



# Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 815–2013

## **Slutrappport för projektet: "Beröringsfri diametermätning i skördare" – Utveckling av skräpreducerande skydd**

Final report of the project  
'Non-contact measurement of stem diameter in harvester  
– Development of shields to reduce debris'

Björn Hannrup, Mikael Andersson, Jonas Larsson, Jonas Sjöberg & Anders Johansson

# Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 815-2013

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

## Titel

Slutrapport för projektet:  
"Beröringsfri diamtermätning  
i skördare".  
– Utveckling av skräpredu-  
cerande skydd.

Final report of the project:  
'Remote measurement of stem  
diameter in harvesters'  
– Development of shields  
to reduce debris.

## Ämnesord:

Optisk mätning, linjelaser,  
kamera, virkesvärde.  
Optical measurement, linear laser,  
camera, wood value

## Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2013

ISSN 1404-305X



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala  
Tel: 018-18 85 00 Fax: 018-18 86 00  
skogforsk@skogforsk.se  
skogforsk.se



**Björn Hannrup, SkogD.** Arbetar på Skogforsk med frågor kring skördardata och tillvaratagande av virkesvärden.



**Mikael Andersson.** Forskningsingenjör. Arbetar på Skogforsk med mätteknik och utveckling av teknik för markberedning.



**Jonas Larsson, MSc.** Arbetar på Komatsu Forest med plattformsutveckling och framtida tekniker.



**Jonas Sjöberg, MSc.** Arbetar på Adopticum med optisk mätteknik och utveckling av optiska system.



**Anders Johansson.** Maskiningenjör. Arbetar på SP Maskiner med utveckling av framtida skördaraggregat.

## Abstract

Optical technology in the harvester head for non-contact measurement of stem diameter has potential for improving measurement accuracy and harvester productivity. However, earlier studies have shown that the amount of flying debris and particles between sensors and stem must be reduced before optical technology can be used in harvester heads. In the project, shields to reduce debris were developed, and the effect was assessed in a production environment.

The shields to reduce debris comprised: i) shields of various sizes fitted on the upper moving limbing knives, ii) shields on the belly of the harvester head, and iii) mudguards on the feed rollers. To study the effect of the shields, a camera system was developed where lighting was provided by a linear laser and LED lamps. The camera system was fitted between the upper limbing knives and the feed rollers.

The results showed that the shields clearly reduced debris in the case of spruce; the effect became greater as the size of shield on the upper moving limbing knives was increased. When the largest shields were used at the limbing knives (k1), there was four times less debris than in the reference set-up with no shields on the limbing knives. For pine, all alternatives with shields on the upper moving limbing knives reduced debris compared with the reference alternative. However, the debris-reducing effect was lower for pine than for spruce.

The difference between the tree species may be explained by the design of the shield and variations in the composition of debris fractions between the respective species. The shield was primarily designed to divert debris flying outside the limbing knives. For pine, most debris fractions flew inside the limbing knives while, for spruce, the debris mainly flew outside the limbing knives, and so was diverted by the shields on the knives.

During operation with the largest shields on the upper moving limbing knives, the average proportion of the laser line reflected towards the surface area of the stem was in the interval 82–92 percent. This applied to spruce in the thickest diameter class (>180 mm). For pine, the corresponding figure was 86–88 percent. For the reference alternative without debris-reducing shields, the proportion of the laser line reflected towards the surface area of the stem was 7–8 percentage points lower for both species. The proportion of the laser line reflected towards the surface area of the stem fell with decreasing diameter for both species.

The study has greatly increased knowledge about the debris situation in harvester heads. This knowledge should be particularly useful in developing more sophisticated shields and for further development of algorithms for filtering raw data and diameter measurement in optical measurement of stem diameter.

## Projektintressenter

## Förord

Denna rapport sammanfattar resultat från projektet ”Beröringsfri diametermätning i skördare – utveckling av skräpreducerande skydd”, vilket syftat till att utveckla och testa skräpreducerande skydd vid optisk mätning i skördaraggregat. Projektet har finansierats av Skogsägarna Norrskogs Forskningsstiftelse samt av en intressentgrupp bestående av Holmen Skog AB, SCA Skog AB, Stora Enso Skog AB, Sveaskog Förvaltning AB, Södra Skogsägarna ek. för., Dasa Control System AB, Komatsu Forest AB, Rottne Industri AB, SP Maskiner AB, Föreningen Tunga Fordon, Region Västerbotten via Skogstekniska klustret ek för., ProcessIT Innovations samt Skogforsk.

Projektet har varit organiserat med styrgrupp, operativ styrgrupp samt arbetsgrupp. Styrgruppen, vars sammansättning framgår av nedanstående tabell, har haft tre protokollförda telefonmöten samt två fysiska möten varav ett utgjorts av en demonstration i fält.

Företag/Organisationer	Namn
Holmen Skog AB	Maria Olsson
SCA Skog AB	Tomas Flemström
Stora Enso Skog AB	Jon Mattsson
Sveaskog Förvaltning AB	Jonas Gustafsson
Södra Skogsägarna ek. för.	Magnus Petersson
Dasa Control System AB	Bo Wikström
Komatsu Forest AB	Martin Årlestig
Rottne Industri AB	Roland Axelsson
SP Maskiner AB	Anders Johansson
Adopticum	Kenth Johansson
Föreningen Tunga fordon	Karin Nilsson
Skogstekniska klustret ek. för.	Maria Hedblom/Lena Jonsson
ProcessIT Innovations	Robin Norrman
Skogforsk	Lars Wilhelmsson

Det operativa arbetet i projektet har utförts i en arbetsgrupp där kärnan bestått av personal från Adopticum (Jonas Sjöberg), Komatsu Forest (Jonas Larsson), SP Maskiner (Anders Johansson) och Skogforsk (Mikael Andersson). Keni Ren och Johannes Karlsson vid Umeå Universitet analyserade det insamlade bildmaterialet med hjälp av bildbehandlingsmetodik. Dennis Holmgren, Komatsu Forest, körde skördaren under testerna i skogen. Jonas Larsson, Komatsu Forest, var projektledare för det operativa arbetet.

Ett stort TACK till samtliga som bidragit till studiens genomförande!

Uppsala 2013-11-25

*Björn Hannrup*

# Innehåll

Förord.....	1
Sammanfattning.....	3
Inledning.....	5
Projekt mål och avgränsning.....	7
Genomförande och tekniska lösningar.....	8
Sensorsystem för utvärdering av skräpreducerande skydd.....	8
Utformning av de skräpreducerande skydden.....	13
Funktionskontroll på plan.....	20
Utvärdering av skyddens skräpreducerande effekt.....	20
Resultat och Diskussion.....	29
Skräpfraktioner och deras färdvägar.....	29
Skräpförekomst för de olika skydden – kvalitativ analys.....	33
Kvantitativ analys – andel laserlinje utanför toleransintervallet.....	38
Kvantitativ analys – andel laserlinje innanför toleransintervallet.....	47
Kvantitativa analyser – manuella mätningar under mätetapp 3.....	57
Övriga resultat.....	63
Sammanfattande diskussion.....	64
Referenser.....	68
Personlig kommunikation.....	68
Bilaga 1 Samband mellan relativ höjd i stammen och andel laserlinje utanför toleransintervallet för de olika skyddsalternativen.....	69
Bilaga 2 Samband mellan relativ höjd och andelen laserlinje innanför toleransintervallet för de olika skyddsalternativen.....	71
Bilaga 3 Vertikal fördelning av objekt tillhörande kategorin gren nära stammens mantelyta.....	73
Bilaga 4 Tabell som beskriver vilka mätdata som använts för att generera Figur 43a och b.....	75
Bilaga 5 Problemkatalog.....	77



## Sammanfattning

Tidigare studier har visat att mängden flygande skräp mellan sensorer och stam måste minskas, för att optisk teknik ska kunna användas vid diametermätning i skördaraggregat. I projektet utvecklades skräpreducerande skydd vars effekt utvärderades i produktionsmiljö. De skräpreducerande skydden bestod av: *i)* skyddsplåtar av varierande storlek monterade vid de övre rörliga kvistknivarna, *ii)* skyddsplåtar i aggregatets buk och *iii)* stänklappar vid matarvalsarna. För att studera skyddens effekt utvecklades ett kamerasystem där linjelaser och LED-lampor utgjorde belysningen. Kamerasystemet var monterat mellan de övre kvistknivarna och matarvalsarna.

Datansamling genomfördes vid tre testtillfällen under avverkning i produktionsmiljö. Vid datansamlingen togs bilder kontinuerligt längs stammarna med frekvensen 50 alternativt 25 Hz under körning med olika skydds- och belysningsalternativ. Det insamlade bildmaterialet granskades visuellt i en kvalitativ analys där skräpförekomsten för olika skräpfraktioner bedömdes samt skräpets färdvägar identifierades. I en kvantitativ analys användes datorstödd bildanalys för att generera objektiva mått på andel av laserlinjen som träffade flygande skräp och andel av laserlinjen som träffade stammens mantelyta eller objekt i omedelbar närhet till stammens mantelyta. På en delmängd av materialet gjordes manuell klassificering och mätning av objekt som befanns sig i omedelbar närhet till stammens mantelyta. En samlad analys av mätdata möjliggjorde en uppdelning av laserlinjens totala reflektion på komponenter i form av: *i)* renodlad reflektion mot stammens mantelyta, *ii)* reflektion mot ”skräp” uppdelat på fyra fraktioner samt *iii)* ”lost lines” det vill säga sådana fall där det reflekterade ljuset ”släcktes” och aldrig nådde tillbaka till kameran.

### Sammanfattningsvis har projektet genererat följande huvudresultat:

- För gran gav de utvärderade skydden en tydlig skräpreducerande effekt där skyddseffekten ökade med ökande storlek på skyddsplåtarna vid de övre rörliga kvistknivarna. För de största skyddsplåtarna vid kvistknivarna (k1) var skräpförekomsten 4 gånger lägre än för referensalternativet utan skyddsplåtar vid kvistknivarna. För tall uppvisade samtliga alternativ med skyddsplåtar vid de övre rörliga kvistknivarna lägre förekomst av skräp än referensalternativet. Storleken på den skräpreducerande effekten var dock lägre för tall än för gran.
- Skillnaderna i skyddseffekt mellan trädslagen kan förklaras av skyddens utformning i kombination med att sammansättningen av skräpfraktioner varierade mellan trädslagen. Skydden var framför allt utformade för att styra undan skräp som färdades *utanför* kvistknivarna. För tall dominerade skräpfraktioner vilka huvudsakligen färdades *innanför* kvistknivarna. För gran däremot utgjordes skräpsammansättningen till en betydande del av skräp som färdades *utanför* kvistknivarna och därmed styrdes bort av skyddsplåtarna vid kvistknivarna.

- Skräpförekomsten ökade generellt mot toppen av stammarna. För tall skedde en markant ökning vid den nedre gränsen för grönkronan, det vill säga för den del av trädet som har levande grenar.
- Det fanns en tendens att skräpförekomsten var lägre för vänster än höger kamera vid körning med skyddsplåtarna. Detta berodde sannolikt på att avståndet mellan vänster kamera och vänster sidas övre rörliga kvistkniv var kortare än motsvarande avstånd på höger sida (se Figur 2).
- Vid körning med den största skyddsplåten vid de övre rörliga kvistknivarna reflekterades i genomsnitt 93 % (gran), respektive 90 % (tall) av laserlinjen mot stammens mantelyta eller objekt i omedelbar närhet av mantelytan. För referensalternativet utan skydd var motsvarande medelvärde fyra till sex procentenheter lägre.
- Andelen av laserlinjen som reflekterades mot stammens mantelyta eller objekt i dess omedelbara närhet, var relativt lika för olika segment längs laserlinjen. Undantaget var det nedersta segmentet (mot marken) där andelen minskade kraftigt. Detta bör beaktas i det fortsatta utvecklingsarbetet eftersom det kan ha en direkt inverkan på mätprecisionen.
- Av den totala mängden skräp som fanns mellan sensorerna och stammens mantelyta befann sig den dominerande delen av skräpet i omedelbar närhet av stammens mantelyta.
- Vid körning med den största skyddsplåten vid de övre rörliga kvistknivarna var den genomsnittliga andelen av laserlinjen som renodlat reflekterades mot stammens mantelyta inom intervallet 82 till 92 % beroende på hur skräpfraktionen lav beaktades. Detta gällde gran och den grövsta diameterklassen (dia >180 mm). För tall var motsvarande andel av laserlinjen inom intervallet 86 till 88 %. För referensalternativet utan skräpreducerande skydd var andelen laserlinje som renodlat reflekterades mot stammens mantelyta sju till åtta procentenheter lägre för båda trädslagen. För båda trädslagen minskade andelen laserlinje som renodlat reflekterades mot stammens mantelyta med minskande diameter.
- Studien har totalt sett genererat en kraftigt utökad kunskap kring skräpsituationen i skördaraggregat. Denna kunskap bör vara speciellt användbar vid utveckling av förfinade skydd samt för vidareutveckling av algoritmer för filtrering av rådata och diameterbestämning vid optisk diametermätning.

I rapporten föreslås insatser kring utveckling av algoritm(er) för diameterbestämning som ett logiskt nästa steg i utvecklingsarbetet av beröringsfri diametermätning i skördaraggregat.



## Inledning

Intresset för att införa beröringsfri mätning på skogsmaskiner har funnits sedan början av 1980-talet (Carlsson, 1980) d.v.s. den tidsperiod då de första apteringsdatorerna och givarna för berörande längd- och diamettermätning utvecklades. Under det följande decenniet genomfördes två större FoU-satsningar med inriktning mot att ta fram beröringsfria mätsystem för diamettermätning 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 (line-scankameror 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 den kraftiga prispressen på elektronikkomponenter. Vidare har det skett en markant ökning av produktionen per skördare (~50 %), vilket tillsammans med ökade krav på mätnoggrannhet gör lönsamhetskalkylen för beröringsfria mätsystem avsevärt mera fördelaktig i dag. För kvantifiering av ekonomisk potential, se Hannrup m.fl. (2007 och 2010).

Under de fem senaste åren har delvis parallella FoU-projekt genomförts i Finland och Sverige kring beröringsfri teknik i skördare. I Finland har en forskargrupp vid Helsingfors tekniska universitet (numera Aalto University) inriktat sina studier på två huvudsakliga tillämpningar: *i*) mätning av längd under upparbetning av trädstammar samt *ii*) mätning av krökar och avsmalning på stående träd just innan fällning (t.ex. Jokinen 2009 & Miettinen m.fl. 2010). Studierna har utförts i samverkan med finska skogs- och maskintillverkande företag. Datainsamlingen i studierna har skett med befintlig givarteknik (laser- och kamerateknik) under kontrollerade förhållanden och tyngdpunkten i de utförda FoU-insatserna har legat på signalanalys och algoritmutveckling. Under vintern 2011/2012 har tester av kamerabaserad teknik för längdmätning varit inplanerade under produktionsliknande förhållanden (Personlig kommunikation: Mikki Miettinen, Department of Automation and Systems Technology, Aalto University) men resultaten av dessa tester är ännu inte allmänt tillgängliga.

I Sverige har de större svenska skogsföretagen, SP Träteknik, Skogforsk och svenska maskintillverkande företag i nära samarbete genomfört en serie studier med fokus på teknik för beröringsfri diamettermätning i skördare. Konstellationens arbete syftar till att utveckla och prova fram ett koncept för ett beröringsfritt mätsystem för diamettermätning, där de bärande elementen visats ha hög sannolikhet att fungera i en praktisk tillämpning. Ett sådant koncept skulle lägga grunden för framtagning av ett färdigt mätsystem, en process som maskintillverkande och mättekniska företag förväntas ta huvudansvar för.

Huvudpunkterna i hittills genomförda projekt kan sammanfattas enligt Tabell 1.

Tabell 1.  
Huvudpunkter i tidigare studier kring beröringsfri diamettermätning.

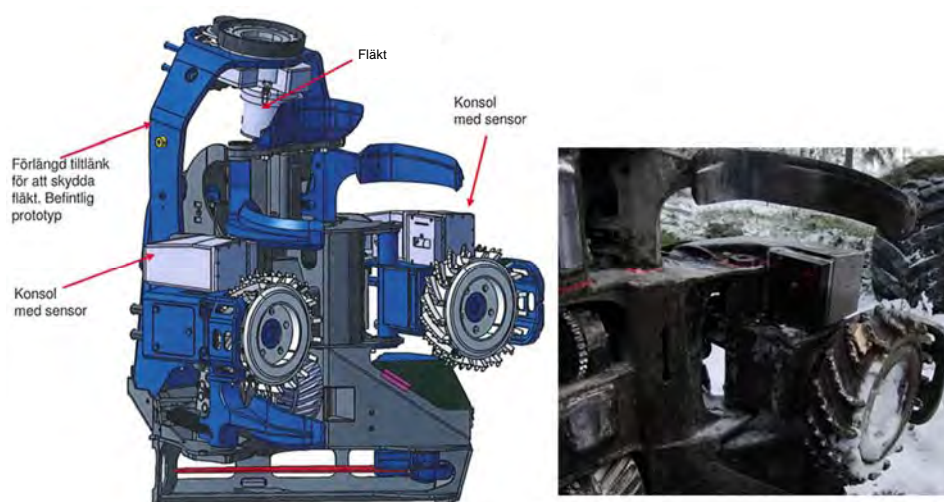
Projekt	Projektavslut	Huvudpunkter
Branschfinansierad förstudie. (Hannrup m.fl. 2007).	2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uppskattning av ekonomisk potential.</li> <li>• Upprättande av kravspecifikation.</li> <li>• Teknikgenomgång.</li> </ul>
FoU projekt "Mätteknik för avverkningsmaskiner".(Andersson m.fl. 2008).	2008	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Test av optiskt mätsystem i <i>kontrollerad miljö</i> (kvistade stockar).</li> <li>• Kvantifiering av mätnoggrannhet.</li> </ul>
Vinnova finansierat demonstrationsprojekt.(Hannrup m.fl. 2010).	2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utveckling av robust sensor bestående av linjelaser och kamera.</li> <li>• Utveckling av rengörande system.</li> <li>• Test av optiskt mätsystem i <i>produktionsmiljö</i>.</li> <li>• Kvantifiering av mätnoggrannhet.</li> </ul>

I det Vinnova finansierade demonstrationsprojektet (Hannrup m.fl. 2010) togs steget att utveckla och testa ett mätsystem i produktionsmiljö: en miljö som är ytterst krävande för ett optiskt mätsystem. Resultaten av projektet kan sammanfattas enligt nedan:

- Att skräp, i form av bark och kvistdelar, som flög *mellan sensorerna och stammen* var ett huvudproblem som allvarligt försämrade noggrannhet och tillgänglighet vid mätningen.
- Att det rengörande system som fanns integrerat i sensorerna generellt gav god effekt och höll *sensorernas ytor* rena det vill säga skyddsglasen framför laser och kamera.
- Att mätnoggrannheten, kvantifierad genom jämförande diametermätning med 3D mätram vid sågverk, var hög för stammar med få störningar i mätdata. Standardavvikelsen för det tillfälliga mätfelet var 3,0 mm för dessa stammar, vilket indikerar att kravet på mätnoggrannhet i tidigare uppställd kravspecifikation kan nås ifall mängden störningar kan reduceras.
- Att insatser gjordes i projektet för att genom filmning kartlägga skräp-problematiken och hur skräpet färdas in mellan sensorerna och stammen. Utifrån kartläggningen togs ett första förslag på skräpreducerande skydd fram.

En samlad slutsats från projektet var att optisk teknik har potential att ge en väsentlig förbättring av noggrannheten vid diametermätning i produktionsmiljö i jämförelse med dagens berörande teknik. Dock måste störningarna i form av skräp mellan sensorer och stam minskas för att detta ska kunna realiseras.

Resultaten från tidigare studier indikerar sammanfattningsvis att det är angeläget att fokusera på det skräp som flyger mellan stam och sensorer i det fortsatta utvecklingsarbetet. Att visa att det är möjligt att inom en rimlig kostnadsram utveckla skydd som väsentligt förbättrar miljön för optisk diametermätning i skördaraggregat är i dagsläget ett bärande element som saknas för att ett koncept för beröringsfri diametermätning ska vara trovärdigt. Kan detta visas skulle det öppna upp för ett intensifierat utvecklingsarbete med syfte att ta fram ett färdigt mätsystem.



Figur 1. Vänstra bilden:

Schematisk bild av det aggregat som användes i demonstrationsprojektet och som visar de två sensorernas placering mellan övre kvistknivar och matarvalsar. I sensorerna fanns ett rengörande system integrerat för att hålla sensorernas ytor rena. Det rengörande systemet bestod av tre komponenter: kontinuerlig luftström från en fläkt, lågfrekvent rengöring med spolarvätska samt mekanisk avtorkning med en roterande gummiskrapa (vindrutetorkare).

Högra bilden: Bild på en av de två sensorerna. I bilden syns laserlinjen från den andra, motstående sensorn.

## PROJEKTMÅL OCH AVGRÄNSNING

Den övergripande fråga som avsågs besvaras med projektet var ifall det är möjligt att inom en rimlig kostnadsram vidta åtgärder som väsentligt förbättrar miljön för optisk diametermätning i skördaraggregat.

### Projektet har haft följande delmål:

- Att utveckla skydd vars uppgift är att reducera mängden skräp mellan sensorer och stam.
- Att anpassa det tidigare utvecklade mätsystemet för diametermätning så det optimeras för att kunna lokalisera, kvantifiera och karaktärisera skräp som förekommer mellan sensorer och stam.
- Att montera och integrera skydden och det optiska mätsystemet på ett skördaraggregat.
- Att utvärdera skyddens effekt vid avverkning under totalt fyra tillfällen i produktionsmiljö. Skydden ska vara möjliga att snabbt montera/-demontera för att vid varje försökstillfälle möjliggöra jämförelser av skräpförekomst med respektive utan skydden monterade.

Ett viktigt mått som användes för att kvantifiera mängden skräp mellan sensorer och stam var andelen av laserlinjens projektion på stammen som var intakt vid avverkning av stockar med olika diametrar. Projektet har dock varit avgränsat så att någon *direkt diametermätning* inte utfördes i projektet. Skälet till detta var att den kamera som använts var optimerad för att ta lätt tolkningsbara bilder av skräp och laserlinje och där bilderna inte innehöll någon avståndsinformation. Detta till skillnad från den kamera som användes i tidigare projekt, vilken var optimerad för avståndsmätning till laserlinjens projektion på stammen.

## Genomförande och tekniska lösningar

Projektet har varit indelat i fyra etapper:

1. Konstruktion av skräpreducerande skydd och kamerasystem.
2. Montage och anpassningar på skördaraggregatet.
3. Tester vid avverkning för utvärdering av skyddens skräpreducerande effekt.
4. Analys och slutrapportering.

Nedan beskrivs de tekniska lösningar som tagits fram samt den metodik som använts i projektets utvärderingsdel.

### SENSORSYSTEM FÖR UTVÄRDERING AV SKRÄPRE- DUCERANDE SKYDD

Inledningsvis i projektet diskuterades möjligheten till att använda det tidigare utvecklade diametermätande systemet (Hannrup m.fl. 2010) för den analys som önskades rörande skräpreduktion med mekaniska skydd. Det tidigare, enbart diametermätande, systemet med SICK Ranger 3D-kamera och laserlinje ansågs inte tillräckligt för ändamålet. Det nya sensorsystemet som togs fram skulle främst ge utökade möjligheter till kvalitativ analys av skräppuppkomst, skräpförekomst och om möjligt rörelseriktning på skräpet.

Ett beslut fattades att man i vald lösning även skulle inkorporera en linjelaser och geometrier som ger möjlighet till att kvantitativt detektera skillnaden i skräpmängd med olika mekaniska lösningar. Vidare beslutade man att, för en bra analys av mätmiljön, bör systemet kunna se från både höger och vänster sida. Detta då bland annat knivbladens position relativt mätområdet inte är symmetriskt höger-vänster (Figur 2).



Figur 2.  
Bild av sensorernas placering i aggregatet vilken illustrerar att avståndet mellan kvistkniv och sensor skiljer sig åt för vänster respektive höger sensor.

## Systemdesign – Sensorsystem

Systemet innefattade två sensorer en för vardera höger respektive vänster sida av aggregatet. Sensorerna innehöll varsin monokrom GigE-kamera med 1,3 Mpixels upplösning. Scenen belystes av 33 högeffektslysdiodrar per sensor, vilka var monterade i 11 moduler (Figur 3). Alternativt skedde belysning med en laserlinje. Lyssdiolerna triggades via den egna sidans kamera, alternativt den andra sidans kamera (skapar motljus). Laserlinjen kontrollerades manuellt med en strömbrytare. Strömmatningen till sensorerna togs från aggregatet medan Ethernet-kablage drogs till hytten där Vision-PCn var placerad. Vision-PCn lagrade bilddata med  $2 \times 50\text{Hz}$  (50 Hz från respektive sensor) i full upplösning. Vision PCn styrdes trådlöst från bärbar enhet.



Figur 3.  
Det färdiga sensorsystemet med 11 LED-moduler, en kamera (stora fönstret) samt en linjelaser (lilla fönstret). En sensor för vardera höger respektive vänster sida. I höger bild är sensorns yttre skyddsglas demonterat.

## De viktigaste dimensionerande parametrarna för sensorsystemet var:

### 1. Hastighet

Matningshastighet:	Max 5 m/s.
Bildfrekvens:	50 bildpar (per sida)/s.
Exponeringstid:	0,3 ms (vill frysa de snabba förloppen, vilket kräver en belysning på ca 100 000 Lux).

### 2. Bildvinkel

För att se så stor del av utrymmet inom skördaraggregatet som möjligt valdes ett kameraobjektiv som ger ca  $49^\circ \times 65^\circ$  synfält orienterat så att den långa sidan ligger längs med stammen. Detta möjliggör även att man ser laserlinjen med ungefär samma geometri som det tidigare 3D-mätande systemet.

### 3. Skärpedjup

Med bländare 5,6 erhålls god skärpa från ca 100–500 mm.

### 4. Upplösning

1,3 Mpix – (kompromiss mellan bildfrekvens och upplösning).

### 5. Mekaniska begränsningar

Sensorenheterna skall passas in i tidigare sensorutrymme.

### 6. Visionhårdvara

- Färg-/Monokroma kameror. Monokroma kameror ansågs tillräckliga ur informationssynpunkt (dessa har fördelen av en ca x3 högre ljuskänslighet jämfört med färgkameror, vilket gav större möjlighet att frysa det snabba förloppet med kort exponeringstid).
- 2D/3D-stereo – 2D ansågs tillräcklig i kombination med att komplexiteten med 3D-teknik hade ökat avsevärt.
- Belysning. Det som fanns tillgängligt med tillräcklig prestanda och som hade tillräckligt liten formfaktor var vita lysdioder av senaste modell, Luxeon Rebel med monterad optik. Dessa fördelades runt om kamerorna för en mer diffus belysning (mindre blänk och mindre skarpa skuggor/skymda områden). Totalt 110 W fördelat på 11 moduler per sensor ca 11 000 Lumen).
- ”Back office” – för att styra kamerorna och dataloggning användes en fordons-PC med snabb Intel i7-processor, dubbla GigE-kort samt SSD för snabb datalagring.
- Linjelaser 50 mW (ca 40 mW ut).

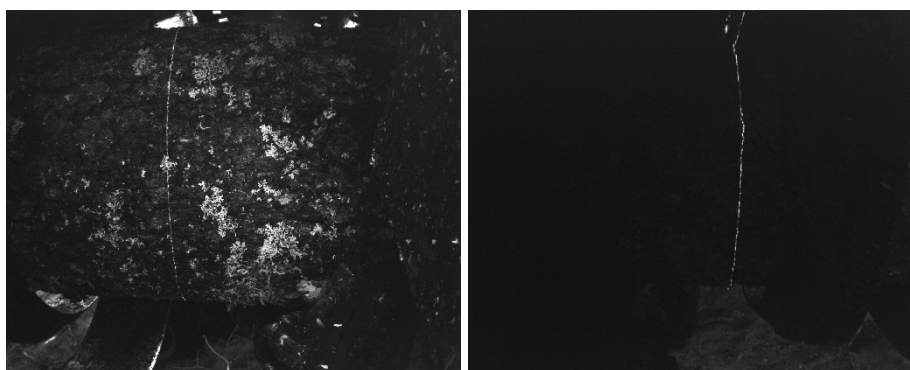
### 7. Kommunikation med PC – Trådlöst via WiFi-router och VNC-server/klient.

### 8. Dataloggning – Via skördarens CAN-bus inhämtades aktuell diameter- och längdposition plus flagga för trädläge.



9. **Filnamn** – Vid trädläge (triggas via CAN-bussen) startade bildlagring, det skapades en ny mapp med aktuellt datum och tid (exempel 2012\_9\_26\_12\_54\_30, enligt formatet YYYY\_MM\_DD\_HH\_MM\_SS), namnet för varje bildfil utgjordes av bildnummer, kamera-ID samt diameter och längdposition (exempel 00001\_4002889900 580 0).
10. **Rengöring** – Värmare, torkare, spolarvätska. Då systemet inte skulle användas i normal produktion, och då utrymmet inte enkelt möjliggjorde inbyggnad av ett självrengörande system, ströks detta från konstruktionen.
11. **Triggning**, kameror. För att förenkla mjukvaruutvecklingen samt för att säkerställa maximal bildfrekvens startades båda kamerorna med 50 Hz utan inbördes hårdvarutriggning. Detta medförde att man vid uppstart var tvungen att kontrollera att kamerorna låg ur fas (annars bländades kamerorna av motstående belysning).
12. **Triggning**, LED – Kunde triggas av den egna sensorns kamera alternativt den motsatta sidans kamera eller inte alls.
13. **Triggning laser** – Slogs på respektive av manuellt med en strömbrytare på kranpetsen.
14. **Färgfilter linjekamera** – Inget filter användes varför kameran var känslig för solljus.

Efter önskemål från ansvarig för bildbehandlingen på laserlinjebilderna utvecklades till *Testtillfälle 2* en modifierad version av loggningsprogrammet som triggade lysdioderna på varannan bild, vilket möjliggjorde simultan loggning i 25 Hz med LED + laserlinje och 25 Hz med endast laserlinje. Detta innebar att varannan bild var en lätt tolkningsbar LED-belyst bild och varannan bild enbart var belyst av laserlinjen (se Figur 4).



Figur 4.  
Exempel på bilder tagna med LED-belysning (vänster bild) och enbart laserlinje (höger bild). Observera att lasern ständigt var tänd under bildtagningen, vilket gör att laserlinjen syns som en svag strimma i den LED-belysta bilden. De sekventiellt tagna bilderna med olika belysning utnyttjades i den kvantitativa analysen (se vidare nedan).



## Optiska parametrar

Vid en **bildfrekvens**, fps, på 50 Hz och en högsta stamhastighet i aggregatet på ca 5 m/s erhålls en maximal translation av stammen på ca 100 mm mellan bilderna.

**Rörelseoskärpa:** Med en exponeringstid,  $t_{exp}$ , på 0,3 ms erhålls en maximal rörelse under exponeringen på max 1,7 mm.

**Skärpedjup:** Med fokus inställt på ett avstånd av ca 160 mm och med optikens bländartal på f/5,6 ges god skärpa från ca 100 till 500 mm från sensormodulens utsida.

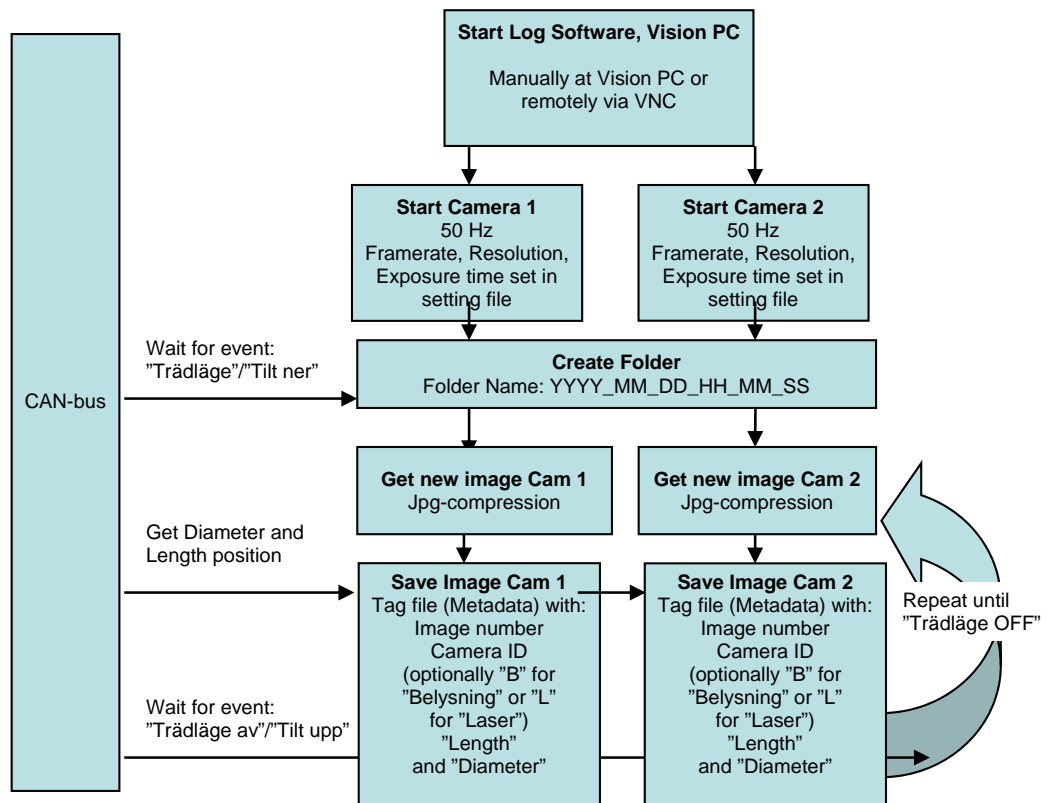
**Pixelupplösning:** 1280 × 960.

Bra bildkvalitet för visuell bedömning/analys.

**Synfält:** Något större än mätsystemet i tidigare projekt. Angeläget är också att få med information utanför mätområdet.

## Mjukvara för loggning av bilder

Nedan beskrivs i grova drag uppbyggnaden av bildloggningsmjukvaran och kommunikationen med skördaren.



2 IDS Monochrome GigE-cameras

1.3 Mpix at 50 Hz per camera gives 2 x 3000 images per 60 sec.

Figur 5.

Principiell uppbyggnad av bildloggningsmjukvaran och kommunikationen med skördaren.

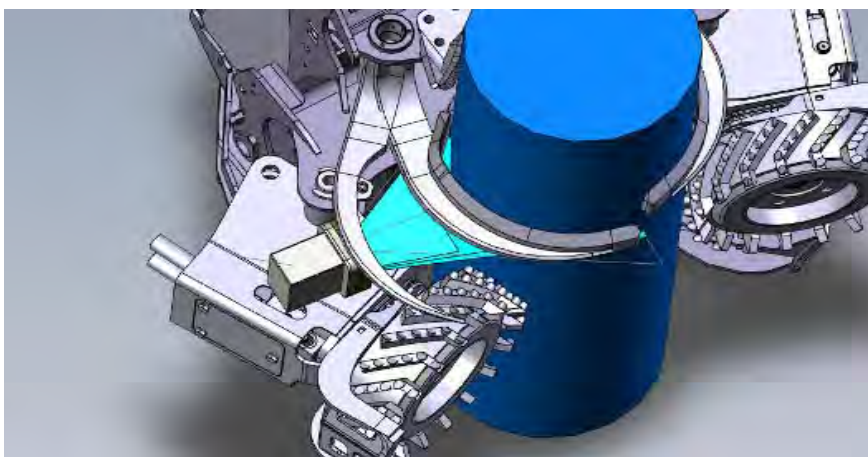
Som ovan nämnts utvecklades även inför *Testtillfälle 2* en variant av mjukvaran som gav möjlighet att hålla LED-belysningen avstängd vid varannan bild.

## UTFORMNING AV DE SKRÄPREDCERANDE SKYDDEN

Den grundläggande utgångspunkten för projektet var att störningar orsakade av skräp mellan sensorer och stam måste reduceras, för att det ska vara möjligt att utnyttja optisk mätning av diametern i skördaraggregat, konstruerade enligt gällande paradigm. Det angreppssätt som användes vid utvecklingen av de skräpreducerande skydden i projektet byggde på två hypoteser som formulerats utifrån filmmaterial och mätdata som samlades in i det tidigare demonstrationsprojektet (Hannrup m.fl. 2010):

- H1. Det är framför allt den mindre skräpfraktionen i form av sönderslagen torrkvist, barkflagor och barkremsor som orsakar störningar vid mätningarna.*
- H2. Huvuddelen av det skräp som stör mätningarna åker in över de övre rörliga kvistknivarna och in i det känsliga området mellan sensorer och stam.*

I mätdata från demonstrationsprojektet ökade mängden störningar med avtagande diameter på stammarna, vilket stödde hypotesen att den huvudsakliga färdvägen för störande skräp var över de övre rörliga kvistknivarna eftersom utbredningen på det känsliga området mellan sensorer och stam ökar med minskande diameter, se Figur 6. De skräpreducerande skydd som utvecklades kom därför i första hand att utformas för att skärma av skräp som färdas denna väg. Skydd togs också fram för att styra undan skräp från matarvalsarna respektive stoppa skräp från att falla ned genom öppningar i aggregatet då det är nedtillat under uppdriftsförloppet.



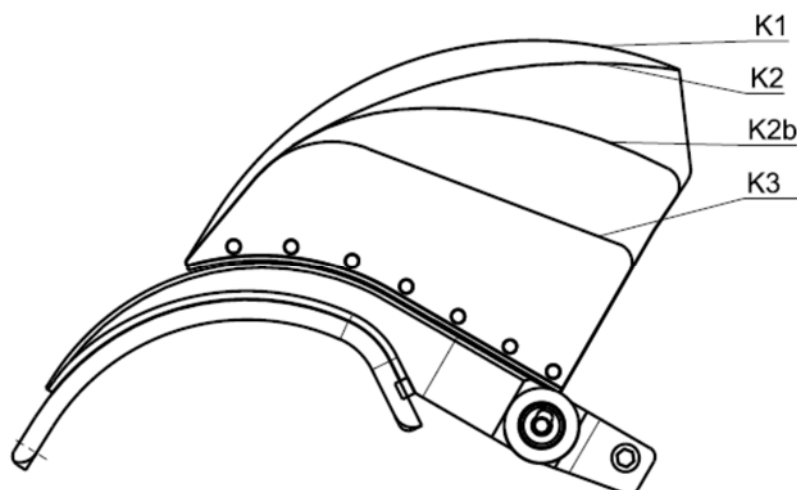
Figur 6.  
Principiell bild av monteringen för mätsystemet som testades i det tidigare demonstrationsprojektet. Turkos färg indikerar laserplan och kamerans synfält det vill säga det område där infallande skräp stör mätningen. I takt med att diametern på stammen minskar och kvistknivarna rör sig inåt så ökar utbredningen av det störningskänsliga området.

## Plåtar på kvistknivar

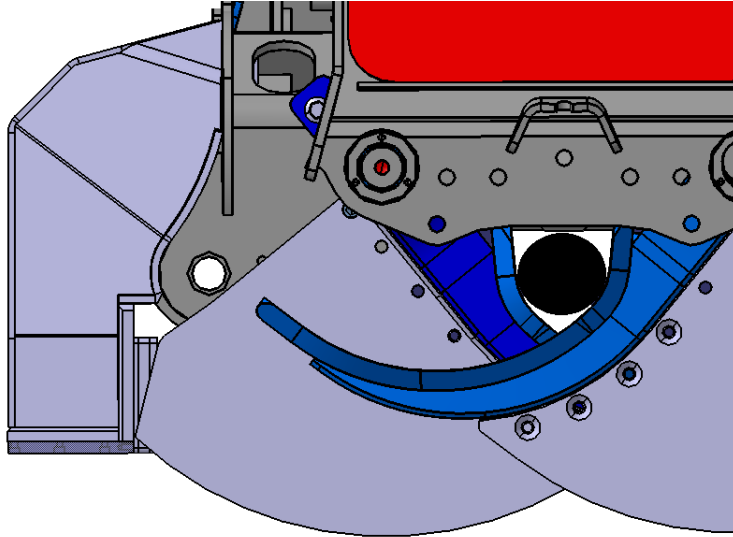
Plåtar att fästa på kvistknivarna togs fram för att styra undan skräp som färdas över kvistknivarna. Plåtarna var tillverkade i 10 mm tjock höghållfast stål och de togs fram i olika storlekar där den största modellen var konstruerad för att fullt ut täcka området från kvistkniv fram till sensorns front för stamdiametrar ned till lägsta normala toppdiameter för massaved (5 cm). De olika storlekarna av plåtar på kvistknivarna som testades redovisas i Tabell 2 och Figurerna 7a och 7b.

Tabell 2.  
Förteckning över de plåtar på kvistknivarna som ingick i testerna.

Beteckning	Skydd
K1	Största modellen med full täckning av mätområdet även för klena stamdiametrar.
K2	Första versionen av mellanmodellen. Samma storlek som K1 men något rakare kant.
K2b	Andra versionen av mellanmodell, mindre storlek än K2.
K3	Minsta modellen.
US	Utän skyddsplåt, enbart fläns för infästning.

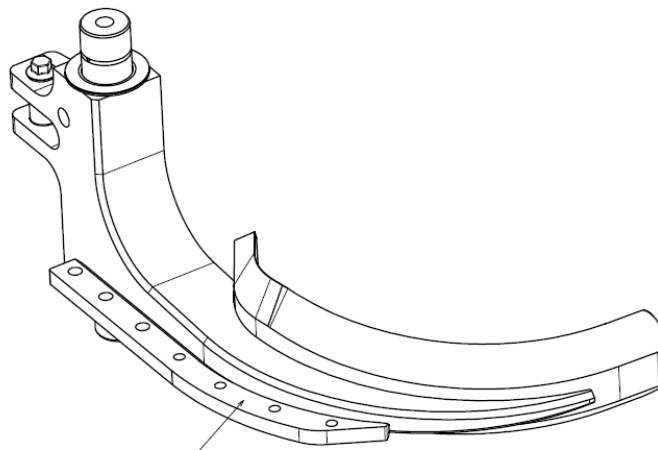


Figur 7a.  
Schematisk bild av de plåtar som ingick i testerna.



Figur 7b.  
Schematisk bild av aggregatet sett uppifrån med plåten K1 monterad på de övre kvistknivarna.  
I bilden illustreras hur plåten täckte utrymmet ut till sensorn även för stockar med diametrar ned till 5 cm.

För att möjliggöra ett snabbt byte av plåtar under testerna svetsades 35 mm breda flänsar fast på kvistknivarna i vilka plåtarna kunde skruvas fast (Figur 8a, Figur 8b). Eftersom flänsarna hade ringa utbredning är det sannolikt att de hade försumbar inverkan på skräp som färdades över kvistknivarna och i projektgruppen gjordes bedömningen att i ett skräpreducerande perspektiv kan en kvistkniv med monterad fläns likställas med en kniv utan fläns monterad.



Fläns på kvistkniv för montering av skydd

Figur 8a.  
Flänsar svetsades fast på kvistknivarna och på dessa skruvades plåtarna fast.



Figur 8b.  
Skyddsplåtarna vid de övre kvistknivarna var konstruerade för att möjliggöra ett snabbt byte under testerna.

### Stänklappar vid matarvalsarna

För att förhindra potentiellt skräp som flög in från matarvalsarna utformades ett skydd som monterades ovanför valsarna (Figur 9). Detta skulle inte borsta loss skräp, utan enbart fånga upp det skräp som lossnade i tangentens riktning in mot mätområdet. För att tåla den miljö som råder i skördaraggregatet tillverkades dessa skydd i tjockare, textilarmerad gummiduk.



Figur 9.  
Närbild av skydd i form av stänklapp monterad vid matarvals.  
Motsvarande skydd fanns monterat vid den andra matarvalsens.



## Täckplåtar i skördaraggregatets buk

När aggregatet är nedtiltat under upparbetningsförloppet finns en potentiell risk i att skräp som färdas upp på aggregatet faller ned genom öppningar i aggregatets buk och därmed in i det känsliga området mellan sensorer och stam. För att kunna stänga igen denna färdväg tillverkades plåtar som täckte för dessa hål (Figur 10).

### Iterationer

Under testperioden kom nya lärdomar och vissa förändringar skedde av skydden. Vid de första kvalitativa studierna av bilderna från *Testtillfälle 1*, v 41, utan skydd, konstaterades att inget skräp föll förbi sensorn från håligheter i buken. För att säkerställa att kvantitativt uppmätta skillnader i skräpförekomst kunde härledas till plåtarna vid kvistknivarna var bukplåtarna monterade ständigt under *Testtillfälle 2 och 3*, det vill säga även för referensalternativet utan plåtar vid kvistknivarna och utan stänklappar vid matarvalsarna.

Efter första testtillfället, v 41, kom önskemål om att testa någon lösning som kan fånga upp det skräp som skapas/färdas *under* kvistknivarna. Inför *Testtillfälle 2*, v. 43, skapades en tunn plåt att skruvas fast under skydd K1. Utrymmet medgav dock enbart montering på höger sida. En gummiläpp var tänkt att samla upp det skräp som skapas av kniven och färdas på insidan av den (Figur 10).



Figur 10.  
Bilder tagna i olika perspektiv av det skydd som utformades för att styra undan skräp som färdades under kvistknivarna.

Efter *Testtillfälle 2*, v. 43, gjordes en ändring av plåt storlek K2 till K2b. K2 vara nära K1 i storlek, med större skillnad till K3. Ny utformning av K2b valdes mellan K1 och K3 i storlek.

## **Basmaskin och skördaraggregat**

För testerna användes ett Valmet 350 skördaraggregat, med ~4–5000 driftstimmor och normalt brukskick. Aggregatmodellen valdes utifrån föregående projekt, där ett Valmet 350 aggregat användes på grund av möjligheten att placera mätsystemet ovan på motorhyllorna, under främre kvistknivarna. Detta genom att det är ett 3-hjulsdrivet aggregat, med motorhyllor som svänger runt axlar parallella med stammen, att jämföra med ett 2-hjulsdrivet, där axlarna går tvärs stammen. Aggregatet lämpar sig till gallring och klenare slutavverkning och har 520 mm matarvalsöppning och matningshastighet på 5 m/s. Aggregatet var utrustat med knivar för contortatall, vilket innebär att den övre rörliga kniven är formad med en båge för att uppleva mindre krafter när den möter trädets täta kvistvarv. Knivarna hade normal bruksslipning. Aggregatet bars av en Valmet 901.3-skördare, dedikerad för dessa tester under projektiden. Basmaskinen hade ett Maxi Harvester styrsystem och aggregatet fick en anpassad programvara, för att skicka ut längd- och diameterdata på Can-bussen till projektets mätdator.

### **Anpassningar som utfördes på aggregat och basmaskin för projektet:**

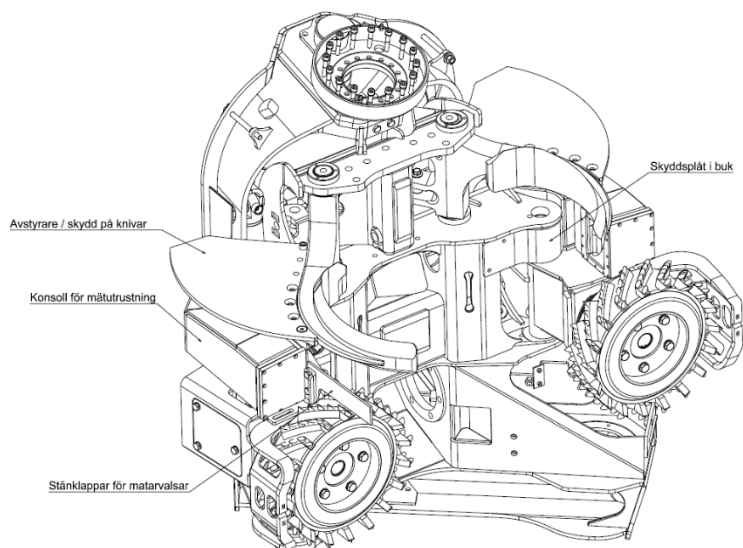
#### **Mättekniska**

- Konsoler för sensorer.
- Kopplingsbox i krannos, med omkopplare för styrsignaler.
- Skyddsslang för Ethernet-kablage från aggregat till hytt.
- Svivel-fäste och utökad kåpa på aggregat.
- Dator i hytten.

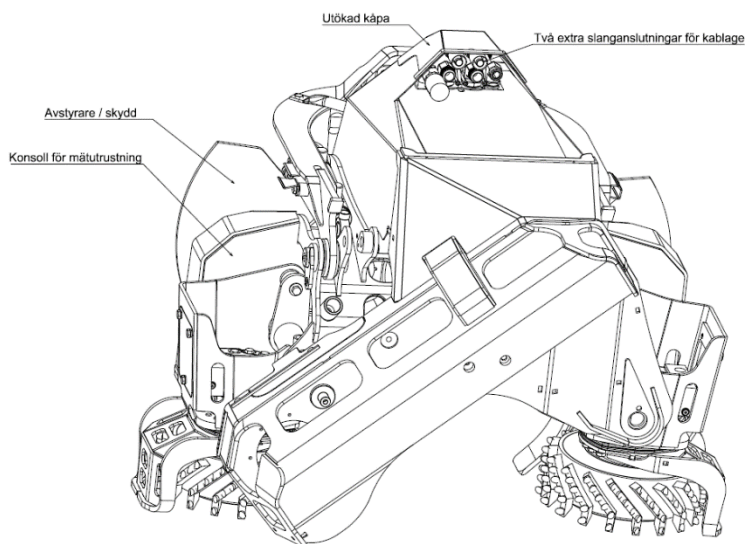
#### **Skräpavstyrande**

- Skyddsplåtar/Avstyrare monterade på knivar.
- Täckplåtar i buk.
- Stänklappar över matarvalsar.





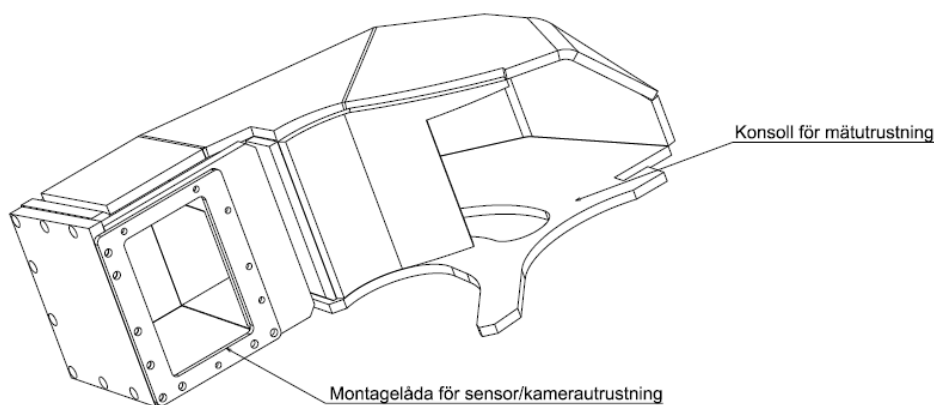
Figur 11.  
Översiktsbild på upplått aggregat med modifieringar.



Figur 12  
Översikt på liggande aggregat med modifieringar.

### Konsoler

För montering av mätsystemet tillverkades konsoler i 8mm stålplåt (Figur 13). Dessa motsvarade de som användes i tidigare projekt, med några ändringar. Kamerans position hölls nära den som varit i tidigare projekt. Det mekaniska gränssnittet mot sensorlådorna behölls, med undantag för luftslangar och spolarvätska som inte användes. Kablaget låg helt skyddat i konsolerna.



Figur 13.  
Sensorerna monterades i skyddande konsoler.

## FUNKTIONSKONTROLL PÅ PLAN

Montagearbetet avslutades med en funktionskontroll på plan hos Komatsu Forest i Umeå. Vid funktionskontrollen matades i en första fas kvistade stammar genom aggregatet för att säkerställa att:

- Skydden var konstruerade och monterade så att normal matning av stammarna inte stördes.
- Kerasystemet fungerade på avsett vis samt att bilder kunde tas med avsedd kvalitet och i avsedd frekvens.

I en andra del av funktionskontrollen upparbetades ett fåtal okvistade stammar. Denna del syftade till att tidigt identifiera uppenbara brister i skyddens effekt. Inga sådana brister kunde dock identifieras.

## UTVÄRDERING AV SKYDDENS SKRÄPREDCERANDE EFFEKT

Datansamling under avverkning skedde vid tre tillfällen mellan 121009 och 121121 i trakten av Robertsfors, cirka 6 mil norr om Umeå. I samtliga fall var avverkningarna belägna på Holmen Skogs mark med entreprenörsföretaget Sundlings Skogsservice som utförare av det ordinarie drivningsarbetet.

Vid testtillfällena avgränsades mindre områden av de ordinarie avverkningsobjekten. Vid avgränsningen söktes områden som innehöll en blandning av tall och gran. Data samlades från 40 till 70 träd per testtillfälle och dessa träd nummerades i förväg (Figur 14) och mättes med avseende på brösthöjdsdiameter, höjd till första kvist samt höjd till den nedre gränsen för trädens gröna krona (Tabell 3). Trädens genomsnittliga brösthöjdsdiameter varierade för gran mellan 189 och 245 millimeter vid de tre testtillfällena. För tall sträckte sig motsvarande variation från 222 till 312 millimeter. Höjden till första kvist och till den nedre gränsen för den gröna kronan skiljde sig starkt åt mellan trädslagen men var relativt likartade inom trädslag mellan testtillfällena. För gran startade torrkvisten nära roten medan de levande grenarna startade i toppen på den första stocken (~4,5 m). För tall startade den torra kvisten en bit in på den andra stocken (4,8 – 7,4 m) medan de levande kvistarna startade drygt 12 meter upp från marken. För tall var det alltså en begränsad del av stammarna som var grenbeklädda.



Figur 14.  
Bild av stammar som numrerats inför datainsamlingen.

Vädret under det andra testtillfället var klart, torrt och soligt med en temperatur runt noll grader. Vid de övriga två testtillfällena var väderförhållandena relativt likartade med duggregn och en temperatur på några få plusgrader. Vid *Testtillfälle 3* upphörde regnet successivt under dagen. Inget av testtillfällena genomfördes under förhållanden med snö.

Tabell 3.  
Trädslagsvisa medel-, min- och maxvärden för diameter i brösthöjd (DBH) samt medelvärden för avståndet från mark till första kvist och avståndet från mark till den nedre gränsen av grönkronan vid de tre testtillfällena.

Test nr	Trädslag	DBH			Första gren	Grön krona
		Medel (mm)	Min (mm)	Max (mm)	Medel (m)	Medel (m)
1	Tall	313	258	358	7,4	12,3
1	Gran	246	188	297	1,2	4,4
2	Tall	222	150	292	4,8	13,3
2	Gran	216	145	298	0	5,1
3	Tall	233	173	306	7,3	11,9
3	Gran	189	140	246	0,6	4,1

En sammanställning av vilka skyddskombinationer och belysningsalternativ som användes vid de tre testtillfällena redovisas i Tabell 4. Vid samtliga testtillfällen samlades data från 10 träd per skyddskombination där 5 av de 10 träden var tallar och 5 var granar. Vid det första testtillfället användes enbart LED-belysning (LED) samt enbart belysning med laser (Laser).

Belysningsalternativen ger upphov till olika typer av bilder, se vidare avsnittet "Kamerasystem" vilka medger olika analysmöjligheter, se vidare avsnitten "Kvalitativ analys" och "Kvantitativ analys". I båda dessa fall togs bilder med frekvensen 50 Hz. Inför *Testtillfälle 2* modifierades programvaran så att LED-belysningen släcktes vid tagning av varannan bild medan lasern ständigt lyste (belysningsalternativ LED+Laser). Detta innebar att "rena" bilder av laserlinjen erhöles i 25 Hz medan LED-bilder där laserlinjen syntes svagt erhöles i 25 Hz.

Tabell 4.

Sammanställning över använda skyddskombinationer och belysningsalternativ vid de tre testtillfällena.

Test nr	Datum	Skyddskombinationer <sup>1)</sup>	Belysningsalternativ	Kvistknivs-tryck <sup>2)</sup>	Totalt antal träd
1	121009	1a. k1+m+bp 1b. k1+m+bp 2a. Referens = Inga skydd 2b. Referens = Inga skydd	LED Laser LED Laser	N N N N	40
2	121024	1a. k1+m+bp+ns 1b. k1+m+bp+ns 2. k1+m+bp 3. k2+m+bp 4. k3+m+bp 5. Referens = Enbart bp	LED LED+Laser LED+Laser LED+Laser LED+Laser LED+Laser	N N N N N N	60
3	121121	1a. k1+m+bp 1b. k1+m+bp 2. k1+m+bp 3. k2b+m+bp 4. k3+m+bp 5. Referens = Enbart bp	LED LED LED+Laser LED+Laser LED+Laser LED+Laser	L H N N N N	60

<sup>1)</sup> k1 = skyddsplåtar övre kvistknivar, största storleken; k2=skyddsplåtar övre kvistknivar, mellanstorleken; k2b = skyddsplåtar övre kvistknivar, modifierad mellanstorlek; m=stänklappar vid matarvalsarna; bp = skyddsplåtar monterade i aggregatets buk; ns = skydd som angriper skräp som färdas under kvistknivarna.

<sup>2)</sup> N=Normalt tryck, L = Lågt tryck (12 % lägre än normalt), H = Högt tryck (10 % högre än normalt).

För flertalet kombinationer av skydd och belysningsalternativ varierades inte de övre kvistknivarnas tryck utan den normala inställningen av trycket behölls. Vid det tredje testtillfället samlades dock data då kvistknivarnas tryck höjts med ~10 % respektive sänkts med ~12 % i förhållande till normalvärdet (Tabell 4). Kvistknivarnas tryck är diameterberoende och höjningen respektive sänkningen gjordes över hela diameterspannet. Vid denna datainsamling var samtliga skydd monterade, inklusive den största storleken av skyddsplåten vid de övre kvistknivarna.

Kamerasystemet i studien var inte utrustat med något rengörande system som höll sensorernas ytor rena. För att minimera inverkan av skräp på sensorernas ytor på mätningarna av skräp mellan sensorer och stam torkades sensorernas ytor av regelbundet. Sådan avtorkning skedde mellan varje träd vid det första testtillfället och efter vartannat träd vid *Testtillfälle 2 och 3*.

## Kvalitativa analyser

Det insamlade bildmaterialet analyserades i en första fas med ett kvalitativt tillvägagångsätt. I denna analys utnyttjades bilderna tagna med LED-belysningen på och bilderna sattes samman till filmer. Filmerna spelades sedan upp i valfri och varierande hastighet under visuell granskning. Vid den visuella granskningen klassificerades det skräp som förekom i fyra olika skräpfractioner (Tabell 5).

Tabell 5.  
Beskrivning av de skräpfractioner som användes vid den visuella granskningen.

Skräpfraction	Förklaring
Torrkvist	Död kvist som ofta slagits sönder i mindre delar
Barkflagor	Yttersta, döda, skiktet av barken. Förekom i olika storlekar.
Avskavd bark/ved	Avskavda delar av det inre, levande skiktet av barken. Ofta tillsammans med avskavd ved.
Levande grenar/barr	Levande större grenar eller barr.

För att kvantifiera mängden skräp bedömdes förekomsten av skräp utifrån en fyrgradig skala (Tabell 6) där 0 indikerade ingen förekomst och 3 indikerade hög förekomst.

Tabell 6.  
Beskrivning av de klasser som användes för att klassificera mängden skräp.

Klass	Förekomst
0	Ingen förekomst
1	Låg förekomst
2	Mellanklass
3	Hög förekomst

Ansträngningar gjordes också vid granskningen av filmerna för att också registrera hur de olika skräpfractionerna färdades in mellan sensorer och stam. För detta ändamål utnyttjades en funktion i den använda programvaran IrfanView (<http://www.irfanview.com/>) där en bild i taget kunde granskas.

Med samma tillvägagångssätt som för skräpfractionerna och med samma bedömningsskala (Tabell 6) bedömdes förekomsten av skräp (~vattendroppar) som fastnat på kamerans skyddsglas.

## Kvantitativa analyser

Syftet med den kvantitativa analysen var att utifrån mätningar med datorstött bildanalys generera objektiva mått på andelen laserlinje som träffar: *i)* flygande skräp, *ii)* stammens mantelyta och *iii)* objekt i omedelbar närhet till stammens mantelyta. Analysen var avgränsad till materialet från *Testtillfälle 3* och mätningarna genomfördes i tre etapper. I *Etapp 1* gjordes mätningarna på ett urval av hela bildmaterialet från detta testtillfälle. I *Etapp 2* utökades omfattningen av mätningarna och ny mätinformation togs fram kring skräpets position längs laserlinjen. I *Etapp 3* användes ett annat angreppssätt och mätningarna var här inriktade på att ge information som beskriver förekomsten av objekt som befinner sig i omedelbar närhet till stammens mantelyta.

I den första mätetappen gjordes mätningarna på ett 20-procentigt urval av de LED-belysta bilderna genom att var 5:e bild per träd och kamera valdes ut för mätning. Att urvalet gjordes strikt på var 5:e bild innebar att mätningarna var fördelade på bilder från samtliga tre matningsfaser det vill säga. bilder från avsnitt då stammen: *i)* matades framåt, *ii)* matades bakåt och *iii)* var stillastående. Det 20-procentiga urvalet innebar vidare att avståndet mellan intilliggande bilder i genomsnitt var 50 cm då stammarna matades framåt.

I den andra mätetappen avgränsades mätningarna till att omfatta *samtliga bilder tagna under matning framåt*. Avståndet mellan intilliggande bilder var i genomsnitt 12 cm. Bildanalysprogrammet vidareutvecklades också så att andelen skräp och andelen laserlinje på stammens mantelyta kunde registreras för 10 sektioner längs stammens mantelyta.

I den tredje etappen gjordes en manuell identifiering och markering av objekt nära stammens mantelyta. Programvaran beräknade sedan andelen sådana objekt för 10 sektioner längs laserlinjen. Eftersom den manuella insatsen var tidskrävande gjordes dessa mätningar enbart för ett 20-procentigt urval av bilderna tagna under matning framåt för skyddskombinationen med de största skyddsplåtarna vid de övre kvistknivarna (k1) och referensalternativet utan skyddsplåtar vid kvistknivarna (bp).

### Mätetapp 1 och 2

I projektet skedde ingen mätning av stockdiameter med mätsystemet. Laser och kamera användes till att, med triangulering, mäta skräp som flög i luften och ge ett indirekt mått på laserlinjens kvalitet. Beroende var i laserlinjens plan ett objekt befinner sig, observeras reflektionen av objektet i motsvarande område i kamerans bildsensor. På grund av det korta avståndet mellan laserkälla och kamera uppfattas ett cylindriskt objekt, som ett träd i aggregatet, som en halvelliips på bilden (Figur 15).

Programmering och genomförande av bildbehandling för mätningarna under *Etapp 1 och 2* skedde av Keni Ren och Johannes Karlsson vid Institutionen för tillämpad fysik och elektronik, Umeå universitet. Vid mätningarna utnyttjades bilderna, tagna med omväxlande tänd/släckt LED-belysning (Figur 15), det vill säga där materialet har sekventiella bildpar bestående av: 1) LED-belyst bild med laserlinje och 2) bild med enbart laserlinje.



Figur 15.

Två efter varandra följande bilder, laserbelyst och laser/LED-belyst. Ljuspunkter från eventuellt skräp skulle förekomma på höger sida av huvudlinjen eftersom sådant skräp befinner sig närmare kameran än stammen. De variationer som finns i linjen orsakas av oregelbundenheter i barken och av en gren som ligger under stammen. Skalan runt laserlinjen är 10 pixlar/punkt. Bild tagen av vänster kamera.

På grund av trianguleringens egenskaper uppträder skräp, som befinner sig mellan trädstam och sensor, alltid på den konvexa sidan av den ideala linjen. Skräpmängden mättes inom ett område som begränsas av stockens diameter i höjddled, och kamerans siktfält i längdled.

Diameter mätt med kvistknivarna var inte tillräcklig för att avgöra var den ideala laserlinjen skulle befinna sig i bilden. Trädets läge i aggregatet var ett skäl till detta. Programmet fick i stället ett användargränssnitt där den ideala laserlinjen markerades manuellt på den LED-belysta bilden med hjälp av tre punkter. Denna matematiska linje användes sedan för att beräkna mängden skräp utanför ett toleransintervall i den laserbelysta bilden. Toleransintervallet användes för att ta hänsyn till naturliga ojämnheter i barken, t.ex. grov skorp bark hos tall. Ett toleransintervall på 30 pixlar användes.

Olika skräp kan ha olika reflektivitet, vilket leder till att laserlinjen representeras av olika antal belysta pixlar på varje rad i bilderna. Det totala antalet ljusa pixlar i området är alltså inte ett rättvist mått på mängden skräp. Vid analysen räknades i stället enbart den intensivaste pixeln på varje bildrad. Då kamera- och laserlinje inte var perfekt linjerade med varandra, kunde laserlinjen finnas både utanför och innanför toleransintervallet på samma rad i bilden. Detta löstes genom att behandla områdena var för sig, vad gäller att finna den intensivaste pixeln.



### Följande arbetsgång användes vid mätningarna:

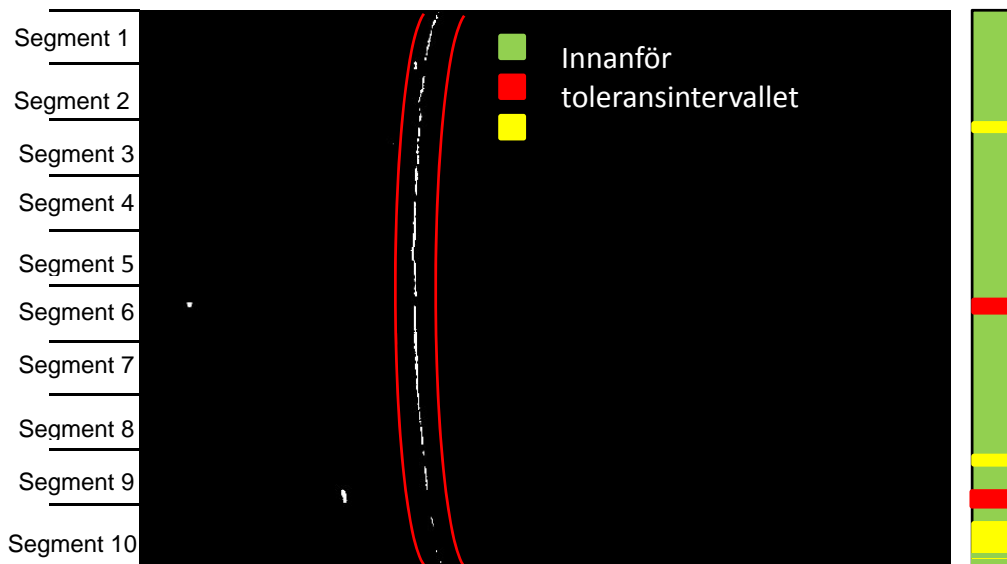
- Bestämma det intervall i trädets bildserie som ska analyseras.
- Sortera bildpar efter höger/vänster kamera (900/901) till separata mappar.
- Sampla enligt vald frekvens (20 % i *Mätetapp 1*).
- Applicera MatLab-program på varje bildserie.
  - I laser/LED-belyst bild, markera start, mitt och slut på halv-ellips som beskriver den ideala laserlinjen. Vid oprocessbar bild gör markeringen i bildens hörn, vilket registreras som en felkod. Sådana fall kunde t.ex. vara bilder där en gren helt blockerade laserlinjen.
  - Laserbelyst bild beskärs i höjddled efter ellipsen form.
  - I beskuren bild, godkänn placering av halvellips och resultat.
  - Upprepa för varje bildpar i samplad bildserie.
  - Sammanställa resultatfiler.

### De bildvisa resultatfilerna innehöll följande data:

- Filnamn med namn på analyserad bild samt diameter- och utmatad längd.
- Antal rader i bilden för ideala laserlinjen.  
*Nideal*.
- Antal belysta rader i bilden inom toleransintervallet.  
*Nok*.
- Antal belysta rader i bilden utom toleransintervallet (skräp)  
*Ndebree*.
- Antal rader i bilden där det saknas belysta pixlar  
 $Nlost = Nideal - (Nok + Ndebree)$ .
- Viktat skräpavstånd.
- Koordinater för ideal laserlinje, tre punkters halvellips.
- Felkod, 1 laser skymd, 2 kamera skymd, 3 dålig kontrast, 4 övrigt.

### För mätningarna utförda under Etapp 2 registrerades också följande data:

- Andel belysta rader utanför toleransintervallet för 10 segment längs laserlinjen (Figur 16) där *Segment 1* motsvarades av området högst upp längs stammens tvärsnitt (mot bröstet i aggregatet) och *Segment 10* motsvarades av området längst ned (mot marken). Andelen belysta rader utanför toleransintervallet per segment var beräknat som kvoten mellan antalet belysta rader utom toleransintervallet genom antal rader för den ideala laserlinjen för det aktuella segmentet.
- Andel belysta rader innanför toleransintervallet för 10 segment längs laserlinjen. Detta mått var beräknat som kvoten mellan antalet belysta rader inom toleransintervallet genom antalet rader för den ideala laserlinjen för det aktuella segmentet.



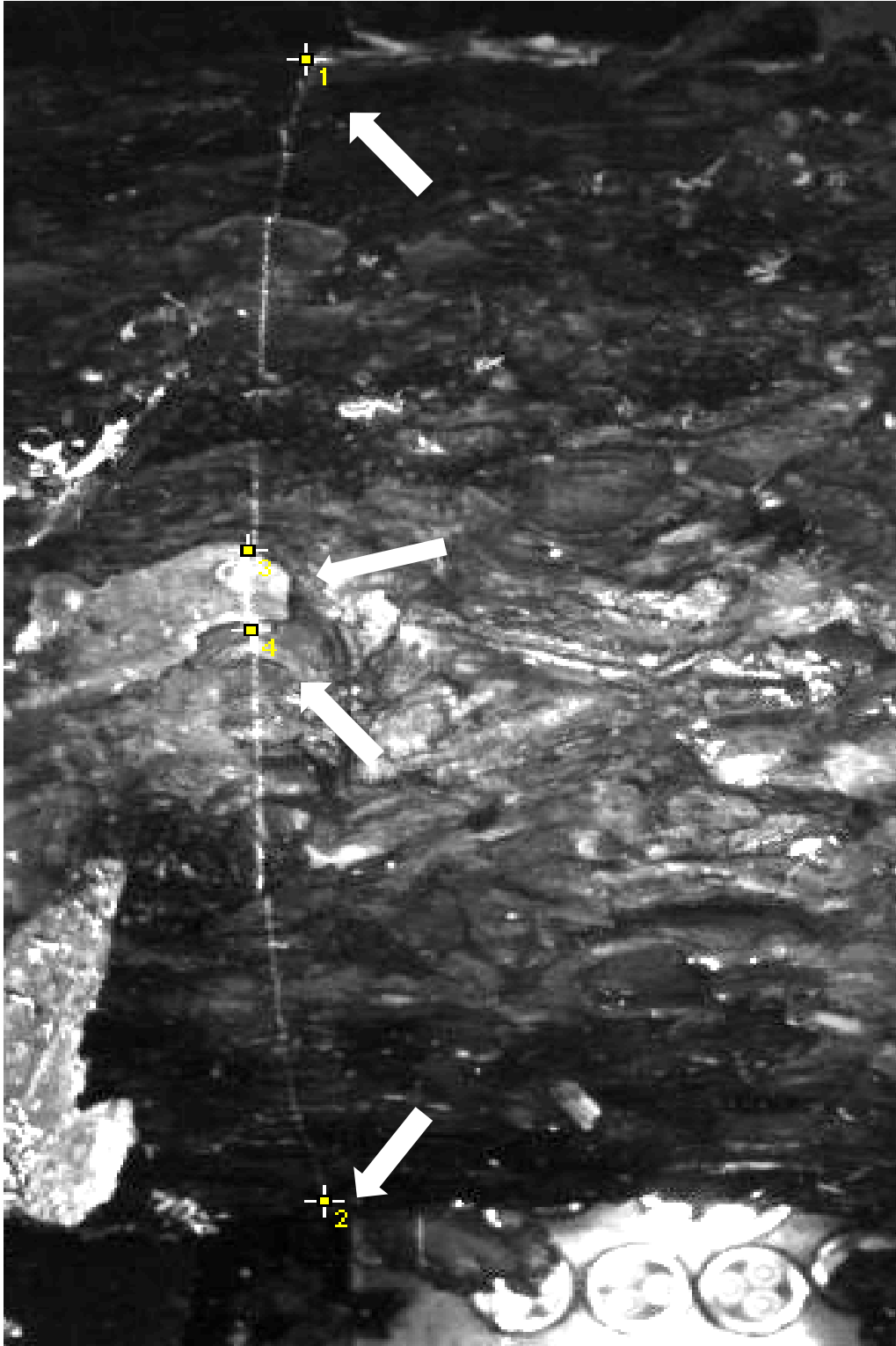
Figur 16.  
Princip för analys av beskuren laserbelyst bild. Röda streck visar den matematiska ellipsen flyttad 30 pixlar åt vardera hållet, vilket motsvarar toleransintervallet runt den ideala laserlinjen. Kolumn till höger visar princip av radstatus där grön färg indikerar att det reflekterade ljuset för aktuell rad befinner sig innanför toleransintervallet, röd färg indikerar att det reflekterade ljuset för aktuell rad befinner sig utanför toleransintervallet och gul färg indikerar att inget ljus reflekterats för aktuell rad. Under *Mätetapp 2* registrerades andelen laserlinje utanför respektive innanför toleransintervallet för 10 segment tvärs stammen. Bild tagen av höger kamera.

### Mätetapp 3

För mätningarna under *Etap 3* utnyttjades enbart de LED-belysta bilderna. Bilderna öppnades och kontrastförstärktes i programvaran "ImageJ", ett bildanalysprogram som utan kostnad tillhandahålls av National Institute of Health, USA. På bilderna markerades manuellt den övre och nedre begränsningspunkten för den ideala laserlinjen. Området längs laserlinjen granskades visuellt och för objekt som befann sig i omedelbar närhet till laserlinjen (inom toleransintervallet) markerades den övre och nedre punkten längs laserlinjen (Figur 17). Programvaran registrerade koordinaterna för de markerade punkterna och dessa data kopierades till Excel. Med hjälp av ett Excel-makro framtaget av Jonas Larsson, Komatsu Forest, beräknades den vertikala sträckan längs laserlinjen och den vertikala sträckan för respektive objekt som markerats. Dessa sträckor användes för att beräkna andelen av laserlinjen som täcktes av objekt i omedelbar närhet av laserlinjen. Vid beräkningarna delades sträckan längs laserlinjen in i 10 segment på samma sätt som under *Mätetapp 2* (Figur 16), vilket innebar att det för varje av de 10 segmenten redovisades hur stor andel av laserlinjen som täcktes av objekt i omedelbar närhet av laserlinjen.

### De objekt som markerades var klassificerade i tre kategorier:

1. Skräp. Detta utgjordes vanligen av friflygande barkflagor eller kvistdelar.
2. Grenar. Denna kategori utgjordes vanligen av grenar som kvistats av men där en smal spalt av ved/bark fläktas av och satt fast på stammen.
3. Lav. Utgjordes av lav som växte på stammen och stack upp.



Figur 17.  
LED-belyst bild som illustrerar mätningarna med programvaran "ImageJ" under *Mätetapp 3*. I bilden har den övre och nedre begränsningspunkten för laserlinjen på stammen markerats liksom motsvarande punkter för en bark-flaga som flyger i luften tätt intill stammen d.v.s. ett objekt som befinner sig inom toleransintervallet.

## Resultat och Diskussion

### SKRÄPFRAKTIONER OCH DERAS FÄRDVÄGAR

Det insamlade bildmaterialet höll en hög kvalitet och medgav detaljerade studier av de snabba förlopp som förekommer i skördaraggregat. Nedan exemplifieras de huvudkategorier av skräp som användes i den kvalitativa analysen (Tabell 5). För varje skräpfraktion beskrivs hur skräpet i den kvalitativa analysen bedömts färdas in i det känsliga området mellan stam och sensorer. Vid granskningen av bildmaterialet ägnades särskild uppmärksamhet åt att urskilja huruvida skräpfraktionerna färdades *utanför* respektive *innanför* de övre rörliga kvistknivarna. Detta eftersom det direkt påverkar hur skydd bör utformas för att effektivt reducera inverkan av respektive skräpfraktion.

#### Torrkvist

Denna skräpfraktion bestod av död kvist som ofta slagits sönder i mindre delar (Figur 18). Skräpfraktionen förekom i ringa omfattning för tall men var mer vanligt förekommande för gran vid körning utan skydd och förekom då intermittent längs hela stammarna. Den huvudsakliga färdvägen för torrkvisten var *utanför* de övre rörliga kvistknivarna.

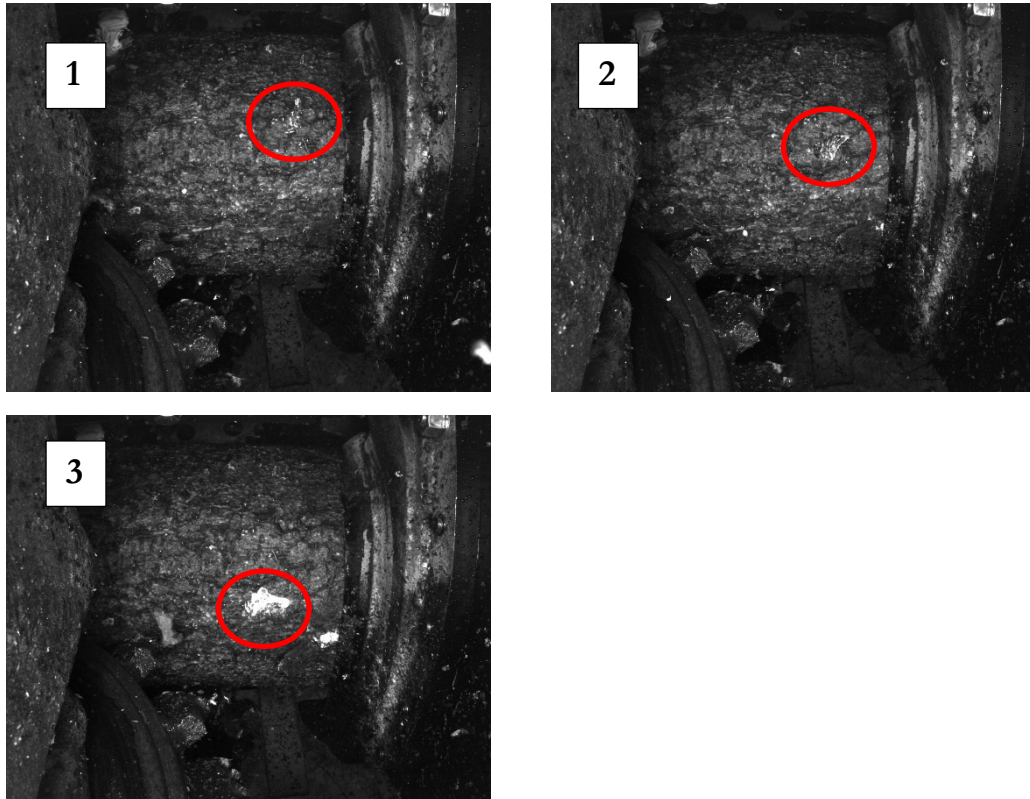


Figur 18.

Exempel på torrkvist av varierande storlek för gran, vilken färdats *utanför* de övre rörliga kvistknivarna. Bilden är tagen med höger kamera (jfr Figur 2) under körning utan skydd. Till höger i bilden syns höger kvistkniv och till vänster i bilden syns motsvarande matarvals.

## Barkflagor

Denna fraktion bestod av det yttre döda skiktet av barken, vilket skavts av i kontakten med kvistknivarna (Figur 19 och 20). I skräpfraktionen inkluderades för gran även lav som vuxit på barken. Skräpfraktionen förekom i måttlig omfattning, intermittent längs hela stammarna både hos tall och hos gran. Den huvudsakliga färdvägen var *innanför* de övre rörliga kvistknivarna men till en mindre del färdades barkflagor också *utanför* de övre rörliga kvistknivarna. En ytterligare observation var att barkflagor tenderade att röra sig in i bilden ”uppifrån”, vilket indikerade att de skavts av i kontakten med den övre rörliga kvistkniven och därefter föll nedåt och in i området mellan stam och sensorer.



Figur 19.  
Exempel på enskild barkflaga (inringad med rött) för gran som färdats *innanför* de övre rörliga kvistknivarna. De tre bilderna är tagna i sekvens och visar hur barkflagan roterar och faller nedåt i bild.





Figur 20.  
Exempel på barkflagor (inringade med rött) för tall som färdats *innanför* de övre rörliga kvistknivarna. De tre bilderna är tagna i sekvens och visar hur barkflagorna faller nedåt i bild. Bilderna är tagna just då matningen stannat upp inför ett kap.

### Avskavd bark/ved

Denna skräpfraktion bestod av det inre levande skiktet av barken och förekom ofta tillsammans med avskavd ved (Figur 21). Den förekom både för tall- och gran. För tall förekom skräpfraktionen ofta i närheten av grövre kvistar där den sista delen av kvisten inte skurits av utan fläkts av och då dragit med sig en bit av levande bark/ved. Den huvudsakliga färdvägen för skräpfraktionen var *innanför* de övre rörliga kvistknivarna.



Figur 21.  
Exempel på levande bark/ved som färdats *innanför* de övre rörliga kvistknivarna.

### Levande grenar/barr

Levande grenar/barr förekom sporadiskt och oftast i anslutning till toppen av träden (Figur 22). De vanligaste fallen var när kvistknivarna böjt in grenarna mot stammen men inte förmått skära av dem och grenarna passerade följaktligen *innanför* de övre rörliga kvistknivarna. Det förekom dock även fall när levande grenar färdades *utanför* de övre rörliga kvistknivarna.





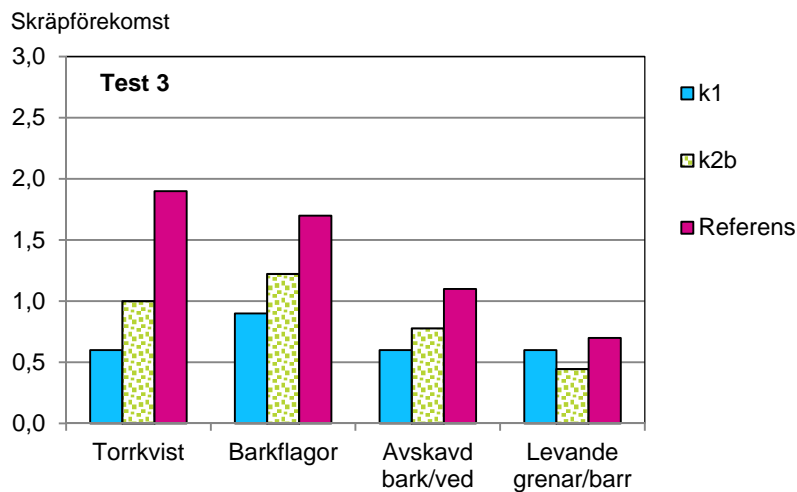
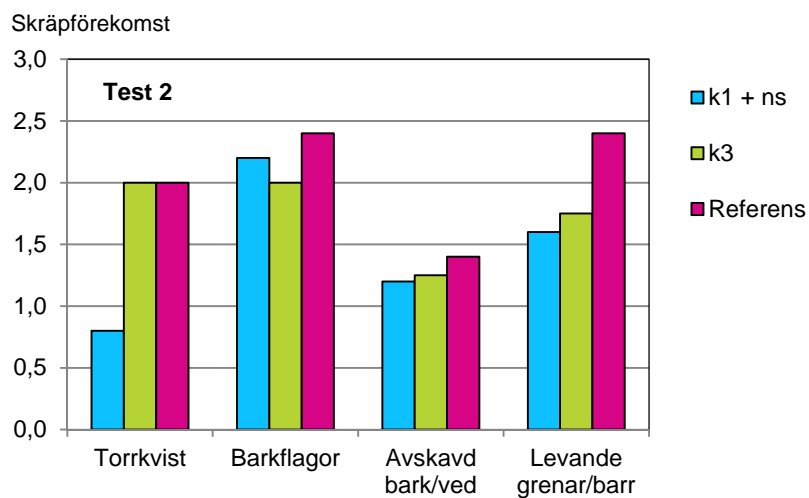
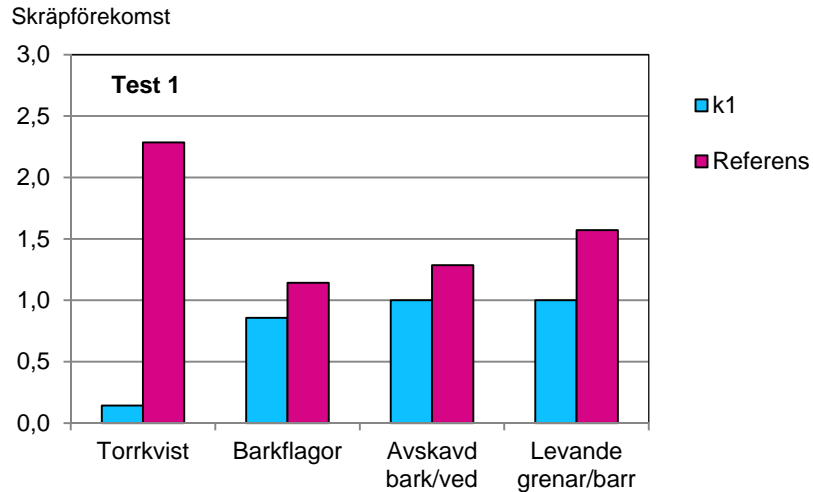
Figur 22.  
Exempel på levande grenar som inte skurits av med kvistknivarna utan färdats *innanför* de övre rörliga kvistknivarna.

## SKRÄPFÖREKOMST FÖR DE OLIKA SKYDDEN – KVALITATIV ANALYS

I Figurerna 23 och 24 redovisas bedömd genomsnittlig skräpförekomst för skräpfraktionerna vid körning med de olika skyddsalternativen under de tre testtillfällena.

I jämförelse mellan skyddsalternativen hos gran (Figur 23) uppvisade körning med den största skyddsplåten vid de övre kvistknivarna (k1) betydlig lägre förekomst av torrkvist än referensalternativet med inget skydd vid kvistknivarna. Detta gällde för samtliga de tre testtillfällena. Även för barkflagor, avskavd bark/ved och levande grenar/barr var förekomsten lägre vid körning med den största skyddsplåten i jämförelse med referensalternativet. Den lägre förekomsten för de tre skräpfraktionerna vid körning med k1 noterades för samtliga tre testtillfällen men skillnaderna mellan k1 och referensalternativet var lägre än motsvarande skillnader för torrkvistfraktionen.

Skyddsalternativen k3 och k2b var enbart inkluderade vid två testtillfällen i den kvalitativa analysen, *Testtillfälle 2 respektive 3*. För skyddet k3 (den minsta storleken av skyddsplåt) var det generellt små skillnader i skräpförekomst gentemot referensalternativet för de olika skräpfraktionerna. För skyddet k2b (den modifierade mellanstorleken av skyddsplåt) var skräpförekomsten för de olika skräpfraktionerna på en nivå som låg mellan skräpförekomsten för k1 och referensalternativet.

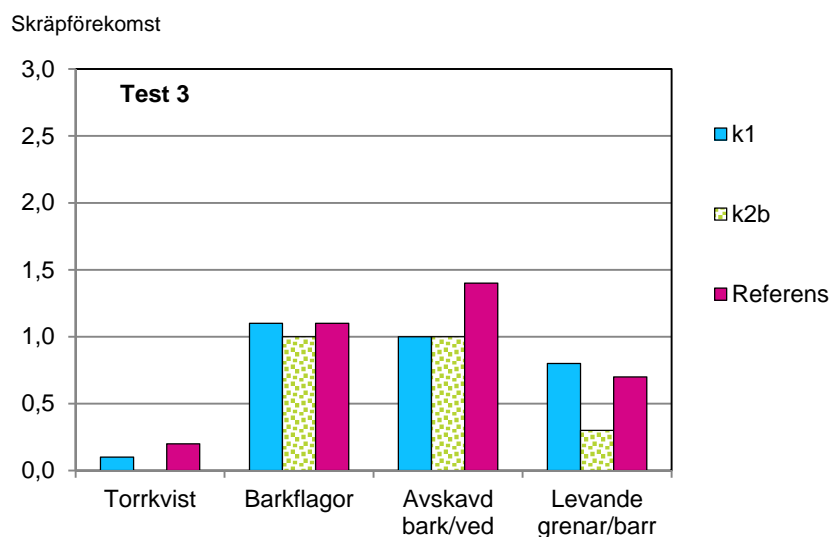
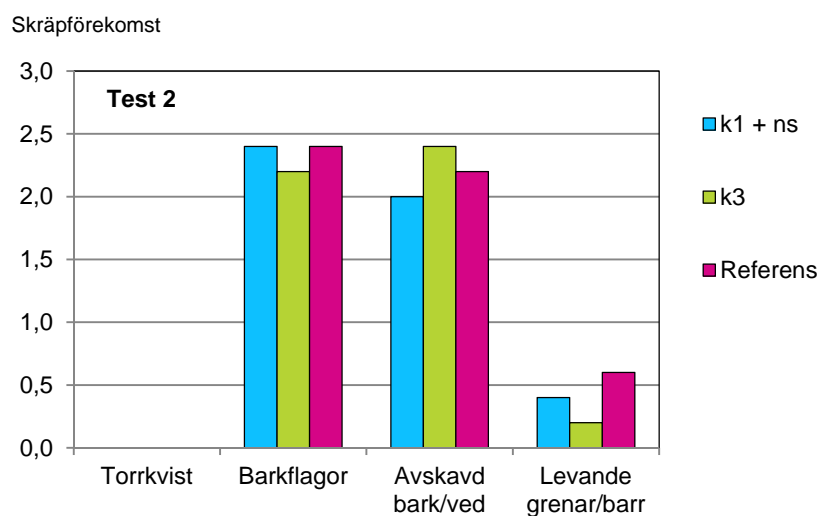
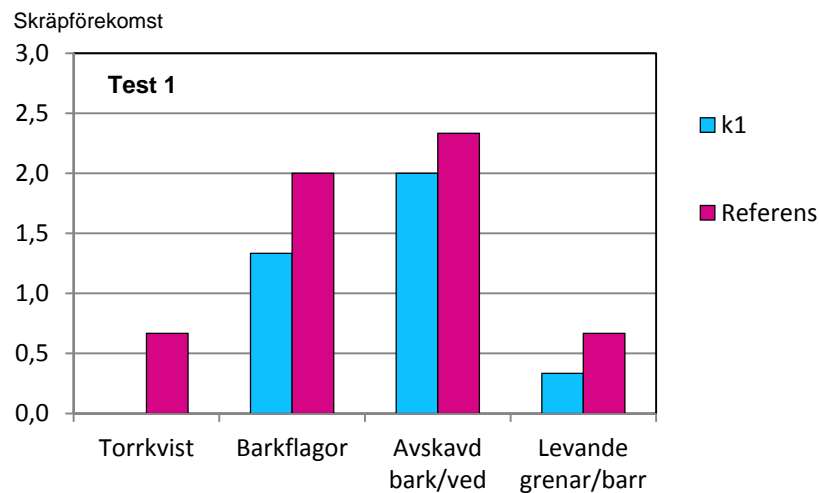


Figur 23. Gran.

Bedömd genomsnittlig skräpförekomst för olika skräpkategorier vid de tre testtillfällena vid avverkning med olika skyddsalternativ. Skräpförekomsten bedömdes i en fyrgradig skala där 0 = ingen förekomst och 3 = hög förekomst. "Referens" avser inga skyddsplåtar vid de övre rörliga kvistknivarna men med skyddsplåtar i aggregatets buk under *Testtillfälle 2 och 3*. "k1" = största, "k2b" = modifierade mellanstorleken och "k3" = minsta storleken av skyddsplåtarna vid de övre rörliga kvistknivarna. För "k1", "k2b" och "k3" har skyddsplåtarna använts tillsammans med stänklapparna vid matarvalsarna och tillsammans med skyddsplåtarna i aggregatets buk. Vid *Testtillfälle 2* var skydd som angriper skräp som färdas under kvistknivarna (ns) monterat på höger kvistkniv.

I vår studie har de bedömda skillnaderna i skräpförekomst mellan skyddsalternativen hos gran (Figur 23) en logisk koppling till resultaten av kartläggningen av skräpfraktionernas färdvägar in i området mellan sensorer och stam (Figur 18 till 22). De skyddsplåtar som var monterade på de övre rörliga kvistknivarna (k1, k2b och k3) var utvecklade för att angripa skräp som färdas *utanför* kvistknivarna. Skräpfraktionen torrkvist bedömdes utifrån kartläggningen ha en huvudsaklig färdväg som löper *utanför* kvistknivarna och för denna skräpfraktion noterades också den tydligaste skyddseffekten. För skräpfraktionerna barkflagor, avskavd bark/ved samt levande grenar/barr noterade också en skyddseffekt som dock var lägre än för torrkvist. Den lägre skyddseffekten för dessa tre skräpfraktioner indikerar att en större andel av sådant skräp färdas *innanför* kvistknivarna det vill säga en färdväg som innebär att skräpet inte kan förväntas påverkas av plåtarna på kvistknivarna. Detta stöds av resultaten av kartläggningen av skräpvägarna där de huvudsakliga färdvägarna för barkflagor, avskavd bark/ved samt levande grenar/barr bedömdes vara *innanför* kvistknivarna.

För tall (Figur 24) var det generellt betydligt mindre skillnader i bedömd genomsnittlig skräpförekomst mellan skyddsalternativen än för gran. För barkflagor och levande grenar/barr fanns inga genomgående skillnader mellan skyddsalternativen men för avskavd bark/ved fanns en tendens till lägre skräpförekomst vid körning med den största skyddsplåten (k1) i jämförelse med körning utan skyddsplåtar på kvistknivarna. För torrkvist var förekomsten marginal och förutom vid *Testfall 1* noterades inga skillnader mellan skyddsalternativen.



Figur 24. Tall.

Bedömd genomsnittlig skräpförekomst för olika skräpkategorier vid de tre testtillfällena vid avverkning med olika skyddsalternativ. Skräpförekomsten bedömdes i en fyrgradig skala där 0 = ingen förekomst och 3 = hög förekomst. "Referens" avser inga skyddsplåtar vid de övre rörliga kvistknivarna men med skyddsplåtar i aggregatets buk under *Testtillfälle 2 och 3*. "k1" = största, "k2b" = modifierade mellanstorleken och "k3" = minsta storleken av skyddsplåtarna vid de övre rörliga kvistknivarna. För "k1", "k2b" och "k3" har skyddsplåtarna använts tillsammans med stänklapparna vid matarvalsarna och tillsammans med skyddsplåtarna i aggregatets buk. Vid *Testtillfälle 2* var skydd som angriper skräp som färdas under kvistknivarna (ns) monterat på höger kvistkniv.

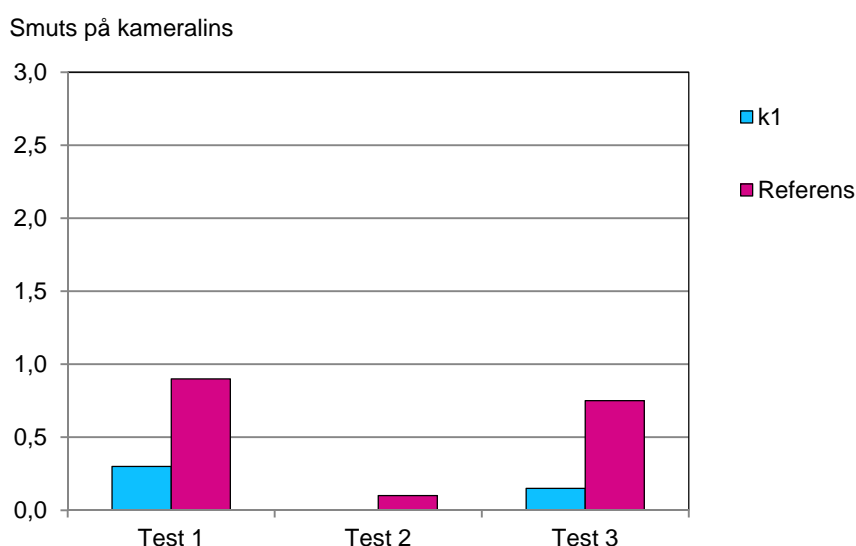
Sammanfattningsvis visade den kvalitativa analysen i vår studie på en markant skillnad mellan gran och tall med avseende på de utvärderade skyddens skräp-reducerande effekt. För gran fanns stora reducerande effekter på skräpförkomsten vid körning med skyddsplåtar monterade på de övre rörliga kvistknivarna. För tall var motsvarande effekter betydligt svagare.

Vår tolkning av skillnaderna mellan trädslagen med avseende på skyddens skräpreducerande effekt är att den i huvudsak beror på att tall och gran i vårt material hade en varierande sammansättning av skräpfraktioner. För tall, med grenar koncentrerade till toppen av träden, dominerade skräpfraktionerna som huvudsakligen färdades *innanför* kvistknivarna medan skräpsammansättningen hos gran, där hela stammarna var grenbeklädda, utgjordes till en betydande del av skräp som färdades *utanför* kvistknivarna.

I Figur 25 redovisas genomsnittlig mängd smuts på kameranlinserna vid de tre testtillfällena för skyddsalternativet med den största skyddsplåten på de övre rörliga kvistknivarna (k1) och referensalternativet utan skyddsplåtar. Den smuts som noterades utgjordes av vattendroppar och i figuren anges förekomsten som medelvärden per testtillfälle och skyddsalternativ det vill säga värdena för tall- och gran har slagits samman.

Vid samtliga tre testtillfällen var förekomsten av vattendroppar på linserna lägre för alternativet k1 än för referensalternativet, vilket indikerar att skyddet skapar en mer skyddad miljö också för sensorernas ytor. Den högre förekomsten av vattendroppar på kameranlinsen vid *Testtillfälle 1 och 3* var sannolikt en återspeglning av väderförhållanden med torrt och soligt väder under *Test 2* och duggregn vid de övriga två testtillfällena.

Under *Testtillfälle 3* utvärderades också skyddet k2b och för detta skydd låg förekomsten av vattendroppar på linserna mellan värdena för k1 och referensalternativet.

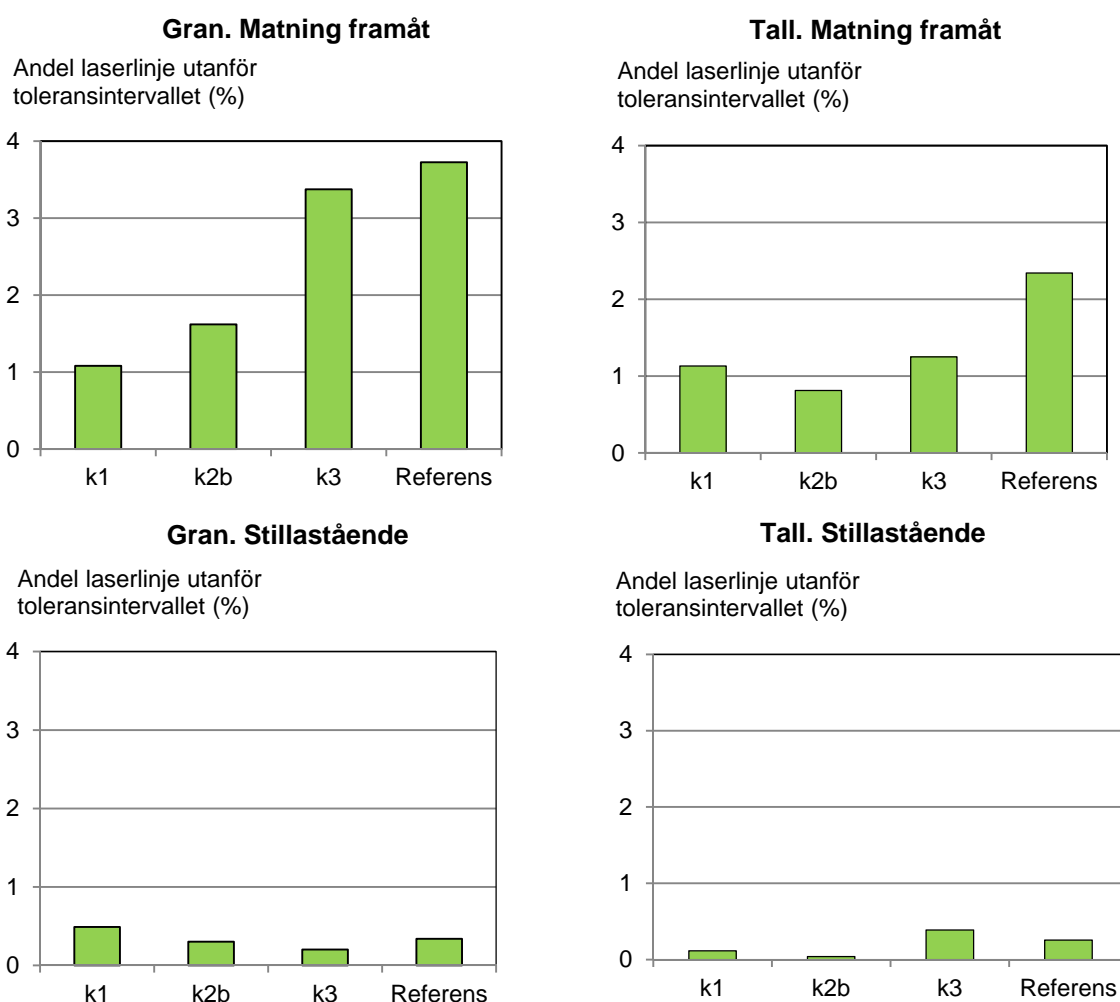


Figur 25. Bedömd genomsnittlig mängd smuts på kameranlinsen vid de tre testtillfällena. Smutsmängden anges som medelvärde för skyddsalternativet "k1" och referensalternativet det vill säga värdena är sammanslagna över trädslag. Mängden smuts bedömdes i en fyrgradig skala där 0 = ingen förekomst och 3 = hög förekomst. "Referens" avser inga skyddsplåtar vid de övre rörliga kvistknivarna men med skyddsplåtar i aggregatets buk under *Testtillfälle 2 och 3*. "k1" = största storleken av skyddsplåtarna vid de övre rörliga kvistknivarna. För "k1", har skyddsplåtarna använts tillsammans med stänklapparna vid matarvalsarna och tillsammans med skyddsplåtarna i aggregatets buk. Vid *Testtillfälle 2* var skydd som angriper skräp som färdas under kvistknivarna monterat på höger kvistkniv i detta alternativ.

## KVANTITATIV ANALYS – ANDEL LASERLINJE UTANFÖR TOLERANSINTERVALLET

I den kvantitativa analysen användes datorstödd bildanalys för att analysera skräpförekomsten för de olika skyddsalternativen. Primär mätning skedde av antalet rader i bilderna där laserlinjen träffade skräp som flög i luften och som befann sig utanför ett definierat toleransintervall runt den ideala laserlinjen (se vidare metodbeskrivningen). Primär mätning skedde också av antalet rader i bilderna för den manuellt definierade ideala laserlinjen.

För att skapa ett mått på skräpförekomsten som var oberoende av stammens diameter beräknades kvoten mellan antalet rader i bilderna där laserlinjen träffade skräp som flög i luften utanför toleransintervallet och antalet rader i bilderna för den ideala laserlinjen. Kvoten, uttryckt i procentskalan, beskriver alltså hur stor andel av laserlinjen som träffade skräp som flög i luften utanför toleransintervallet och där ett värde på 0 indikerar total frånvaro av sådant skräp och ett värde på 100 indikerar att den ideala laserlinjen vore helt blockerad av flygande skräp. I vår studie betraktar vi denna kvot, framtagen utifrån objektiva mätningar, som den mest precisa beskrivningen av skräpförekomsten för de olika skyddsalternativen.



Figur 26.

Genomsnittlig andel laserlinje *utanför* toleransintervallet för gran och tall vid körning med olika skyddsalternativ under det tredje testfallet uppdelat på matning framåt respektive stillastående. "Referens" avser inga skyddsplåtar vid de övre rörliga kvistknivarna men med skyddsplåtar i aggregatets buk. "k1" = största, "k2b" = modifierade mellanstorleken och "k3" = minsta storleken av skyddsplåtarna vid de övre rörliga kvistknivarna. För "k1", "k2b" och "k3" har skyddsplåtarna använts tillsammans med stänklapparna vid matarvalsarna och tillsammans med skyddsplåtarna i aggregatets buk.



I Figur 26 redovisas den genomsnittliga skräpförekomsten för de olika skyddsalternativen vid det tredje testtillfället uttryckt som andelen laserlinje utanför toleransintervallet. I figuren finns en uppdelning på trädslagen samt på mätningar tagna under matning framåt samt på mätningar tagna under stillastående. Resultatet för ”Stillastående” baseras på mätningar utförda under *Mätetapp 1* (se metodbeskrivning) då mätningarna gjordes på ett 20 procentigt urval av samtliga bilder. Resultatet för ”Matning framåt” baseras på mätningar utförda under *Mätetapp 2* där mätningarna var avgränsade till samtliga bilder under matning framåt.

För gran minskade skräpförekomsten under matning framåt generellt med ökande storlek på skyddsplåtarna vid de övre rörliga kvistknivarna. Lägst förekomst av skräp uppvisade således skyddsalternativet med de största skyddsplåtarna vid kvistknivarna (k1) och i jämförelse med referensalternativet utan skyddsplåtar var förekomsten cirka 4 gånger lägre för detta alternativ. Signifikanstester av medelvärdesskillnader visade att för två av alternativen med skyddsplåtar (k1 och k2b) var skillnaderna i skräpförekomst gentemot referensalternativet statistiskt säkerställda på en mycket hög nivå ( $p=0,0001$ ).

Vid stillastående noterades för gran små skillnader i skräpförekomst mellan skyddsalternativen och på en nivå som logiskt låg lägre än skräpförekomsten under matning framåt. Noterbart var också att det var liten skillnad i skräpförekomst för alternativet k1 under matning framåt i jämförelse med den generella skräpnivån för skyddsalternativen vid stillastående.

För tall var skillnaderna i skräpförekomst mellan skyddsalternativen lägre än för gran och det fanns inte som för gran någon tydlig trend till minskande förekomst av skräp med ökande storlek på skyddsplåtarna vid de övre rörliga kvistknivarna. Dock uppvisade samtliga alternativen med skyddsplåtar vid de övre rörliga kvistknivarna (k1, k2b och k3) lägre förekomst av skräp än referensalternativet. Signifikanstester av dessa medelvärdesskillnader visade att samtliga skyddsalternativ med skyddsplåtar vid de övre rörliga kvistknivarna hade en genomsnittlig skräpförekomst som var starkt statistiskt skild från referensalternativet ( $p=0,0001$ ).

I jämförelse mellan trädslagen var skräpförekomsten likartad för de två alternativen med de största skyddsplåtarna vid de övre rörliga kvistknivarna (k1 och k2b). För referensalternativet och alternativet med den minsta skyddsplåten vid de övre rörliga kvistknivarna var dock skräpförekomsten betydligt lägre för tall än för gran.

Sammanfattningsvis visade den kvantitativa analysen av skyddens skräpreducerande effekt på betydligt större reducerande effekter av skydden för gran än för tall. Vi tolkar denna skillnad mellan trädslagen på samma sätt som i den kvalitativa analysen, det vill säga att den i huvudsak beror på att tall och gran i vårt material hade en varierande sammansättning av skräpfraktioner. För tall, med grenar koncentrerade till toppen av träden, dominerade skräpfraktionerna som huvudsakligen färdades *innanför* kvistknivarna medan skräpsammansättningen hos gran, där hela stammarna var grenbeklädda, utgjordes till en betydande del av skräp som färdades *utanför* kvistknivarna.

I den kvantitativa analysen bör särskild uppmärksamhet ägnas åt underliggande faktorer som potentiellt skulle kunna blandas samman med skillnader i skräpförekomst mellan skyddsalternativen. Två sådana faktorer var:

- 1) *Skillnader i trädstorlek mellan träden tillhörande de olika skyddsalternativen.*  
 Analys av medelvärden för brösthöjdsdiameter och avstånd från rot-skär till toppkap visade dock att det var små, inte statistiskt säkerställda skillnader för dessa variabler mellan skyddsalternativen inom trädslag. Vidare fanns det i vårt material inget generellt samband inom trädslag mellan genomsnittlig skräpförekomst per träd och trädstorleken uttryckt som diametern i brösthöjd.
- 2) *Skillnader i bortfallsfrekvens mellan skyddsalternativen vid mätningarna.* I materialet fanns bilder som inte kunde mätas vid den datorstödda bildanalysen t.ex. på grund av att laserlinjen var helt blockerad. Dessa bilder fick en felkod i datasetet och behandlades i analysen som observationer som *saknade* mätdata. I Tabell 7 redovisas andelen saknade mätvärden under matning framåt för de olika skyddsalternativen uppdelat på trädslagen. För tall var bortfallsfrekvens relativt likartad för samtliga skyddsalternativ förutom k2b som låg på en lägre nivå. För gran hade k1 och referensalternativet en låg och likartad bortfallsfrekvens medan k2b och k3 uppvisade betydligt högre värden. Granskning av de bilder som saknade mätvärden för de två senare skyddsalternativen visade att orsakerna till att bilderna inte kunde mätas i cirka hälften av fallen inte var kopplat till skydden i sig. I stället var det mer slumpmässiga orsaker som t.ex. att grenar satte sig mellan stam och sensor vid ansättning av aggregater vid fällning. Dock bör viss försiktighet gälla vid tolkningen av resultaten av den kvantitativa analysen för k2b och k3.

Tabell 7.  
 Totalt antal samplade bilder för mätning samt procentuell andel bilder som saknade mätvärden för de olika skyddsalternativen för gran och tall under matning framåt.

Trädslag	Skyddsalternativ <sup>1)</sup>	Totalt antal bilder	Andel bilder utan mätvärde (%)
Gran	k1	1 156	6,7
Gran	k2b	1 120	18,1
Gran	k3	1 116	17,8
Gran	Referens	1 100	11,6
Tall	k1	1 350	9,7
Tall	k2b	1 219	3,0
Tall	k3	1 354	8,5
Tall	Referens	1 418	12,8

<sup>1)</sup> "Referens" avser inga skyddsplåtar vid de övre rörliga kvistknivarna men med skyddsplåtar i aggregatets buk. "k1" = största, "k2b" = modifierade mellanstorleken och "k3" = minsta storleken av skyddsplåtarna vid de övre rörliga kvistknivarna. För "k1", "k2b" och "k3" har skyddsplåtarna använts tillsammans med stänklapparna vid matarvalsarna och tillsammans med skyddsplåtarna i aggregatets buk.

Sammanfattningsvis indikerade analysen av underliggande faktorer potentiella inverkan på uppmätta skillnader i skräpförekomst mellan skyddsalternativen att skillnader mellan trädstorlek inte bör ha orsakat några problem. Men att bortfallsfrekvens av mätvärden för skyddsalternativen k2b och k3 hos gran var hög och att viss försiktighet vid tolkningen av resultaten för k2b och k3 är befogad.

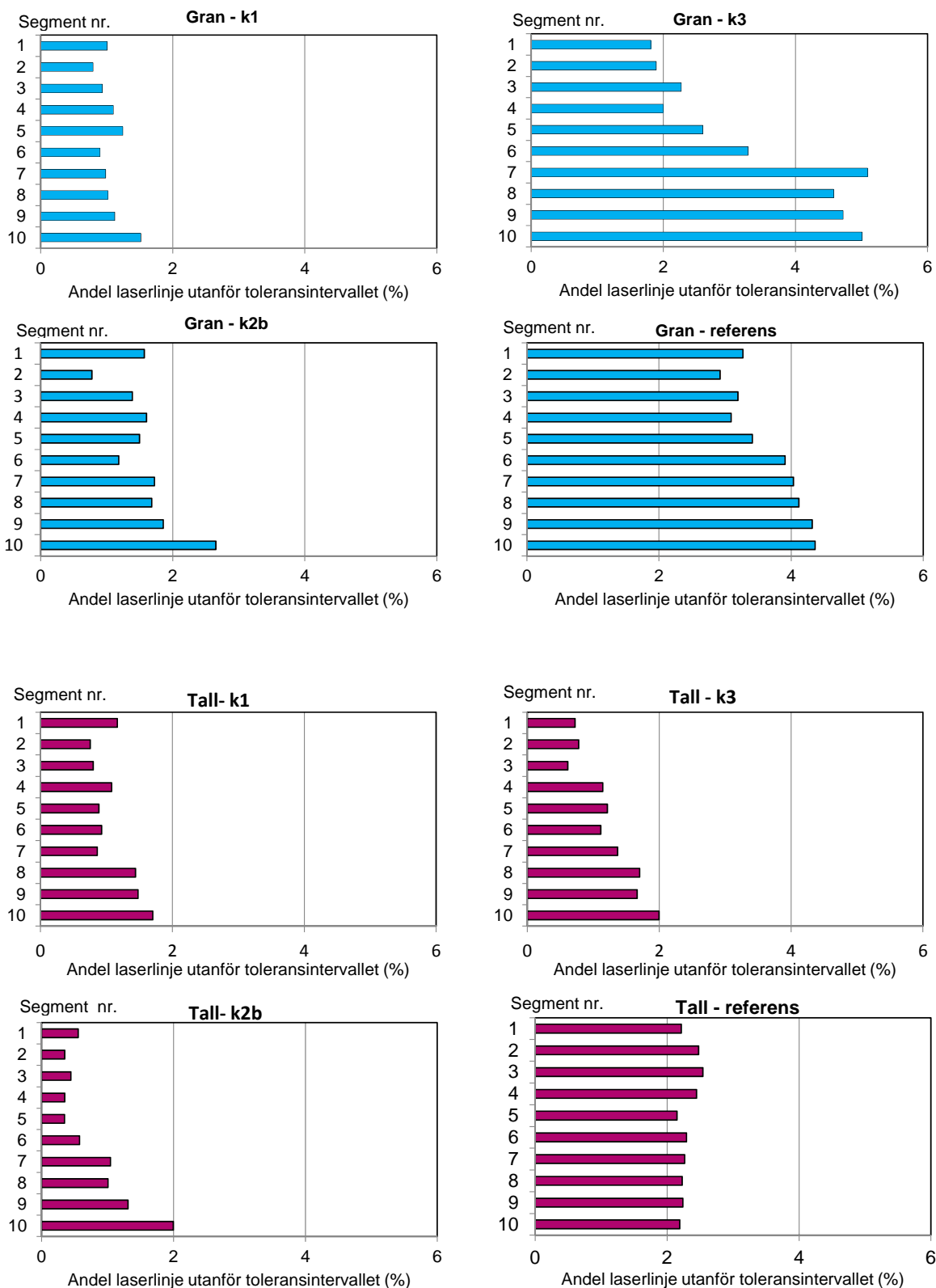
## Skräpförekomst för olika segment i tvärsnitten

Ett syfte med de utökade mätningar som genomfördes under den andra mät-etappen var att erhålla information om skräpets förekomst i vertikal led längs stammens mantelyta. Sådan informations skulle potentiellt kunna användas för att identifiera skräputsatta segment och därmed som underlag för att modifiera skydden. Bildanalysprogrammet vidareutvecklades därför så att andelen laserlinje utanför toleransintervallet kunde registreras för 10 sektioner längs stammens mantelyta där *Segment 1* motsvarades av området högst upp längs stammens tvärsnitt (mot bröstet i aggregatet) och *Segment 10* motsvarades av området längst ned (mot marken). Andelen belysta rader utanför toleransintervallet per segment var beräknat som kvoten mellan antalet belysta rader utanför toleransintervallet genom antalet rader för den ideala laserlinjen för det aktuella segmentet (se vidare metodbeskrivningen).

Analyserna visade att sett över samtliga skyddsalternativ så fanns det en generell trend att mängden skräp som flög i luften ökade med ökande segment nummer d.v.s. skräpmängden tenderade att vara lägre för de övre områdena på stammen, upp mot bröstet i aggregatet (Figur 27). Denna trend varierade i styrka mellan skyddsalternativen och var mer uttalad vid körning med de två mindre skyddsplåtarna (k2b, k3). De större skillnaderna i skräpförekomst mellan de övre och nedre segmenten för dessa två skyddsalternativ kan tolkas som att den skräpreducerande effekten av dessa skydd varit avgränsad till områden högt upp på stammen, mot bröstet i aggregatet. Detta är i analogi med hur skydden var utformade. För k1, och i viss utsträckning referensalternativet, indikerade våra data att det inte fanns något segment som var speciellt utsatt med avseende på skräp utan det skräp som flög i luften hade karaktären av ”skräpmoln” där de ingående skräppartiklarna hade en relativt likformig fördelning tvärs stammens mantelyta.

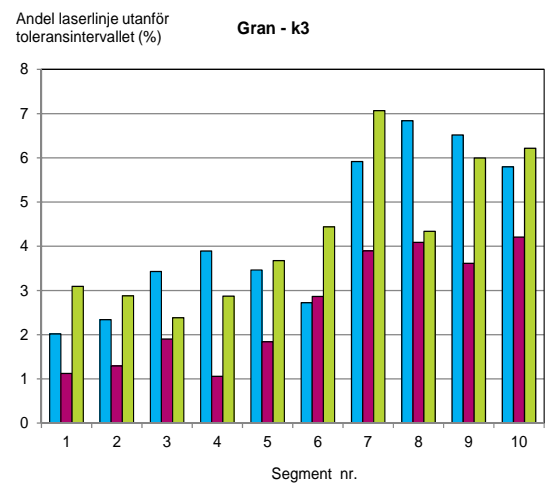
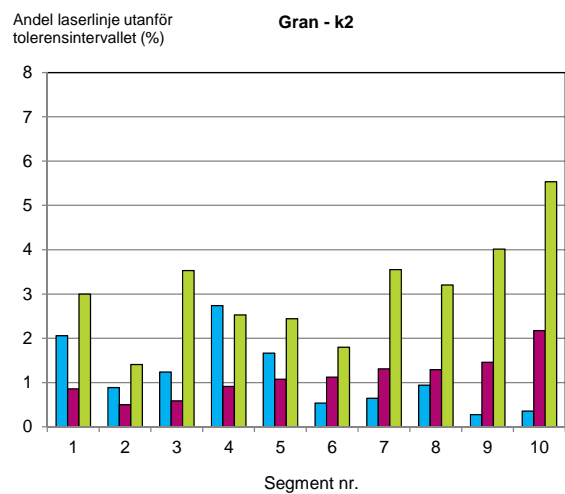
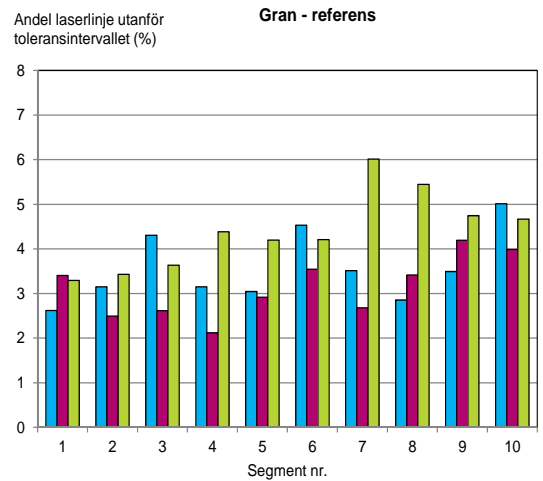
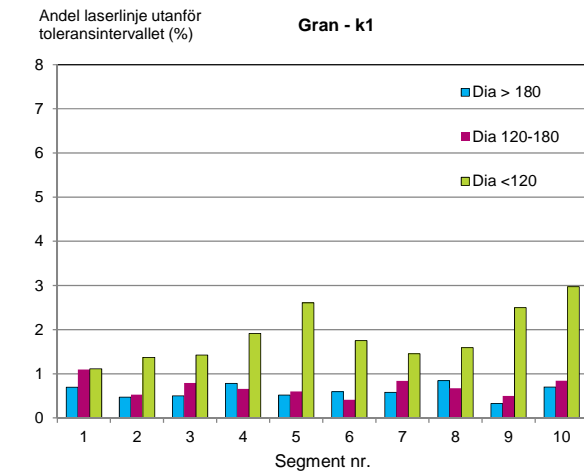
En fördjupad analys gjordes av skräpförekomsten för de olika segmenten genom en uppdelning av materialet utifrån diametern på det aktuella tvärsnittet. Tre diameterklasser användes: diametrar mindre än 120 mm, diametrar mellan 120 och 180 mm samt diametrar över 180 mm. Resultaten från denna analys förstärker den tidigare bilden att för k2b och k3 var de nedre segmenten i högre grad utsatta för skräp än de övre (Figur 28). Detta var speciellt uttalat för tall och den klenaste diameterklassen (dia <120 mm). För k1 och referensalternativet var det inte något speciellt segment som hade en avvikande hög skräpförekomst för någon av diameterklasserna.

I jämförelse av skräpförekomsten mellan diameterklasserna inom skyddskombination fanns det en trend att andelen skräp ökade när diametern på stammarna minskade (Figur 28 a och b). Denna trend var speciellt tydlig för körningen med den största skyddsplåten vid de övre kvistknivarna (k1). Detta kan tolkas som en geometrisk effekt det vill säga är skräpförekomsten och storleken på skräppartiklarna konstant när diametern på stockarna minskar så bör det yttra sig som en ökande andel skräp längs laserlinjen. En intressant observation var att skillnaderna i skräpförekomst mellan k1 och referensalternativet var större för de två grövre diameterklasserna. Detta kan tolkas som att skyddet ger en relativt högre skräpreducerande effekt för de grövre diameterklasserna.



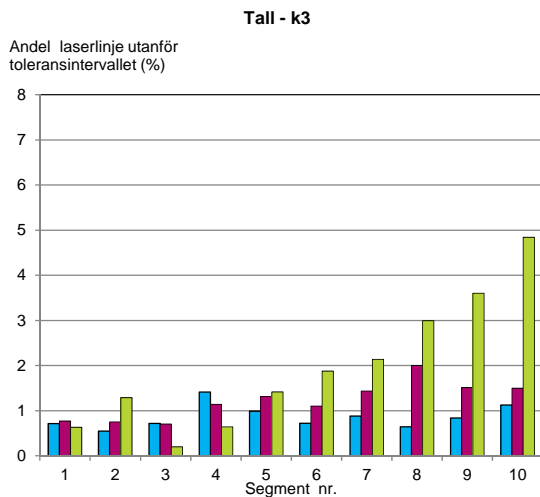
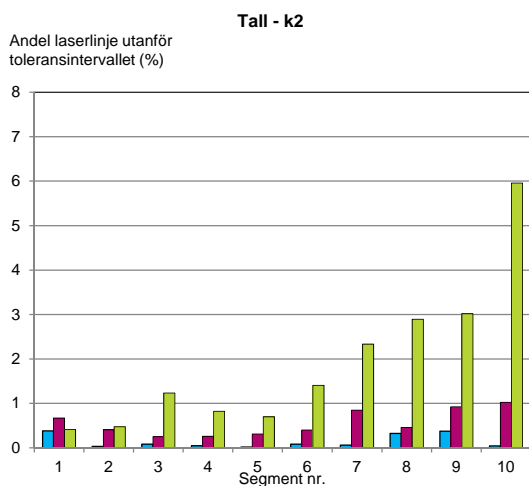
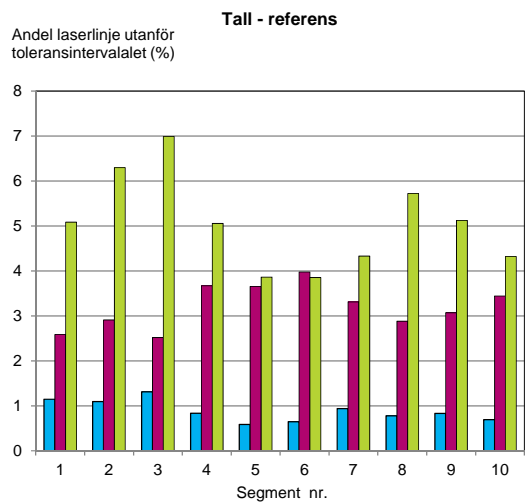
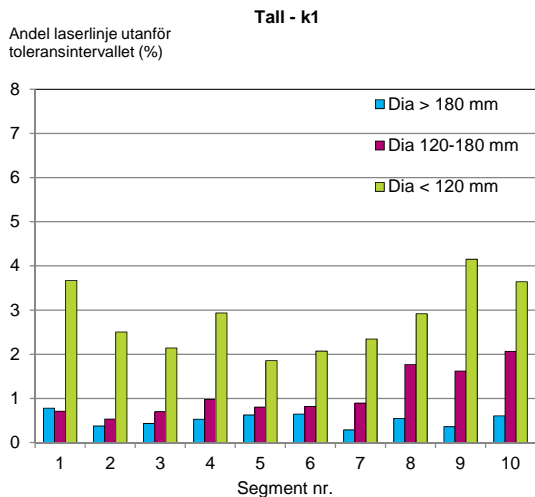
Figur 27.

Gensomsnittlig andel laserlinje utanför toleransintervallet för olika segment längs laserlinjen för samtliga skyddsalternativ uppdelat på gran och tall. *Segment 1* motsvaras av området högst upp längs stammens tvärsnitt och *Segment 10* motsvarades av området längst ned (mot marken). "Referens" avser inga skyddsplåtar vid de övre rörliga kvistknivarna men med skyddsplåtar i aggregatets buk. "k1" = största, "k2b" = modifierade mellanstorleken och "k3" = minsta storleken av skyddsplåtarna vid de övre rörliga kvistknivarna. För "k1", "k2b" och "k3" har skyddsplåtarna använts tillsammans med stänklapparna vid matarvalsarna och tillsammans med skyddsplåtarna i aggregatets buk.



Figur 28a. Gran.

Genomsnittlig andel laserlinje utanför toleransintervallet för olika segment längs laserlinjen för de olika skyddsalternativen uppdelat på tre diameterklasser. *Segment 1* motsvaras av området högst upp längs stammens tvärsnitt och *Segment 10* motsvarades av området längst ned (mot marken).



Figur 28b. Tall.

Genomsnittlig andel laserlinje utanför toleransintervallet för olika segment längs laserlinjen för de olika skyddsalternativen uppdelat på tre diameterklasser. *Segment 1* motsvaras av området högst upp längs stammens tvärsnitt och *Segment 10* motsvarades av området längst ned (mot marken).

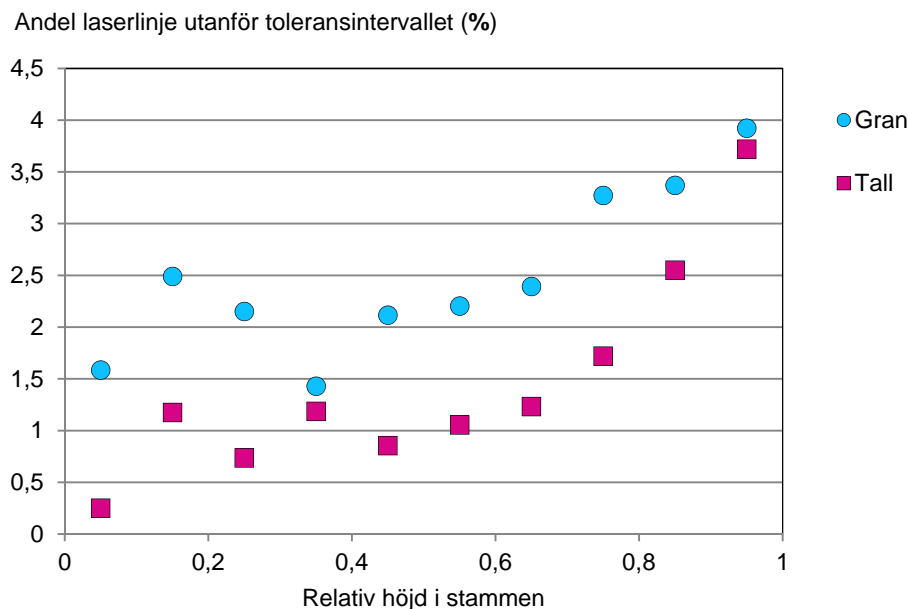


## Samband mellan skräpförekomst och höjd i stammen

För samtliga bilder registrerades den utmatade längden och en analys gjordes av sambandet mellan höjd i stammen och skräpförekomsten uttryckt som andelen laserlinje utanför toleransintervallet. För att beskriva höjden i stammen och hantera att träden var olika långa användes den relativa höjden det vill säga kvoten mellan aktuell höjd och avståndet från rotskåret till toppkapet. Den relativa höjden varierar alltså mellan 0 och 1 där ett lågt värde indikerar en position nära roten och ett högt värde en position nära toppkapet.

I Figur 29 redovisas andelen laserlinje utanför toleransintervallet som genomsnittsvärden för samtliga skyddsalternativ uppdelat på gran och tall. Motsvarande figurer för de olika skyddsalternativen återfinns i Bilaga 1. För tall fanns en tydlig tendens till ökande skräpförekomst för höjder i stammen ovan en relativ höjd om cirka 0,75. En relativ höjd på 0,75 motsvarade en absolut höjd i trädet på cirka 11,7 meter, vilket var närmast identiskt med det genomsnittliga avståndet från marken till den nedre gränsen för grönkronan (Tabell 3). Det är därför högst sannolikt att det är den ökande mängden levande grenar som orsakar den högre skräpförekomsten mot toppen av träden hos tall. För gran fanns en tendens till att skräpförekomsten ökade linjärt med ökande relativ höjd i stammen.

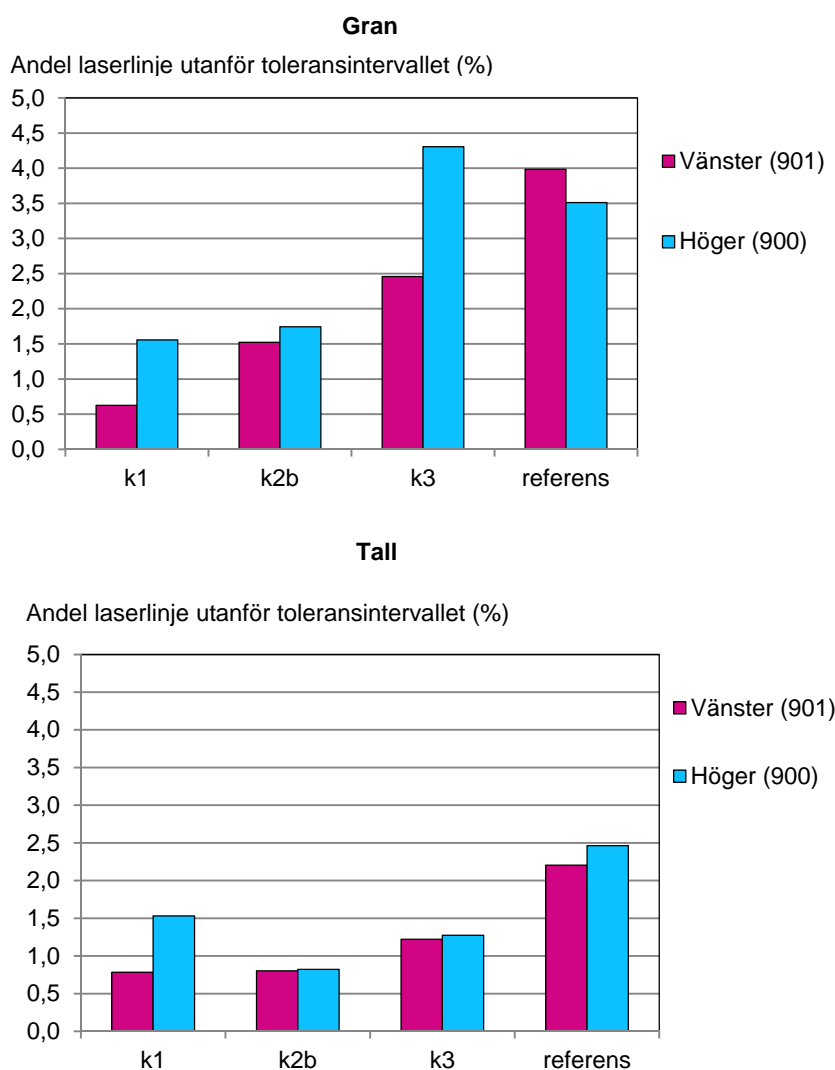
Förloppen för de enskilda skyddsalternativen (Bilaga 1) var likartade som för genomsnittsvärdena även om nivåskillnader fanns mellan skyddsalternativen. En skillnad som observerades var dock att förloppen var mer stabila vid körning med de två största skyddsplåtarna vid de övre rörliga kvistknivarna (k1 och k2).



Figur 29. Sambandet mellan genomsnittlig andel laserlinje utanför toleransintervallet och den relativa höjden i stammen för gran och tall under matning framåt. Samtliga observationer.

## Skillnader i skräpförekomst mellan kameror

En fördjupad analys gjordes av skillnaderna mellan höger och vänster kamera med avseende på andelen laserlinje utanför toleransintervallet. För skyddsalternativen med skyddsplåtar vid de övre rörliga kvistknivarna (k1, k2b, k3) fanns en tendens att andelen laserlinje utanför toleransintervallet var högre för höger kamera (Figur 30). Detta gällde båda trädslagen men var tydligast för gran. Avståndet mellan vänster kamera och vänster sidas övre rörliga kvistkniv var kortare än motsvarande avstånd mellan höger kamera och högra sidans kvistkniv (Figur 2). Den lägre skräpmängden för vänster kamera, uttryckt som en lägre andel laserlinje utanför toleransintervallet, indikerar att skyddsplåtarna i kombination med det kortare avståndet mellan kamera-kvistkniv har skapat en mer skyddad mätmiljö för denna kamera.



Figur 30.

Genomsnittlig andel laserlinje utanför toleransintervallet för vänster kamera (901) och höger kamera (900) vid matning framåt uppdelat på gran och tall. De genomsnittliga värdena baseras i båda fallen på samtliga mätdata från *Testtillfälle 3*, det vill säga de inkluderar samtliga skyddsalternativ inklusive referensalternativet utan skyddsplåtar vid de övre rörliga kvistknivarna.

## KVANTITATIV ANALYS – ANDEL LASERLINJE INNANFÖR TOLERANSINTERVALLET

På motsvarande sätt som vid kvantifieringen av skräpförekomsten i den kvantitativa analysen beräknades ett mått som avsågs återspegla hur stor andel av laserlinjen som träffade stammens mantelyta eller objekt i mantelytans omedelbara närhet. Måttet beräknades som kvoten mellan antalet rader i bilderna där laserlinjen återfanns inom toleransintervallet och antalet bildrader för den ideala laserlinjen. Kvoten, uttryckt i procentskalan, beskriver alltså hur stor andel av laserlinjen som återfanns innanför toleransintervallet och där ett värde på 100 indikerar att för samtliga rader i bilden återfanns laserlinjen inom toleransintervallet.

I Figur 31 redovisas den genomsnittliga andelen laserlinje inom toleransintervallet utifrån data insamlade vid det tredje testillfället. I figuren finns en uppdelning på trädslagen samt på mätningar tagna under matning framåt samt på mätningar tagna under stillastående. Resultatet för ”Stillastående” baseras på mätningar utförda under *Mätetapp 1* (se metodbeskrivning) då mätningarna gjordes på ett 20 procentigt urval av samtliga bilder. Resultatet för ”Matning framåt” baseras på mätningar utförda under *Mätetapp 2* där mätningarna var avgränsade till samtliga bilder tagna under matning framåt.

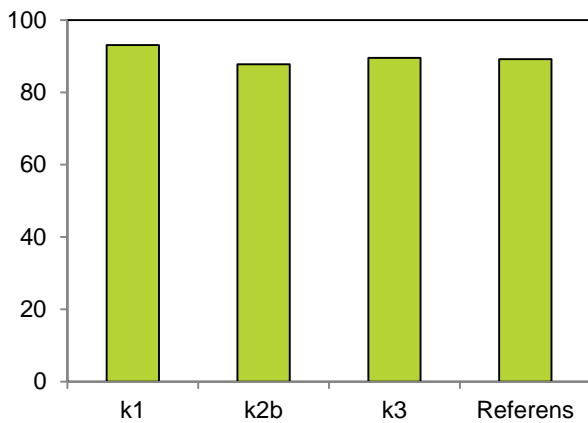
För gran vid matning framåt uppvisade skyddsalternativet k1 högre genomsnittlig andel av laserlinjen inom toleransintervallet än referensalternativet (Figur 31). Skillnaden uppgick till 4 procentenheter ( $k1 = 93,1\%$  och referensalternativet  $89,2\%$ ) och denna skillnad i medelvärde var statistiskt säkerställd ( $p < 0,0001$ ). För de övriga två skyddsalternativen ( $k2b$  och  $k3$ ) var andelen laserlinje inom toleransintervallet i nivå med motsvarande andel för referensalternativet.

För tall vid matning framåt hade samtliga skyddsalternativ med plåtar vid de övre kvistknivarna ( $k1$ ,  $k2b$  och  $k3$ ) högre andel laserlinje inom toleransintervallet i jämförelse med referensalternativet. För  $k1$  och referensalternativet var andelen laserlinje inom toleransintervallet i genomsnitt  $90,4$ , respektive  $84,6\%$ . Samtliga skillnader mellan de tre skyddsalternativen med skyddsplåtar vid de övre rörliga kvistknivarna och referensalternativet var statistiskt säkerställda ( $p < 0,0001$ ).

Noterbart var att skillnaderna mellan ”Matning framåt” och ”Stillastående” för andelen laserlinje inom toleransintervallet generellt var små och uppgick i flertalet fall till mindre än 2 procentenheter.

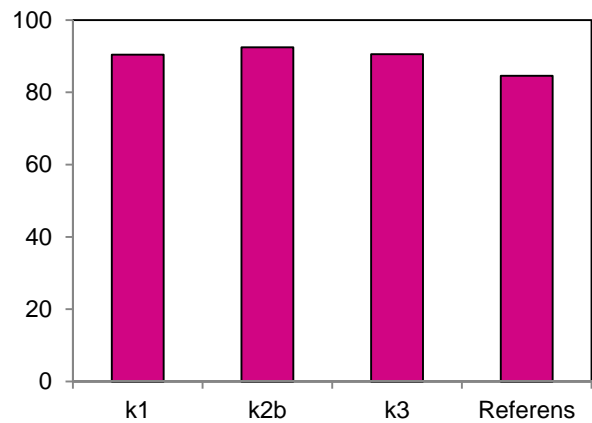
### Gran. Matning framåt

Andel laserlinje innanför toleransintervallet (%)



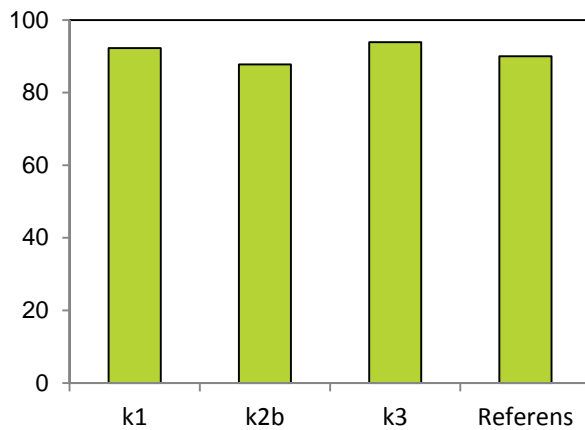
### Tall. Matning framåt

Andel laserlinje innanför toleransintervallet (%)



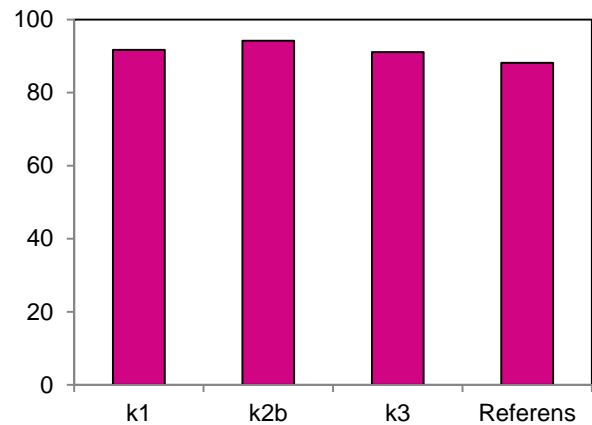
### Gran. Stillastående

Andel laserlinje innanför toleransintervallet (%)



### Tall. Stillastående

Andel laserlinje innanför toleransintervallet (%)

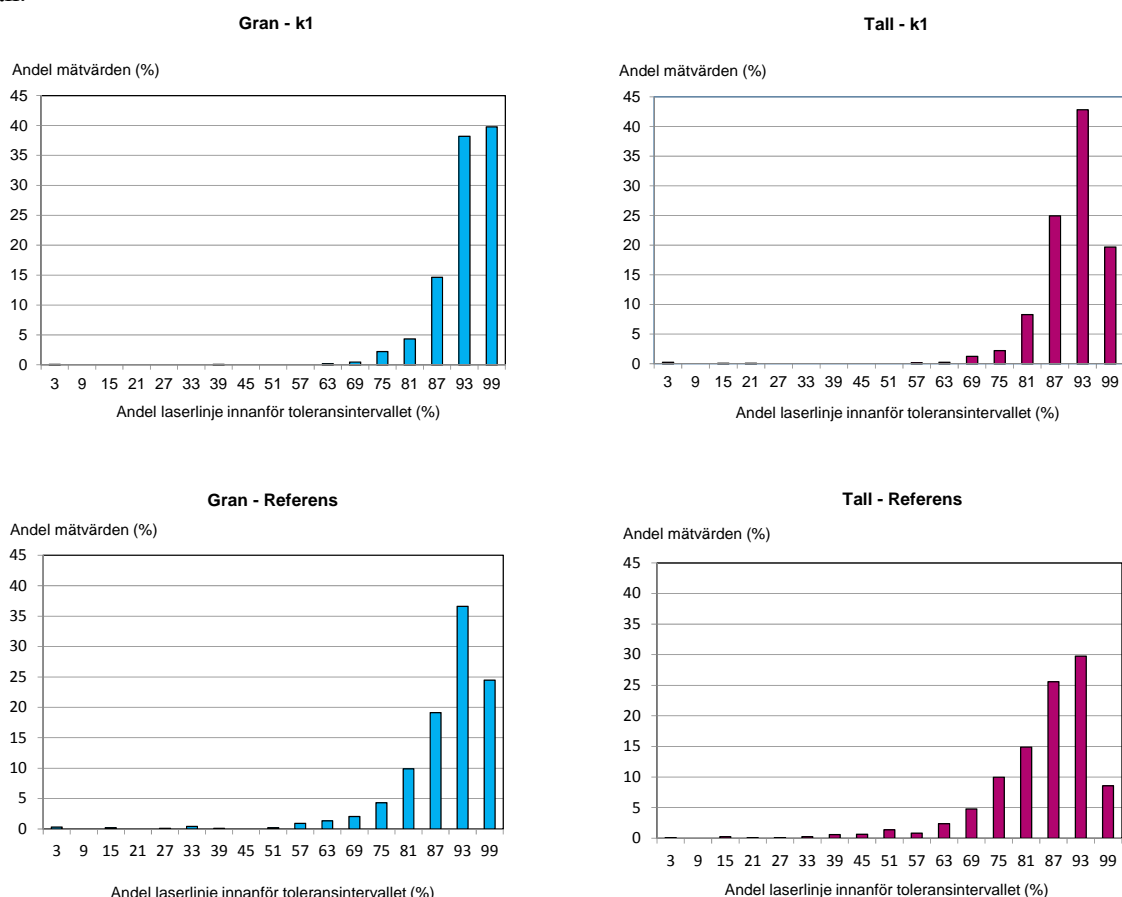


Figur 31.

Genomsnittlig andel laserlinje *innanför* toleransintervallet för gran och tall vid körning med olika skyddsalternativ under det tredje testillfället uppdelat på matning framåt respektive stillastående. "Referens" avser inga skyddsplåtar vid de övre rörliga kvistknivarna men med skyddsplåtar i aggregatets buk. "k1" = största, "k2b" = modifierade mellanstorleken och "k3" = minsta storleken av skyddsplåtarna vid de övre rörliga kvistknivarna. För "k1", "k2b" och "k3" har skyddsplåtarna använts tillsammans med stänklapparna vid matarvalsarna och tillsammans med skyddsplåtarna i aggregatets buk.

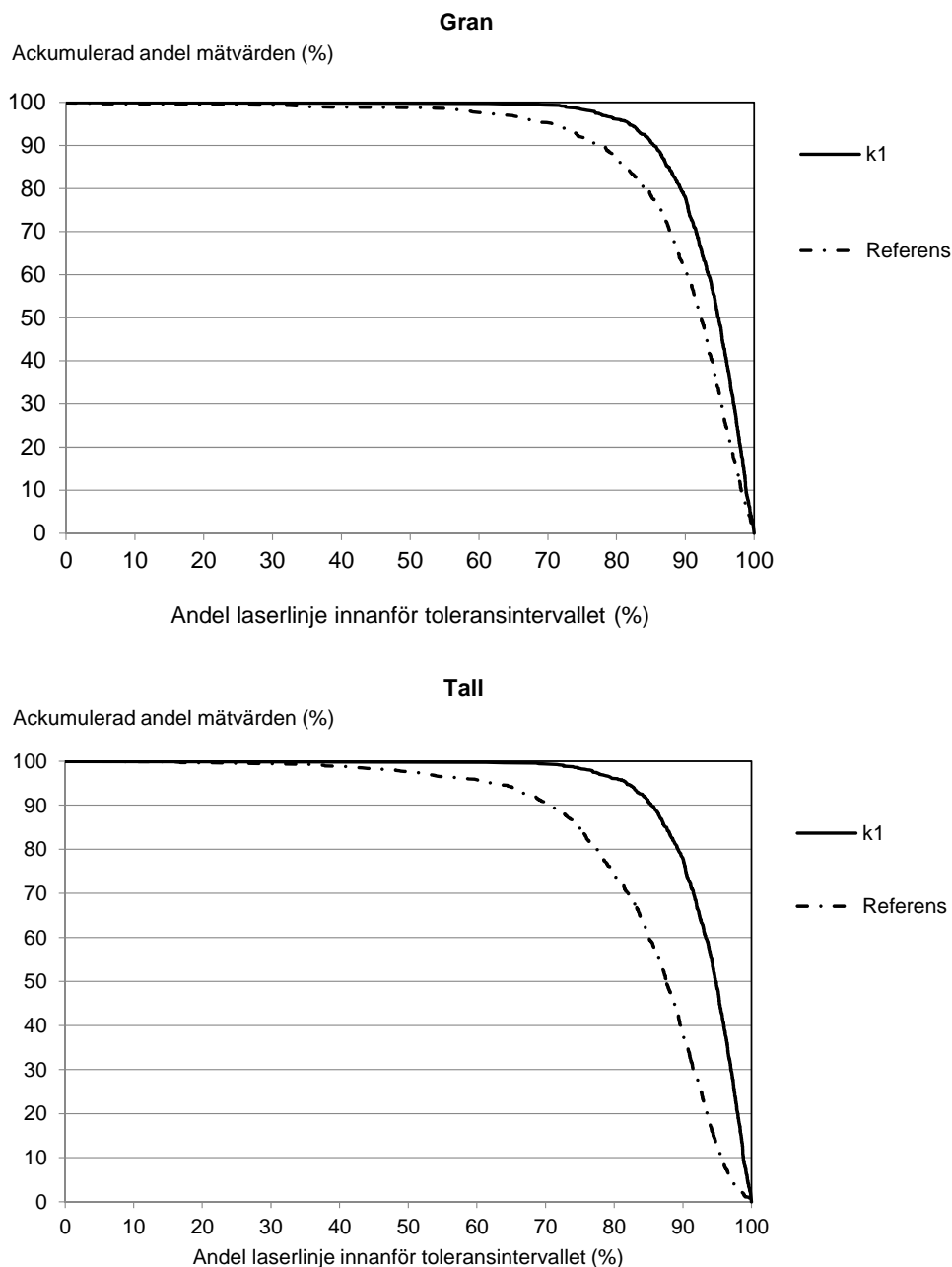
I Figur 32 illustreras mätvärdenas fördelning för andelen laserlinje inom toleransintervallet för skyddsalternativet med den största skyddsplåten vid de övre rörliga kvistknivarna (k1) och referensalternativet. För gran innebar användande av den största skyddsplåten att andelen mätvärden för klassen med högst andel laserlinje inom toleransintervallet ökade markant i jämförelse med referensalternativet. Motsvarande effekt för tall var en markant ökning av andelen mätvärden för de två klasserna med högst andel laserlinje inom toleransintervallet.

I Figur 33 visas den ackumulerade andelen mätvärden för andelen laserlinje innanför toleransintervallet för k1 och referensalternativet. Mätvärdena är ackumulerade ”uppifrån” det vill säga från de mätvärden som anger att 100 % av laserlinjen är innanför toleransintervallet i riktning mot mätvärden som anger att 0 % av laserlinjen är innanför toleransintervallet. De flackare utseendena på kurvorna för referensalternativet för gran och tall återspeglar det faktum att andelen mätvärden för klasserna med högst andel laserlinje inom toleransintervallet var lägre för referensalternativet i jämförelse med skyddsalternativet med den största skyddsplåten vid de övre rörliga kvistknivarna. För k1 hos gran hade 90:e percentilen ett mätvärde där andelen laserlinje inom toleransintervallet var högre eller lika med 85 %. För k1 hos tall var motsvarande värde 82 %. För referensalternativet uppgick den 90:e percentilen till 76 respektive 69 % hos gran och tall.



Figur 32.

Procentuell fördelning av andel mätvärden för andelen laserlinje innanför toleransintervallet uppdelat på trädslagen och skyddsalternativet "k1" och referensalternativet. "k1" avser största storleken av skyddsplåtarna vid de övre rörliga kvistknivarna tillsammans med stänklapparna vid matarvalsarna och tillsammans med skyddsplåtarna i aggregatets buk. Referensalternativet avser inga skyddsplåtar vid de övre rörliga kvistknivarna men med skyddsplåtar i aggregatets buk.



Figur 33. Ackumulerad procentuell andel mätvärden för andelen laserlinje innanför toleransintervallet uppdelat på trädslagen och skyddsalternativet "k1" och referensalternativet. "k1" avser största storleken av skyddsplåtarna vid de övre rörliga kvistknivarna tillsammans med stänklapparna vid matarvalsarna och tillsammans med skyddsplåtarna i aggregatets buk. Referensalternativet avser inga skyddsplåtar vid de övre rörliga kvistknivarna men med skyddsplåtar i aggregatets buk.

Skillnaderna mellan skyddsalternativen för andelen laserlinje inom toleransintervallet (Figur 33) återspeglade till viss del skillnaderna mellan skyddsalternativ för andelen laserlinje utanför toleransintervallet (Figur 26) men det förra måttet inbegrep även andelen bildrader där det saknades belysta pixlar. Att rader saknade belysta pixlar kunde orsakas av att grov bark "släckte ut" laserljuset men också orsakas av vattendroppar på sensorernas ytor som "släckte" laserljuset.



## Andel laserlinje innanför toleransintervallet för olika segment i tvärsnitten

På samma sätt som för förekomsten av flygande skräp i luften, uttryckt som andel laserlinje utanför toleransintervallet, så gjordes en analys av andelen laserlinje innanför toleransintervallet för olika segment längs laserlinjen. Resultaten visade på två generella trender (Figur 34):

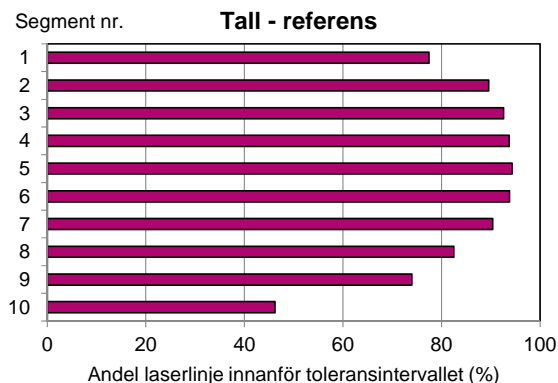
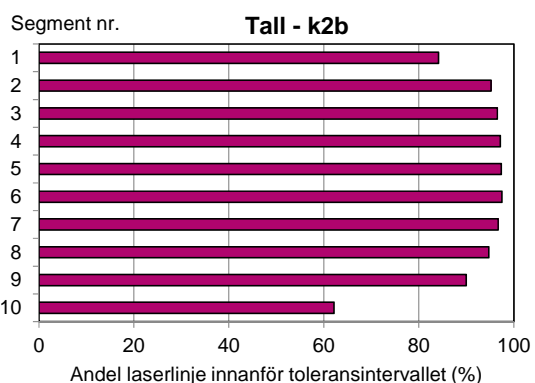
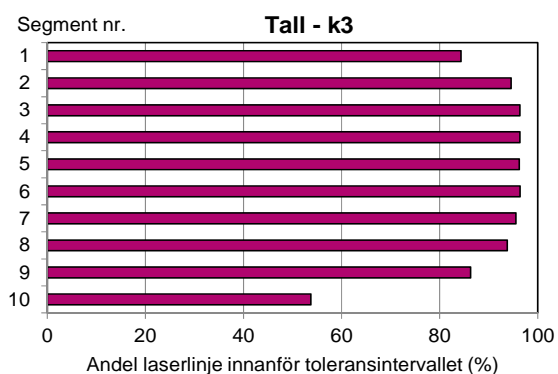
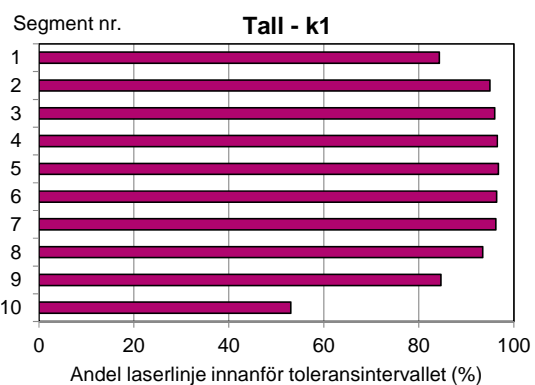
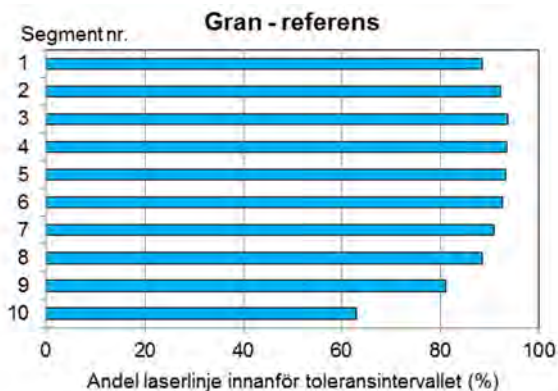
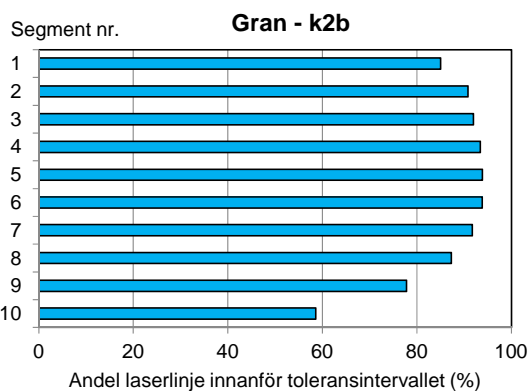
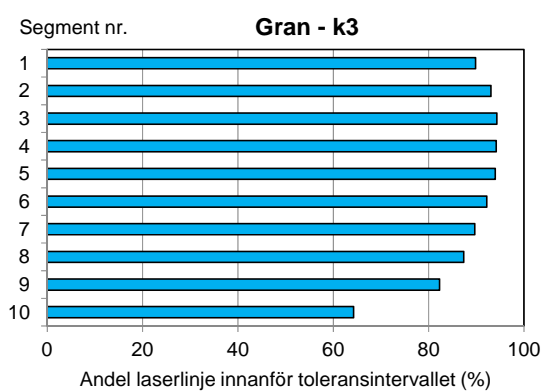
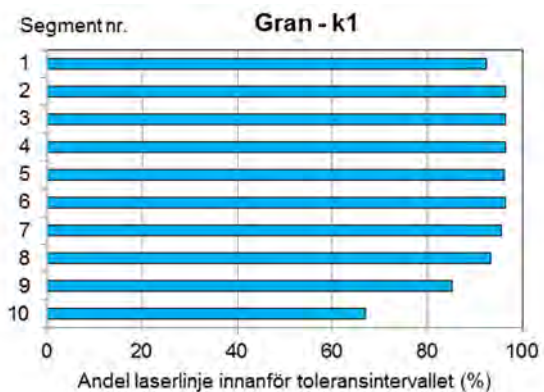
1. Det fanns en tendens till en svag minskning av andelen laserlinje innanför toleransintervallet för det översta segmentet (närmast bröstet i aggregatet).
2. Andelen laserlinje innanför toleransintervallet minskade kraftigt för de två nedre segmenten (närmast marken).

Minskningen av andelen laserlinje innanför toleransintervallet för det övre och de nedre segmenten var likartade för de olika skyddsalternativen men något starkare för tall än för gran.

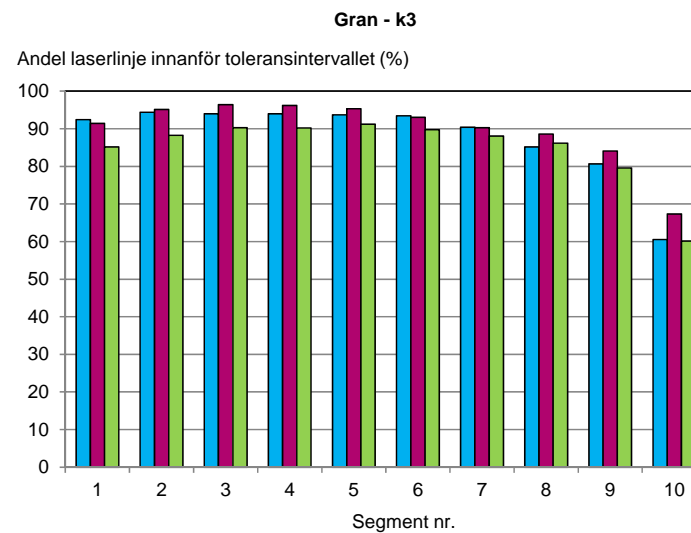
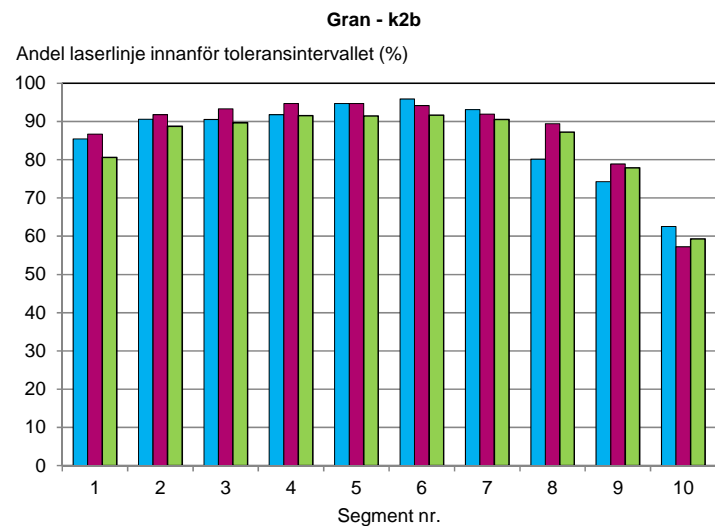
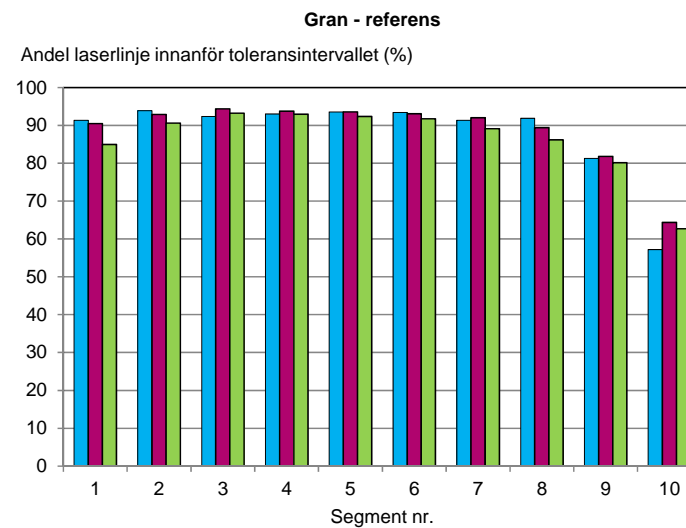
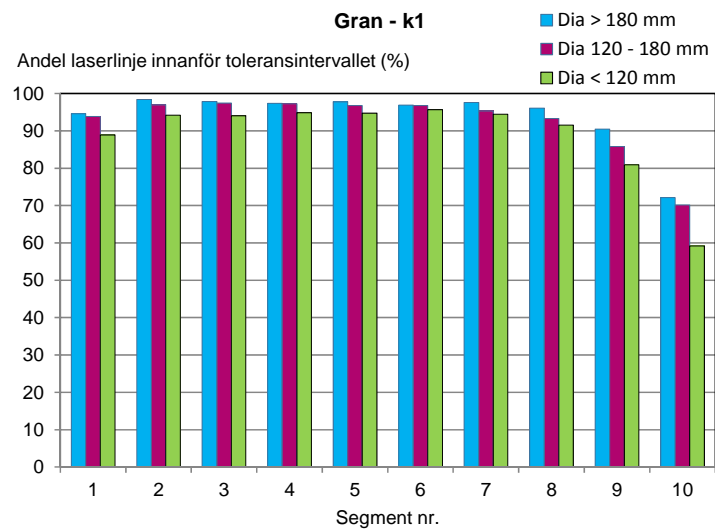
Minskningen av andelen laserlinje för de nedre segmenten kan till en liten del förklaras av skräpförekomsten som generellt ökade med ökande segmentnummer (Figur 34). Detta är dock inte den huvudsakliga förklaringen. En faktor som sannolikt haft större betydelse för de observerade minskningarna var de geometriska förhållandena. För de övre och de nedre segmenten gör sensorernas placering och stockmantelytans krökning att laserljuset får en radikalt annorlunda infalls- och reflektionsvinkel än då det träffar de mellersta segmenten. En närmare analys av denna, och av andra potentiella orsaksfaktorer, har dock inte gjorts inom ramen för vår studie.

Eftersom trädstammar har en viss orundhet är precisionen vid diametermätningen beroende av omslutningen det vill säga hur stor del av omkretsen där det finns mätpunkter (Andersson, 2004). En minskning av andelen mätvärden för de övre och nedre segmenten kan innebära att andelen av omkretsen där det helt saknas mätvärden ökar, vilket i en mätsituation verkar i riktning mot försämrad mätprecision. Därför är det viktigt att den observerade minskningen av andelen laserlinje innanför toleransintervallet för de nedre segmenten beaktas i det fortsatta utvecklingsarbetet. Detta även om vår studie inte kunnat klargöra den exakta orsaken till minskningarna.

I figurerna 35 a och b redovisas andelen laserlinje innanför toleransintervallet för de olika segmenten uppdelat på tre diameterklasser. Resultaten visade att trenden med kraftigt minskande andel laserlinje för de två nedersta segmenten gällde samtliga diameterklasser. En intressant observation var att vid körning med k1, den största skyddsplåten vid de övre kvistknivarna, fanns en tydlig trend inom segment till att den grövsta diameterklassen (dia >180 mm) hade högst andel laserlinje inom toleransintervallet och den klenaste diameterklassen (dia <120 mm) hade lägst andel inom toleransintervallet. Detta gällde både gran och tall. För de övriga skyddskombinationerna var rangordningen mellan diameterklasserna inom segment mer slumpartad.

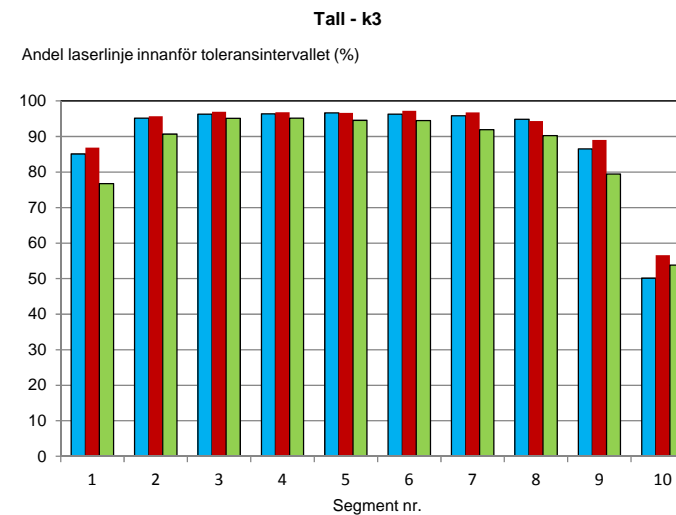
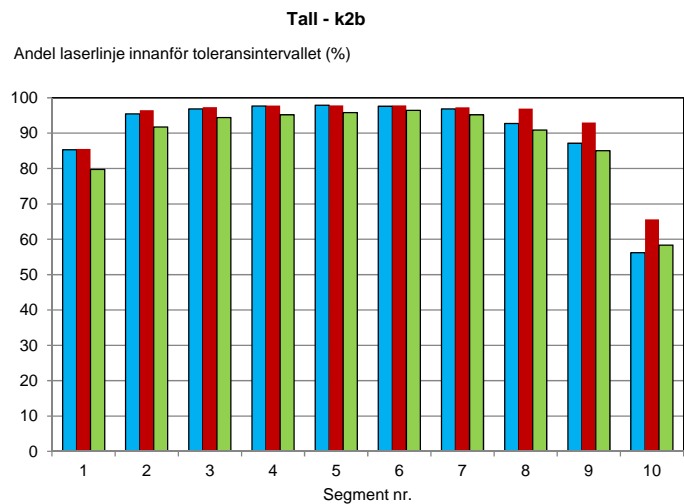
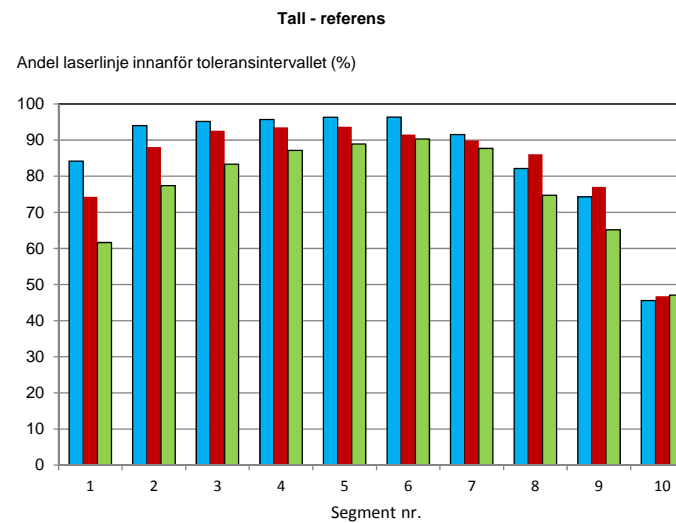
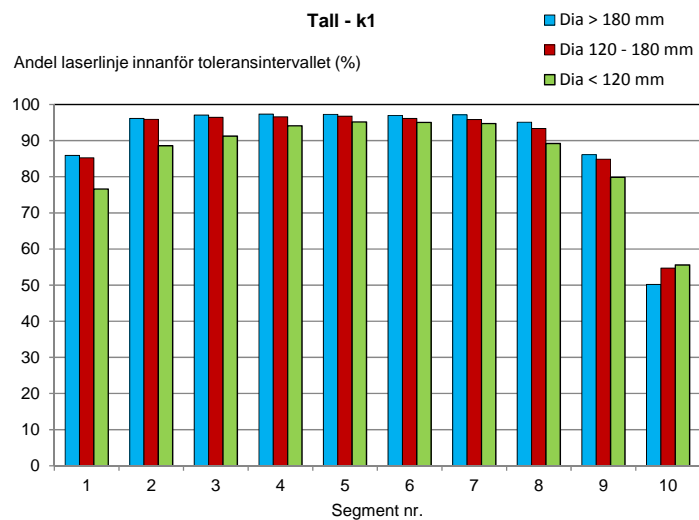


Figur 34. Gensomsnittlig andel laserlinje innanför toleransintervallet för olika segment längs laserlinjen för samtliga skyddsalternativ uppdelat på gran och tall. *Segment 1* motsvaras av området högst upp längs stammens tvärsnitt och *Segment 10* motsvarades av området längst ned (mot marken). "Referens" avser inga skyddsplåtar vid de övre rörliga kvistknivarna men med skyddsplåtar i aggregatets buk. "k1" = största, "k2b" = modifierade mellanstorleken och "k3" = minsta storleken av skyddsplåtarna vid de övre rörliga kvistknivarna. För "k1", "k2b" och "k3" har skyddsplåtarna använts tillsammans med stänklapparna vid matarvalsarna och tillsammans med skyddsplåtarna i aggregatets buk.



Figur 35a. Gran.

Genomsnittlig andel laserlinje innanför toleransintervallet för olika segment längs laserlinjen för de olika skyddsalternativen uppdelat på tre diameterklasser. *Segment 1* motsvaras av området högst upp längs stammens tvärsnitt och *Segment 10* motsvaras av området längst ned (mot marken).

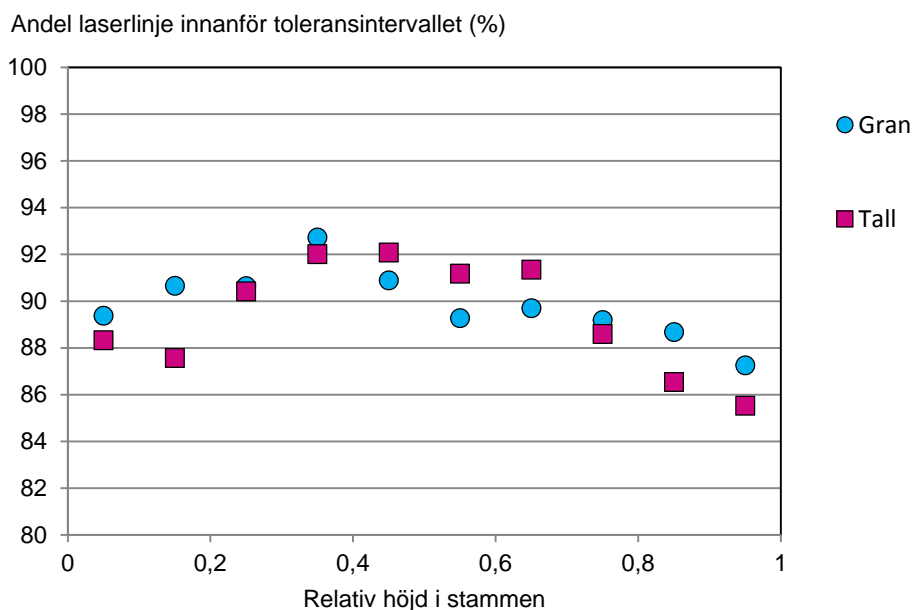


Figur 35b. Tall.  
Genomsnittlig andel laserlinje innanför toleransintervallet för olika segment längs laserlinjen för de olika skyddsalternativen uppdelat på tre diameterklasser. *Segment 1* motsvaras av området högst upp längs stammens tvärsnitt och *Segment 10* motsvaras av området längst ned (mot marken).

## Samband mellan andel laserlinje innanför toleransintervallet och höjd i stammen

Andelen laserlinje innanför toleransintervallet tenderade att öka från roten för att nå ett maximum och sedan minska mot toppen av trädet (Figur 36). Detta gällde både gran och tall. Den minskande andelen laserlinje innanför toleransintervallet mot toppen sammanföll med den ökande skräpförekomsten mot toppen (Figur 29). Den lägre andelen laserlinje innanför toleransintervallet för den nedre delen av stammarna förefaller inte vara kopplat till skräpförekomsten. En möjlig förklaring till den lägre andelen laserlinje innanför toleransintervallet för detta område är att stammarna har grövre bark nära roten av en typ som gör att en del av ljuset från lasern inte reflekteras i lika hög utsträckning.

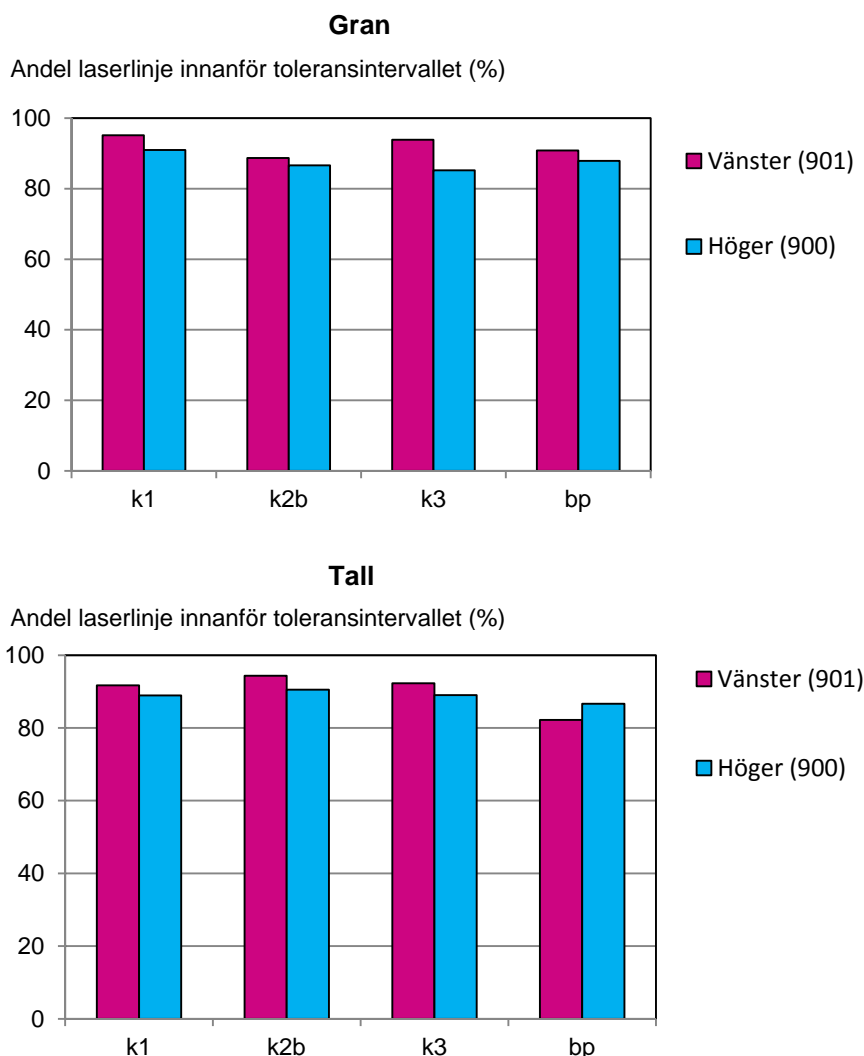
I Figur 36 redovisas andelen laserlinje innanför toleransintervallet för samtliga skyddsalternativ uppdelat på gran och tall. Motsvarande figurer för de olika skyddsalternativen återfinns i Bilaga 2. Frånsett nivåskillnader var dock sambanden mellan andelen laserlinje innanför toleransintervallet och relativ höjd likartade för de olika skyddsalternativen.



Figur 36. Sambandet mellan genomsnittlig andel laserlinje innanför toleransintervallet och den relativa höjden i stammen för gran och tall under matning framåt. Samtliga skyddsalternativ. Observera att y-axeln är beskuren.

## Skillnader i andel laserlinje innanför toleransintervallet mellan kameror

På samma sätt som för andelen laserlinje *utanför* toleransintervallet så gjordes en fördjupad analys av skillnaderna mellan höger och vänster kamera med avseende på andelen laserlinje *inom* toleransintervallet. Resultaten visade att andelen laserlinje inom toleransintervallet var högre för vänster kamera i samtliga fall då skyddsplåtar användes på de övre rörliga kvistknivarna (k1, k2b, k3) för både gran och tall (Figur 37). Signifikanstester av skillnader i medelvärden mellan kamerorna visade att skillnaderna var starkt statistiskt säkerställda ( $p < 0,0001$ ). Avståndet mellan vänster kamera och vänster sidas övre rörliga kvistkniv var kortare än motsvarande avstånd mellan höger kamera och högra sidans kvistkniv (Figur 2). Den högre andelen laserlinje inom toleransintervallet för vänster kamera indikerar att skyddsplåtarna i kombination med det kortare avståndet kamera-kvistkniv har skapat en mer skyddad mätmiljö för denna kamera.



Figur 37. Genomsnittlig andel laserlinje innanför toleransintervallet för vänster kamera (901) och höger kamera (900) vid matning framåt uppdelat på gran och tall. De genomsnittliga värdena baseras i båda fallen på samtliga mätdata från *Testtillfälle 3* det vill säga de inkluderar samtliga skyddsalternativ inklusive referensalternativet utan skyddsplåtar vid de övre rörliga kvistknivarna.

## KVANTITATIVA ANALYSER – MANUELLA MÄTNINGAR UNDER MÄTETAPP 3

Den centrala uppgiften i vår studie var att utveckla mekaniska skydd och utvärdera deras effekt genom att kvantifiera mängden skräp mellan sensorer och stam vid avverkning med och utan skydd monterade. En därtill kopplad uppgift var att besvara hur stor andel av laserlinjens mätpunkter som befann sig på stammens mantelyta. Ett svar på frågan hur stor andel av mätpunkterna som ger mätinformation om var stammens mantelyta befinner sig beskriver hur mycket ”sann” mätinformation som en ideal algoritm för diameterberäkning skulle ha att tillgå i en mätsituation.

Det redovisade måttet på andel laserlinje inom toleransintervallet inkluderade såväl mätpunkter på stammens mantelyta som mätpunkter på objekt belägna i omedelbar närhet till stammens mantelyta, det vill säga inom toleransintervallet. De manuella mätningarna under *Mätetapp 3* av andelen objekt som befann sig inom toleransintervallet ska därför ses som kompletterande mätningar i syfte att kunna generera en mer renodlad bestämning av andelen mätpunkter som befann sig på stammens mantelyta.

I Figur 38 redovisas genomsnittlig andel av den vertikala sträckan längs laserlinjens utbredning på mantelytan där laserlinjen träffade objekt som befann sig nära mantelytan inom toleransintervallet. Andelen av sträckan där laserlinjen träffade objekt inom toleransintervallet redovisas för skyddsalternativet med den största skyddsplåten vid de övre rörliga kvistknivarna (k1) och för referensalternativet samt uppdelat på gran och tall och på de tre kategorierna av objekt som användes vid mätningarna: skräp, grenar och lav (se närmare metodbeskrivningen).

För kategorin skräp hos gran var det en lägre genomsnittlig förekomst vid körning med k1, den största skyddsplåten vid de övre rörliga kvistknivarna i jämförelse med referensalternativet. Skillnaden i medelvärden var starkt statistiskt säkerställd ( $p < 0,0001$ ). För tall var det ingen skillnad i medelvärde mellan de två skyddsalternativen. Kategorin skräp bestod huvudsakligen av barkflagor och mindre skräpfraktioner som sönderslagen torrkvist. Vi tolkar skillnaden mellan trädslagen med avseende på skyddseffekten att den i huvudsak beror på att gran hade en högre andel torrkvist än tall (Figur 23–24). Torrkvist färdades huvudsakligen utanför kvistknivarna där skydden gav effekt medan barkflagor huvudsakligen färdades innanför kvistknivarna; en färdväg som inte angreps av skydden.



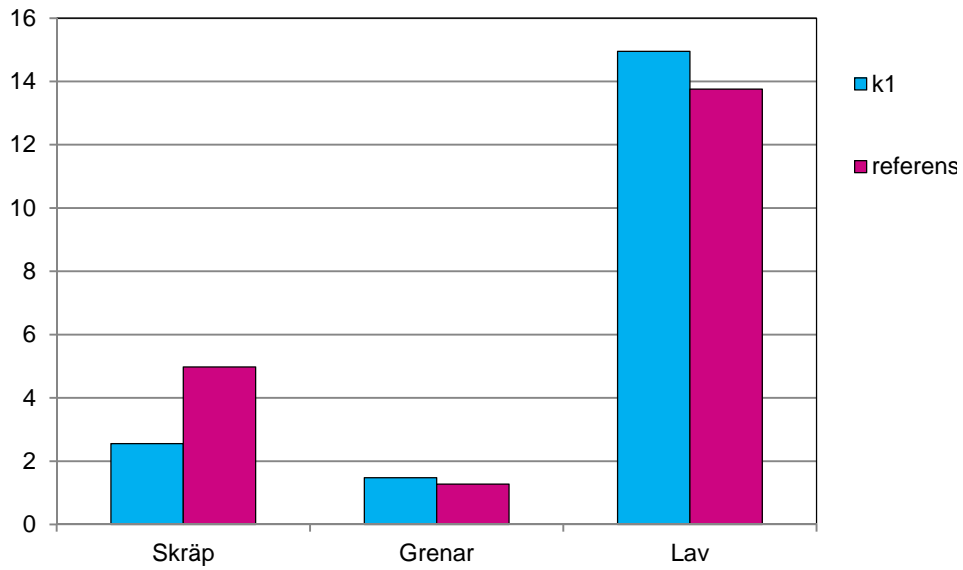
För de övriga två kategorierna grenar och lav fanns inga signifikanta skillnader i medelvärde mellan k1 och referensalternativet. Grenar utgjordes av grenfragment där grenen inte kvistats av fullständigt utan en smal spalt av ved/bark fläkts av och satt fast på stammen och stack upp från mantelytan. Kategorin lav utgjordes av lav som växte på stammen och stack upp från mantelytan. Färdvägen för dessa två kategorier var innanför kvistknivarna och det kan därför inte förväntas att skydden ska ge någon reducerande effekt.

För gran var förekomsten av skräp nära stammens mantelyta, innanför toleransintervallet, 2,6 respektive 5,0 % för k1 respektive referensalternativet (Figur 38). Motsvarande förekomst för skräp som flög i luften längre ut från mantelytan, utanför toleransintervallet, var 1,1 och 3,7 % (Figur 26). För tall var skräpförekomsten betydligt högre innanför toleransintervallet ( $k1 = 6,4\%$ ,  $ref. = 6,3\%$ ) än utanför toleransintervallet ( $k1 = 1,1\%$ ,  $ref. 2,3\%$ ). Även om mätningarna av skräp innanför och utanför toleransintervallet utfördes med olika metodik indikerar alltså våra resultat att en relativt stor andel av det skräp som flyger i luften befinner sig nära stammens mantelyta. Detta bör beaktas i ett fortsatt arbete kring utveckling av algoritm(er) för diameterberäkning. Skräp längre bort från mantelytan ter sig enklare att filtrera bort medan skräp alldeles nära mantelytan kan vara mer krävande att identifiera per automatik.

För kategorin grenar var förekomsten låg och inga skillnader mellan trädslagen noterades (Figur 38). För kategorin lav var förekomsten hög hos gran cirka 15 % medan den var låg hos tall (cirka 1 %). Mätningarna av lav i vår studie var behäftade med viss osäkerhet eftersom det var svårt att vid de manuella mätningarna avgöra huruvida laven var inväxt i barkskiktet eller ifall den stack upp från barken. Vidare är det för oss inte känt hur laven påverkar mätpunkterna: laven har en luftig struktur och det är möjligt att laserljuset till viss del kan tränga igenom lavskiktet. Med detta sagt bör det poängteras att lav kan vara en potentiell felkälla vid optisk mätning som bör uppmärksammas i det fortsatta utvecklingsarbetet.

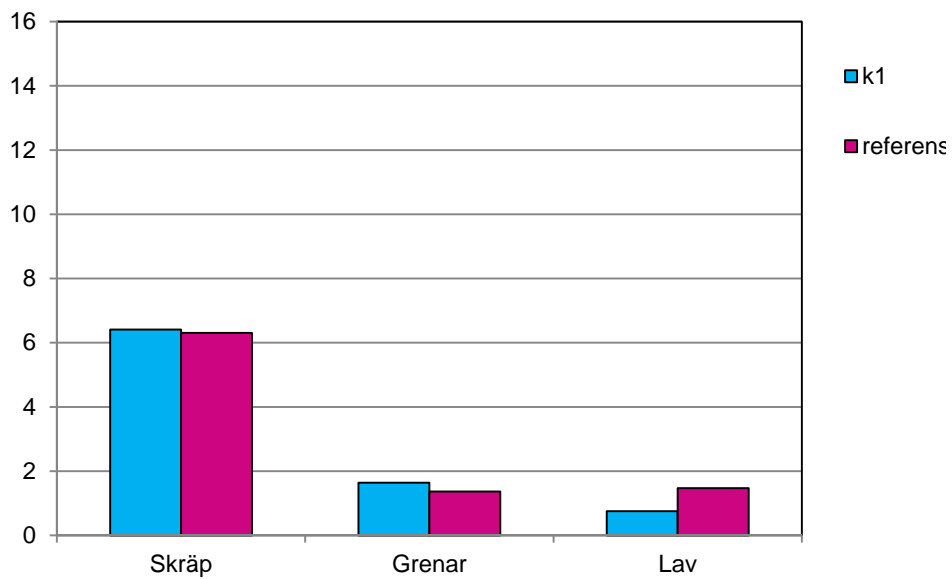
### Gran

Andel som täcker mantelytan (%)



### Tall

Andel som täcker mantelytan (%)



Figur 38.

Genomsnittlig andel av den vertikala sträckan längs laserlinjens utbredning på mantelytan där laserlinjen träffade skräp, grenar och lav vid körning med den största skyddsplåten vid de övre kvistknivarna (k1) och med referensalternativet.

Data från de manuella mätningarna av skräp, grenar och lav nära stammens mantelyta medgav också en analys av den vertikala fördelningen längs stammens mantelyta av sådana objekt. I Figur 39 redovisas den vertikala fördelningen för kategorin skräp där materialet delats upp på tre diameterklasser utifrån diametern för det aktuella tvärsnittet.

För gran fanns ingen uppenbar trend när det gäller skräpförekomsten för de olika segmenten. För tall var skräpförekomsten betydligt högre för *Segment 1* än för de övriga segmenten. Detta gällde både vid körning med k1 och med referensalternativet. Att mängden skräp är hög närmat bröstet i aggregatet hos tall, stöds av observationer på filmerna där det framgick att barkflagor tenderade att lossna vid kontakten med den övre fasta kvistkniven, därefter färdas flagorna ovanpå stammen för att sedan trilla ned på ett sätt som gjorde att de företrädesvis påverkade den översta delen av laserlinjen. I ett fortsatt arbete kring utveckling av skräpreducerande skydd kan det finnas anledning att utveckla skydd som angriper denna färdväg för skräpet.

För körning med k1 fanns det både hos gran- och tall en tendens att skräpförekomsten var lägre för den grövsta diameterklassen i jämförelse med de två övriga diameterklasserna. För tall var detta särskilt påtagligt. Detta innebär att andelen ”sanna” mätpunkter på stammens mantelyta kommer att vara högre för grövre diameterklasser, vilket bör beaktas i ett fortsatt arbete kring algoritmutveckling för diameterbestämning.

För kategorin gren var förekomsten totalt sett låg, vilket diskuterats ovan. När det gäller den vertikala fördelningen fanns det inte någon uppenbar trend för objekt tillhörande denna kategori (Bilaga 3). Det fanns inte heller några tydliga skillnader i förekomst av gren mellan de tre diameterklasserna.

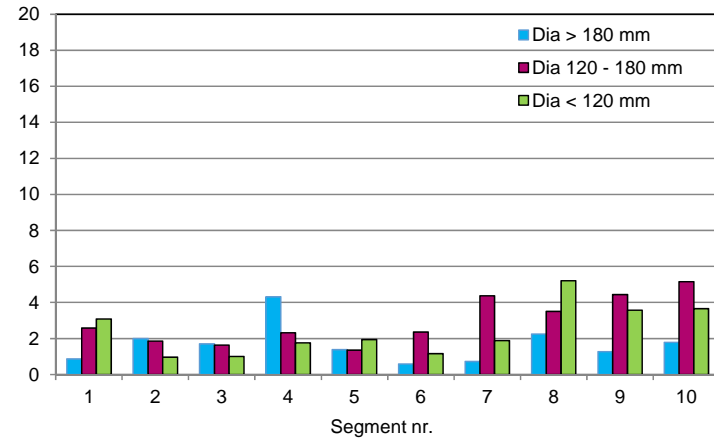
För gran var förekomsten av lav nära stammens mantelyta generellt hög och för detta trädslag observerades två trender:

1. Det fanns en trend att förekomsten var högst för det översta och det nedersta segmentet för att avta mot de mellersta segmenten (Figur 40). Detta gällde samtliga diameterklasser. Denna trend avspeglar sannolikt hur de övre rörliga kvistknivarna legat an mot mantelytan och därmed skrapat av laven.
2. Det fanns en trend att andelen av laserlinjen som träffade lav ökade med minskande diameter.

För tall var förekomsten av lav generellt låg och förekomsten var nästan uteslutande avgränsad till den grövsta diameterklassen.

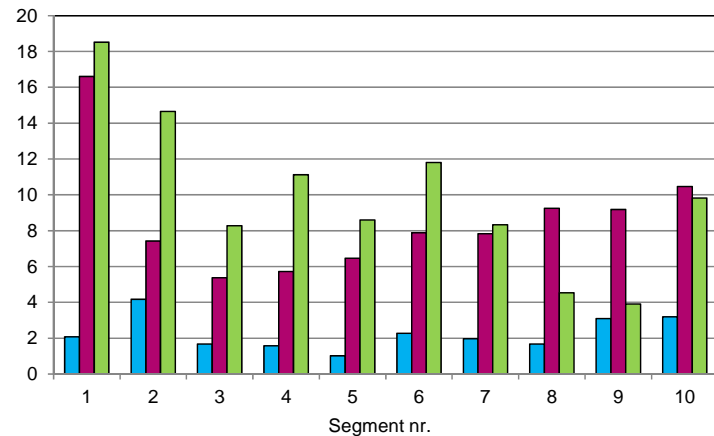
**Gran - k1 - skräp**

Andel av laserlinjen som träffade objekt inom toleransintervallet (%)



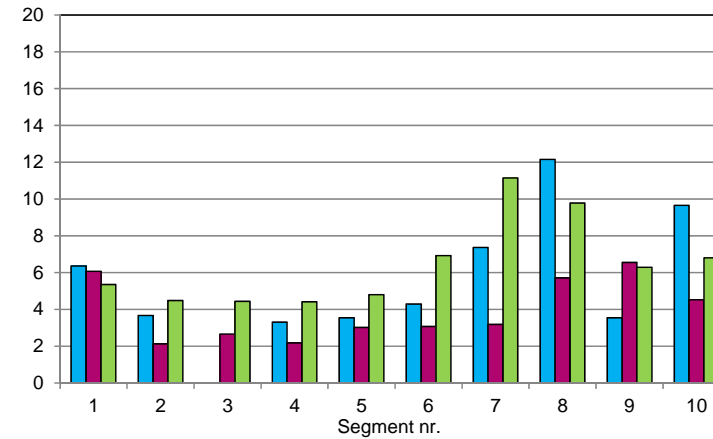
**Tall - k1 - skräp**

Andel av laserlinjen som träffade objekt inom toleransområdet (%)



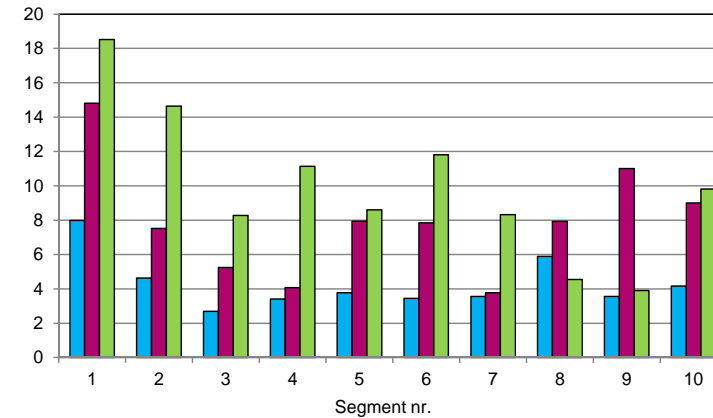
**Gran - ref. - skräp**

Andel av laserlinjen som träffade objekt inom toleransintervallet (%)

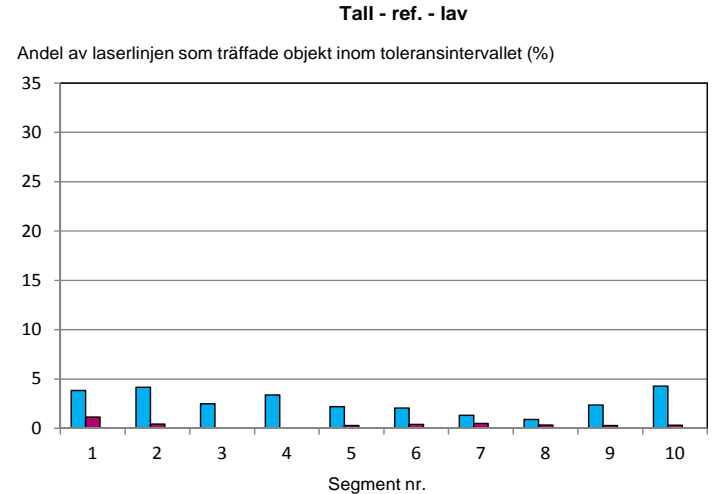
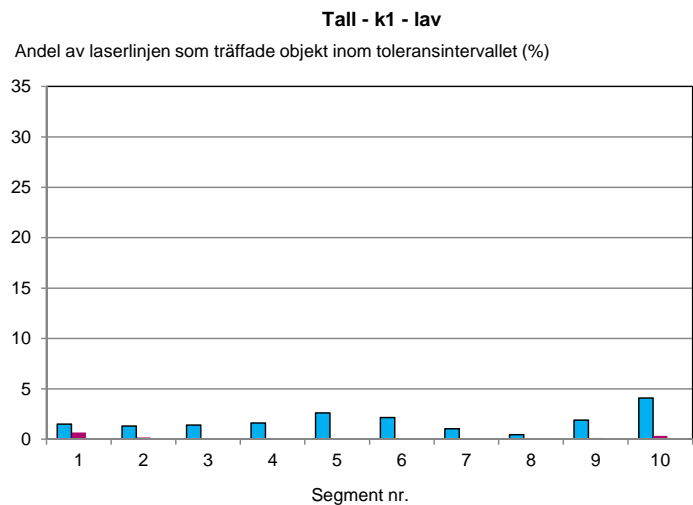
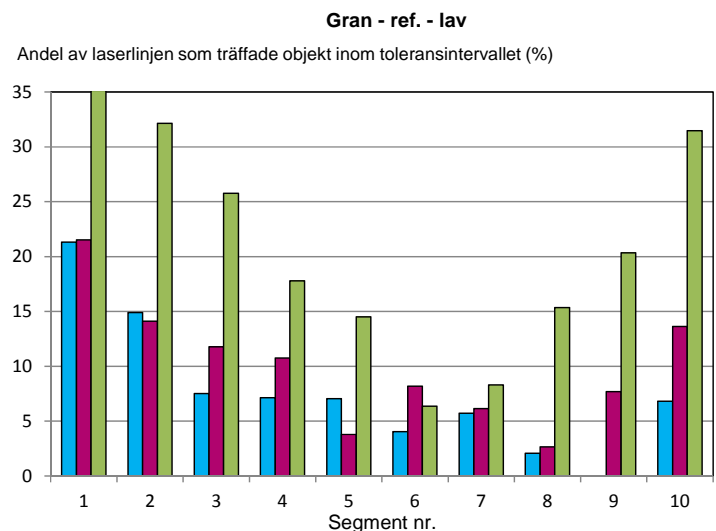
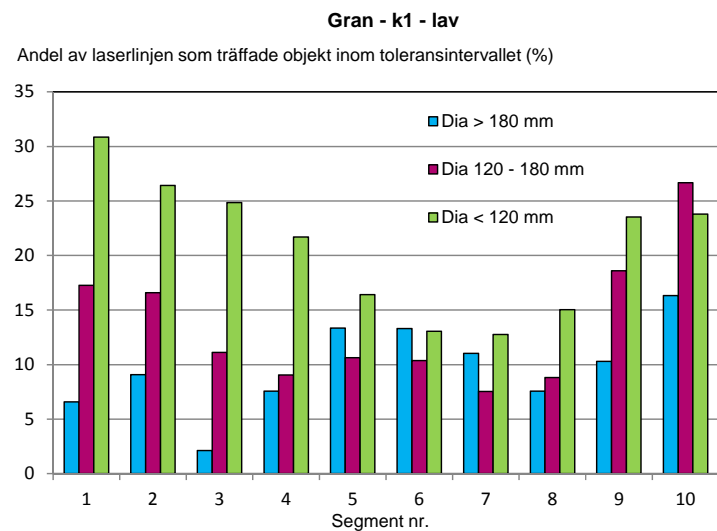


**Tall - ref. - skräp**

Andel av laserlinjen som träffade objekt inom toleransområdet (%)



Figur 39. Genomsnittlig andel för olika segment längs laserlinjen där laserlinjen träffade skräp för k1 och referensalternativet uppdelat på tre diameterklasser. *Segment 1* motsvaras av området högst upp längs stammens tvärsnitt och *Segment 10* motsvarades av området längst ned (mot marken).



Figur 40. Genomsnittlig andel för olika segment längs laserlinjen där laserlinjen träffade skräp för k1 och referensalternativet uppdelat på tre diameterklasser. Segment 1 motsvaras av området högst upp längs stammens tvärsnitt och Segment 10 motsvarades av området längst ned (mot marken).

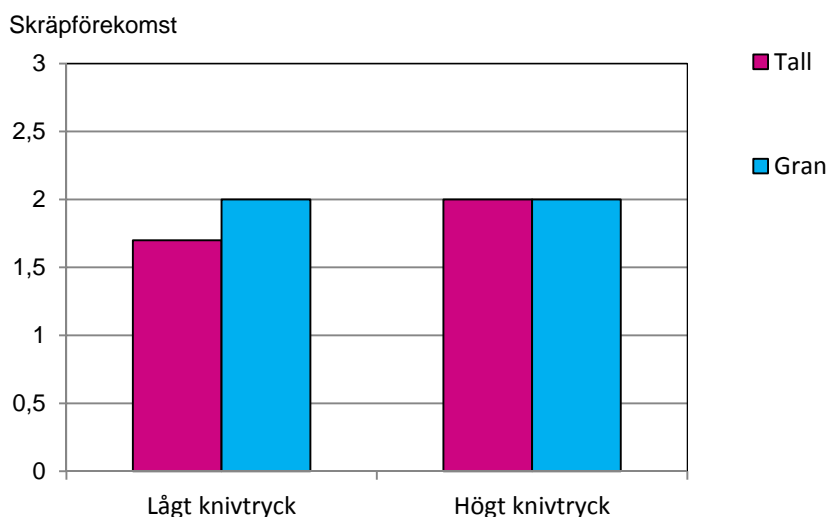
## ÖVRIGA RESULTAT

Nedan kommenteras kortfattat övriga resultat baserade på de kvalitativa och kvantitativa analyserna.

### Samband mellan knivtrycket och skräpförekomsten

En potentiell möjlighet med beröringsfri diamettermätning är att knivtrycket skulle kunna sänkas med positiva effekter på barkskador och bränsleförbrukning.

Under huvuddelen av datainsamlingen användes en normal inställning av trycket för de övre kvistknivarna men vid det tredje testtillfället samlades även data då kvistknivarnas tryck höjts med ~10 % respektive sänkts med ~12 % i förhållande till normalvärdet (Tabell 4). Resultaten av en kvalitativ analys av skräpförekomsten i detta datamaterial visade att knivtrycket inte hade någon synbar inverkan på skräpförekomsten (Figur 41). Detta gällde såväl gran som tall.

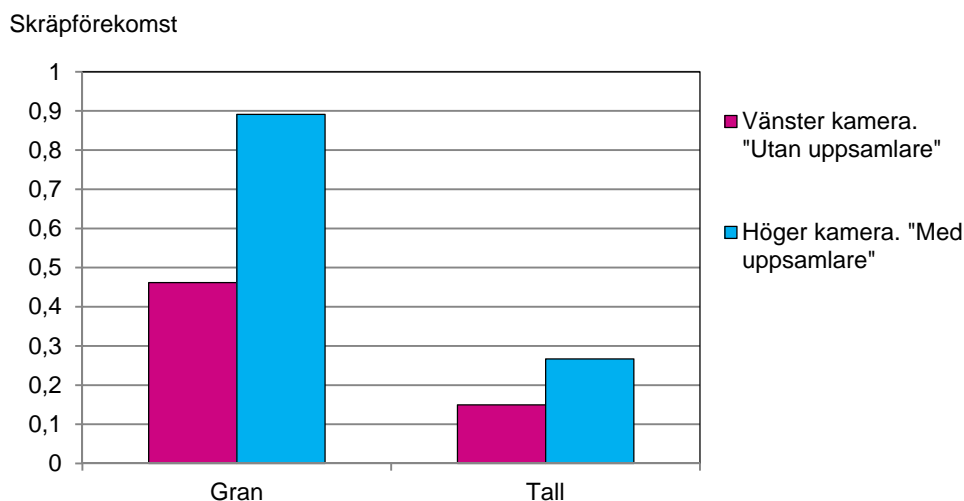


Figur 41.

Bedömd genomsnittlig skräpförekomst för gran och tall vid avverkning med högt och lågt tryck för de övre rörliga kvistknivarna. Skräpförekomsten bedömdes i en fyrgradig skala där 0 = ingen förekomst och 3 = hög förekomst. För båda knivtrycken användes den största skyddsplåten vid de övre rörliga kvistknivarna tillsammans med stänklapparna vid matarvalsarna och skyddsplåtarna i aggregatets buk.

### Utfall för skydd som angriper skräp som färdas under kvistknivarna

De skräpreducerande skydden konstruerades för att angripa skräp som färdades över kvistknivarna. Utifrån bildmaterialet insamlat vid det första testtillfället noterades att skräp också färdades under kvistknivarna. Inför det andra testtillfället togs ett skydd fram för att angripa sådant skräp (Figur 10). Skyddet var monterat vid den övre rörliga kvistkniven på höger sida och för att utvärdera effekten av detta skydd jämfördes bildmaterialet insamlat från höger och vänster kamera. Vid jämförelsen räknades antalet skräp i bilderna från tre granar och tre tallar och för varje stam räknades skräpmängden vid tre punkter längs stammarna. Antalet skräp skalades mot den bildarea inom vilken räkningen av skräpet skett.



Figur 42. Skräpförekomst för höger och vänster kamera vid körning med skydd som angriper skräp som färdas under kvistknivarna monterat vid den rörliga kvistkniven på höger sida. Notera att skräpförekomsten mätts i en annan skala än i övriga analyser

Resultaten indikerade att skräpförekomsten för både gran och tall var högre för höger kamera, det vill säga på den sida där skyddet var monterat (Figur 42). Detta kan tolkas som att skyddet bidragit till att öka skräpmängden t.ex. genom att skrapa av barkflagor från stammen. Vid en sådan tolkning bör man dock beakta att höger kamera generellt noterats ha en högre skräpmängd än vänster kamera (Figur 30). Sammanfattningsvis kan inga starka slutsatser dras utifrån våra data kring effekten av skyddet men ett konstaterande är att skyddet i vart fall inte haft några uppenbart positiva effekter när det gäller att reducera skräpmängden.

## Sammanfattande diskussion

I denna slutdiskussion görs ett försök att väva samman resultat från de olika mätningar som genomfördes i studien. Diskussionen kretsar företrädesvis kring två frågeställningar:

- Hur stor andel ”sann” mätinformation kan förväntas från ett optiskt mätsystem vid produktionskörning med respektive utan skräpreducerande skydd?
- Vilka är de viktigaste störningskällorna och hur stor är deras relativa betydelse?

I Figur 43a och b redovisas genomsnittlig andel av laserlinjens mätpunkter som reflekterades mot stammens mantelyta respektive mot de andra objekt som kan särskiljas utifrån studiens mätningar. Figurerna är uppdelade på trädslagen samt på diametrar större än 180 mm och diametrar mindre än 120 mm. Hur studiens mätdata använts för att generera figurerna redovisas i Bilaga 4.



För den grävsta diameterklassen (diametrar >180 mm) uppgick andelen av laserlinjens mätpunkter som reflekterades på stammens mantelyta till 82 % för gran och 86 % för tall vid körning med den största skyddsplåten vid de övre kvistknivarna (k1). För de klenare diametrarna (diametrar <120 mm) och samma skyddsalternativ var motsvarande andel 66 och 75 % för gran och tall. För referensalternativet utan skräpreducerande skydd var andelen laserlinje som reflekterades mot stammens mantelyta sju till åtta procentenheter lägre. Detta gällde båda trädslagen och båda diameterklasserna.

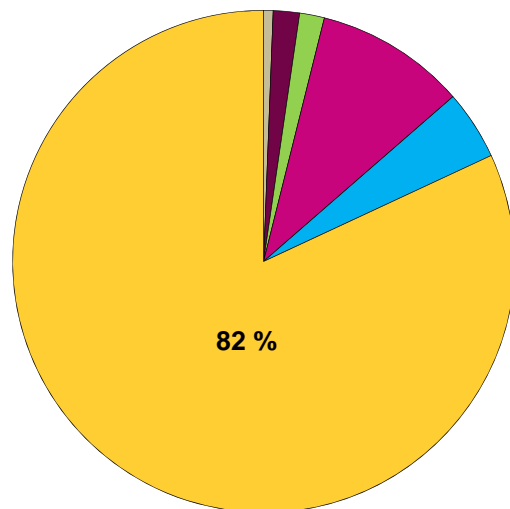
Resultaten av vår studie visar alltså att skräpreducerande skydd kunde öka andelen av laserlinjen som reflekterades mot stammens mantelyta med sju till åtta procentenheter. För gran åstadkoms denna ökning av andelen ”sann” mätinformation genom en minskning av mängden skräp som flyger i luften mellan sensorer och stam och genom en minskning av sådant skräp som befinner sig just intill stammens mantelyta. För tall däremot berodde den ökande andelen ”sann” mätinformation vid körning med skydd huvudsakligen på att andelen ”lost lines” minskade medan minskningen av mängden flygande skräp bidrog i mindre omfattning.

I en diskussion av de olika störningskällorna är det viktigt att lyfta fram det vi redovisat som ”uppstickande lav från stammens mantelyta”. Andelen lav som täcker laserlinjen var betydande för gran och speciellt för de klenare diametrarna (20 %). I nuläget saknas dock data som belyser hur lav på stammens mantelyta påverkar diameterbestämningen och därför bör viss försiktighet råda vid tolkningen av lavens inverkan. Det är till exempel inte orimligt att anta att en betydande del av det som i vår studie redovisats som lav inte medför någon störning utan kan betraktas som en reflektion mot stammens mantelyta (se vidare diskussion under avsnittet ”Kvantitativa analyser – manuella mätningar under *Etapp 3*”).

I vår studie reflekterades en hög andel av laserlinjen mot stammens mantelyta för de grövre diametrarna hos gran och tall speciellt vid körning med den största skyddsplåten vid de övre rörliga kvistknivarna (Figur 43a och b). Vidare var mätpunkterna på laserlinjen relativt jämnt fördelade längs laserlinjen med undantag för det ”nedersta segmentet” (mot marken). Detta är viktiga förutsättningar för att kunna erhålla en hög mätnoggrannhet med ett optiskt diametermätningssystem med linjelaser och avståndsmätande kamera. En annan viktig komponent för mätnoggrannheten i ett sådant mätsystem är den algoritm som används för att filtrera rådata och generera diametermått. Det filmmaterial och de resultat över skräpsammansättning och lokalisering som genererats i vår studie, bör vara mycket användbart för att utveckla och förbättra tidigare framtagna algoritmer (Hannrup m.fl. 2010).

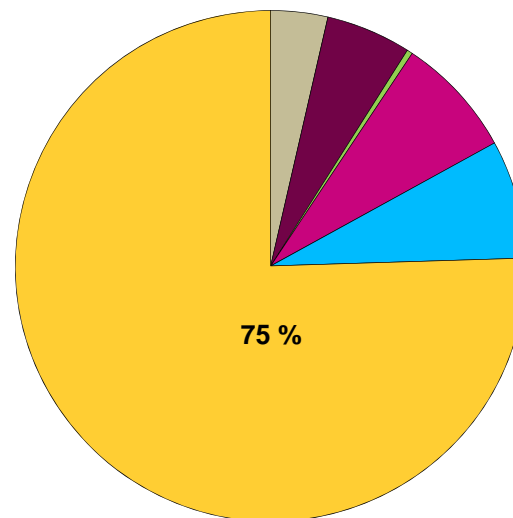
Vi föreslår insatser kring utveckling av algoritm(er) för diameterbestämning som ett logiskt nästa steg i utvecklingsarbetet av beröringsfri diametermätning. Insatserna bör vara inriktade mot att skapa robusta algoritmer och med en uppbyggnad som ger dem förmåga att hantera flygande skräp men framför allt skräp som befinner sig nära mantelytan.

Gran - k1. Diametrar > 180 mm



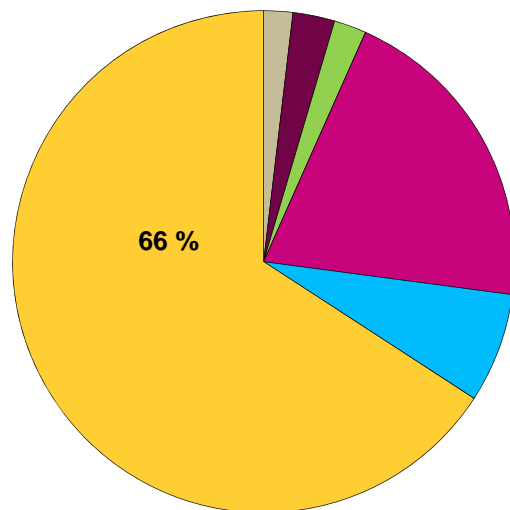
- Skräp i luften mellan sensorer och stam
- Skräp nära stammens mantelyta
- Uppstickande grenar från stammens mantelyta
- Uppstickande lav från stammens mantelyta
- "Lost lines"
- Mätpunkter på stammens mantelyta

Gran - bp. Diametrar > 180 mm



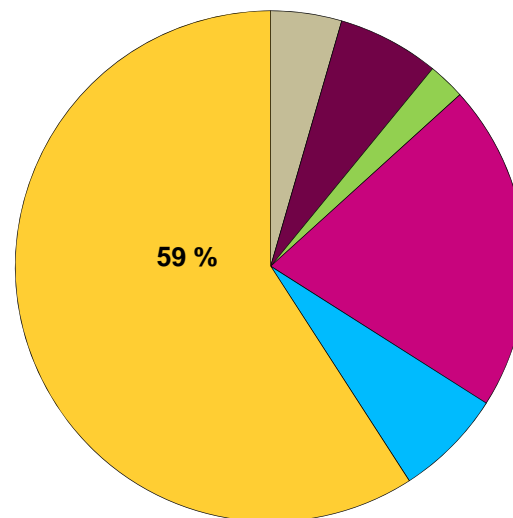
- Skräp i luften mellan sensorer och stam
- Skräp nära stammens mantelyta
- Uppstickande grenar från stammens mantelyta
- Uppstickande lav från stammens mantelyta
- "Lost lines"
- Mätpunkter på stammens mantelyta

Gran - k1. Diametrar < 120 mm



- Skräp i luften mellan sensorer och stam
- Skräp nära stammens mantelyta
- Uppstickande grenar från stammens mantelyta
- Uppstickande lav från stammens mantelyta
- "Lost lines"
- Mätpunkter på stammens mantelyta

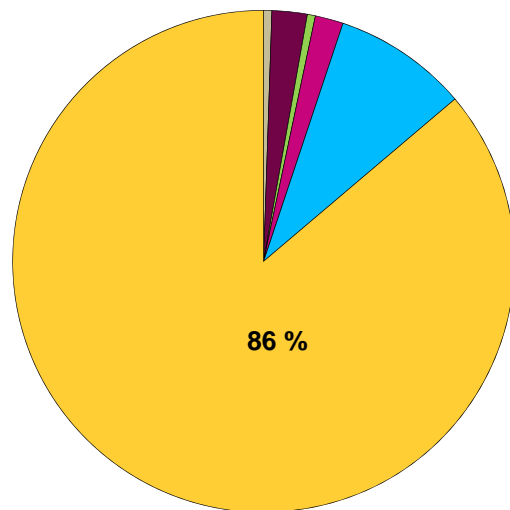
Gran - bp. Diametrar < 120 mm



- Skräp i luften mellan sensorer och stam
- Skräp nära stammens mantelyta
- Uppstickande grenar från stammens mantelyta
- Uppstickande lav från stammens mantelyta
- "Lost lines"
- Mätpunkter på stammens mantelyta

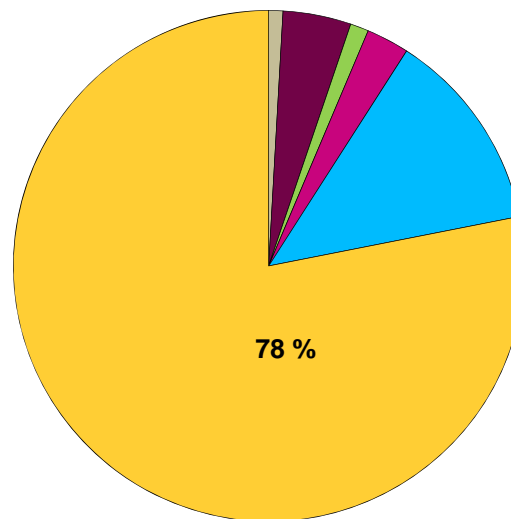
Figur 43a. Gran. Genomsnittlig andel av laserlinjens mätpunkter som reflekterades mot stammens mantelyta respektive mot de andra objekt som kan särskiljas utifrån studiens mätningar vid körning med den största skyddsplåten vid de övre rörliga kvistknivarna (k1) samt referensalternativet (bp). Överst i figuren genomsnittsvärden för diametrar >180 mm och underst för diametrar <120 mm.

Tall - k1. Diametrar > 180 mm



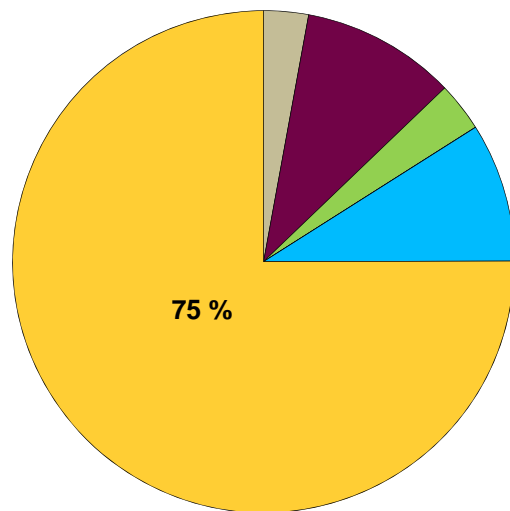
- Skräp i luften mellan sensorer och stam
- Skräp nära stammens mantelyta
- Uppstickande grenar från stammens mantelyta
- Uppstickande lav från stammens mantelyta
- "Lost lines"
- Mätpunkter på stammens mantelyta

Tall - bp. Diametrar > 180 mm



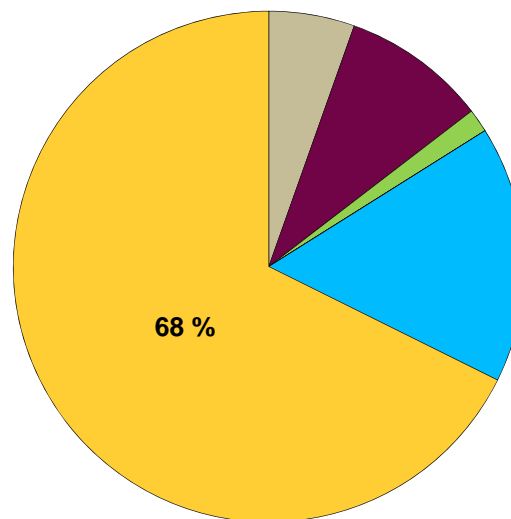
- Skräp i luften mellan sensorer och stam
- Skräp nära stammens mantelyta
- Uppstickande grenar från stammens mantelyta
- Uppstickande lav från stammens mantelyta
- "Lost lines"
- Mätpunkter på stammens mantelyta

Tall - k1. Diametrar < 120 mm



- Skräp i luften mellan sensorer och stam
- Skräp nära stammens mantelyta
- Uppstickande grenar från stammens mantelyta
- Uppstickande lav från stammens mantelyta
- "Lost lines"
- Mätpunkter på stammens mantelyta

Tall - bp. Diametrar < 120 mm



- Skräp i luften mellan sensorer och stam
- Skräp nära stammens mantelyta
- Uppstickande grenar från stammens mantelyta
- Uppstickande lav från stammens mantelyta
- "Lost lines"
- Mätpunkter på stammens mantelyta

Figur 43b. Tall.

Genomsnittlig andel av laserlinjens mätpunkter som reflekterades mot stammens mantelyta respektive mot de andra objekt som kan särskiljas utifrån studiens mätningar vid körning med den största skyddsplåten vid de övre rörliga kvistknivarna (k1) samt referensalternativet (bp). Överst i figuren genomsnittsvärden för diametrar >180 mm och underst för diametrar <120 mm.

## Referenser

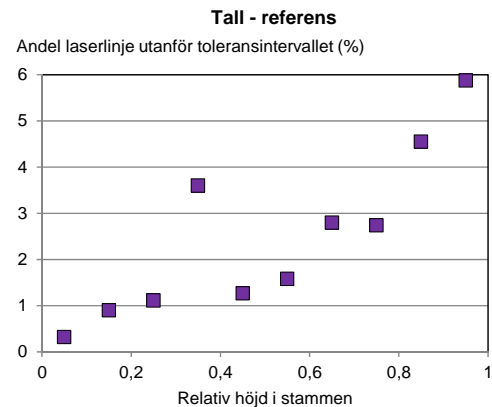
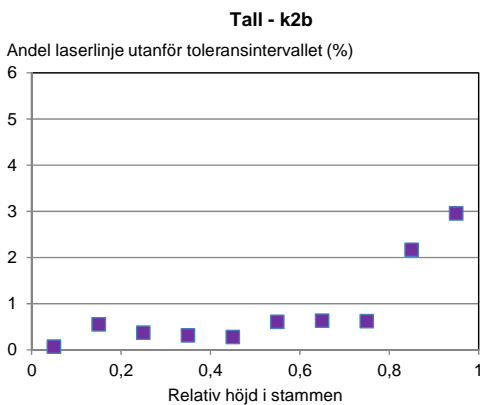
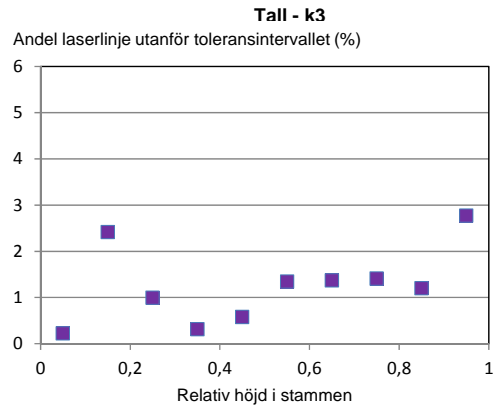
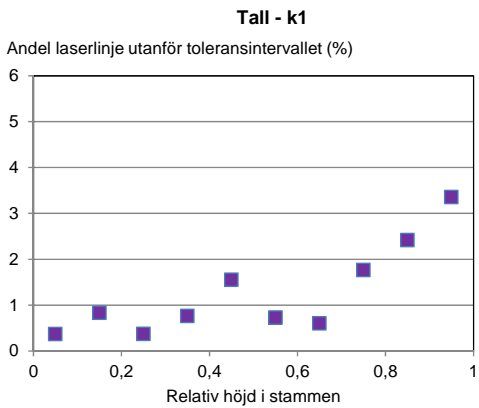
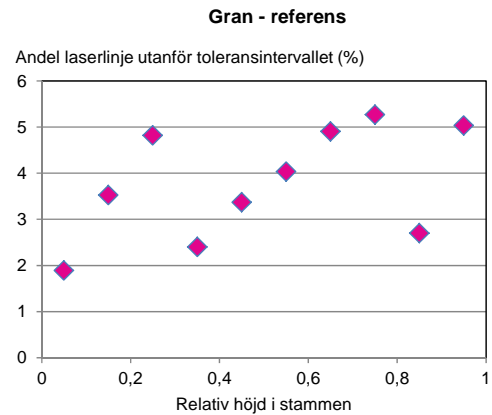
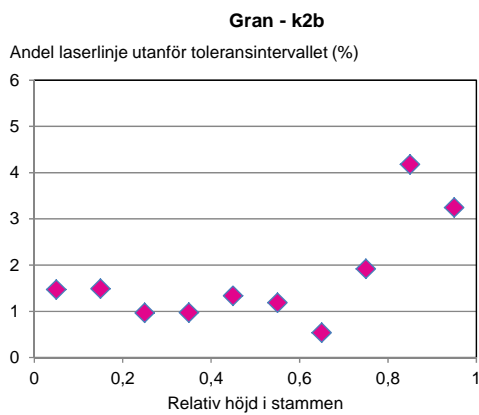
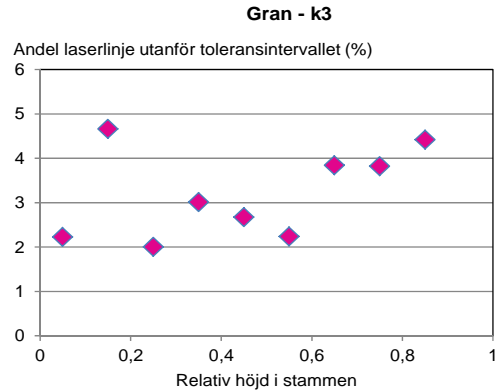
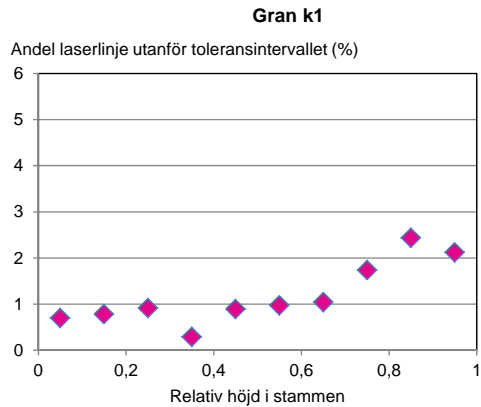
- Andersson, M. 2004. Simulering av dimensionsmätare för skördare. Arbetsrapport 577. Skogforsk, Uppsala. 14 s.
- Andersson, M., Hannrup, B., Larsson, W., Wilhelmsson, L., Grönlund, A., Nyström, J., Johansson, S. & Oja, J. 2008. Slutrapport för projekt "Mätteknik för avverkningsmaskiner". Arbetsrapport 664. Skogforsk, Uppsala. 44s.
- Carlsson, I. 1980. Längd och diametermätning i skördare – vägar till bättre mått noggrannhet. LUTAB-R-3104. Utredning utförd på uppdrag av Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.
- Hannrup, B. Andersson, M., Bhuiyan, N., Wikgren, E., Simu, J. & Skog, J. 2010. Slutrapport för projekt: Beröringsfri diametermätning i skördare – utveckling av mätsystem och tester i produktionsmiljö. Arbetsrapport 742. Skogforsk (Uppsala). 46 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.
- Jokinen, O. 2009. Automated measuring of trunk shape from a sequence of image pairs. The photogrammetric Journal of Finland. 21 (2): 235–50.
- 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.
- Miettinen, M., Kulovesi, J., Kalmari, J. & Visala, A. 2010. New measurement concept for forest harvester head. *In* Field and Service Robotics. *Edited by* A Howard, K Lagnemma and A Kelly. Berlin: Springer, 2010, pp. 35–44. ISBN 978-3-642-134074.
- Uusijärvi, R. 1987. Givarteknologi för skogsbruket – sammanfattning av ett NSR-projekt. Rapport från Trätek. 38 s.

## Personlig kommunikation

Miettinen, M. 2010. Department of Automation and Systems Technology, Aalto University).

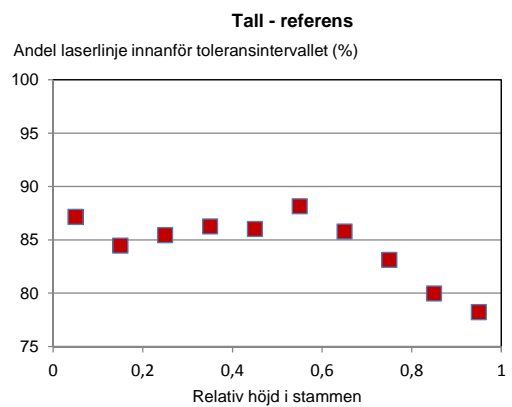
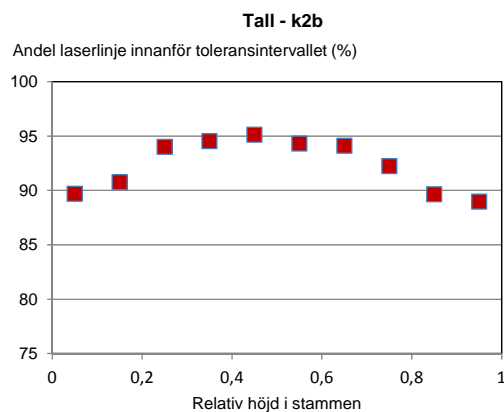
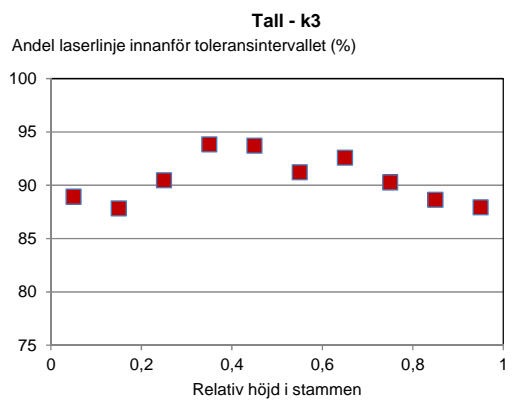
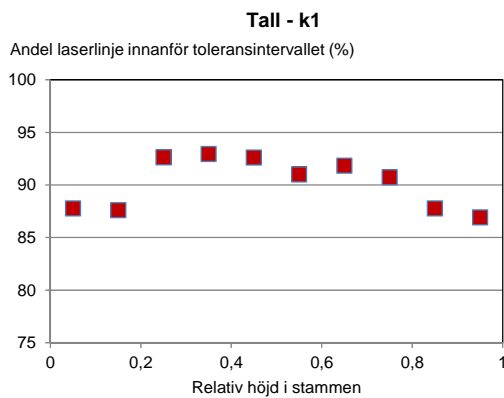
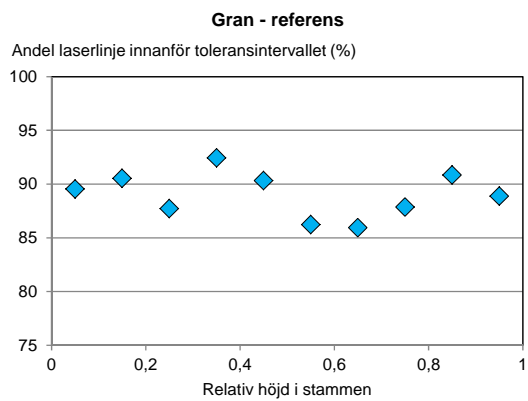
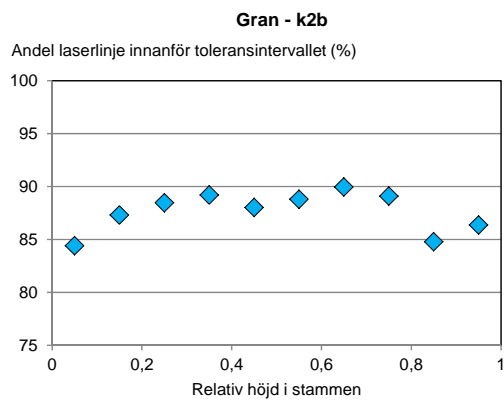
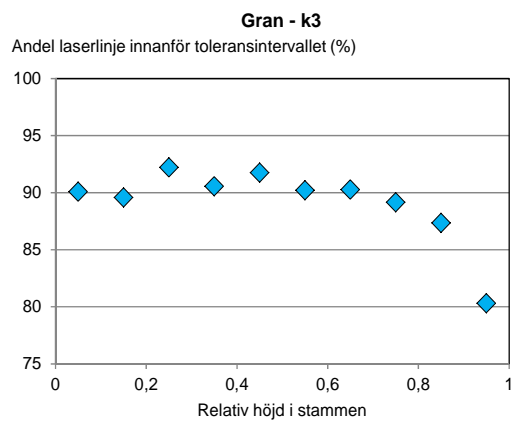
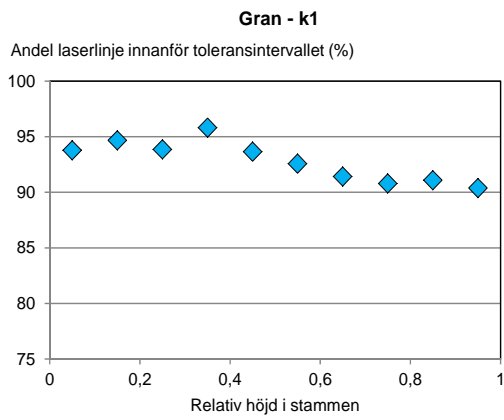
# Bilaga 1

## Samband mellan relativ höjd i stammen och andel laserlinje utanför toleransintervallet för de olika skyddsalternativen





## Samband mellan relativ höjd och andelen laserlinje innanför toleransintervallet för de olika skyddsalternativen.



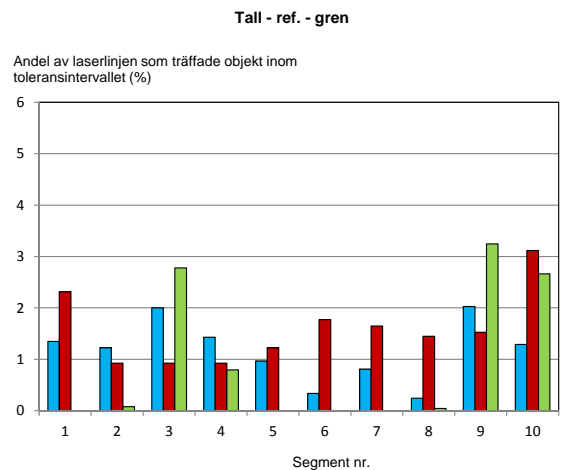
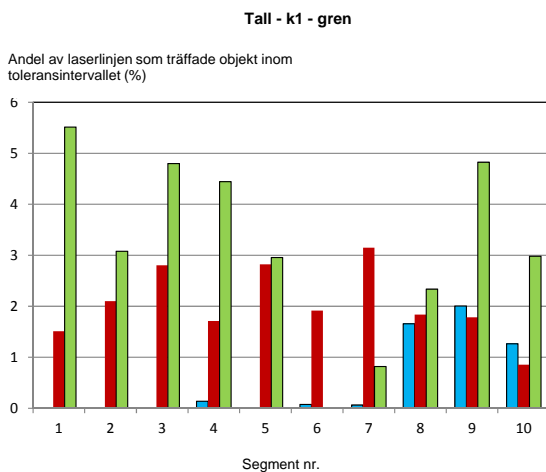
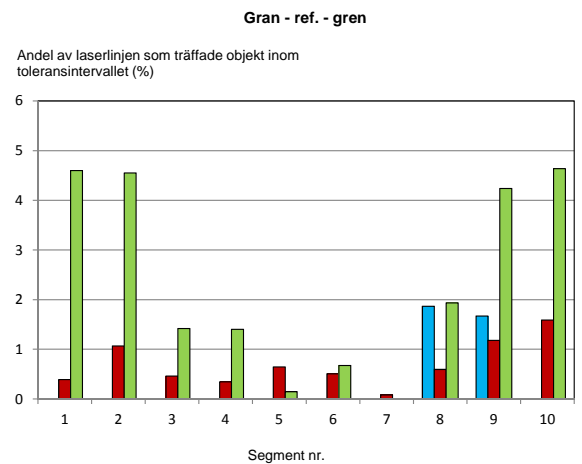
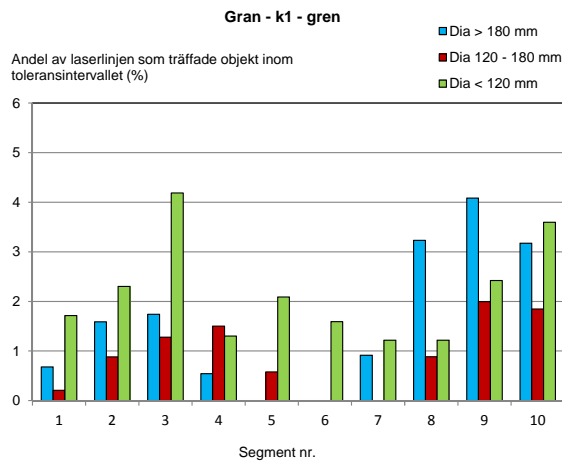
1) Observera att y-axeln är beskuren.





## Vertikal fördelning av objekt tillhörande kategorin gren nära stammens mantelyta

Genomsnittlig andel för olika segment längs laserlinjen där laserlinjen träffade objekt tillhörande kategorin gren för k1 och referensalternativet uppdelat på tre diameterklasser. *Segment 1* motsvaras av området högst upp längs stammens tvärsnitt och *Segment 10* motsvarades av området längst ned (mot marken).





### Tabell som beskriver vilka mätdata som använts för att generera Figur 43a och b

Komponent	Mätdata
Skräp i luften mellan sensorer och stam	Mätningar av andel laserlinje utanför toleransintervallet från <i>Mätetapp 2</i> .
Skräp nära stammens mantelyta	Manuella mätningar från <i>Mätetapp 3</i> .
Uppstickande grenar från stammens mantelyta	Manuella mätningar från <i>Mätetapp 3</i> .
Uppstickande lav från stammens mantelyta	Manuella mätningar från <i>Mätetapp 3</i> .
"Lost lines"	Från mätningarna av andel laserlinje innanför/utanför toleransintervallet under <i>Mätetapp 3</i> .
Mätpunkter på stammens mantelyta	Beräknat som differensen mellan andelen laserlinje innanför toleransintervallet från <i>Mätetapp 2</i> och summan av andelen skräp, uppstickande grenar och uppstickande lav från de manuella mätningarna.



### Problemkatalog

Nedan listas två problem som noterats vid granskningen av bildmaterialet. Problemen är inte direkt relaterade till de skräpreducerande skydden men de bör beaktas i ett vidare utvecklingsarbete.

- Grenar som fastnar vid ansättning och ligger kvar under hela kvistningsförloppet.
- Grenar som dras in underifrån från högen med avkvistade grenar.





## Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2013

### 2013

- Nr 786 Grönlund, Ö. & Eliasson, L. 2013. Knivslitage vid flisning av grot. Effects of knife wear on performance and fuel consumption for a small drum chipper. 11 s.
- Nr 787 Sonesson, J. & von Hofsten, H. 2013. Effektivare fältarbete med nya datakällor för skogsbruksplanering. – Greater efficiency in field work using new data sources for forestry planning. Final report to Stiftelsen Skogsällskapet, Project no. 0910-66/143-10 LOMOL. 19 s..
- Nr 788 Bhuiyan, N., Arlinger, J. & Möller, J.J. 2013. Kvalitetssäkring av beräkningsresultat från hprCM och konvertering av pri- till hpr-filer. – Quality assurance of calculation results from hprCM and conversion of prifiles to hpr files. 24 s.
- Nr 789 Brunberg, t. 2013. Bränsleförbrukningen hos skördare och skotare 2012. – Fuel consumption in forest machines 2012. 12 s.
- Nr 790 Eliasson, L. & Lundström, H. 2013. Skotning av hyggestorkad grot. – Skotare med Hultdins biokassett. – Forwarding of dried logging residue: study of Hultdins Biokassett 10 s.
- Nr 791 Andersson, g. & Frisk, M. 2013. Skogsbrukets transporter 2010. – Forestry transports in 2010. 91 s.
- Nr 792 Nordström, M. & Möller, J.J. 2013. Kalibrering av skördarens mätsystem. – En kartläggning av nuläge och utvecklingsbehov. A review of current status and development needs. 15 s.
- Nr 793 Lombardini, C., Granlund, P. & Eliasson, L. 2013. Bruks 806 STC. 0150 – Prestation och bränsleförbrukning. – Performance and fuel consumption of the Bruks 806 STC chipper. 9 s.
- Nr 794 Fridh, L. 2013. Kvalitetssäkrad partsmätning av bränsleved vid terminal. – Quality-assured measurement of energy wood at terminals. 32 s.
- Nr 795 Hofsten von, H. & Brantholm, M.-Å. 2013. Kostnader och produktivitet i stubbskörd – En fallstudie. Productivity and costs in stump harvest systems-A case study 9 s.
- Nr 796 Brunberg, T. & Iwarsson Wide, M. 2013. Underlag för prestationshöjning vid flerträd shantering i gallring. – Productivity increase after multi-tree handling during thinning. 6 s.
- Nr 797 Jacobson, S. & Filipsson, J. 2013. Spatial distribution of logging residues after final felling. – Comparison between forest fuel adapted final felling and conventional final felling methods. Trädresternas rumsliga fördelning efter slutavverkning – Jämförelse mellan bränsleanpassad och konventionell avverkningsmetod. 19 s.
- Nr 798 Möller, J. J., Arlinger, J. & Nordström, M. 2013. Test av StanForD 2010 implementation i skördare.
- Nr 799 Björheden, R. 2013. Är det lönsamt att täcka grotten? Effekten av täckpappens bredd på skogsbränslets kvalitet. – Does it pay to cover forest residue piles? Effect of tarpaulin width on the quality of forest chips. 16 s.
- Nr 800 Almqvist, C. 2013. Metoder för tidig blomning hos tall och gran. – Slutrapport av projekt 40:4 finansierat av Föreningen skogsträdsförädling. – Early strobili induction in Scots pine and Norway spruce. – Final report of Project no. 40:4, funded by the Swedish Tree Breeding Association. 26 s.

- Nr 801 Brunberg, T. & Mohtashami, S. 2013. Datoriserad beräkning av terrängtransportavståndet. – Computerised calculation of terrain transport distance. 8 s.
- Nr 802 Johan Sonesson, Lars Eliasson, Staffan Jacobson, Lars Wilhelmsson & John Arlinger. Analy ses of forest management systems for increased harvest of small trees for energy purposes in Sweden. – Analys av skogsskötselsystem för ökat uttag av klenträd som bränslesortiment 32 s..
- Nr 803 Edlund, J., Jonsson, R. & Asmoarp, V. 2013. Fokusveckor 2013 – Bränsleuppföljning för två fordon inom ETTdemo-projektet, ST-kran och ST-grupp. – Monitoring fuel consumption of two rigs in the ETTdemo project, ST-crane and ST-group. 22 s.
- Nr 804 Iwarsson-Wide, M., Olofsson, K., Wallerman, J., Sjödin, M., Torstensson, P. O., Aasland, T., Barth, A. & Larsson, M. 2013. Effektiv volymuppskattning av biomassa i vägkanter och ungskogar med laserdata. – Effective estimate of biomass volume on roadsides and in young forests using laser data 40 s.
- Nr 805 Iwarsson-Wide, M., L., Bäfver, Renström, C. & SwedPower, P. 2013. Fraktionsfördelning som kvalitetsparameter för skogsbränsle – Kraft- och värmeverkens perspektiv. 38 s.
- Nr 806 Englund, M. & Jönsson, P. 2013. LED-lampor i såglådan – En pilot-studie. – LED lamps in the saw box – A pilot study. 8 s.
- Nr 807 Nordlund, A., Ring, E., Högbom, L. & Bergkvist, I. 2013. Beliefs among Formal Actors in the Swedish Forestry Related to Rutting Caused by Logging Operations. – Attityder och åsikter med koppling till körskador inom olika yrkesgrupper i skogsbruket 18 s.
- Nr 808 Arlinger, J. & Jönsson, P. 2013. Automatiska tidsstudier i skogsmaskinsimulator. – Driftuppföljning och produktionsdata enligt StanFord 2010. Automatic time-studies in forest machine simulators – Operational monitoring and production data according to StanForD 2010. 10 s.
- Nr 809 Englund, M., Mörk, A. & Jönsson, P. 2013. Skotartävling på Elmia – Kran- och motorinställningars påverkan på bränsleförbrukning och tidsåtgång. Forwarder contest at Elmia. – Effect of crane and engine settings on fuel consumption and speed of work. 9 s.
- Nr 810 Eliasson, L., Lombardini, C., Lundstruöm, H. & Granlund, O. 2013. Eschlböck Biber flishugg – Prestation och bränsleförbrukning – Rangering av fliscontainerar med en John Deere 1410 containerskyttel.
- Nr 811 Eliasson, L. 2013. En simulering av en integrerad skördare för förpackad flis vid energiuttag i gallring. – Simulation of an integrated harvester for pre-packaged chips during energy harvest in early thinning. 16 s
- Nr 812 Englund, M. 2013. Test av stolar och tillbehör med avseende på helkroppsvibrationer. Test of seats and associated equipment in terms of whole-body vibrations. 32 s.
- Nr 813 Enström, J., Athenasiadis, D., Öhman, M. & Grönlund, Ö. 2013. Framgångsfaktorer för större skogsbränsleterminaler. – Success factors for larger energy wood terminals. 41 s.
- Nr 814 Wennström, U. 2013. Holmens fröbehov, produktion och genetisk kvalitet 2012-2060. – Holmen's seed requirements: production and genetic quality 2012-2060. 50 s.
- Nr 815 Hannrup, B., Andersson, M., Larsson, J., Sjöberg, J. & Johansson, A. 2013. Slutrapport för projekt "Beröringsfri diametermätning i skördare – Utveckling av skräpreducerande skydd". – Final report of the project 'Remote measurement of stem diameter in harvesters. Development of shields to reduce debris'. 78 s.
- Nr 816 Eriksson, E. & Täljblad, M. 2013. Prekal – Självföryngring före slutavverkning. – Slutrapport Försök 1–6. Prekal. – Natural regeneration before final felling. Final report, Experiments 1–6. 28 s.

## SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

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

### FORSKNING OCH UTVECKLING

Två forskningsområden:

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

### UPPDRAG

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

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

### KUNSKAPSFÖRMEDLING

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

Från Skogforsk nr. 815–2013



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