Cedergren, J. 2010. Attityder och kunskapsbehov – förädlat skogsodlingsmaterial. 56 s.
Nr 701	Rytter, R.M. 2010. Detektion av röta i bokved – resultat av måthöjd, riktning och tidpunkt. 10 s.
NR 702	Rosvall, O. & Lundström, A. 2010. Förädlingseffekter i Sveriges skogar - kompletterande scenarier till SKA-VB 08. 31 s.
Nr 703	von Hofsten, H. 2010. Skörd av stubbar – nuläge och utvecklingsbehov. 18 s.
Nr 704	Karlsson, O. & Nisserud, F. 2010. Utveckling av en dynamisk helfordonsmodell för skotare. 73 s.
Nr 705	Eliasson, L. & Johannesson, T. 2010. Förrojningens påverkan på grotskotning – En studie av produktivitet, ekonomi, grotkvalitet hos SCA skog. 9 s.
Nr 706	Rytter, L. & Stener L.G. 2010. Uthållig produktion av hybridasp efter skörd – Slutrapport 2010 för Energimyndighetens projekt 30346. 23 s.
Nr 707	Bergkvist, I. 2010. Utvärdering av radförbandsförsök anlagda mellan 1982-1984. 16 s.
Nr 708	Hannrup, B. & Jönsson, P. 2010. Utvärdering av sågmotorn F11-iP med avseende på uppkomsten av kapsprickor – en jämförande studie. 28 s.
Nr 709	Iwarsson Wide, M., Belbo, H. 2010. Jämförande studie av olika tekniker för skogsbränsleuttag i mycket klen skog Skogsbränsleuttag med Naarva-Gripen 1500-40E och Log Max 4000, Mellanskog, Simeå 28 s.
Nr 710	Englund, M., Löfroth, C. & Jönsson, P. 2010. Inblandning av rött ljus i LED-lampor – Laboratoriestudier av hur människor uppfattar tre olika ljusblandningar. 7 s.
Nr 711	Mullin, T.J., Hallander, J., Rosvall, O. & Andersson, B. 2010. Using simulation to optimise tree breeding programmes in Europe: an introduction to POPSIM™. 28 s.
Nr 712	Jönsson, P. 2010. Hydrauliskt dämpad hytt – ett lyft för arbetsmiljön? 14 s.
Nr 713	Eriksson, B. & Sonesson, J. 2010. Tredje generationen skogsbruksplaner – Slutrapport DElproj 4 – Arbetsgång vid planläggning. 23 s.
Nr 714	Sonesson, J. 2010. Nya arbetssätt i skogsbruksplanläggning. 20 s.
Nr 715	Eliasson, L. 2010. Huggbilar med lastväxarsystem. 13 s.
Nr 716	Eliasson, L. & Granlund P. 2010. Krossning av skogsbränsle med en stor kross – En studie av CBI 8400 hos Skellefteå Kraft. 6 s.
Nr 717	Stener, L.G. 2010. Tillyväxt, vitalitet och densitet för kloner av hybridasp och poppel i sydsvenska försök. 46 s.
N 718	Palmquist, C. & Sandberg, J. & Vibrationskomfort och ergonomi på förarstolar i skotare. 98 s.
Nr 719	Thor, M. 2010. Avverkning och hantering av virke och avverkningsrester vid angrepp av tallvedsnematoder i svensk skog. 42 s.
Nr 720	Fogdestam, N. 2010. Studier av Biotassu Griptilt S35 i gallring. 11 s.
Nr 721	Brunberg, T. 2010. Bränsleförbrukningen i skogsbruket. 12 s.
Nr 722	Brunberg, T. 2010. Rätt begrepp. 25 s.
Nr 723	Löfroth, C. & Svenson, G. 2010. ETT – modulsystem för skogstransporter – Delrapport för de två första åren. 130 s.
Nr 724	Rytter, L. & Lundmark, T. 2010. Slutrapport för Energimyndighetens projekt 30658. Trädslagsförsök med inriktning på massproduktion. – Tree species trial with emphasis on biomass production. 24 s.
Nr 725	Rytter, R.M. & Högbom, L. 2010. Slutrapport för Energimyndighetens Projekt 30659. Markkemi och fastläggning av C och N i produktionsinriktade bestånd med snabbväxande trädslag – Soil chemistry and C and N sequestration in plantations with fast-growing tree species. 64 s.

Nr 726	Brunberg, T., Eliasson, L. & Lundström, H. 2010. Skotning av färsk och hyggestorkad grot. 15 s.
Nr 727	Enström, J. 2010. Inlandsbanans potential i Sveriges skogsbränsleförsörjning. 34 s.
Nr 728	Häggström, C. & Thor, M. 2010. Human factors in forest harvester operation. 25 s.
Nr 729	Westlund, K. 2010. WP-5100 Alternative logistics concepts fitting different wood supply situations and markets. 50 s.
Nr 730	von Hofsten, H. Jämförelse mellan CeDe stubbrytare och Pallari 140. 9 s.
Nr 731	Berg, R., Bergkvist, I., Lindén, M., Lomander, A., Ring, E. & Simonsson, P. Förslag till en gemensam policy angående körskador på skogsmark för svenskt skogsbruk 18 s.
Nr 732	Jönsson, P. 2010. Stolar och armstöd – Ergonomisk granskning enligt European ergonomic and safety guidelines for forest machines. 37 s.
<b>2011</b>	
Nr 733	Rytter, L., Johansson, T., Karačić, A., Weih, M. m.fl. 2011. Orienterande studie om ett svenskt forskningsprogram för poppel. 210 s.
Nr 734	Hannerz, M. & Fries, C. 2011. Användningen av webbtjänsterna Kunskap Direkt och Skogsskötselserien. – En enkätundersökning bland skogsbrukets fältpersonal. 48 s.
Nr 735	Andersson, M. & Berglund, A. 2011. Test av pekskärmsmobiler. 22 s.
Nr 736	Löfgren, B., Englund, M., Forsberg, N., Jönsson, P., Lundström, L. & Wästerlund, I. 2011. Spårdjup och vibrationer för banddrivna skotare Lightlogg C och ProSilva. 32 s.
Nr 737	Brunberg, T. 2011. Studie av flerträdshantering i slutavverkning med John Deere 1470D hos SCA Skog hösten 2010.
Nr 738	Fogdestam, N. & Lundström, H. 2011. Studier av Offset Crane Concept, OCC hos Kjellbergs Logistik & Teknik i Hällefors. 15. S.
Nr 739	Bhuiyan, N., Arlinger, J. & Möller J.J. 2011. Utveckling och utvärdering av en standardiserad metod för volymbestämning och stamräkning vid avverkning med flerträdshanterande skördaraggregat. 30 s.
Nr 740	Iwarsson Wide, M. & Fogdestam, N. 2011. Jämförande studie av olika uttagsmetoder av massaved och skogsbränsle i klen gallring. – Energived- och massavedsuttag med LOG MAX 4000B, Stora Enso Skog, Dalarna. 45 s.
Nr 741	Brunberg, T. 2011. Uppföljning av utbildningseffekten hos maskinlag hos SCA Skog AB 2010. 8 s.
Nr 742	Hannrup, B., Andersson, M., Bhuiyan, N., Wikgren, E., Simu, J., Skog, J. 2011. Vinnova_Slutrapport_P34138-1_101221. – Slutrapport för projekt ”Beröringsfri diametermätning i skördare – utveckling av mätsystem och tester i produktionsmiljö”. 84 s.
Nr 743	Åström, Hannes. 2011. Förbättring av arbetsförhållande i skördare. 126 s.
Nr 744	Cheng, C. 2011. Modeling the Ride Comfort of a Forwarder. Modellering av åkkomforten i en skotare. 93 s.
Nr 745	Jonsson, J. 2011. Dynamisk däckmodellering och markinteraktion för skogsmaskiner. Dynamic tire modeling and soil interaction regarding forestry machines. 52 s.