

Beröringsfri diametermätning

*Björn Löfgren, Lars Wilhelmsson, SkogForsk,
Håkan Hummel & Magnus Ericson, Svenska Elektronikprodukter AB*



Omslag: Timberjack 762B med beröringsfri mätram
Foto: Björn Löfgren

SkogForsk – Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut

SkogForsk arbetar för ett långsiktigt, lönsamt skogsbruk på ekologisk grund. Bakom SkogForsk står skogsbolag, skogsägareföreningar, stift, gods, allmänningar, plantskolor, SkogsMaskinFöretagarna 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.

SkogForsk arbetar med forskning och utveckling med fokus på fyra centrala frågeställningar: Produktvärde och produktionseffektivitet, Miljöanpassat skogsbruk, Nya organisationsstrukturer samt Skogsodlingsmaterial. På de områden där SkogForsk har särskild kompetens utförs även i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Serien *Arbetsrapport* dokumenterar långliggande försök samt inventeringar, studier m.m. och distribueras enbart efter särskild beställning.

Forsknings- och försöksresultat från SkogForsk publiceras i följande serier:

SkogForsk-Nytt: Nyheter, sammanfattningar, översikter.

Resultat: Slutsatser och rekommendationer i lättillgänglig form.

Redogörelse: Utförlig redovisning av genomfört forskningsarbete.

Report: Vetenskapligt inriktad serie (på engelska).

Handledningar: Anvisningar för hur olika arbeten lämpligen utförs.

Innehåll

Sammanfattning	3
Bakgrund	5
Mål	6
Genomförande	7
Nedsmutsning	7
Konstruktion av mätram	8
Optik och elektronik	11
Programvara	14
Filtreringsprinciper	14
Fälttester	15
Fälttest 1	15
Fälttest 2	15
Resultat	16
Nedsmutsning	16
Aggregat	16
Optik och elektronik	16
Programvara	17
Fälttester	17
Fälttest 1	17
Åtgärder för att förbättra mätresultatet och erfarenheter från etapp 1	19
Fälttest 2	20
Simulering av diamettermätning med hjälp av data från furustambanken	24
Ekonomi	26
Intäkter vid bättre diamettermätning	26
Enkäten	26
Produktifiering, SVEPS bedömning	27
Förutsättningar för kalkylen:	27
Utvecklingskostnader	27
År 1 och 2:	27
Driftskostnader	28
Tillverkningskostnad	28
Pris	28
Utgifter:	28
Intäkter:	28
Diskussion	29
Dokumentation	32
Bilaga 1 Tidplan	33

Sammanfattning

Kraven ökar på att drivningsorganisationerna ska aptera timmer med specifika dimensioner, som är bättre anpassade till sågverkens produktionsförutsättningar. Kraven på mätutrustningens funktion och noggrannhet kommer därmed också att öka. Mätdata består av längd- och diameteruppgifter, men kan i framtiden även komma att omfatta andra uppgifter om stammen. Kvaliteten på mätvärdena från givarna är direkt avgörande för att tillrett virke ska hålla avsedda dimensioner. Det har stor betydelse för apteringsresultatet som helhet.

Ur sågverkens synpunkt är det av stort värde att diametern kan mätas med hög noggrannhet. Om skördaren mäter fel diameter och stocken registreras i fel diameterklass kan diametern eller förhållandet diameter stocklängd hamna utanför sågens specifikationer.

I en kalkyl beräknas intäktsökningen för bättre diametermätning till mellan 0,50 och 2,20 kr/mm minskad standardavvikelse och avverkad m^3f . Räknat per skördare motsvarar detta ungefär 20 000 – 90 000 kr/år och mm. Vidare kan säker identifiering av om diametern mäts på eller under bark, samt systemets möjligheter att bidra till beräkning av stockens inre egenskaper, leda till ökade intäkter. Om systemet kan göras fritt från kalibrering kan det innebära en kostnadsbesparing på 20 000 – 50 000 kr/skördare och år. Om vederlagsmätningen kan rationaliseras som en följd av bättre mätteknik i skördarna, kan detta vara värt i storleksordningen 5 kr/ m^3f timmer och ca 1 kr/ m^3f massaved. Detta kan motsvara upp till 160 000 kr/år för en skördare som vederlagsmäter allt avverkat virke.

För att få en uppfattning om hur skogsföretagen bedömer värdet av en noggrannare diametermätning genomfördes en enkätundersökning bland skogsbrukets förvaltningar. 85 % av de som svarat anser att det är mycket viktigt med bättre diametermätning i skördare. 65 % anser att det ger ett mervärde som är större än 1 kr/ m^3fub .

I en första projektetapp undersöktes om beröringsfri diametermätning med hjälp av en datorbaserad linjescankamera är en användbar metod. Studien visade lovande resultat, men att kompletteringar av programvara och optik behövdes.

I en etapp 2 utvecklades en testtrigg för simulering av olika störningar vid diametermätning. Med hjälp av testtriggen har störningar i form av solljus, skakningar, kvarsittande eller lösa kvistar, spån, snö och nedsmutsning av objektiv och belysning kunnat simuleras. Simuleringarna har utnyttjats för att utveckla mätutrustning och programvara, så att inverkan av störningarna har kunnat reduceras. Resultaten kan sammanfattas som positiva.

Syftet med etapp 3 har varit att vidareutveckla laboratorieuppställningen av diametermätare till en praktisk fungerande prototyp för ett beröringsfritt diametersystem monterat på ett engreppsskördaraggregat.

En mätram har konstruerats för att passa engreppsskördaraggregatet Timberjack 762 B. Aggregatet har sedan monterats på en engreppsskördare FMG 250 Super-Eva.

Fälttester har genomförts för att utvärdera den beröringsfria mätramen mot klavade mätvärden och befintligt apteringssystem.

Resultaten visar att 75 % av stockarna hamnar inom intervallet ± 4 mm från klavat toppvärde. Det är fortfarande en bit kvar till de krav som är uppställda (90 %), men bättre än det medelvärde som gäller för kvistknivar försedda med potentiometergivare, som diametermätare (67 %).

För att belysa aggregatets möjligheter att mäta ”rätt” diametermedelvärde, eller mindiameter, har data från furustambanken utnyttjats till simulering. Resultaten visar att vinkeln mellan kamerorna sannolikt måste ökas (optimalt 90°), för att specificerad mätnoggrannhet ska kunna uppnås.

En avgörande faktor för mätresultaten i etapp 3, har varit mängden störningar i form av skräp, som kommer i vägen för kamerorna. Mängden skräp är större och har en annan form än de som simulerades i etapp 2. Skräpet består av längre barkflagor som kan ge långvariga störningar och därmed påverka mätresultatet. Kortvariga störningar i mindre mängder påverkar däremot inte mätresultatet. Den nuvarande placeringen av mätramen innebär att det kommer skräp från två par kvistknivar, matarhjulen, längdmätningshjulet och kapsågen. En mer skyddad placering av mätramen föreslås.

Ett fungerande beröringsfritt diametermätningssystem i skördare beräknas av SVEP komma att kosta ca 150 000 kr/aggregat.

Bakgrund

För att tillgodose ökad ändamåls- och kundanpassning i kombination med rationaliseringar krävs bl.a. en utveckling av skördarnas dimensionsmätning. Kraven på mätutrustningens funktion och noggrannhet kommer att öka. På sikt kan vederlagsmätning för virkesaffärer komma att ske direkt i skördarna vid avverkningen. Det är ett system som redan tillämpas i Finland.

Mätdata består av längd- och diameteruppgifter och kan i framtiden även komma att omfatta andra uppgifter om stammen. Kvaliteten på mätvärdena från givarna är direkt avgörande för att tillrett virke ska kunna hålla specificerade dimensioner. Det har också stor betydelse för apteringsresultatet som helhet. Ett inoptimalt kap minskar det uppkapade virkets värde. Korrekt information om dimension och fördelning, direkt från skogen, leder också till rationaliseringsmöjligheter genom hela kedjan skog – färdiga produkter.

Flera system för kontinuerlig diametermätning finns sedan flera år på marknaden. De flesta systemen mäter med kvistknivarna. De utnyttjar linjära potentiometrar eller vridpotentiometrar med hög upplösning. Systemen registrerar diametern på varje cm av stammen och beräknar på grundval av 5–20 observationer ett minimivärde per 10 cm.

Problemen med kalibrering av de berörande diametergivarna är stora. Dels är det tidsödande och dels är det mycket svårt att få tillförlitliga diametervärden under perioder med omväxlande kyla och värme, främst på våren. Kalibreringen måste vara noggrann och regelbunden. Det kostar skogsbruket mycket pengar att kalibrera. En grov uppskattning är att det tar ca 0,5 timmar eller ca 300 kr/dag att kalibrera. I praktiken fungerar kalibreringen ofta otillfredsställande.

Differentierade krav på noggrannheten vid diametermätning finns upprättade. Kraven är separerade med hänsyn till vilken typ av virke det gäller och avser i första hand mätning på bark. För toppstockar ska mätnoggrannheten på bark vara ± 6 mm och för övriga stockar ± 4 mm. Kravet gäller för 90 % av bitarna. Erfarenheter från studier av praktisk drift visar att man med berörande givare praktiskt erhåller ca 50–70 % av stockarna inom de uppställda intervallen om systemet är väl kalibrerat.

Ur sågverkens synpunkt är det av stort värde att diametern kan mätas med hög noggrannhet. Om skördaren mäter fel på diametern och stocken registreras i fel diameterklass kan diametern eller förhållandet diameter stocklängd hamna utanför sågens specifikationer.

De berörande diametergivarna, som har 3–4 st anläggningspunkter, är inbördes förskjutna 0,3 – 0,5 m längs stammen och är inte separat avläsningsbara. Några distinkta diametermått per cm erhålls inte.

I normala fall löper kvistknivarna ovanpå stammens bark och man får ett diametervärde på bark. Vid kvistningsarbetet kan dock knivarna ”hoppa” och indikera alltför höga diametervärden. Under perioden maj till september löper knivarna ömsom på och ömsom under barken vilket skapar en stor osäkerhet i diametervärdet för den enskilda stocken.

Ett träds bulighet och avsmalning kan utnyttjas som variabler för att prognostisera trädets timmeregenskaper. Det förutsätter noggrann kontinuerlig och säker diamettermätning.

Enligt en preliminär beräkning utförd av Sondell, SkogForsk, 1991, beräknas vinsten med bättre längdgivare bli ca 1 % av virkesvärdet och med förbättrad diamettermätning 1–2 %. Om det hanterade timmervärdet är ca 10 miljoner kr betyder det en årlig vinst på 250 000 kr per maskin.

I en första etapp, finansierad av SkogForsk, undersöktes om beröringsfri diamettermätning med hjälp av en datorbaserad linjescankamera var en användbar metod. Förstudien visade lovande resultat men att vissa kompletteringar behövdes. En beröringsfri mätram på engreppsskördaraggreat bör innehålla två kameror och en stark pulsbar ljuskälla. Programmen i kamerorna bör kunna klara störande reflexer och beräkna stockens diameter även om kamerorna ser hela stockdiametern.

I en etapp 2 utvecklades en testrigg för simulering av störningar vid diamettermätning. Etapp 2 finansierades av NUTEK, SISU Logging AB, Timberjack AB, Svenska Elektronikprodukter (SVEP) och SkogForsk. Arbetet med riggen har utförts vid SVEP i Lund. Riggen har använts för att testa och vidareutveckla idén till mätutrustning som togs fram i etapp 1.

Med hjälp av testriggen har störningar i form av solljus, skakningar, kvarsittande eller lösa kvistar, spån, snö och nedsmutsning av objektiv och belysning kunnat simuleras. Resultaten kan sammanfattas som positiva.

Mål

Målet med etapp 3 har varit att vidareutveckla laborieuppställningen av diametermätare med visionsteknik, utvecklad i projektets tidigare etapper, till en engreppsskördarburen praktisk fungerande prototyp för ett beröringsfritt diamettermätningssystem. Detta har även omfattat beräkningar av produktutvecklingskostnaden för ett beröringsfritt diametersystem och den ekonomiska nyttan med att mäta diametern noggrannare.

Genomförande

SkogForsk har svarat för ledning och utvärdering av framkomna resultat. Teknisk specialistkompetens inom visionsteknik kommer från Svenska Elektronikprodukter AB. Skogsmaskinföretagen SISU Logging AB och Timberjack AB har tillhandahållit ett skördaraggregat för montering av mätutrustning. STORA Skog AB har varit maskinvärd.

Arbetet med diametergivaren i etapp 3 har delats upp i följande steg:

- Undersökning av nedsmutsningförhållandena på ett befintligt aggregat i praktisk drift.
- Konstruktion av en mekanisk mätram för montering på aggregat och en mätram för analyser i lab.
- Framtagning av ny optik, nya belysningsmoduler och kamerahus anpassat för den besvärliga miljön.
- Vidareutveckling av program till diametermätningssystemet.
- Två stycken fälttester. Ett test för att utvärdera den beröringsfria diametermätaren och ett test där den beröringsfria diametergivarens mätvärden jämförs med maskinens befintliga apteringssystem.

Nedsmutsning

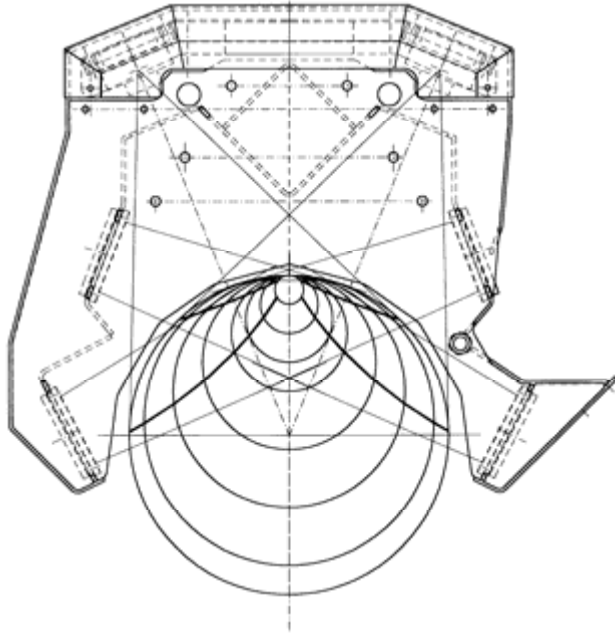
Resultaten från etapp 2 visar att en viktig faktor för kamerornas funktion är att linser eller skyddsglas inte smutsas ner alltför mycket av skräp och olja. Nedsmutsning av lysdiodsramper är mindre känsligt. För att studera hur stor nedsmutsningen är genomfördes ett test under normal slutavverkning, där ett par metallskenor, försedda med plexiglas, placerades i närheten av en tänkt placering av mätsystemet i skördaraggregatet, se figur 1.



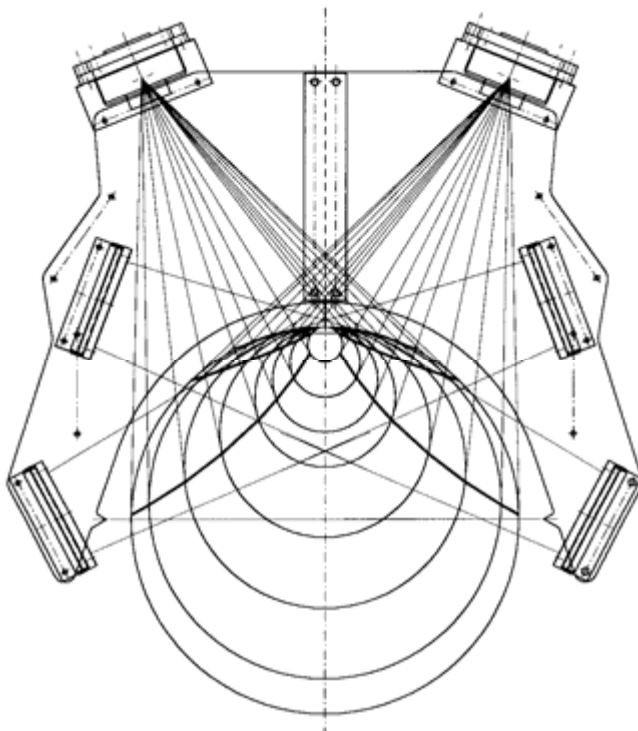
Figur 1.
Placering av metallskenor.

Konstruktion av mätram

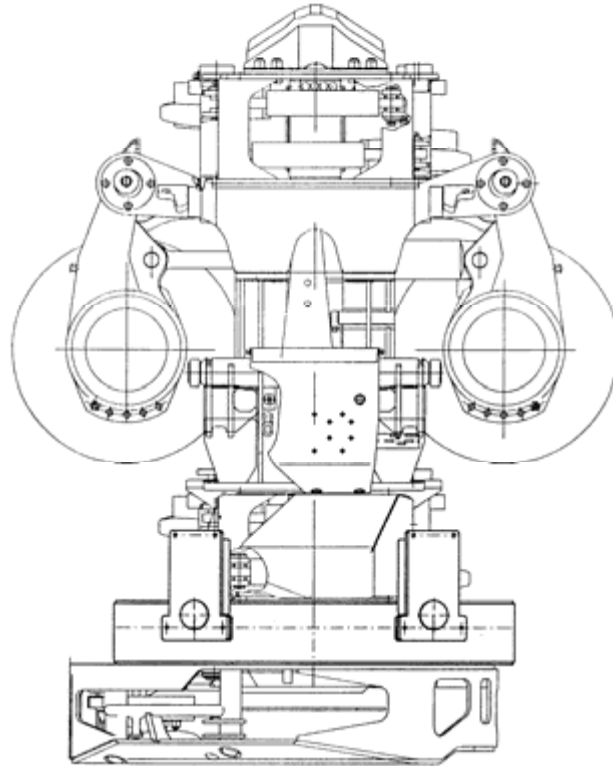
En mätram har konstruerats för att passa engreppsskördaraggregatet Timberjack 762 B, se figur 2, och en mätram för laborietester, se figur 3. Aggregatet har sedan monterats på en engreppsskördare FMG 250 SuperEva.



Figur 2.
Mätram för engreppsskördaraggregat Timberjack 762 b.

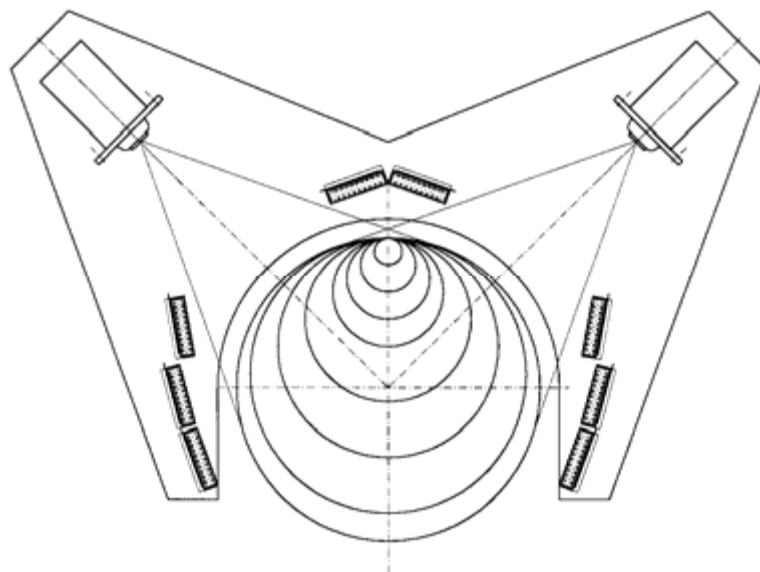


Figur 3.
Mätram för laborietester.

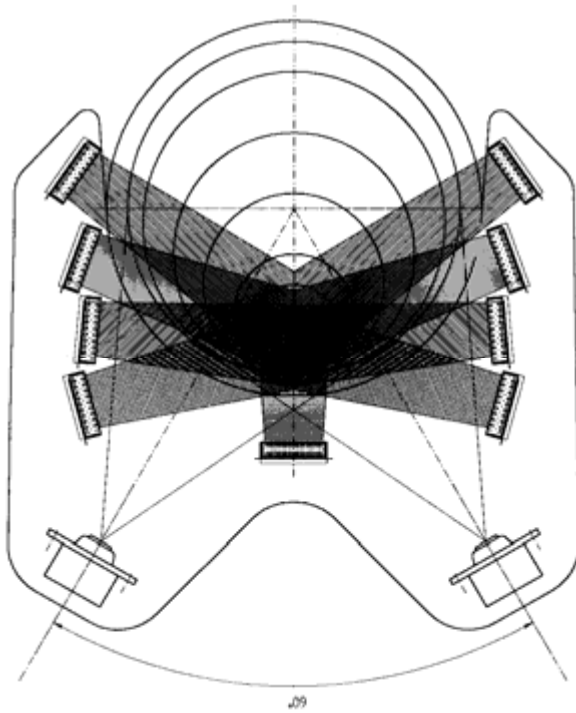


Figur 4.
Den nya mätramen på engreppsskördaraggregatet Timberjack 762B.

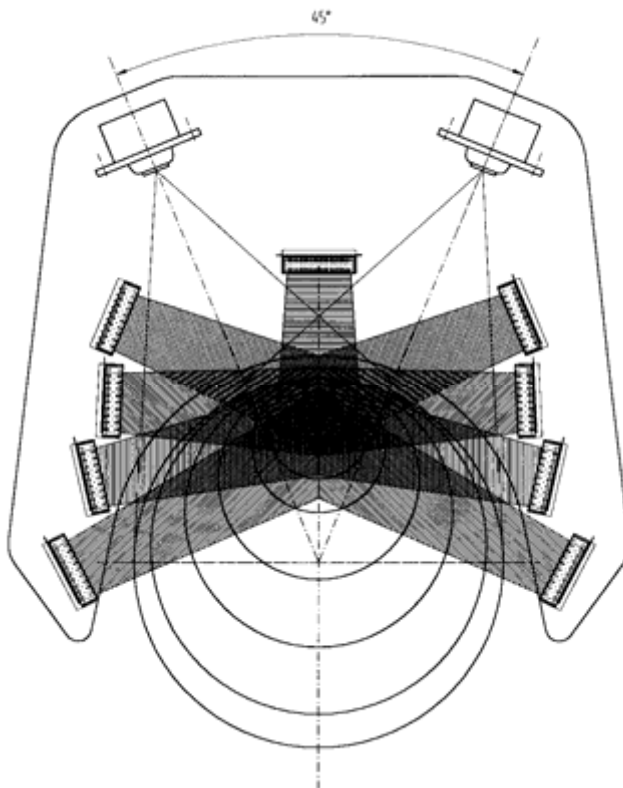
För att få plats med mätramen och samtidigt erhålla ett aggregat som går att använda i fält har vi varit tvungna att gå ned till 45° vinkel mellan kamerorna till skillnad från labtesterna i etapp 1 och 2, där vinkeln mellan kamerorna var 90°. Tre olika vinklar har undersökts, 90°, 60° och 45°.



Figur 5.
Skiss på aggregat med 90° vinkel mellan kamerorna.



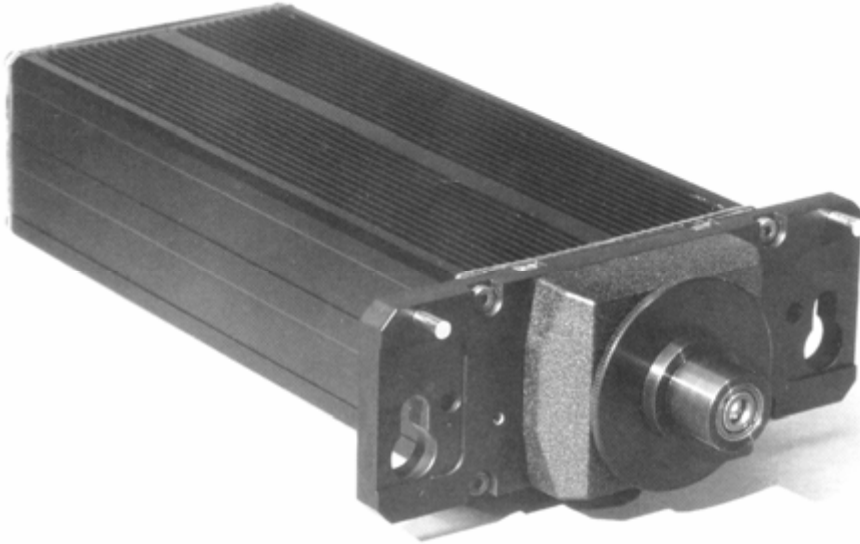
Figur 6.
 Skiss på aggregat med 60° vinkel mellan kamerorna.



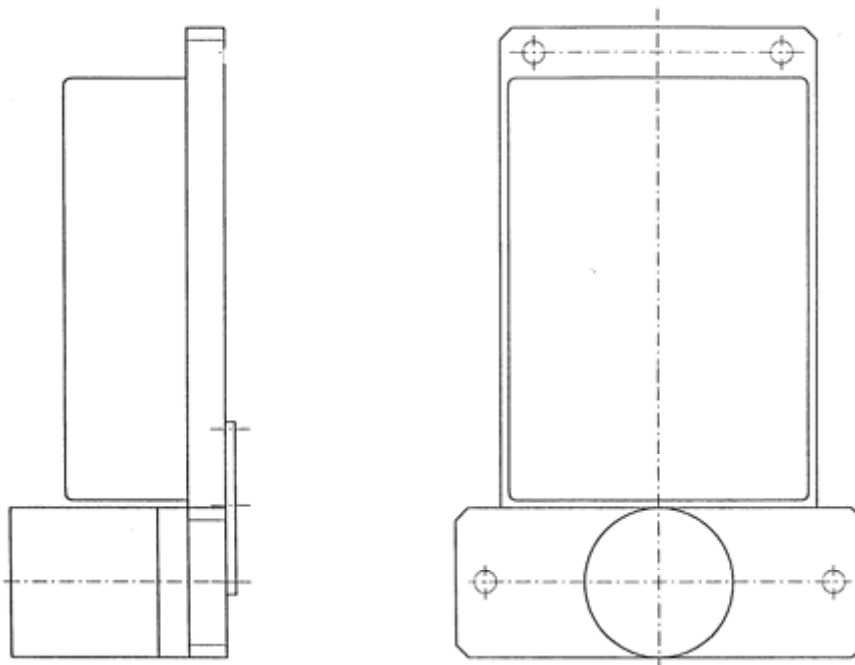
Figur 7.
 Skiss på aggregat med 45° vinkel mellan kamerorna.

Optik och elektronik

Vid laboratorieproven använde vi oss av kameror i standardutförande, vilket innebär att elektronik och optik ligger i linje med varandra. För att få plats med kamerorna på aggregatet var vi tvungna att vinkla kamerornas elektronik 90° i förhållande till optiken. Samtidigt krävdes det en ny kapsling av optik och elektronik för att klara av den besvärliga yttre miljön.

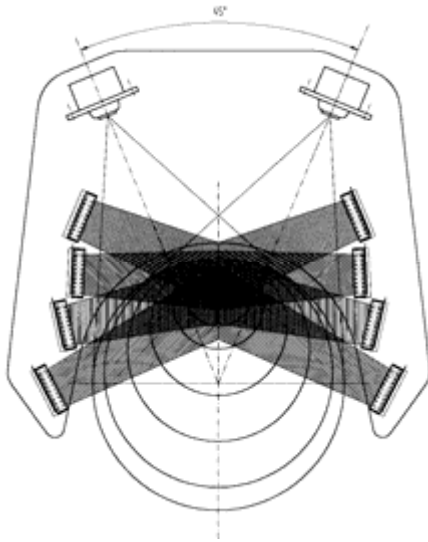


Figur 8.
Standard kamerahus.

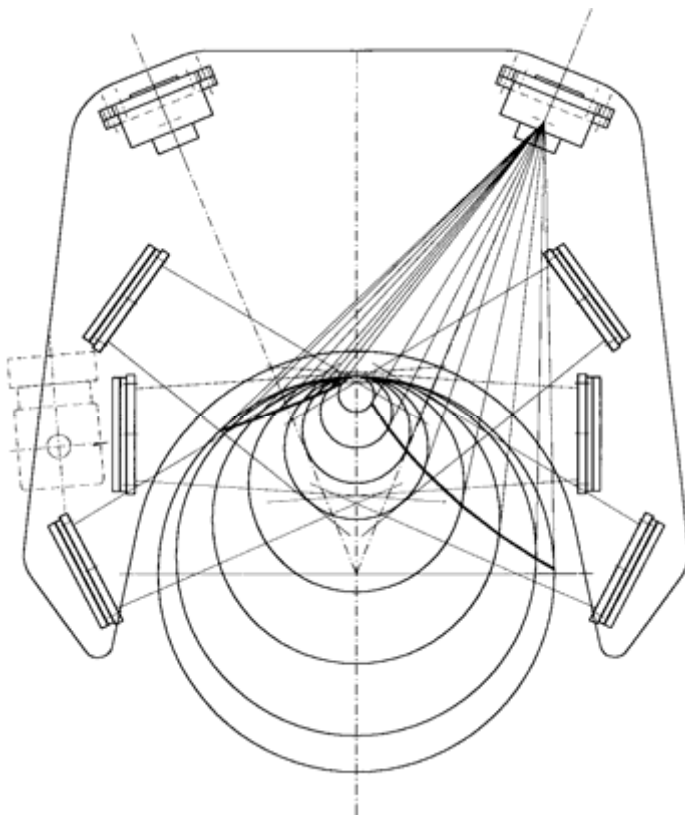


Figur 9.
Nytt vinklat kamerahus.

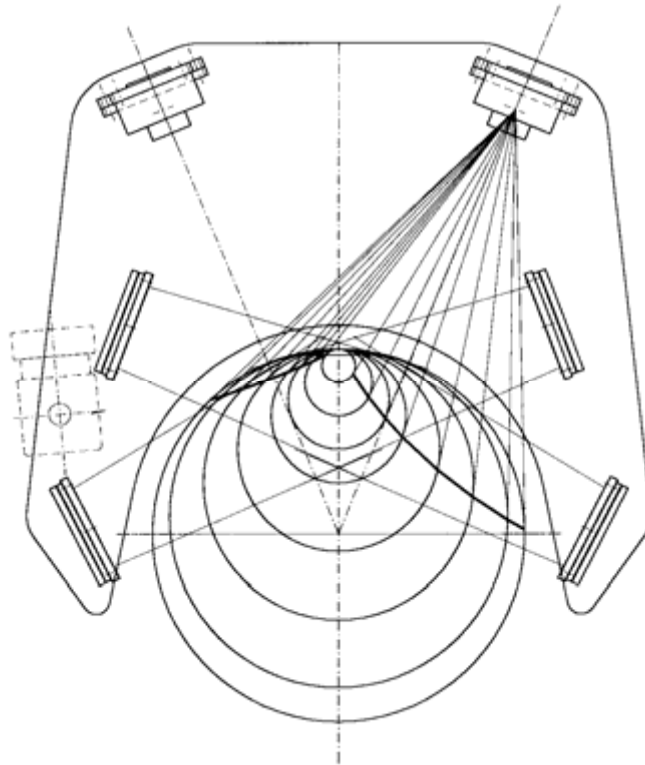
Nya belysningsmoduler har tagits fram för att få starkare och jämnare belysning på stocken. Även antalet belysningsmoduler och belysningsmodulernas placering på aggregatet analyserades för få bästa möjliga resultat.



Figur 10.
Mätram med 8 belysningsmoduler.

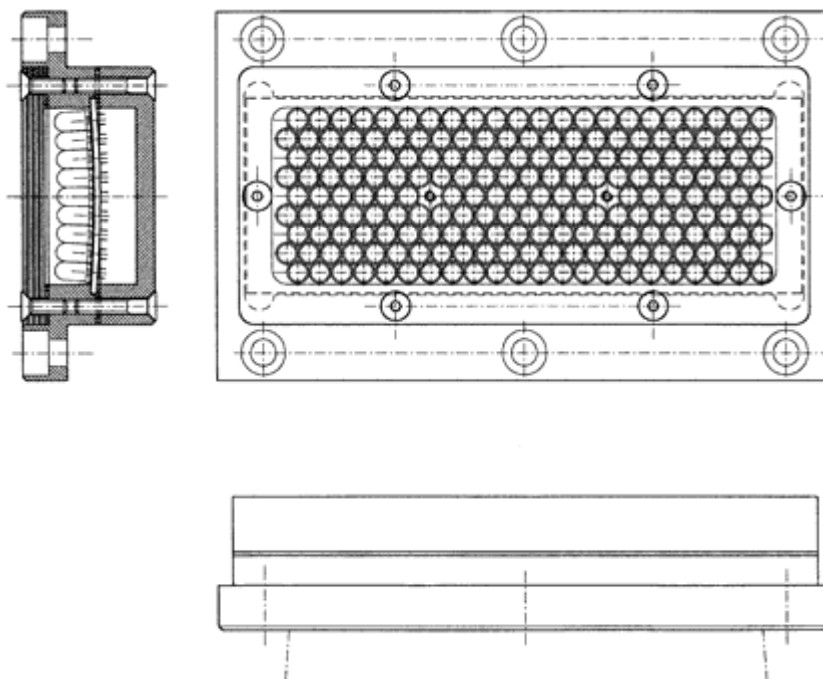


Figur 11.
Mätram med 6 belysningsmoduler.



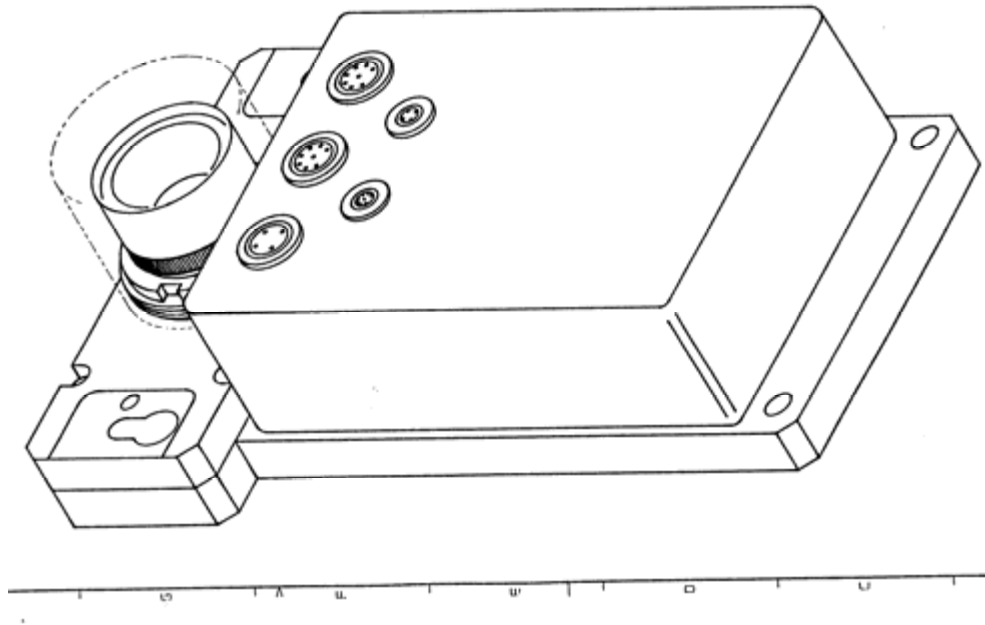
Figur 12.
Mätfram med 4 belysningsmoduler.

Den slutliga utformningen blev en mätfram innehållande 4 belysningsmoduler. Anledningen till detta var dels utrymmesbrist i mätframmen och dels att antalet lysdioder är fler än i etapp 2. Lysdioderna är också ljusstarkare än de som användes i etapp 2.



Figur 13.
Exempel på belysningsmodul.

Ny optik och en kapsling avsedd att skydda optiken i den yttre besvärliga miljön har tagits fram. Den nya optiken har en ökad brännvidd, bättre kvalitet och större vidvinkel. Den bättre kvaliteten på optiken innebär att man får en bättre skärpa ute i kanterna och den geometriska distorsionen är låg.



Figur 14.
Perspektivbild på nytt kamerahus med skyddat objektiv.

Programvara

Som tidigare nämnts har vinkeln mellan kamerorna minskats från 90° till 45° . Denna ändring påverkade mätalgoritmen, utvecklad i lab under etapp 2, och har inneburit mycket mer arbete än planerat. Vid genomgång av mät-rutinerna visade det sig att några antaganden från etapp 2 inte var helt riktiga. Mycket tid har lagts ner på att klarlägga hur olika parametrar påverkar mätningen.

Filtreringsprinciper

För varje mätning kontrolleras att diameters förändring under ett tidsintervall, diameterkurvas derivata, ligger inom rimliga gränser. Skulle så inte vara fallet ersätts det aktuella mätvärdet med en skattning baserad på det senaste godkända minvärde på diametern och en normalderivata. Genom detta förfarande filtreras såväl diameterökningar och snabba diameterminskningar bort.

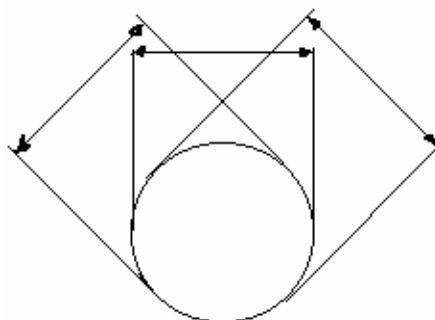
De båda kamerornas mätresultat har vägts samman. Medelvärdet av de två kamerorna används om skillnaden mellan de båda kamerorna är mindre än aktuell diameter/20, annars används det minsta värdet av de två kamerorna. Det sammanvägda resultatet har jämförts med den minsta diameter som klavningarnas medelvärde haft längs stocken.

Fälttester

Fälttesterna har genomförts i två omgångar. Första testet genomfördes för att utvärdera den beröringsfria mätramen mot klavade mätvärden, det andra testet för att jämföra den beröringsfria mätramen med befintligt apterings-system och mot klavade mätvärden. För att få ett statistiskt underlag avverkades ca 20 träd (75–100 stockar) vid varje fälttest. Den beröringsfria diametergivaren lagrade diametervärden för ett träd i taget och diametergivaren tömdes på mätvärden efter varje träd. Rådata från diametergivaren lagrades för vidare analys.

Fälttest 1

Fälttest 1 genomfördes under september 1996. 20 träd av olika trädslag, med olika diametrar och kvistighet avverkades. Kamerornas mätresultat har jämförts mot klavade mätvärden. Klavningen har genomförts för varje decimeter, längs stocken, i tre olika vinklar runt stockens periferi, två i samma vinkel som kamerorna ”ser” stocken och en mittemellan.



Figur 15.
Klavningsriktningar av stockar i fälttest 1.

Fälttest 2

Fälttest 2 genomfördes i januari 1997. I en normal slutavverkning avverkades 22 träd. Jämfört med fälttest 1 gjordes följande förändringar:

- En första mätning av diametern gjordes vid stillastående stock direkt efter kapning för att få ett bra utgångsvärde på diametern för mjukvarufiltren.
- Trycket på kvistknivarna sänktes för att minska upprivningen av bark som vållade stora problem i fältförsök 1. Kanterna på mätramen slipades bort för att förhindra bark och övrigt skräp från att fastna.
- Reflexer från lysdiodsramperna eliminerades. Dessa påverkade tidigare mätresultaten vid små diametrar.

Omfattningen av klavningen utökades så att, förutom bägge kamerariktningarna, även min- och max-diameterna klavades vid varje dm längs stocken. Även toppdiametern, 1 dm från toppändan, på varje stock mättes med klave.

Resultat

Nedsmutsning

Efter en timmes körning i normal slutavverkning var plexiglasskivorna på ena sidan helt nedsmutsade, se figur 16. Skräpet kom i huvudsak ifrån kapsågen och var nedsmutsat med olja. Detta innebär att kamerorna måste skyddas väl vid en inbyggnad på aggregatet. Även lysdioderna bör skyddas mot svårare nedsmutsning.



Figur 16.
Nedsmutsat plexiglas.

Aggregat

För att hålla kostnaderna så låga som möjligt i projektet var vi hänvisade till att använda oss av ett prototypaggregat och en äldre maskin av typen Super-Eva. Även hydraulventilerna var av prototyputförande, vilket resulterade i att vi inte kunde justera in trycken rätt. T.ex. blev kvistknivarnas klämkrifter inte rätt inställda. Aggregatet är normalt inte avsett för Super-Eva, dels för att det väger för mycket och dels för att pumpflödet är för litet. För att erhålla lämpligt hydrauloljeflöde till aggregatet kördes testerna med 2 000 rpm på motorn.

Optik och elektronik

Optik och elektronik fungerade väl. I och med att kamerorna fick en skyddad placering, klarade vi problemet med nedsmutsning av linserna.

Programvara

De anpassningar som behövde göras av program som utvecklats under tidigare projektetapper var följande:

- Ett nytt sätt att ta hand om stockens rörelser i aggregatet.
- Mindre kompensation för icke-linjäritet i optiken.
- En annan tolkning av flankerna mellan ljus och mörkt.

Fälttester

Genom att rådata från varje träd sparades i kamerorna har det funnits möjlighet att i efterhand prova olika typer av filtreringar för att försöka förbättra överensstämmelsen med klavningen. Kamerorna gör var för sig en grundfiltrering vid mätningen för att ta bort kortvariga störningar. I den efterföljande analysen har vi en filtrering på en högre nivå med utnyttjande av information från båda kamerorna och kunskapen om hur en stamprofil rimligtvis kan se ut.

Fältest 1

Den bild som kamerorna registrerade innehöll som väntat stora mängder störningar i form av barkflagor, grenar o.dyl. Så länge dessa störningar är kortvariga är överensstämmelsen mellan kamerornas diametervärden och det klavade diametervärdet mycket god. De mjukvarufilter som tagits fram tidigare i etapp 2 fungerade bra för kortvariga störningar men klarade som väntat inte av alltför långvariga störningar. Problem uppstod t.ex. om långa barkrevor hamnade olyckligt i bildfältet. Speciellt visade det sig att en glidplåt i aggregatet var utformad så att den rev upp en ”tuppkam” av bark på stockens ovansida. Denna ”tuppkam” var ofta obruten i en meter eller mer och gav upphov till stora mätfel. Genom att ”tuppkammen” befann sig mittemellan kamerorna fanns den dessutom i bägge kamerornas bildfält. Detta innebar att ingen av kamerorna kunde mäta korrekt vid dessa tillfällen.

Ett annat problem var reflexer in i kamerorna som orsakades av de yttre belysningsmodulerna. Reflexerna påverkade resultatet negativt vid mätning av små dimensioner. (I de bifogade diagrammen ser man att kamerornas mått ofta är för stort i slutet av varje träd.)

I tabell 1 redovisas de träd och stockar som ingår i utvärderingen. Stock nr 1 och 10 är inte med på grund av att fel uppstod vid själva mätdatainsamlingen.

Tabell 1.
Ingående provträd och fördelning på trädslag.

Träd nr	Stock nr	Trädslag
2	6–10	Gran
3	11–15	Gran
4	16–19	Gran
5	20–23	Gran
6	24–28	Gran
7	29–33	Gran
8	34–38	Gran
9	39–42	Gran
11	48–51	Tall
12	52–56	Björk
13	57–61	Björk
14	62–66	Björk
15	67–72	Asp

Tabell 2 visar medelfelet för alla klavningspunkter och andelen stockar med fel i toppdiameter mindre än ± 4 resp. ± 8 mm.

Tabell 2.
Medelfelet vid toppdiametern.

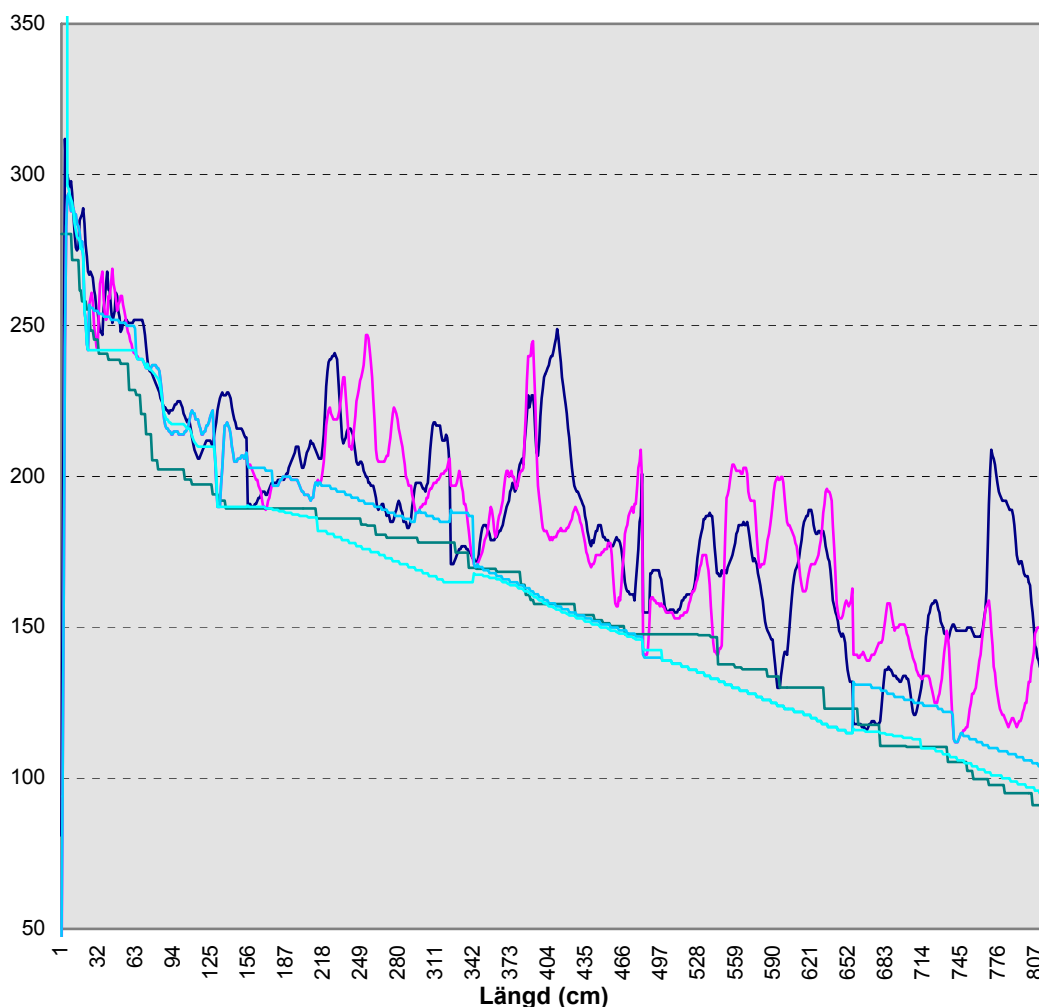
Träd	Medelfel/ träd i mm	Andel stockar med fel i toppdiameter, %	
		<4 mm	<8 mm
2	3,26	60,0	100,0
3	6,47	40,0	60,0
4	3,12	50,0	75,0
5	6,38	40,0	40,0
6	6,20	40,0	100,0
7	9,67	50,0	66,7
8	7,10	71,4	85,7
9	5,23	25,0	75,0
11	6,57	50,0	100,0
12	6,39	80,0	80,0
13	6,48	50,0	83,3
14	6,28	50,0	100,0
15	6,39	33,3	66,7
Totalt		50,0	79,4

Diametermätning med kvistknivarna klarar, om de är väl kalibrerade, att skatta toppdiametern inom ± 4 mm i 66 % (medelvärde) av fallen. Vi uppnådde inte högre noggrannhet efter det första försöket i fält. För att uppnå ett bättre resultat krävdes inte enbart förändringar i mjukvaran utan även av bildens kvalitet genom att mängden långvariga störningar minskades.

Åtgärder för att förbättra mätresultatet och erfarenheter från etapp 1

Kurvan, se figur 17, ”Kamera 1” visar grundfiltrerade värden som på grund av störningar ibland avvek kraftigt från klavningsvärdet. Efter en filtrering på högre nivå, kurvan ”Kamera 1 filtrerad”, blev överensstämmelsen väsentligt mycket bättre. Genom att väga samman informationen från de båda kamerorna i kurvan ”Best fit” förbättras överensstämmelsen ytterligare. Vid jämförelse av toppdiameter mellan kamerorna och klavningen har det minsta värdet för varje stock jämförts. Detta är inte helt i enlighet med normal mätning vid sågverk där den minsta diametern fram till 1 dm före stockens slut används.

— Kamera 1 — Kamera 2 — Klavn.1 — Klavn.2 — Klavn.mellan
— Cut — Klavn.mv. — Kamera1 filtrerad — Kamera2 filtrerad — Best fit



Figur 17.
Exempel på mätprofil för träd nr 14 från fältförsök 1.

En minskning av barkflagsstörningar i kamerornas mätfält, är nödvändig. Om den glidplåt som ger upphov till den beskrivna ”tuppkammen” modifieras, så att anläggningsytan blir större, eller att plåten ersätts med rullar,

skulle rimligen problemet elimineras. Denna lösning finns i andra aggregat. Det vore också önskvärt att göra uttag i såglådan för att förhindra att bark fastnar där och eventuellt stör kamerans bildfält.

Programvaran kan förutom införandet av de filtreringsfunktioner som tidigare nämnts förbättras enligt följande:

- Precis före sågning, då stocken är stilla men sågen ej börjat arbeta, bör man passa på att mäta eftersom mängden kringflygande spån då är som minst. Under fälttest 1 gjordes mätningar med kamerorna bara då stocken var i rörelse.
- När man detekterar att en kamera ser en felaktig diameter medan den andra registrerar en korrekt bild bör den felaktiga kamerans centrumposition skattas och den korrekta kamerans diameter räknas om. Under fälttest 1 påverkade en felaktig mätning även den andra kamerans mätning.

De reflexer i belysningarna som nämnts elimineras antingen genom att belysningarna vinklas om eller genom att reflexerna filtreras bort i mjukvaran.

Fälttest 2

Förändringarna av mekaniken och av programvaran genomfördes enligt förslagen från fälttest 1. Resultaten var bättre än i fältförsök 1, men inte så mycket som förväntat. De mekaniska förändringarna hade minskat mängden störande objekt väsentligt. Den stillastående mätningen var dock ofta behäftad med stora störningar, eventuellt härrörande från kvardröjande sågspån. Eftersom bildinformationen sparats var det möjligt att modifiera kamerornas program och göra om mätningarna i labmiljö. För varje träd överfördes bildinformationen till de båda kamerorna och sparades i kamerornas minne. För varje mätning hämtades den aktuella linjen sedan från minnet i stället för som normalt från kamerans sensor. De linjer som mätts under stillastående ströks och analysprogrammet förbättrades på en rad punkter:

- Eftersom stocken rör sig i vinkel mot kameran och ligger an mot ett motstånd finns det ett linjärt samband mellan en stocks diameter och läget för dess kanter. Denna insikt gjorde det lättare att avgöra om en viss mätning i en kamera var korrekt eller störd av skräp. I de fall då den ena kanten var korrekt, medan den andra var skydd, kan diametern skattas från den korrekta kantens läge.
- För varje mätning beräknar de båda kamerorna bl.a. utifrån sambandet mellan diameter och läge ett mått på kvaliteten i sin mätning. Detta mått används av den överordnade dator som sammanställer resultaten för att avgöra vilken kamera som för tillfället har den pålitligaste mätningen.

- Kvalitetsmättet ovan kompletterades senare med en polynomskattning av stamprofilen. Från klavingsdata beräknades polynom för den normerade stamprofilen för tall och gran i det aktuella beståndet. Dessa polynom användes för att i varje mätpunkt beräkna en förväntad diameter som vägdes samman med kamerornas kvalitetsmått vid valet av vilken kameras mått som skulle användas. I jämförelsen med klavade värden användes också ett ”begränsat” värde. Detta innebär att i de fall då båda kamerornas värden avviker för mycket från den skattade diametern används denna i stället. Detta är ett område där ytterligare förbättringar kan göras, bl.a. normeras polynomen i dag bara med avseende på rotdiametern. Antagligen borde en normering införas även med avseende på längden.

Efter ovanstående förändringar blev resultaten väsentligt mycket bättre än i fältförsök 1, vilket framgår av figurerna 18 och 19.

Fortfarande finns en del reflexer kvar som kan störa diametermätningen vid små diametrar.

Jämförelse mot klavad min-diameter visar avvikelsen mellan det minsta ”begränsade” kameravärdet, enligt ovan, under stockens sista tre decimetrar och medelvärdet av klavat min- och maxvärde i den mätpunkt där minsta diametern uppmätts.

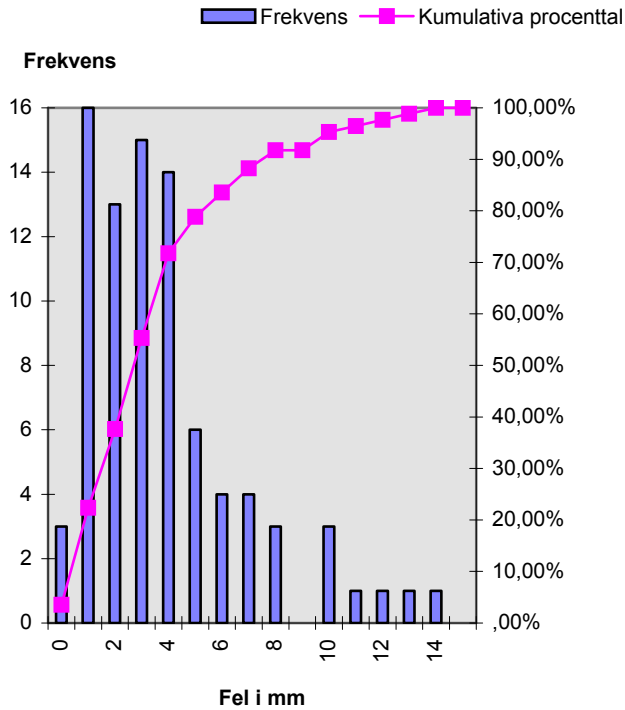
Tall, (figur 20) ger ”skräpigare” bilder än gran och därmed sämre resultat, ytterligare mekaniska förbättringar är antagligen det effektivaste sättet att komma tillrätta med detta.

I de fall där avvikelsen i min-diameter är stor är förklaringen i vissa fall ovalitet (se diagrammet ”Samband mellan fel i min-diam. och ovalitet”) och i vissa fall störningar i bilden eller en kombination av båda.

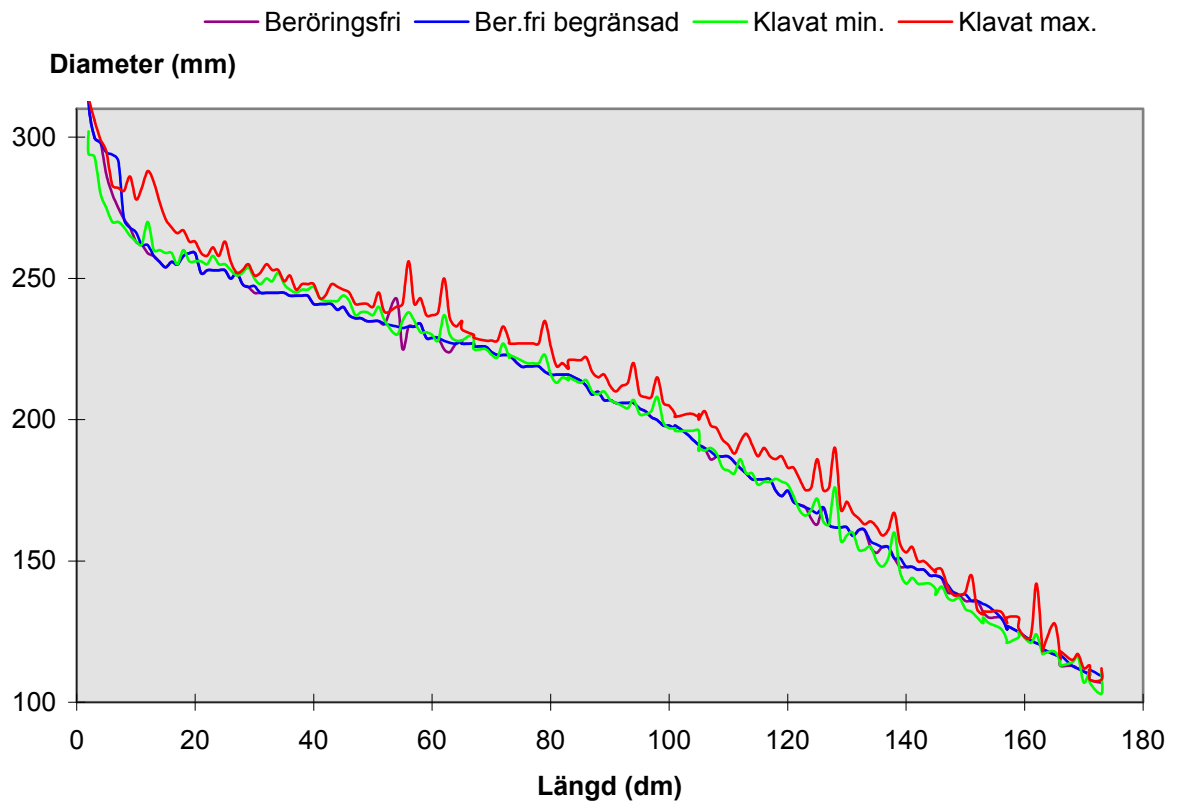
Tabell 3.
Stamprofiler. Andel mätpunkter i % i intervallet ± 4 mm av klavat diametervärde.

Träd	Beröringsfri ¹⁾	Beröringsfri ¹⁾ begränsad
1	67	58
2	97	61
3	92	92
4	88	77
5	74	69
6	80	72
7	87	70
8	82	80
10	96	60
11	94	13
21	44	44
22	76	81

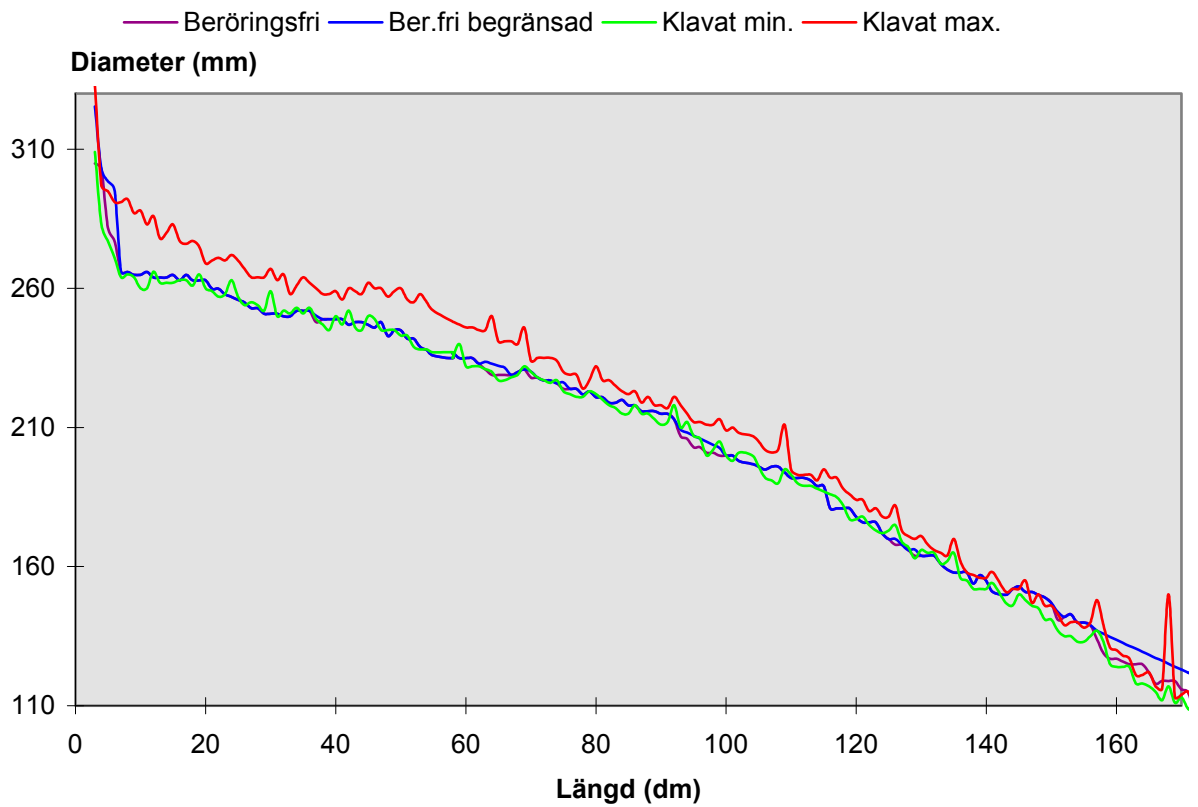
¹⁾ Bästa kameramättet i varje mätpunkt.
Se beskrivning under föregående stycke.



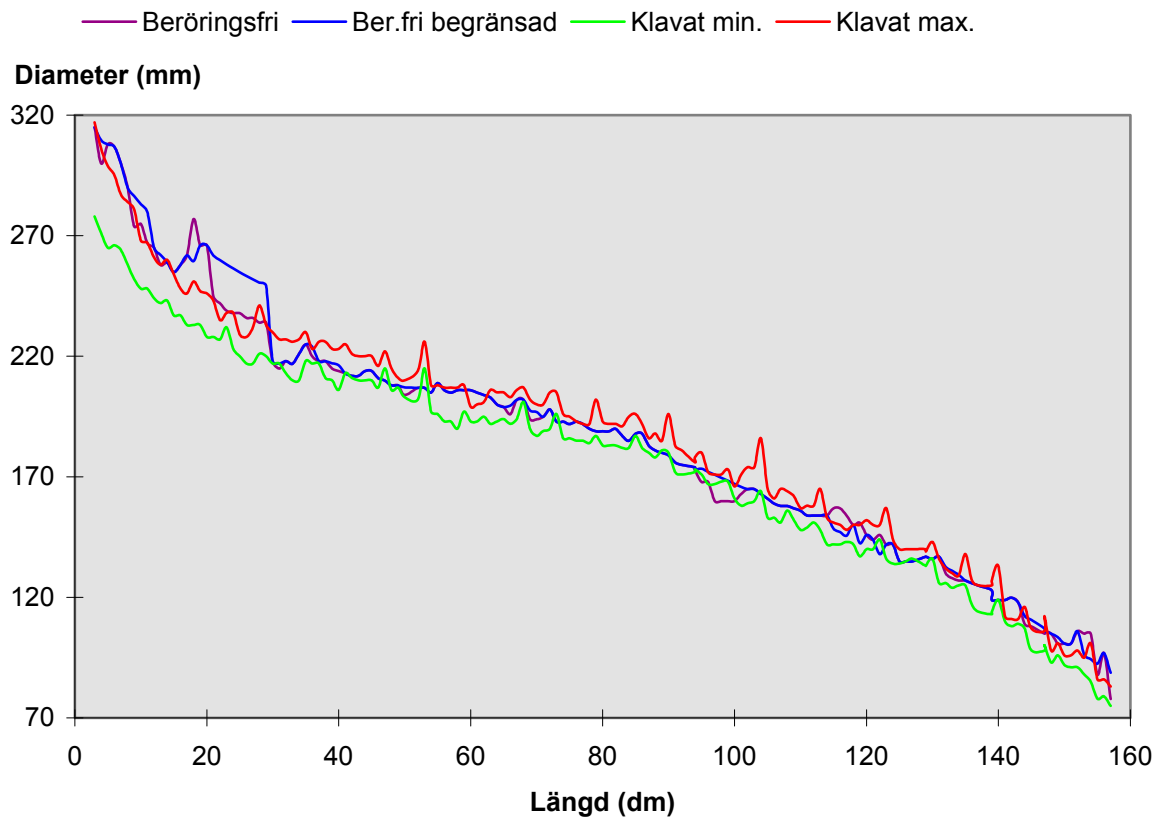
Figur 18.
Felet i min-diameter. Fördelning av värden från samtliga stockar.



Figur 19.
Exempel på mätresultat från träd nr 3.



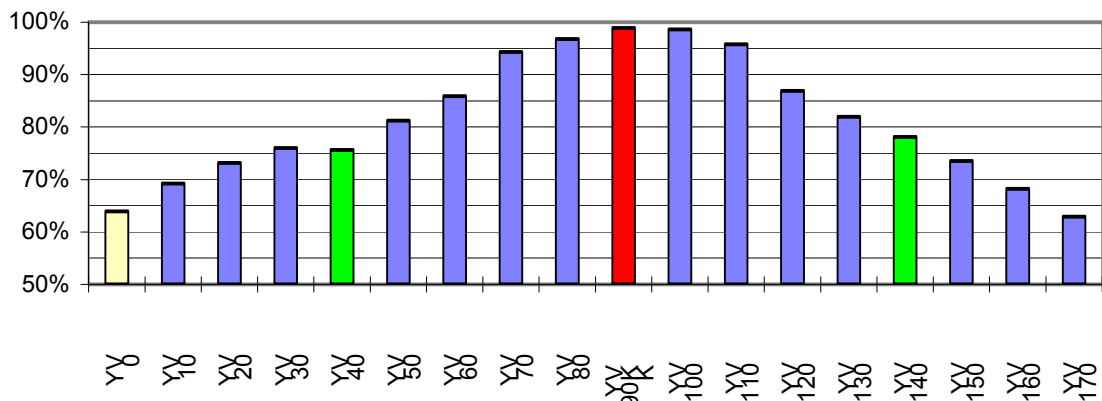
Figur 20.
Exempel på mätresultat från träd nr 10.



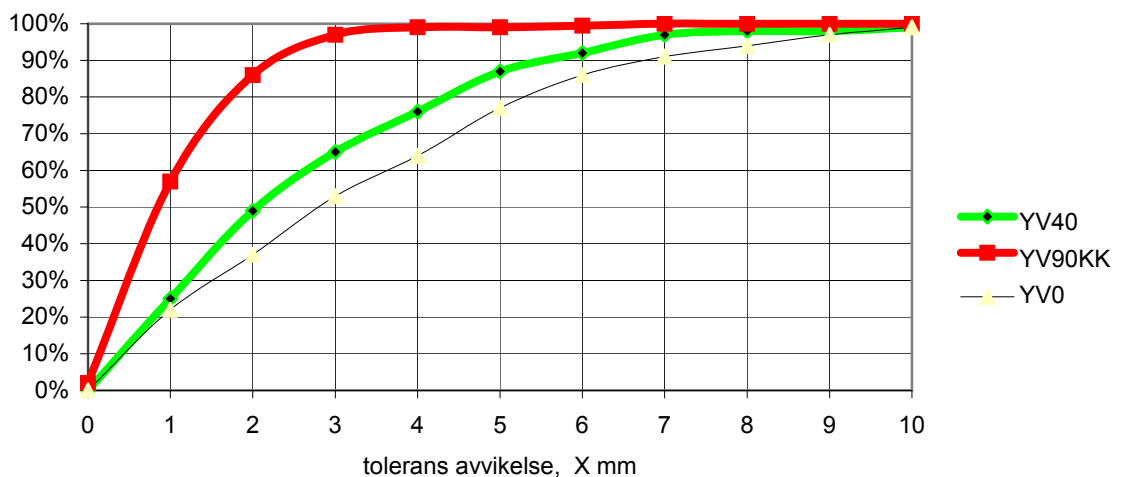
Figur 21.
Exempel på mätresultat från träd nr 22.

Simulering av diametermätning med hjälp av data från furustambanken

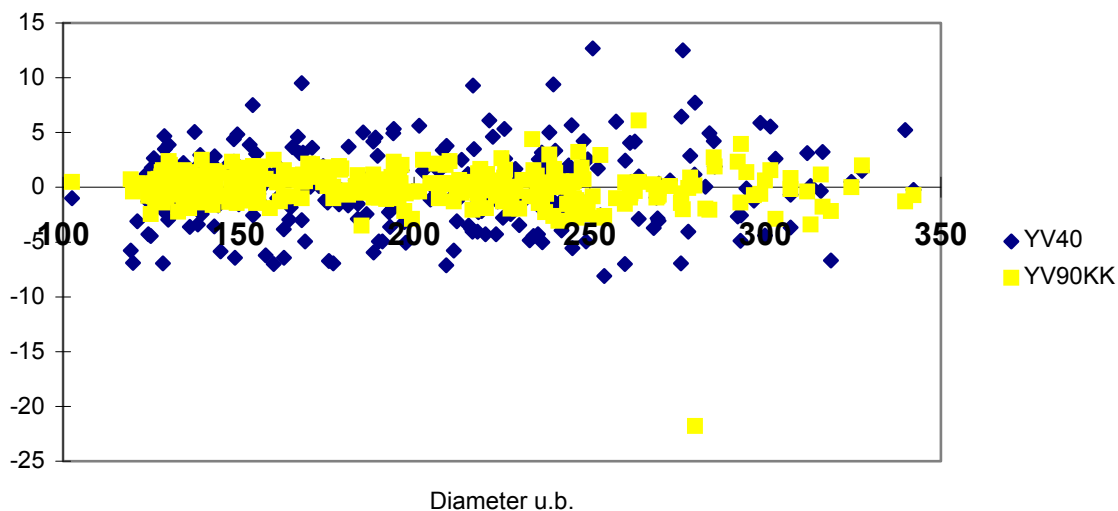
Alla nedanstående beräkningar avser simuleringar av diametermätning med hjälp av data från schablonapterade (3-meterslängder) stockar från furustambankens ytor 22–33, (Grönlund, m.fl. 1995), totalt 283 simulerade kapställen. Referensvärden, s.k. ”verkliga medelvärden”, bygger på medelvärdet av 18 olika beräknade diametrar baserade på ackumulerade minvärden (u.b.) i varje mätriktning från föregående till aktuellt kapställe. Observera dock att diametrarna har beräknats genom sammanslagning av två diametralt motsatta radier i varje mätpunkt. Dessa radier avser avståndet från mantelyta (u.b.) till märke. Vid diameterberäkning uppstår därmed en viss systematisk underskattning då mörken inte är centrerad. Detta leder till att den genomsnittliga skillnaden mellan max- och min-värden blir något för stor och att den teoretiska mätnoggrannheten underskattas något. Detta gäller framför allt simulerade diameterdata i förhållande till min-värden. Effekten är betydligt mindre vid jämförelse av medelvärden.



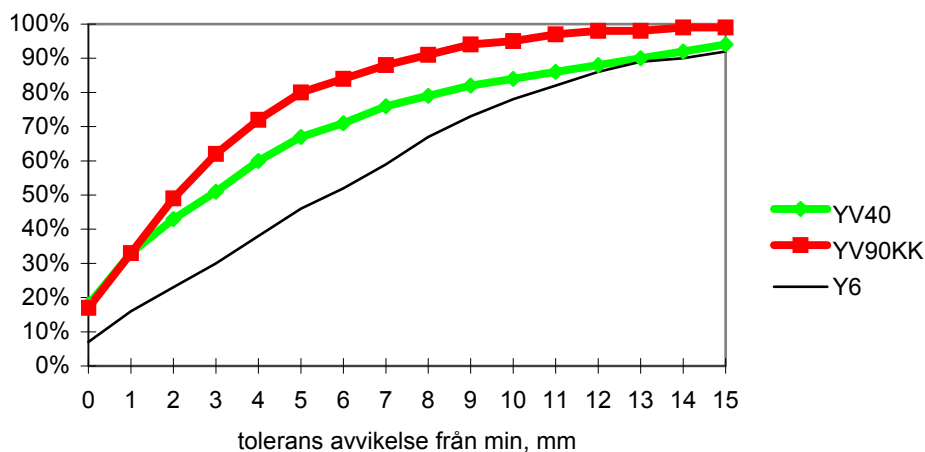
Figur 23. Andel simulerade medeldiametrar inom max avvikelse ± 4 mm u.b., från ”verkliga medelvärden”. (YV0 avser en mätriktning, övriga i angivna grader ex. YV 30 avser två diametrar mätta med 30° förskjutning, YV90KK = Korsklavning 90°).



Figur 24. Andel diametervärden inom $\pm X$ mm i förhållande till ”verklig medeldiameter” enkel diametermätning (YV0) för 40° (YV40) respektive 90° (YV90KK) vinkel mellan simulerade diametermätningar.



Figur 25.
 Avvikelser från "Verklig medeldiameter" (mm) för 40° (YV40) respektive 90° (YV90KK) vinkel mellan simulerade diametermätningar.



Figur 26.
 Andel data inom +X mm från mindiameter (minsta av 18 mätriktningar) för enkel diametermätning (Y6), 40° (YV40) respektive 90° (YV90KK) vinkel mellan simulerade diametrar.

Ekonomi

För att kunna utveckla och introducera beröringsfri diametermätning på engreppsskördaraggregat krävs att man gör en grov uppskattning av kostnaden. Det behövs också en uppskattning av intäkter i olika situationer om diametern kan mätas noggrannare än i dagens system. Nedan följer ett försök till ekonomisk analys av intäkter och produktutvecklingskostnaden för ett beröringsfritt system.

Intäkter vid bättre diametermätning

Värdet av att mäta diametern bättre i skördaren beror helt på hur systemet från skog till färdig produkt utformas. Ju mer specifika krav som ställs på råvaran för olika ändamål desto lönsammare blir det att höja mätnoggrannheten i skogen. I ett försök att värdera en bättre diametermätning i skördaren baserad på en täckningsbidragskalkyl för sågverk beräknade Wilhelmsson & Arlinger (1997) intäktsökningen till mellan 0,5 – 2,20 kr/mm minskad standardavvikelse och avverkad m³f. Siffrorna gäller för en förbättring i intervallet 7–3 mm standardavvikelse mellan mätt och ”verkligt värde”. Räknat per skördare motsvarar detta ungefär 20 000 – 90 000 kr/år och mm. Vidare kan säker identifiering av om diametern mäts på eller under bark, samt systemets möjligheter att bidra till beräkning av stockens inre egenskaper, leda till ökade intäkter och en beräknad kostnadsbesparing för utebliven kalibrering på 20 000 – 50 000 kr/skördare och år, utgående från Möller & Sondell. Ökade krav på snabba och pålitliga flöden från skogen och krav på låg lagerhållning vid såg och massaindustri ökar värdet av bättre dimensionsmätning i skogen ytterligare. En utveckling mot ökad schablonisering och minskande virkesvärden leder däremot till lägre intäkter än de kalkylerade.

Om vederlagsmätningen kan rationaliseras som en följd av bättre mätteknik i skördarna kan detta vara värt upp till storleksordningen 5 kr/m³f timmer och ca 1 kr/m³f massaved. Räknat per skördare kan detta motsvara upp till 160 000 kr/år för en skördare som vederlagsmäter allt avverkat virke.

Enkäten

För att få en uppfattning om hur skogsbruket värderar en mer noggrann diametermätning har vi skickat ut en enkät till 88 olika skogsförvaltningar. Vi har erhållit svar från 45 st.

Fråga		Svar, antal
Hur viktigt är bättre diametermätning på skördarna?	Mycket viktigt	38
	Mellanklass	5
	Mindre viktigt	-
Försök uppskatta värdet i kr per m ³ fub i genomsnitt vid avverkning med skördare	<0,50 kr	6
	0,50 – 1 kr	5
	>1 kr	29
	Ingen uppfattning	3
Åter avsändaren		2
Ej svarat		43

Av enkäten framgår att övervägande andelen anser att det är mycket viktigt att mäta bättre och att detta i många fall anses vara värt mer än 1 kr/m³ fub.

Produktifiering, SVEPS bedömning

En förutsättning för att utvecklingen skall kunna sättas igång är att Svep kan hitta en lämplig samarbetspartner(-s) för finansiering av utvecklingskostnaderna. En lämpligt sammansatt projektgrupp av intressenter måste också bildas. Vidare förutsätts att aggregaten är utvecklade för att passa till diametermätaren. Kostnader för utveckling av aggregaten ingår ej i kalkylen nedan.

Förutsättningar för kalkylen:

1. Kvarvarande utvecklingstid beräknas till två år (år 1 och år 2).
Även nytt aggregat förutsätts vara klart då.
2. Skogsbolagen garanterar tillgång till skördare och skog för löpande fälttester under en två – treårsperiod.
3. Försäljningen antas vara 10 system år 3, 50 system år 4 och 100 system år 5.
4. Lönsamhet skall uppnås år 5. (8 år efter projektstart -94).

Utvecklingskostnader

Del i SIAC hårdvaruutveckling	400 000 kr
Sveps delfinansiering etapp 1–3	300 000 kr

År 1 och 2:

Administration
Diskussioner med maskinbyggare ang. nytt aggregat
Prestandaförbättringar av SIAC-kameran
Miljöanpassning av kamera och belysning
Förbättringar mätrutiner
Operatörs och I/O kommunikation
Materiel prototyper
Underkonsulter (mekanik kapslingar m.m.)
Labtester och Fälttester
Dokumentation, information, reklam, resor m.m.

Summa ca 3 400 000 kr

Driftskostnader

Kostnaden för administration, försäljning, vidareutveckling, systemunderhåll, service, resor m.m. uppskattas till:

År 3	1 200 000 kr	(2 heltid + övrigt)
År 4	1 800 000 kr	(3 heltid + övrigt)
År 5	3 000 000 kr	(5 heltid + övrigt)

Tillverkningskostnad

Tillverkningskostnad:

Seriestorlekar ca 10 system / år	70 000 kr
Seriestorlekar ca 100 system / år	50 000 kr

Pris

Utgifter:

Utvecklingskostnader	4 100 tkr
Driftskostnader	6 000 tkr
Räntor på utvecklings- & driftslån	2 600 tkr
Tillverkningskostnad 160 system	8 200 tkr

Summa	20 900 tkr
-------	------------

Intäkter:

Täckning för kostnader	20 900 tkr
Täckningsbidrag 15 %	3 100 tkr

Summa	24 000 tkr
-------	------------

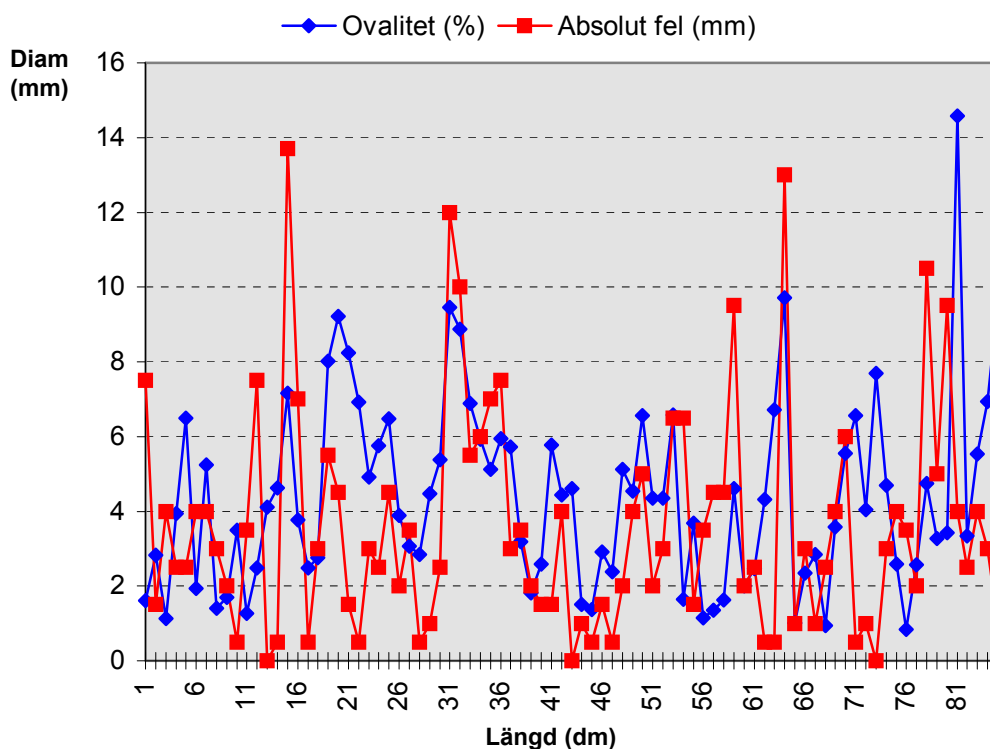
Pris per enhet således $24\,000 \text{ tkr} / 160 = 150\,000 \text{ tkr}$.

Många faktorer påverkar kostnader och prisbild. En viktig faktor är naturligtvis seriestorleken. Vi på SVEP tror att våra antaganden är rimliga, men skulle nya förutsättningar komma fram kan anledning finnas att revidera kalkylen och därmed även prisbild.

Diskussion

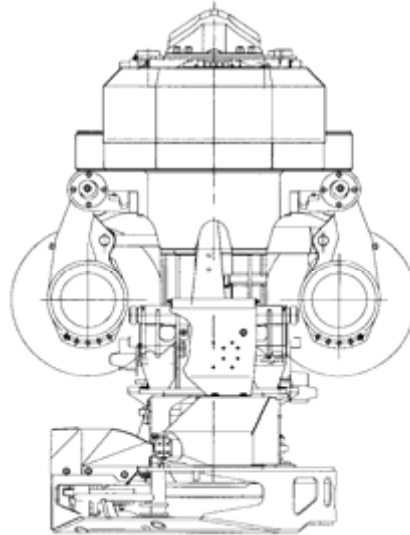
Resultaten från fältstudie 2 visar att det beröringsfria diametermätningssystemet klarar att mäta ca 75 % av toppdiametrarna inom felmarginalen ± 4 mm, jämfört med klavade värden. Detta är en klar förbättring i förhållande till fältstudie 1 (60 %). Det är fortfarande en bit kvar till de krav som är uppställda (90 %) men bättre än det medelvärde som gäller för diametermätning med hjälp av kvistknivar (67 %).

En fråga man kan ställa sig är om det är ett rimligt ställt krav med 90 % inom ± 4 mm. Stockarna är ovala, (figur 22) och vid jämförelse mellan klavat och beröringsfritt diametervärde kan man få stora avvikelser. Detta framgår också tydligt vid studierna av stockar från furustambanken. Avvikelserna beror bl.a. på var på stocken man mätt och på förekommande barkskador. Säkerheten i diametermätningen av ovala stockar påverkas av vinkeln mellan kamerorna. Vinkeln är nu 45° men skulle behöva ökas till minst 70° , helst 90° för att minska inverkan av stockens ovalitet. En snabbare processor i kameran och en dubbling av antalet pixels i CCD-chipet skulle ge ett större antal mätningar per tidsenhet och högre upplösning. Det skulle öka antalet korrekta mätvärden.

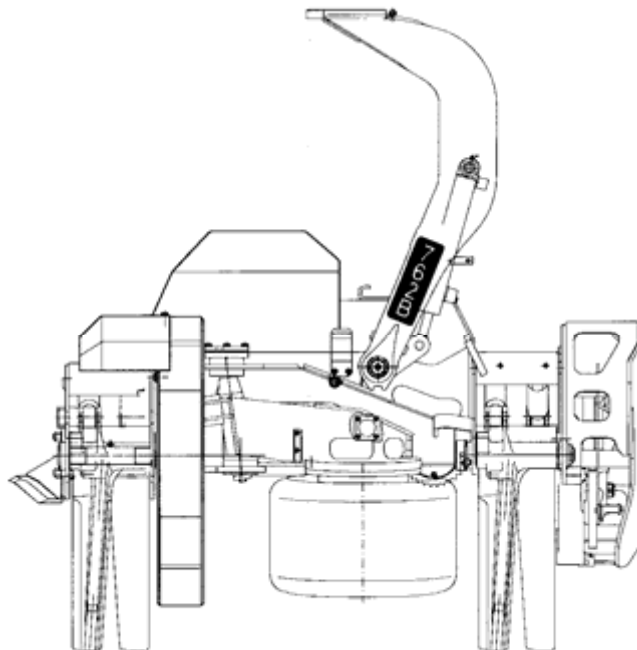


Figur 22.
Exempel på ovalitet (skillnad mellan korsklavade värden) hos en typisk stock.

En avgörande faktor för mätresultatet är mängden störningar, i form av skräp, som kommer i vägen för kamerorna. Med den placering som mät-ramen har i dag kommer det skräp från två par kvistknivar, matarhjulen, längdmättningshjulet och från kapsågen. Skräpet kan aldrig elimineras helt, men genom att t.ex. placera mätramen i närheten av de första kvistknivarna kan nedskräpningen reduceras (figur 27 och 28). Det är önskvärt att utvärdera en sådan placering av mätramen innan man tar ett slutgiltigt beslut om att gå in i en produktutvecklingsfas.



Figur 27.
Mätramen med en ny placering.



Figur 28.
Mätramen med en ny placering.

Det finns en relativt begränsad möjlighet att öka filtreringen av rådata i programvaran, eftersom ytterligare filtreringar skulle påverka mätnoggrannheten negativt. Däremot kan olika algoritmer t.ex. prognostisering av stockens avsmalning och mätning av diametern då stocken är stilla under kapförloppet kunna förbättra precisionen i mätsystemet.

För att eliminera olika typer av störningar har filter lagts in i det beröringsfria systemet. Det finns troligtvis en möjlighet att utnyttja dessa filtreringsprinciper bättre för att öka noggrannheten i dagens berörande system.

Ett beröringsfritt diametersystem ger eventuellt också möjligheter att lägga in olika kvalitetsmått t.ex. bulighet, kvarvarande kvist och korrektare avsmalning i mätprogrammet. Det innebär att stockarnas egenskaper kan beskrivas bättre och utnyttjas i apteringssystemen på skördarna.

Kostnaden för ett beröringsfritt diametersystem är bedömd till ca 150 000 kr. Den analys av intäkter som redovisas i detta arbete måste betraktas som ett exempel från vilket det kan finnas stora avvikelser mellan regioner, enskilda företag, affärsrelationer etc.

Dokumentation

Följande arbeten kan rekvireras från SkogForsk.

- Bjurulf, A. & Löfgren, B. 1994. Beröringsfri dimensionsmätning för skördare. SkogForsk. Stencil 1994-10-17.
- Bjurulf, A. 1988. Diamettermätning med videoteknik. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Stencil 1988-08-04.
- Bjurulf, A. 1988. Studie av linjescankamera för diamettermätning. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Stencil 1988-11-01.
- Ericson, M. 1994. Diamettermätning - Förstudie. Svenska Elektronikprodukter AB. Rapport, Lund 1994-06-27.
- Ericson, M. 1995. Diamettermätning i laboratorieuppställning. Rapport från Svenska Elektronikprodukter AB.
- Eriksson, S.-E. & Steier, S. 1991. Stocklängdmätning baserad på korrelationsteknik. Catella-Generics AB. Rapport Nr R91-8002.
- Grönlund, A., Björklund, L., Grundberg, S. & Berggren, G. 1995. Manual för Furustambank. Luleå Tekniska Universitet. Institutionen för träteknologi. Teknisk rapport 19T. ISSN0349-3571
- Jokinen, H., Svantesson, K. & Eriksson, B. 1988. Förundersökning angående optisk stocklängdgivare. Institutet för mikroelektronik. Nr I88-4027.
- Karlsson, L. 1990. Beröringsfria diametergivare. Skogsarbeten. Stencil 1990-12-17.
- Karlsson, L. 1991. Resultat av mätning av stocklängd på lab (komplettering). SkogForsk. Stencil 1991-08-28.
- Karlsson, L. & Sondell, J. 1991. Beröringsfri diametergivare på skördare. Skogsarbeten. Stencil 1991-04-14.
- Karlsson, L., Sondell, J. & Steier, S. 1991. ”Utveckling av beröringsfri längd- och diametergivare för avverkningsmaskiner” – slutrapport STU-projekt. D.nr. 752-89-02481.
- Löfgren, B. & Wilhelmsson, L. 1996. Status i projekt beröringsfri diamettermätning. D.nr. 8523P-95-09234. SkogForsk. Stencil 1996-10-29.
- Möller, J. & Sondell, J. Volymmätning med skördare som underlag för vederlag. SkogForsk. Arbetsrapport under publicering.
- Nilsson, N. & Sondell, J. 1993. Stammens form som kvalitetsmått. SkogForsk. Resultat Nr 5 1992
- Sondell, J. 1993. Längd- och diametergivare på skördare – funktion och behov av utveckling. SkogForsk. Stencil 1993-11-26.
- Sondell, J. 1993. Operativa krav för kalibreringshjälpmedel vid avverkning med skördare – preliminär. SkogForsk. Stencil 1993-11-26.
- Sondell, J. 1993. Problemet med barkskador vid diamettermätning för kalibrering av skördare. SkogForsk. Stencil 1993-11-02.
- Steier, S. & Lundgren, Å. 1991. Mätning av stocklängd på lab. Catella Generics AB. Rapport Nr R91-8010.
- Wilhelmsson, L. & Arlinger, J. 1997. Hur mycket är det värt att mäta diametern ”rätt” i skördaren? SkogForsk, Uppsala. Arbetsrapport nr 366.
- Åkerlind, B. 1991. Diamettermätning för skördare. Don innovation AB. 1991-06-28.
- Åkerlind, B. 1992. Diamettermätning för skördare. Don innovation AB. 1992-02-12.

Tidplan

Projektet startade i mars 1996 och projektet har följt den uppgjorda tidsplanen.

Projektekonomi

Projektkostnader fram till och med 970331.

NUTEK via Optiträprogrammet	790 000:-
SkogForsk via ramprogram	265 000:-
STORA	223 000:-
SCA	75 000:-
MoDo	94 000:-
AssiDomän	125 000:-
Korsnäs	67 000:-
Södra	94 000:-
Timberjack	485 000:-
SISU	105 000:-
SVEP	300 000:-
<hr/>	
Totalt	2 323 000:-